# STAVEBNÍ HMOTY

## Luboš Svoboda a kolektiv



PRAHA 2018
4. VYDÁNÍ

# STAVEBNÍ HMOTY

**Luboš Svoboda a kolektiv**

**Praha 2018**

***4. vydání***

Autor a spoluautoři:
doc. Ing. Luboš Svoboda, CSc. (vedoucí autorského kolektivu), Ing. arch. Zdenka Bažantová, CSc., Ing. Milan Myška, Ph. D., doc. Ing. Jaroslav Novák, CSc., doc. Ing. Zdeněk Tobolka, CSc., doc. Ing. Roman Vávra, Ph. D., doc. Ing. Alena Vimmrová, Ph. D., doc. Ing. Jaroslav Výborný, CSc.

Copyright:
doc. Ing. Luboš Svoboda, CSc., Ing. arch. Zdenka Bažantová, CSc., Ing. Milan Myška, Ph. D., doc. Ing. Jaroslav Novák, CSc., doc. Ing. Zdeněk Tobolka, CSc., doc. Ing. Roman Vávra, Ph. D., doc. Ing. Alena Vimmrová, Ph. D., doc. Ing. Jaroslav Výborný, CSc.
© 2013

**Doc. Ing. Luboš Svoboda, CSc.**



Hlavní autor této knihy je absolventem fakulty chemické technologie Vysoké školy chemicko-technologické v Praze.

Po skončení studia (1971) pracoval přes dvacet let v podniku Stavební isolace na výzkumu a vývoji speciálních stavebních hmot. Věnoval se zejména formulaci chemicky odolných tmelů na pokládku dlažeb a obkladů, spárovacím tmelům, povlakovým izolačním hmotám a polymerbetonovým podlahovinám. V letech 1971 – 2011 k průmyslové ochraně úspěšně přihlásil 22 vynálezů a 5 užitných vzorů. Některé epoxidové materiály, které tehdy vyvinul, jsou vyráběny a používány dodnes.

Při zaměstnání byl v roce 1975 přijat do externí aspirantury na Vysoké škole chemicko-technologické v Pardubicích a v roce 1981 zde získal vědeckou hodnost kandidáta věd v oboru technologie makromolekulárních látek.

V roce 1992 přešel z podnikové výzkumné a vývojové laboratoře na fakultu stavební Českého vysokého učení technického v Praze, kde vyučoval předměty s materiálovou tématikou a vedl chemickou laboratoř katedry stavebních hmot. V krátké době se zde habilitoval jako docent pro obor Stavební hmoty (1994). V roce 1998 byl jmenován vedoucím katedry stavebních hmot a tuto katedru vedl až do konce roku 2006.

Od roku 2007 pracoval na nově vzniklé katedře materiálového inženýrství a chemie jako přednášející a garant některých materiálových předmětů. V roce 2011 pracovní poměr na ČVUT ukončil a odešel do důchodu.

Je autorem nebo spoluautorem šesti vysokoškolských skript a spolu se Zdeňkem Tobolkou autorem knihy *Stavební izolace* vydané ČKAIT v roce 1997. V roce 2004 se spolupracovníky z katedry stavebních hmot připravil do tisku první vydání knihy *Stavební hmoty*. V roce 2007 se stejným autorským kolektivem vytvořil i druhé rozšířené vydání. Pro třetí vydání knihy *Stavební hmoty* zvolil formu volně dostupné elektronické publikace zveřejněné na webu v roce 2013

V roce 2012 vydal formou volně dostupné elektronické publikace knihu *Překvapivý PureBasic* věnovanou velmi výkonnému a u nás přitom téměř neznámému programovacímu jazyku francouzské firmy Fantaisie Software. Při popisu a zhodnocení tohoto jazyku využil skoro třicetileté zkušenosti s tvorbou vlastních programů v různých basicovských dialektech.

V rámci dlouhodobé spolupráce s fakultou chemicko-technologickou Univerzity Pardubice se podílel na přípravě studijního programu zaměřeného na povrchovou ochranu stavebních a konstrukčních materiálů, který byl akreditován v roce 2007. V tomto studijním programu pak zajišťoval do roku 2014 část výuky jako externí přednášející.

Na Univerzitě Pardubice nadále působí jako člen oborové rady a oponent diplomových a disertačních prací. Za svou činnost na pardubické škole byl v letech 2013 a 2016 oceněn bronzovou a stříbrnou medailí chemicko-technologické fakulty.

Předmluva

**1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY STAVEBNÍCH HMOT ..... 22**

**2 CELKOVÝ PŘEHLED ..... 29**

**3 STRUKTURA A VLASTNOSTI STAVEBNÍCH HMOT ..... 37**

**3.1 SLOŽENÍ STAVEBNÍCH HMOT ..... 37**
**3.2 ATOMOVÁ A MOLEKULÁRNÍ STRUKTURA ..... 37**
**3.3 SMĚS A SLOŽKA ..... 38**
**3.4 PLYNNÉ LÁTKY ..... 39**
**3.5 KAPALINY ..... 40**
**3.6 PEVNÉ LÁTKY ..... 41**
3.6.1 KRYSTALICKÉ LÁTKY ..... 42
3.6.2 AMORFNÍ LÁTKY ..... 44
3.6.3 HETEROGENNÍ LÁTKY ..... 45
3.6.4 PÓROVITÉ LÁTKY ..... 45
3.6.5 ZRNITÉ LÁTKY ..... 46
3.6.6 KOMPOZITY ..... 46
**3.7 PŘÍPRAVKY ..... 48**
**3.8 INTELIGENTNÍ MATERIÁLY ..... 48**
**3.9 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI ..... 49**
3.9.1 OBJEMOVÁ HMOTNOST A HUSTOTA ..... 50
3.9.2 HUTNOST ..... 52
3.9.3 PÓROVITOST ..... 52
3.9.4 MEZEROVITOST ..... 53
3.9.5 ZRNITOST ..... 54
3.9.6 MĚRNÝ POVRCH ..... 55
**3.10 VLHKOSTNÍ A DIFÚZNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ ..... 56**
3.10.1 VLHKOSTNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ ..... 56
3.10.1.1 Vlhkost pórovitých materiálů ..... 56
3.10.1.1.1 Druhy vlhkosti ..... 57
3.10.1.1.2 Transport vlhkosti ..... 59
3.10.1.2 Nasákavost ..... 61
3.10.1.3 Vzlínavost ..... 62
3.10.1.4 Navlhavost a vysýchavost ..... 63
3.10.2 DIFÚZNÍ VLASTNOSTI ..... 64
3.10.2.1 Propustnost ..... 68
3.10.2.2 Prosákavost a vodotěsnost ..... 68
**3.11 MECHANICKÉ VLASTNOSTI ..... 71**
3.11.1 DEFORMAČNÍ A PRACOVNÍ DIAGRAMY ..... 71
3.11.2 MODUL PRUŽNOSTI A PŘETVÁRNOSTI ..... 75
3.11.3 PEVNOST ..... 81
3.11.3.1 Technická pevnost ..... 81
3.11.3.2 Pevnost z hlediska statistického ..... 85
3.11.3.2.1 Statistické rozdělení jakosti materiálu uvnitř těles ..... 88

3.11.3.2.2 Statistické hodnocení pevnosti souboru zkušebních těles ... 89
3.11.4 HOUŽEVNATOST A KŘEHKOST MATERIÁLU ... 89
3.11.5 SOUČINITEL PŘÍČNÉ ROZTAŽNOSTI ... 91
3.11.6 ODOLNOST CYKLICKÉMU NAMÁHÁNÍ ... 91
3.11.7 TVRDOST A OBRUSNOST ... 92
3.11.8 ADHEZE A KOHEZE ... 93
3.11.9 DALŠÍ MECHANICKÉ VLASTNOSTI ... 93
3.11.10 VISKOELASTICKÉ CHOVÁNÍ ... 94
**3.12 TEPELNÉ VLASTNOSTI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ ... 96**
3.12.1 ŠÍŘENÍ TEPLA MATERIÁLY ... 96
3.12.2 VLIV TEPLA NA MATERIÁLY ... 97
3.12.3 TEPELNĚ-FYZIKÁLNÍ VELIČINY ... 97
3.12.3.1 Měrná tepelná vodivost ... 98
3.12.3.2 Měrná tepelná kapacita ... 104
3.12.3.3 Teplotní lineární délková roztažnost ... 106
3.12.3.4 Součinitel objemové teplotní roztažnosti ... 107
3.12.4 TEPELNĚ-TECHNICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ ... 107
3.12.4.1 Tepelná jímavost materiálů ... 108
3.12.4.2 Součinitel teplotní vodivosti ... 109
3.12.4.3 Tepelný odpor vrstvy materiálu ... 109
3.12.4.4 Součinitel prostupu tepla ... 110
**3.13 SÁLAVÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ ... 111**
3.13.1 ZDROJE SÁLÁNÍ ... 113
3.13.2 HODNOTY SÁLAVÝCH VLASTNOSTÍ ... 114
3.13.3 PRAKTICKÝ VÝZNAM TEPELNÉ REFLEXE ... 115
3.13.4 ENERGETICKÉ VLASTNOSTI TRANSPARENTNÍCH LÁTEK ... 116
**3.14 AKUSTICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ ... 119**
3.14.1 MATERIÁLY PRO POHLCUJÍCÍ KONSTRUKCE ... 119
3.14.2 MATERIÁLY PRO NEPRŮZVUČNÉ KONSTRUKCE ... 121
3.14.3 MATERIÁLY PRO KONSTRUKCE POHLCUJÍCÍ VIBRACE ... 123
3.14.3.1 Antivibrační nátěry ... 124
3.14.3.2 Vrstvené zvukově izolační konstrukce ... 125
**3.15 RADIOAKTIVITA STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ ... 127**
3.15.1 HODNOCENÍ ŠKODLIVOSTI ZÁŘENÍ ... 127
3.15.1.1 Požadavky na protiradonovou izolaci ... 131
3.15.1.2 Provedení protiradonové izolace ... 132
**3.16 CHEMICKÉ VLASTNOSTI ... 134**
3.16.1 CHEMICKÉ PŘEMĚNY PŘI ZPRACOVÁVÁNÍ ... 134
3.16.2 MATERIÁLOVÁ KOMPATIBILITA ... 135
3.16.3 STÁRNUTÍ A KOROZE ... 137
3.16.3.1 Koroze anorganických nekovových materiálů ... 138
3.16.3.1.1 Koroze keramiky ... 138
3.16.3.1.2 Koroze betonu ... 139
3.16.3.2 Koroze kovů ... 141
3.16.3.2.1 Druhy koroze kovů ... 145
3.16.3.2.2 Koroze betonové výztuže ... 145
3.16.3.2.3 Koroze ocelových konstrukcí ... 147
3.16.3.3 Koroze plastů ... 148
**3.17 HYGIENICKÉ VLASTNOSTI ... 152**
3.17.1 KONCENTRACE ŠKODLIVIN ... 153
3.17.1.1 Škodliviny v interiéru ... 154
**3.18 EKOLOGICKÉ VLASTNOSTI ... 159**
**3.19 BIOLOGICKÁ ODOLNOST ... 160**
**3.20 POŽÁRNÍ VLASTNOSTI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ ... 164**
3.20.1 HOŘLAVOST STAVEBNÍCH HMOT ... 164

3.20.1.1 Klasifikace stavebních výrobků z hlediska reakce na oheň ... 165
3.20.1.2 Klasifikace stavebních výrobků z hlediska požární odolnosti ... 166
3.20.1.3 Převod požadavků požárních projektových norem ... 166
3.20.1.4 Požadavky na vlastnosti nehořlavých výrobků ... 167
3.20.2 POŽÁRNÍ ZATŘÍDĚNÍ KONSTRUKČNÍCH ČÁSTÍ ... 169
3.20.3 HOŘLAVÉ KAPALINY ... 170
3.20.4 POŽÁRNÍ ODOLNOST STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ ... 170
3.20.5 TEPLOTNÍ ZMĚNY MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ ... 172
**3.21 ELEKTRICKÉ A MAGNETICKÉ VLASTNOSTI ... 173**
**3.22 TRVANLIVOST STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ ... 175**
3.22.1 MRAZUVZDORNOST ... 175
3.22.2 ODOLNOST VŮČI SLUNEČNÍMU ZÁŘENÍ ... 178
**3.23 ESTETICKÉ VLASTNOSTI ... 179**

**4 POPIS VYBRANÝCH STAVEBNÍCH HMOT A VÝROBKŮ ... 181**

**4.1 HORNINY A VÝROBKY Z KAMENE ... 181**
4.1.1 ROZDĚLENÍ HORNIN ... 182
4.1.1.1 Horniny vyvřelé ... 184
4.1.1.1.1 Hlubinné vyvřelé horniny ... 184
4.1.1.1.2 Žilné vyvřelé horniny ... 185
4.1.1.2 Horniny usazené ... 187
4.1.1.2.1 Klastické sedimenty ... 188
4.1.1.2.2 Sedimenty chemické ... 192
4.1.1.2.3 Sedimenty organogenní nehořlavé ... 192
4.1.1.2.4 Sedimenty organogenní hořlavé (kaustobiolity) ... 193
4.1.1.3 Horniny přeměněné (metamorfované) ... 193
4.1.1.3.1 Přeměna dislokační ... 195
4.1.1.3.2 Přeměna šoková ... 195
4.1.1.3.3 Přeměna kontaktní ... 195
4.1.1.3.4 Přeměna regionální ... 195
4.1.2 STAVEBNÍ KÁMEN ... 196
4.1.2.1 Lomařské a kamenické výrobky ... 198
4.1.2.1.1 Kamenné bloky ... 202
4.1.2.1.2 Hrubé desky ... 203
4.1.2.1.3 Kámen pro stavební účely ... 205
4.1.2.1.4 Krytiny z přírodního kamene ... 214
4.1.2.2 Ochrana a údržba výrobků z kamene ... 218
4.1.2.3 Výrobky z umělého kamene ... 219
4.1.2.3.1 Konglomerovaný kámen ... 220
4.1.2.3.2 Chodníková mozaika a silniční dlažba ... 221
4.1.2.3.3 Silniční a mostové obrubníky ... 222
4.1.2.3.4 Vyrovnávací kanálové prstence ... 223
4.1.2.3.5 Signální pruhy a bezbariérové přechody ... 223
4.1.2.3.6 Kamenný koberec (oblázková dlažba) ... 223
4.1.2.4 Kusové výrobky z taveného čediče ... 224
4.1.2.4.1 Otěruvzdorná potrubí ... 225
4.1.2.4.2 Kanalizační prvky ... 225
4.1.2.4.3 Čedičová dlažba ... 226
4.1.2.5 Výrobky z korundo-baddeleyitové taveniny ... 227
4.1.3 KAMENIVO ... 228
4.1.3.1 Požadavky na vlastnosti kameniva ... 229
4.1.3.1.1 Zrnitost ... 230
4.1.3.1.2 Tvar zrn kameniva ... 234

4.1.3.1.3 Obsah schránek živočichů ... 235
4.1.3.1.4 Požadavky na fyzikální vlastnosti ... 235
4.1.3.1.5 Škodlivé látky v kamenivu ... 236
4.1.3.1.6 Objemová hmotnost zrn ... 237
4.1.3.2 Těžké kamenivo ... 238
4.1.3.3 Hutné kamenivo ... 239
4.1.3.4 Pórovité kamenivo ... 241
4.1.3.4.1 Přírodní pórovitá kameniva ... 241
4.1.3.4.2 Pórovitá kameniva z průmyslových odpadů ... 242
4.1.3.4.3 Pórovitá kameniva z přírodních zdrojů ... 242
4.1.4 MINERÁLNÍ VLÁKNA ... 249
4.1.4.1 Výroba minerálních vláken ... 249
4.1.4.2 Výrobky z minerálních vláken ... 250
4.1.4.2.1 Tepelně izolační využití výrobků z minerálních vláken ... 251
4.1.4.2.2 Akustické použití výrobků z minerálních vláken ... 253
4.1.4.2.3 Protipožární použití výrobků z minerálních vláken ... 253
4.1.5 AZBEST ... 254
**4.2 KERAMICKÉ VÝROBKY ... 256**
4.2.1 CIHLÁŘSKÉ VÝROBKY ... 256
4.2.1.1 Vlastnosti cihelného střepu ... 260
4.2.1.2 Cihlářské výrobky pro svislé konstrukce ... 262
4.2.1.2.1 Zděné konstrukce ... 267
4.2.1.2.2 Přehled zdicích prvků ... 269
4.2.1.3 Pálená střešní krytina ... 276
4.2.1.3.1 Technické požadavky na pálenou krytinu ... 281
4.2.1.4 Cihlářské výrobky pro vodorovné konstrukce ... 283
4.2.1.4.1 Cihelné stropní desky ... 283
4.2.1.4.2 Stropní vložky a tvarovky ... 284
4.2.1.4.3 Keramické stropní a střešní dílce ... 285
4.2.2 OBKLADOVÉ MATERIÁLY ... 288
4.2.2.1 Výroba obkladových prvků ... 289
4.2.2.2 Funkce obkladových prvků ... 291
4.2.2.3 Základní dělení obkladových prvků ... 292
4.2.2.4 Značení keramických obkladových prvků ... 294
4.2.2.5 Vlastnosti keramických obkladových prvků ... 295
4.2.2.6 Výběr obkladu ... 303
4.2.3 KAMENINA ... 304
4.2.3.1 Kanalizační kamenina ... 305
4.2.3.2 Chemicky odolná stavební kamenina ... 307
4.2.3.3 Kamenina hospodářská ... 309
4.2.3.4 Kamenina stavební ... 309
4.2.4 ZDRAVOTNÍ KERAMIKA ... 310
4.2.5 ŽÁROVZDORNÉ VÝROBKY ... 315
4.2.5.1 Žárovzdorné materiály tvarové ... 316
4.2.5.2 Žárovzdorné materiály netvarové ... 320
**4.3 SKLO ... 323**
4.3.1 VÝROBA SKLA ... 323
4.3.1.1 Základní suroviny ... 323
4.3.1.2 Technologie výroby ... 324
4.3.2 VLASTNOSTI SKLA ... 325
4.3.3 KOMPAKTNÍ SKLO ... 326
4.3.3.1 Ploché sklo tažené ... 326
4.3.3.2 Ploché válcované sklo ... 327
4.3.3.3 Speciální druhy skel ... 328
4.3.3.4 Zasklení ... 328

4.3.3.4.1 Izolační skla s tepelnou ochranou (nízkoemisní zasklení) ... 329
4.3.3.4.2 Izolační skla s protisluneční ochranou ... 330
4.3.3.4.3 Izolační skla s tepelnou a protisluneční ochranou ... 331
4.3.3.4.4 Izolační skla se zvukovou ochranou ... 331
4.3.3.4.5 Bezpečnostní zasklení ... 332
4.3.3.4.6 Protipožární zasklení ... 332
4.3.3.4.7 Systémy zasklení se speciálními vlastnostmi ... 333
4.3.3.5 Tvarované sklo ... 333
4.3.4 PĚNOVÉ SKLO ... 334
4.3.5 SKLENĚNÁ VLÁKNA ... 336
4.3.5.1 Výrobky z krátkých skleněných vláken ... 336
4.3.5.2 Výrobky z dlouhých skleněných vláken ... 337
4.3.6 SKLENĚNÉ MIKRODUTINKY ... 339
4.3.7 VZDUŠNÉ SKLO ... 339
4.3.8 SKLOKRYSTALICKÉ DESKY ... 340
**4.4 ANORGANICKÁ POJIVA ... 341**
4.4.1 VÁPENOSÍRANOVÁ POJIVA ... 342
4.4.1.1 Výroba a rozdělení síranových pojiv ... 342
4.4.1.2 Druhy sádrových pojiv ... 344
4.4.1.3 Tuhnutí sádrových pojiv ... 346
4.4.1.4 Mechanické vlastnosti zatvrdlé sádry ... 347
4.4.1.5 Tepelně-technické vlastnosti zatvrdlé sádry ... 349
4.4.1.6 Další vlastnosti zatvrdlé sádry ... 350
4.4.1.7 Modifikace vlastností sádry ... 351
4.4.1.8 Skladování sádry ... 352
4.4.1.9 Další síranová pojiva ... 352
4.4.1.10 Výrobky ze síranových pojiv ... 353
4.4.1.11 Sádrové tvárnice ... 355
4.4.1.12 Sádrokarton ... 356
4.4.1.13 Sádrové výrobky vyztužené vlákny ... 360
4.4.2 VZDUŠNÉ VÁPNO ... 362
4.4.2.1 Výroba vzdušného vápna ... 363
4.4.2.2 Tuhnutí a tvrdnutí vzdušného vápna ... 367
4.4.2.3 Použití vzdušného vápna ... 368
4.4.2.4 Zkoušení vzdušného vápna ... 368
4.4.3 KŘEMIČITANY ALKALICKÝCH KOVŮ ... 369
4.4.4 HOŘEČNATÉ POJIVO ... 370
4.4.5 HYDRAULICKÉ VÁPNO ... 371
4.4.6 SILIKÁTOVÝ CEMENT ... 373
4.4.6.1 Výroba cementu ... 373
4.4.6.2 Složení slínku ... 375
4.4.6.3 Hydratační reakce ... 378
4.4.6.4 Slínkové příměsi ... 382
4.4.6.5 Cementy pro obecné použití ... 383
4.4.6.6 Speciální silikátové cementy ... 386
4.4.6.7 Cement pro zdění ... 386
4.4.6.8 Doprava a skladování cementu ... 387
4.4.7 HLINITANOVÝ CEMENT ... 388
4.4.8 GEOPOLYMERNÍ CEMENTY ... 389
4.4.9 ZKOUŠENÍ HYDRAULICKÝCH POJIV ... 390
**4.5 MALTY ... 391**
4.5.1 ROZDĚLENÍ MALT ... 391
4.5.2 SLOŽENÍ MALT ... 392
4.5.3 MALTY PRO VNITŘNÍ A VNĚJŠÍ OMÍTKY ... 394
4.5.3.1 Vlastnosti čerstvých omítkových malt ... 395

4.5.3.2 Vlastnosti zatvrdlých omítkových malt ... 395
4.5.3.3 Hodnocení shody ... 396
4.5.4 MALTY PRO VNITŘNÍ SÁDROVÉ OMÍTKY ... 399
4.5.5 MALTY PRO POTĚRY ZE SÍRANU VÁPENATÉHO ... 402
4.5.6 TENKOVRSTVÉ OMÍTKY ... 403
*4.5.7* SANAČNÍ OMÍTKY ... 404
4.5.8 TEPELNĚ IZOLAČNÍ MALTY ... 408
4.5.9 HLINĚNÉ MALTY ... 410
4.5.10 MALTY PRO ZDĚNÍ ... 411
4.5.10.1 Termíny a definice ... 412
4.5.10.2 Posouzení agresivity prostředí ... 413
4.5.10.3 Hodnocení shody ... 414
4.5.10.4 Dodatečné požadavky na malty pro tenké spáry ... 417
4.5.11 POKLÁDACÍ MALTY ... 417
4.5.12 STYKOVÉ MALTY ... 418
4.5.13 HISTORICKÉ MALTY ... 419
**4.6 BETON ... 421**
4.6.1 KLASIFIKACE A SPECIFIKACE BETONU ... 423
4.6.1.1 Klasifikace betonu ... 423
4.6.1.2 Specifikace betonu ... 430
4.6.1.2.1 Specifikace typového betonu ... 430
4.6.1.2.2 Specifikace betonu předepsaného složení ... 433
4.6.2 HLAVNÍ SLOŽKY BETONU ... 434
4.6.2.1 Cement ... 435
4.6.2.2 Kamenivo ... 436
4.6.2.3 Voda pro výrobu betonu ... 442
4.6.3 NÁVRH SLOŽENÍ ČERSTVÉHO BETONU ... 445
4.6.3.1 Vodní součinitel ... 445
4.6.3.2 Matematické modely predikce pevnosti betonu ... 448
4.6.3.3 Koncepce návrhu skladby betonu ... 453
4.6.4 PŘÍSADY A PŘÍMĚSI ... 458
4.6.4.1 Přísady ... 458
4.6.4.1.1 Plastifikační přísady ... 459
4.6.4.1.2 Superplastifikační přísady ... 460
4.6.4.1.3 Provzdušňující přísady ... 462
4.6.4.1.4 Stabilizační přísady ... 464
4.6.4.1.5 Přísady zpomalující tuhnutí ... 465
4.6.4.1.6 Přísady urychlující tuhnutí a tvrdnutí ... 465
4.6.4.1.7 Těsnící přísady ... 465
4.6.4.1.8 Ostatní přísady ... 465
4.6.4.2 Příměsi ... 466
4.6.4.2.1 Jemné podíly plniva ... 467
4.6.4.2.2 Popílek ... 467
4.6.4.2.3 Křemičitý úlet ... 470
4.6.5 TRANSPORTBETON ... 471
4.6.6 ŽELEZOBETON A PŘEDPJATÝ BETON ... 473
4.6.6.1 Železobeton ... 474
4.6.6.2 Předpjatý beton ... 475
4.6.7 SPECIÁLNÍ BETONY ... 476
4.6.7.1 Vodostavební beton a beton pro masivní konstrukce ... 476
4.6.7.2 Lehký beton ... 479
4.6.7.2.1 Rozdělení a obecné vlastnosti lehkých betonů ... 479
4.6.7.2.2 Vyztužování lehkých betonů ... 482
4.6.7.2.3 Mezerovitý lehký beton ... 482
4.6.7.2.4 Hutný lehký beton z pórovitého kameniva ... 482

4.6.7.2.5 Přímo lehčený beton ... 483
4.6.7.2.6 Lehký beton s organickým plnivem ... 483
4.6.7.3 Těžký beton ... 484
4.6.7.4 Vysokopevnostní beton ... 484
4.6.7.5 Samozhutnitelný beton ... 486
4.6.7.6 Vláknobeton ... 487
4.6.8 ZPRACOVÁNÍ A OŠETŘOVÁNÍ BETONU ... 489
4.6.8.1 Dávkování a mísení složek betonu ... 489
4.6.8.2 Doprava a ukládání čerstvého betonu ... 490
4.6.8.3 Zhutňování čerstvého betonu ... 493
4.6.8.4 Ošetřování čerstvého betonu ... 496
4.6.9 CEMENTOVÝ POTĚR ... 498
4.6.9.1 Klasifikace cementových potěrů ... 498
4.6.9.2 Použití cementových potěrů ... 500
4.6.9.3 Složky cementového potěru ... 501
4.6.9.4 Technické požadavky na cementové potěry ... 501
4.6.10 POLYMERCEMENTOVÉ BETONY ... 504
4.6.11 BETON PRO 3D TISK ... 505
**4.7 SILIKÁTOVÁ KUSOVÁ STAVIVA ... 506**
4.7.1 BETONOVÉ PREFABRIKÁTY ... 506
4.7.1.1 Betonová krytina ... 506
4.7.1.1.1 Požadavky a typové zkoušky ... 507
4.7.1.1.2 Použitelnost betonové krytiny ... 509
4.7.1.1.3 Sortiment betonových krytin ... 510
4.7.1.2 Betonové dlaždice ... 511
4.7.1.3 Betonové tvárnice ... 513
4.7.1.3.1 Zdění z přesných tvárnic ... 518
4.7.1.3.2 Stavba opěrných zdí z přesných tvárnic ... 519
4.7.1.4 Betonové stropní prefabrikáty ... 521
4.7.1.5 Ostatní betonové prefabrikáty ... 522
4.7.2 AUTOKLÁVOVANÉ A VLÁKNOCEMENTOVÉ VÝROBKY ... 523
4.7.2.1 Vápenopískové zdicí prvky ... 524
4.7.2.1.1 Požadavky na vápenopískové zdicí prvky ... 525
4.7.2.1.2 Použití vápenopískových zdicích prvků ... 528
4.7.2.2 Autoklávovaný pórobeton ... 530
4.7.2.2.1 Suroviny pro výrobu pórobetonů ... 531
4.7.2.2.2 Výztuž v pórobetonu ... 534
4.7.2.2.3 Výrobky z pórobetonu a jejich vlastnosti ... 535
4.7.2.2.4 Použití pórobetonu ... 541
4.7.2.3 Vláknocementové výrobky ... 548
4.7.2.3.1 Vláknocementové střešní desky rovinné ... 548
4.7.2.3.2 Vláknocementové střešní vlnovky a tvarovky ... 551
4.7.2.3.3 Vláknocementové obkladové desky ... 552
4.7.2.4 Prefabrikáty s optickými vlákny ... 553
**4.8 KOVY ... 554**
4.8.1 ŽELEZO A JEHO SLITINY ... 554
4.8.1.1 Výroba železa ... 554
4.8.1.2 Ocel ... 555
4.8.1.2.1 Druhy ocelí ... 558
4.8.1.2.2 Značení ocelí ... 559
4.8.1.2.3 Vlastnosti ocelí ... 562
4.8.1.2.4 Ocel pro výztuž do betonu ... 564
4.8.1.2.5 Korozivzdorná betonářská ocel ... 565
4.8.1.2.6 Předpínací ocel ... 568
4.8.1.2.7 Kovová vlákna ... 570

4.8.1.2.8 Ostatní ocelové výrobky pro stavebnictví ... 572
4.8.1.3 Litina ... 580
4.8.1.3.1 Šedá litina ... 580
4.8.1.3.2 Tvárná litina ... 581
4.8.2 MĚĎ A JEJÍ SLITINY ... 581
4.8.2.1 Měď ... 581
4.8.2.2 Slitiny mědi ... 582
4.8.2.2.1 Mosaz ... 582
4.8.2.2.2 Bronz ... 582
4.8.2.2.3 Vlastnosti slitin mědi ... 583
4.8.2.3 Výrobky z mědi a jejích slitin ... 583
4.8.3 ZINEK A JEHO SLITINY ... 584
4.8.3.1 Titanzinek ... 584
4.8.4 HLINÍK A SLITINY HLINÍKU ... 585
4.8.4.1 Výroba hliníku a lehkých slitin ... 585
4.8.4.1.1 Tepelné zpracování hliníku a jeho slitin ... 587
4.8.4.1.2 Povrchové úpravy anodickou oxidací ... 587
4.8.4.1.3 Povrchové úpravy práškovým nanášením hmot ... 588
4.8.4.2 Rozdělení slitin hliníku ... 589
4.8.4.3 Vlastnosti hliníku a jeho slitin ... 591
4.8.4.3.1 Mechanické vlastnosti ... 591
4.8.4.3.2 Odolnost proti atmosférické korozi ... 593
4.8.4.3.3 Elektrická vodivost ... 593
4.8.4.4 Výrobky z hliníku a lehkých slitin ... 594
4.8.5 OLOVO A JEHO SLITINY ... 597
4.8.5.1 Výroba olova ... 597
4.8.5.2 Vlastnosti olova ... 597
4.8.5.3 Výrobky z olova a jeho slitin pro stavebnictví ... 598
4.8.6 ZLATO ... 599
**4.9 ASFALTY A DEHTY ... 600**
4.9.1 SLOŽENÍ ASFALTŮ ... 600
4.9.2 VLASTNOSTI ASFALTŮ ... 601
4.9.3 ZKOUŠENÍ ASFALTŮ ... 601
4.9.3.1 Penetrace ... 601
4.9.3.2 Bod měknutí ... 602
4.9.3.3 Bod lámavosti ... 602
4.9.3.4 Duktilita ... 602
4.9.3.5 Další zkoušky asfaltu ... 603
4.9.4 PŘÍRODNÍ ASFALTY ... 603
4.9.5 ASFALTY ROPNÉ ... 604
4.9.5.1 Oxidované asfalty ... 604
4.9.5.2 Ředěné asfalty ... 604
4.9.5.3 Modifikované asfalty ... 605
4.9.6 VYUŽITÍ ASFALTŮ VE STAVEBNICTVÍ ... 606
4.9.6.1 Asfaltové izolační pásy ... 607
4.9.6.1.1 Výztužná vložka ... 607
4.9.6.1.2 Krycí vrstva asfaltu ... 608
4.9.6.1.3 Povrchová úprava ... 610
4.9.6.2 Asfaltové šindele ... 612
4.9.6.3 Asfaltové nátěry a tmely ... 613
4.9.6.4 Asfaltové emulze a suspenze ... 615
4.9.6.5 Síroasfalt ... 616
4.9.7 DEHET ... 617
4.9.7.1 Kamenouhelný dehet ... 617
4.9.7.2 Dřevní dehet ... 618

**4.10 POLYMERY ..... 619**
4.10.1 TERMOPLASTY ..... 620
4.10.1.1 Polyetylen ..... 624
4.10.1.1.1 Fólie z polyetylenu ..... 626
4.10.1.1.2 Polyetylenové desky ..... 629
4.10.1.1.3 Polyetylenové potrubí ..... 629
4.10.1.1.4 Expandovaný polyetylen ..... 630
4.10.1.1.5 Ostatní výrobky z polyetylenu ..... 630
4.10.1.2 Polypropylen ..... 630
4.10.1.3 Poly-1-buten ..... 633
4.10.1.4 Ostatní polyolefiny ..... 633
4.10.1.5 Polyvinylchlorid ..... 634
4.10.1.5.1 Výrobky z tvrdého PVC ..... 635
4.10.1.5.2 Výrobky z měkčeného PVC ..... 636
4.10.1.5.3 Lepení PVC ..... 637
4.10.1.5.4 Kopolymerní PVC ..... 638
4.10.1.6 Polystyren ..... 638
4.10.1.6.1 Expandovaný polystyren ..... 639
4.10.1.6.2 Extrudovaný polystyren ..... 645
4.10.1.7 Lineární polyestery ..... 648
4.10.1.7.1 Polyetylentereftalát ..... 649
4.10.1.7.2 Polykarbonáty ..... 649
4.10.1.8 Polymetylmetakrylát ..... 651
4.10.1.9 Polyvinylestery a polyakryláty ..... 652
4.10.1.10 Polytetrafluoretylen a polytrifluorchloretylen ..... 652
4.10.1.11 Polytrifluorchloretylen ..... 653
4.10.1.12 Ostatní termoplasty ..... 653
4.10.2 REAKTOPLASTY ..... 655
4.10.2.1 Nenasycené polyestery a vinylestery ..... 655
4.10.2.2 Formaldehydové kondenzáty ..... 657
4.10.2.3 Furanové kondenzáty ..... 659
4.10.2.4 Polyuretany ..... 659
4.10.2.4.1 Polyuretanové prefabrikáty ..... 660
4.10.2.5 Epoxidy ..... 661
4.10.2.6 Silikony ..... 663
4.10.2.7 Ostatní reaktoplastická pojiva ..... 664
4.10.2.8 Reaktoplastické kompozity ..... 664
4.10.2.8.1 Polymermalty a polymerbetony ..... 665
4.10.2.8.2 Skelné lamináty ..... 668
4.10.2.8.3 Uhlíkové lamely ..... 669
4.10.3 ELASTOMERY ..... 670
4.10.4 POLYMERNÍ DISPERZE ..... 671
4.10.5 PŘÍRODNÍ POLYMERY ..... 672
**4.11 DŘEVO ..... 675**
4.11.1 STRUKTURA A SLOŽENÍ DŘEVA ..... 675
4.11.2 FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA ..... 677
4.11.2.1 Barva dřeva ..... 677
4.11.2.2 Hustota dřevní hmoty ..... 678
4.11.2.3 Objemová hmotnost dřeva ..... 678
4.11.2.4 Vlhkost ..... 678
4.11.2.5 Tepelné, elektrické a akustické vlastnosti ..... 680
4.11.2.6 Trvanlivost dřeva ..... 681
4.11.2.7 Mechanické vlastnosti ..... 682
4.11.3 VADY A ŠKŮDCI DŘEVA ..... 682
4.11.4 OCHRANA DŘEVA ..... 685

4.11.4.1 Ochrana proti biologickému napadení ... 685
4.11.4.2 Ochrana proti požáru ... 688
4.11.5 DRUHY DŘEVA A ŘEZIVA PRO STAVEBNÍ ÚČELY ... 689
4.11.5.1 Jehličnaté dřeviny ... 689
4.11.5.2 Listnaté dřeviny ... 690
4.11.5.3 Exotické dřeviny ... 690
4.11.5.4 Třídění dřeva ... 690
4.11.5.5 Druhy řeziva ... 691
4.11.5.5.1 Dřevěné šindele ... 692
4.11.6 MATERIÁLY NA BÁZI DŘEVA ... 692
4.11.6.1 Desky z rostlého dřeva ... 694
4.11.6.2 Překližované desky ... 695
4.11.6.3 Dřevovláknité desky ... 696
4.11.6.4 Třískové desky ... 697
4.11.6.5 OSB desky ... 698
4.11.6.6 Lepené lamelové dřevo ... 700
4.11.6.7 Vrstvené dřevo ... 702
4.11.6.8 Vrstvené dřevo z dýhových pásů a z dlouhých třísek ... 704
4.11.6.9 Kombinované materiály ... 706
4.11.6.9.1 Cementotřískové desky ... 706
4.11.6.9.2 Pazderový a konopný beton ... 708
4.11.6.9.3 Plněné plasty ... 709
4.11.6.10 Zhuštěné dřevo ... 710
4.11.6.11 Modifikované dřevo ... 710
4.11.7 DALŠÍ CELULÓZOVÉ MATERIÁLY ... 711
4.11.7.1 Celulózová vlákna ... 712
4.11.7.2 Korek ... 712
4.11.7.3 Sláma ... 713
4.11.7.4 Rákos ... 715
4.11.7.5 Ostatní rostlinné materiály ... 715
4.11.7.5.1 Dříve používané celulosové desky ... 716
**4.12 OSTATNÍ VÝROBKY ... 718**
4.12.1 NÁTĚROVÉ HMOTY ... 718
4.12.1.1 Formulace nátěrových hmot ... 719
4.12.1.2 Druhy nátěrových hmot ... 720
4.12.1.3 Skladování nátěrových hmot ... 728
4.12.2 LEPICÍ A VYPLŇUJÍCÍ PROSTŘEDKY ... 729
4.12.2.1 Lepidla ... 730
4.12.2.2 Lepicí tmely a malty ... 730
4.12.2.3 Speciální malty a tmely ... 731
4.12.3 MONTÁŽNÍ PĚNY ... 734
4.12.4 BEZESPARÉ PODLAHOVINY ... 735
4.12.4.1 Licí podlahoviny ... 735
4.12.4.2 Polymerbetonové podlahoviny ... 737
4.12.5 INJEKTÁŽNÍ HMOTY ... 737
4.12.6 CHEMICKÉ PŘÍPRAVKY ... 739
4.12.6.1 Aditiva ... 739
4.12.6.2 Pomocné přípravky ... 739
4.12.6.3 Separující přípravky ... 741
4.12.6.4 Protipožární přípravky ... 742
4.12.6.5 Ostatní přípravky ... 743
4.12.7 SÍROVÉ KOMPOZITY ... 743
4.12.8 OVČÍ VLNA ... 744
4.12.9 NEPÁLENÁ HLÍNA ... 745
4.12.9.1 Tradiční zdi z nepálené hlíny ... 745

4.12.9.2 Soudobé zdi z nepálené hlíny ... 746
4.12.10 AKUSTICKÉ DESKY Z KARTONU A KŘEMIČITÉHO PÍSKU ... 750
4.12.11 GEOSYNTETICKÉ VÝROBKY ... 750
4.12.11.1 Použití geosyntetických výrobků ... 751
4.12.11.2 Rozdělení geosyntetických výrobků ... 751
4.12.11.3 Vlastnosti geosyntetických výrobků ... 754
4.12.11.4 Ochranné technické textilie ... 756
4.12.12 BENTONITOVÉ IZOLACE ... 756
4.12.12.1 Vlastnosti bentonitu ... 757
4.12.12.2 Hydroizolace z bentonitu ... 757
4.12.13 STŘÍKANÉ HYDROIZOLACE ... 761
4.12.14 PŘÍRODNÍ LINOLEUM ... 761

**5 ZKOUŠENÍ STAVEBNÍCH HMOT ... 762**

**5.1 PRÁVNÍ ZABEZPEČENÍ POŽADAVKŮ NA STAVEBNÍ VÝROBKY ... 763**
5.1.1 STAVEBNÍ ZÁKON Č. 183/2006 SB. ... 764
5.1.2 ZÁKON Č. 22/1997 SB. ... 764
5.1.2.1 Technický předpis a technický dokument ... 765
5.1.2.2 České technické normy ... 765
5.1.2.2.1 Harmonizované české technické normy ... 766
5.1.2.2.2 Určené normy ... 766
5.1.2.3 Státní zkušebnictví ... 766
5.1.2.4 Autorizace a autorizované osoby ... 766
5.1.2.5 Certifikace ... 766
5.1.2.6 Stanovené výrobky ... 767
5.1.2.7 Akreditace a osvědčení o akreditaci ... 768
5.1.3 NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 163/2002 SB. ... 768
5.1.3.1 Základní požadavky na stavební výrobky ... 769
5.1.3.2 Požadavky na stanovené výrobky ... 770
5.1.3.3 Stavební technické osvědčení ... 770
5.1.3.4 Způsoby posuzování shody stanovených výrobků ... 771
5.1.3.4.1 Prohlášení o shodě ... 771
5.1.4 NAŘÍZENÍ VLÁDY Č. 190/2002 SB. ... 772
5.1.4.1 Evropské technické schválení ... 772
5.1.4.2 Označení výrobku CE ... 773
**5.2 SPRÁVNÁ LABORATORNÍ PRAXE ... 774**
5.2.1 LABORATORNÍ PROSTŘEDÍ ... 774
5.2.2 ÚPRAVA A SKLADOVÁNÍ VZORKŮ ... 774
5.2.3 MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH VELIČIN ... 777
5.2.3.1 Měření délek ... 777
5.2.3.2 Měření objemů ... 779
5.2.3.3 Vážení ... 780
5.2.3.4 Měření času ... 782
5.2.3.5 Měření teploty ... 782
5.2.3.6 Měření vlhkosti ... 782
5.2.4 CHYBY MĚŘENÍ ... 783
5.2.5 AKREDITOVANÁ LABORATOŘ ... 785
5.2.5.1 Stanovení shody a neshody ... 788
**5.3 ZKOUŠENÍ BETONU ... 791**
5.3.1 ZKOUŠKY ČERSTVÉHO BETONU ... 791
5.3.1.1 Stanovení konzistence čerstvého betonu ... 792
5.3.1.1.1 Zkouška sednutím ... 792
5.3.1.1.2 Zkouška Vebe ... 794

5.3.1.1.3 Zkouška zhutněním ... 796
5.3.1.1.4 Zkouška rozlitím ... 797
5.3.1.1.5 Zkouška rozlitím u samozhutnitelných betonů ... 797
5.3.1.1.6 Zkouška L-truhlíkem (L-Box test) ... 798
5.3.1.1.7 Zkouška J-kroužkem (J-Ring test¨) ... 798
5.3.1.1.8 Zkouška V- nálevkou (V-funel test) ... 799
5.3.1.2 Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu ... 800
5.3.1.3 Stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu ... 801
5.3.1.3.1 Metoda vodního sloupce ... 801
5.3.1.3.2 Metoda tlaková ... 802
5.3.1.4 Stanovení tuhnutí čerstvého betonu ... 803
5.3.2 ZKOUŠKY ZTVRDLÉHO BETONU ... 803
5.3.2.1 Pevnost v tlaku ... 806
5.3.2.2 Pevnost v tahu ohybem ... 808
5.3.2.3 Pevnost v příčném tahu ... 810
5.3.2.4 Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu ... 811
5.3.2.5 Stanovení hloubky průsaku tlakové vody ... 814
5.3.2.6 Stanovení vlhkostních a sorpčních charakteristik betonu ... 815
5.3.2.7 Stanovení deformačních vlastností betonu ... 817
5.3.2.8 Mrazuvzdornost betonu ... 819
5.3.2.9 Odolnost povrchu betonu proti rozmrazovacím prostředkům ... 819
**5.4 ZKOUŠENÍ CEMENTU ... 821**
5.4.1 ODBĚR A ÚPRAVA VZORKŮ ... 821
5.4.2 STANOVENÍ MĚRNÉ HMOTNOSTI CEMENTU ... 821
5.4.3 STANOVENÍ JEMNOSTI MLETÍ ... 825
5.4.3.1 Prosévací metoda ... 825
5.4.3.2 Permeabilitní metoda ... 825
5.4.4 POŽADAVKY NA MECHANICKÉ A FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI ... 829
5.4.4.1 Příprava kaše normální hustoty ... 829
5.4.4.2 Stanovení dob tuhnutí ... 831
5.4.4.3 Stanovení objemové stálosti ... 832
5.4.4.4 Výroba zkušebních těles pro zkoušky pevnosti ... 833
5.4.4.5 Uložení zkušebních těles ... 836
5.4.4.6 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu ... 837
5.4.4.7 Stanovení pevnosti v tlaku ... 839
5.4.5 POŽADAVKY NA CHEMICKÉ VLASTNOSTI ... 842
5.4.6 STANOVENÍ HYDRATAČNÍHO TEPLA ... 843
5.4.6.1 Rozpouštěcí metoda ... 843
5.4.6.2 Semiadiabatická metoda ... 843
**5.5 ZKOUŠENÍ KAMENIVA ... 845**
5.5.1 NÁZVOSLOVÍ ... 845
5.5.2 OZNAČOVÁNÍ KAMENIVA ... 846
5.5.3 TECHNICKÉ POŽADAVKY ... 846
5.5.4 ODBĚR ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ ... 846
5.5.5 GEOMETRICKÉ VLASTNOSTI ... 848
5.5.5.1 Zrnitost ... 848
5.5.5.2 Tvar zrn hrubého kameniva ... 852
5.5.5.3 Obsah jemných částic ... 854
5.5.5.4 Stanovení hlinitosti kameniva ... 854
5.5.6 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI ... 855
5.5.6.1 Měrná a objemová hmotnost, nasákavost ... 855
5.5.6.1.1 Metoda s drátěným košem ... 855
5.5.6.1.2 Metoda pyknometrická ... 856
5.5.6.1.3 Metoda pomocí odměrného válce ... 857
5.5.6.2 Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti kameniva ... 860

5.5.6.3 Stanovení vlhkosti kameniva ... 861
5.5.6.4 Stanovení dalších fyzikálních vlastností kameniva ... 861
5.5.7 CHEMICKÉ VLASTNOSTI ... 862
5.5.7.1 Stanovení složek ovlivňujících tuhnutí a tvrdnutí ... 862
5.5.7.2 Obsah chloridů ... 865
5.5.7.3 Obsah síry ... 866
5.5.7.4 Ověření přítomnosti reaktivních částic sirníku železa ... 868
5.5.7.5 Citlivost kameniva vůči alkáliím ... 868
5.5.7.6 Zdravotní nezávadnost kameniva ... 870
**5.6 ZKOUŠENÍ STAVEBNÍ OCELI ... 872**
5.6.1 ZKOUŠKA OCELI TAHEM ... 872
**5.7 ZKOUŠENÍ CIHLÁŘSKÝCH VÝROBKŮ ... 875**
5.7.1 PÁLENÉ ZDICÍ PRVKY ... 875
5.7.1.1 Počáteční zkoušky ... 875
5.7.1.2 Řízení výroby u výrobce ... 876
5.7.1.3 Stanovení pevnosti v tlaku ... 877
5.7.1.3.1 Zásady pro přípravu vzorku ... 877
5.7.1.3.2 Postup zkoušení ... 877
5.7.2 PÁLENÉ STŘEŠNÍ TAŠKY PRO SKLÁDANÉ KRYTINY ... 878
5.7.3 STROPNÍ PRVKY ... 878
**5.8 ZKOUŠENÍ AUTOKLÁVOVANÝCH VÝROBKŮ ... 880**
5.8.1 ZKOUŠENÍ VÁPENOPÍSKOVÝCH ZDICÍCH PRVKŮ ... 880
5.8.1.1 Pevnost v tlaku ... 881
5.8.1.2 Tepelnětechnické vlastnosti ... 881
5.8.1.3 Trvanlivost ... 881
5.8.1.4 Propustnost vodních par ... 882
5.8.1.5 Reakce na oheň ... 882
5.8.1.6 Nasákavost ... 882
5.8.1.7 Vlhkostní přetvoření ... 883
5.8.1.8 Přídržnost ... 883
5.8.2 ZKOUŠENÍ PÓROBETONU ... 883
5.8.2.1 Odběr a příprava zkušebních těles ... 884
5.8.2.2 Stanovení objemové hmotnosti pórobetonu ... 886
5.8.2.2.1 Gravimetrická metoda ... 886
5.8.2.2.2 Metoda nepřímého stanovení ... 887
5.8.2.3 Stanovení pevnosti v tlaku ... 888
5.8.2.4 Vyhodnocení zkoušek pórobetonu ... 888
5.8.2.4.1 Hodnocení dle ČSN EN 12602 ... 888
5.8.2.4.2 Hodnocení dle ČSN 73 1350 ... 889
**5.9 ZKOUŠENÍ MALT ... 892**
5.9.1 ZKOUŠKY ČERSTVÉ MALTY ... 892
5.9.2 ZKOUŠKY ZTVRDLÉ MALTY ... 895
**5.10 STANOVENÍ SOUČINITELE TEPELNÉ VODIVOSTI ... 899**
5.10.1 STACIONÁRNÍ METODY ... 899
5.10.1.1 Metoda válce ... 900
5.10.1.2 Metoda desky ... 900
5.10.1.3 Metoda koule ... 906
5.10.2 NESTACIONÁRNÍ METODY ... 907
**5.11 STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI ... 909**
5.11.1 STANOVENÍ STATICKÉHO MODULU PRUŽNOSTI. ... 909
5.11.1.1 Grafické vyjádření modulu pružnosti ... 910
5.11.1.2 Měření deformací ... 912
5.11.1.3 Postup měření elektrickými tenzometry ... 914
5.11.2 STANOVENÍ DYNAMICKÉHO MODULU PRUŽNOSTI ... 917
**5.12 ANALÝZA STAVEBNÍCH HMOT ... 917**

5.12.1 KVALITATIVNÍ ANALÝZA ... 919
5.12.1.1 Identifikace polymerů ... 919
5.12.2 KVANTITATIVNÍ ANALÝZA ... 921
5.12.2.1 Orientační stanovení ... 921
5.12.2.2 Gravimetrie ... 921
5.12.2.3 Volumetrie ... 923
5.12.2.4 Instrumentální analýza ... 924
5.12.3 SILIKÁTOVÝ ROZBOR ... 924
5.12.3.1 Rozbor cementu ... 925
5.12.3.1.1 Mineralogické složení cementového slínku ... 925
5.12.3.1.2 Stanovení chloridů, oxidu uhličitého a alkalií ... 929
5.12.3.1.3 Stanovení šestimocného chromu ... 930
5.12.3.1.4 Zjištění pucolanity ... 930
5.12.3.1.5 Analýza složek směsných cementů ... 931
5.12.3.2 Stanovení hmotnosti složek betonu ... 932
5.12.4 ROZBOR VODY ... 932

**6 FORMULACE STAVEBNÍCH HMOT ... 934**

**6.1 ZÁKLADNÍ POJMY FORMULAČNÍHO INŽENÝRSTVÍ ... 936**
6.1.1 DEFINICE FORMULACE ... 936
6.1.2 RECEPTURA A REGLEMENT ... 936
6.1.3 KOMPOZICE A KOMPONENTY ... 937
6.1.3.1 Kvalitativní a kvantitativní složení ... 937
6.1.3.2 Koncentrační vyjádření ... 939
6.1.3.3 Hmotnostní bilance ... 939
6.1.4 OPTIMÁLNÍ FORMULACE ... 942
6.1.5 FORMULAČNÍ EXPERIMENT ... 943
**6.2 FORMULAČNÍ METODIKA ... 945**
6.2.1 VÝCHOZÍ NÁVRH ... 946
6.2.2 ANALÝZA VÝCHOZÍHO NÁVRHU ... 948
6.2.2.1 Výběr rozsahu faktorů ... 949
6.2.2.2 Stanovení významné přesnosti ... 949
6.2.2.3 Výběr formulačních kriterií ... 950
6.2.3 PROVEDENÍ EXPERIMENTŮ ... 954
6.2.3.1 Jednofaktorová optimalizace ... 954
6.2.3.2 Opakovaná jednofaktorová optimalizace ... 956
6.2.3.3 Vícefaktorová optimalizace ... 956
6.2.3.3.1 Plánování experimentů ... 957
6.2.3.3.2 Sekvenční optimalizace ... 959
6.2.4 ANALÝZA VÝSLEDKŮ ... 961
6.2.5 KONEČNÝ NÁVRH ... 961
**6.3 REALIZACE FORMULACE ... 963**
6.3.1 KAPALNÉ SMĚSI ... 963
6.3.2 ZRNITÉ SMĚSI ... 965
6.3.2.1 Suché zrnité směsi ... 965
6.3.2.2 Těstovité směsi ... 968
6.3.3 KUSOVÉ FORMULOVANÉ VÝROBKY ... 970
6.3.4 VÍCESLOŽKOVÉ FINÁLNÍ VÝROBKY ... 970
**6.4 SOFTWAROVÁ PODPORA ... 971**
6.4.1 KOMERČNÍ FORMULAČNÍ PROGRAMY ... 971
6.4.2 FORMULAČNÍ FREEWARE ... 973
6.4.2.1 DDtest ... 974
6.4.2.2 Aggmix 3.0 ... 975

6.4.2.3 Sova 1.0 ..... 977
6.4.3 PROGRAMY PRO MULTIKRITERIÁLNÍ VÝBĚR ..... 979
6.4.4 PROGRAMY PRO HMOTNOSTNÍ A MATERIÁLOVÉ BILANCE ..... 980
**6.5 BUDOUCNOST FORMULAČNÍHO INŽENÝRSTVÍ ..... 981**

**7 LITERATURA ..... 983**

# Předmluva k čtvrtému vydání

První vydání knihy. Stavební hmoty které vyšlo v českém jazyce v roce 2004 bylo odbornou veřejností v Čechách i na Slovensku přijato velmi vlídně a během jednoho roku bylo kompletně rozebráno.

V roce 2005 se proto uskutečnil dotisk prvního vydání a ve stejném roce vyšel pod názvem Stavebné materiály i slovenský překlad knihy.

Na mezinárodním stavebním veletrhu FOR ARCH 2005 získala kniha Stavební hmoty „Čestné uznání v kategorii Odborné publikace z oblasti stavebně technické“.

Po rozebrání dotisku z roku 2005 vyšlo v roce 2007 druhé vydání, které bylo během tří let také rozebráno a ani slovenský překlad knihy z roku 2005 u nás již v roce 2010 nebyl dostupný.

Nedostatek výtisků knihy Stavební hmoty na knižním trhu se projevil svépomocným rozšiřováním naskenované kopie knihy a to v papírové i elektronické formě. Potřeba nového vydání knihy se tím stala zcela zjevnou.

Třetí (elektronické) vydání v roce 2013 vycházelo z předešlých dvou tištěných knižních vydání, které napsal kolektiv autorů: doc. Ing. Luboš Svoboda, CSc. (vedoucí autorského kolektivu), Ing. arch. Zdenka Bažantová, CSc., Ing. Milan Myška, Ph.D., doc. Ing. Jaroslav Novák, CSc., doc. Ing. Zdeněk Tobolka, CSc., doc. Ing. Roman Vávra, Ph.D., doc. Ing. Alena Vimmrová, Ph.D., a doc. Ing. Jaroslav Výborný, CSc.

Kromě oprav, nezbytných aktualizací a doplňujících vsuvek byly v textu provedeny i určité stylistické zásahy, kterými jsem reagoval na zkušenosti získané při výukovém používání knihy.

Počet zájemců o webovou prezentaci třetího vydání není přesně znám, protože původně používané počítadlo (CNW Counter) bylo zcela nekorektně bez výstrahy zrušeno. Podle dochovaných záznamů a z údajů nového počitadla (Flag Counter) lze mít za to, že stránku s textem knihy Stavební hmoty navštívilo dosud více než osmnáct tisíc zájemců.

V současném čtvrtém vydání jsem kromě drobných vsuvek doplnil novou šestou část, věnovanou formulaci nových stavebních hmot.

Všechny úpravy jsem prováděl z pozice vedoucího autorského kolektivu osobně a skutečnost, že jsem tak činil na základě textů vytvořených výše uvedenými autory, nemění nic na tom, že jsem odpovědný za celkový výsledek.

Čtvrté vydání knihy Stavební hmoty je autorským dílem, které je vydáváno ve formě elektronického souboru. Pro svou osobní potřebu každý může pořídit kopii tohoto elektronického souboru, aniž by zasahoval do autorských práv. Zhotovení tištěné kopie výlučně pro vlastní potřebu je rovněž možné.

Rozšiřování za úplatu, nebo jakékoliv jiné komerční využití však není dovoleno.

V Praze 30. 6. 2018

Luboš Svoboda

# 1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY STAVEBNÍCH HMOT

Slovní spojení *stavební hmoty* je tradiční pojem zahrnující všechno, co se stává přímou součástí stavební konstrukce a s čím se zároveň můžeme setkat přímo na staveništi. Mezi stavební hmoty tedy počítáme nejen vlastní *stavební materiály,* ale i *suroviny* používané k jejich výrobě, pokud se tato výroba uskutečňuje v rámci stavby. Patří sem i pomocné látky usnadňující provádění stavebních technologických operací a v neposlední řadě za stavební hmoty považujeme také *kusová staviva*, což jsou jednoduché výrobky, které jsou charakterizovány nejenom látkou, ze které jsou zhotoveny, ale i svým tvarem a rozměry.

Mezi stavební hmoty nepočítáme složitější stavební výrobky, zejména takové, které mají charakter pohyblivé nebo mnohaprvkové konstrukce, jako jsou okna nebo dveře. Vést přesnou dělicí čáru mezi jednoduchým a složitým výrobkem však je obtížné, protože některá moderní kusová staviva mají poměrně komplikovanou podobu. Spornou otázkou může kupříkladu být zatřídění některých prefabrikátů (např. železobetonových). Mají sice charakter předem vyrobené stavební konstrukce, ale jsou používány jako kusové stavivo.

Soudobé stavebnictví zpracovává jak tradiční hmoty, používané na stavbách již po mnoho generací, tak hmoty zcela nové vyrobené na základě nejnovějších vědeckých poznatků. Počet materiálů cíleně vyvíjených pro potřebu nějaké významné stavby nebo pro speciální stavební použití stále vzrůstá. Velká pozornost je věnována zlepšování vlastností stávajících stavebních hmot a původně speciální materiály se postupně mění v materiály běžné.

Řada stavebních materiálů a staviv je dostupná v mnoha látkových modifikacích či výrobkových variantách a rozdíly ve vlastnostech zdánlivě podobných stavebních hmot přitom mohou být podstatné. K témuž účelu je naopak často možné použít stavební hmoty různého druhu se zcela různým látkovým složením.

Sortiment v současnosti používaných stavebních hmot je neobyčejně rozsáhlý a optimální výběr hmotného řešení stavby není jednoduchým úkolem.

O výběru stavebního materiálu pro každý konkrétní účel rozhodují legislativní, technické, ekonomické a subjektivní požadavky.

Na prvé místo je třeba klást požadavky legislativní. Každý stavební materiál musí především vyhovovat závazným předpisům platným v čase a v místě budoucí stavby. Legislativní omezení jsou nejčastěji dána požadavky na požární a zdravotní vlastnosti materiálů, které mohou být pro některé typy staveb přísnější (potravinářské provozy, skladiště pohonných hmot).

Závazný předpis může stanovit přípustný (respektive nepřípustný) materiál i s ohledem na charakter městské rezervace nebo chráněné krajinné oblasti.

Zpřísněný pohled na hygienické vlastnosti dříve běžně používaného materiálu může vést i k jeho úplnému zákazu.

Vybíraný materiál dále musí splňovat požadovanou technickou funkci. Podle zamýšleného použití musí být například dostatečně pevný, tepelně izolující, vodonepropustný či mrazuvzdorný. Technický požadavek může mít stejně

imperativní charakter jako požadavek legislativní a do značné míry se technický a legislativní charakter požadavku může prolínat (minimální tepelný odpor konstrukce, staticky bezpečný objekt).

Součástí optimálního výběru musí být i velmi komplexní úvaha o užitné hodnotě materiálu a nákladech spojených s jeho použitím. Kromě vlastností, které jsou pro daný úkol nezbytné, vykazují totiž jednotlivé materiály i další vlastnosti, které jsou „pouze“ více či méně výhodné.

Výsledné investiční náklady zdaleka nejsou dány jen cenou materiálu, ale souvisí s celým konstrukčním řešením a použitou technologií výstavby. Navíc je třeba brát v úvahu, že stanovení samotných investičních nákladů není úplným zhodnocením ekonomické výhodnosti či nevýhodnosti řešení.

Striktní minimalizace investičních nákladů je smysluplná jen tam, kde jsou investiční zdroje omezené, nebo tam, kde další náklady na provoz a údržbu objektu nejsou zajímavé (dočasné stavby). Ve všech ostatních případech je třeba uvažovat, jak časté a jak nákladné udržovací práce si zvolené materiálové řešení vyžádá a jaké provozní náklady jsou vůbec spojeny s použitým řešením (výrazným provozním nákladem je vytápění objektu). Podstatná je i celková životnost konstrukce ze zvoleného materiálu.

Při ekonomických úvahách je třeba uvažovat i účel stavěného objektu a zohledňovat i ztráty, ke kterým může dojít ve výrobních nebo obchodních objektech, pokud v nich z důvodu opravy či údržby musí být přerušen provoz. U dočasných staveb mohou být ekonomicky významné také náklady na likvidaci použitých materiálů.

Nepominutelným výběrovým faktorem je subjektivní přesvědčení investora, popřípadě projektanta o tom, který materiál je pro daný objekt vhodný. Subjektivní kritérium přitom může mít charakter estetického názoru (který ovšem zdaleka nemusí odpovídat obecnému vkusu) nebo se může jednat o jakousi osobní iracionální představu o kvalitě či životnosti materiálu. Materiály, kterým rozhodující účastník výstavby dá přednost ze subjektivních důvodů, můžeme označit jako preferované.

Racionální materiálové řešení probíhá postupnou aplikací výběrových faktorů v tom pořadí, v jakém byly uvedeny (*obr. 1.1*)

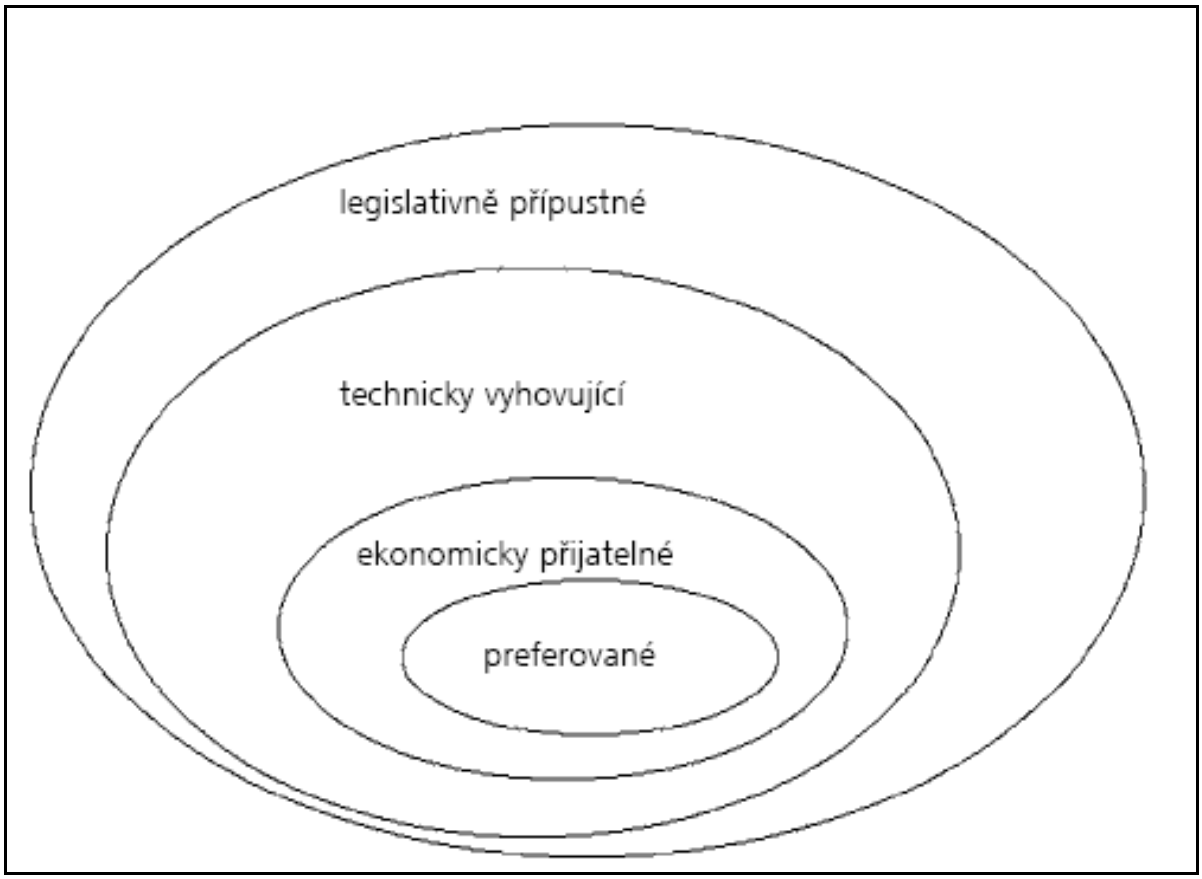
. Navrhované materiály musí být především legislativně přípustné a pak se jejich další výběr provádí z hlediska technického.

Teprve nad množinou technicky možných řešení je možné uvažovat o nákladech. A teprve se znalostí nákladů je možné realisticky uvažovat o tom, které subjektivně vyhovující řešení bude případně možné preferovat z jiných než technických nebo ekonomických důvodů.

Správný výběr materiálu vyžaduje především dobrou výchozí znalost vlastností všech materiálů padajících v úvahu.

Řadu údajů musíme znát už při pouhém posouzení přípustnosti a technické použitelnosti a je zřejmé, že k tomu, aby bylo možné provádět výše uvedené ekonomické úvahy, je zapotřebí celá řada dalších údajů o vlastnostech a chování materiálů.

Při hodnocení vlastností materiálů používáme tři navzájem se doplňující druhy poznatků: praktické zkušenosti s používáním materiálu, výsledky standardních zkoušek materiálu a znalost materiálové struktury.




*Obr. 1.1* Výběr materiálů

Zejména u tradičních materiálů můžeme jejich vhodnost k určitému účelu posuzovat na základě zkušeností s jejich použitím ve stejných nebo podobných konstrukcích. Tyto praktické zkušenosti jsou nesmírně cenné, protože žádná zkouška nemůže zachytit a napodobit všechny vlivy, kterým je materiál při reálném použití vystaven.

Nejzajímavější jsou zkušenosti opravdu dlouhodobé, které lze chápat jako přímý doklad o životnosti příslušného materiálu. Bezprostřední využitelnost poznatků o chování materiálů ve starších stavbách je ovšem do určité míry omezena tím, že tyto stavby jsou zhotoveny špatně zdokumentovanými technologickými postupy (které navíc často nejsou pro moderní stavebnictví vhodné) a že došlo ke značným změnám jak v našem životním stylu, tak v našem životním prostředí.

Druhým zdrojem poznatků jsou data získaná sledováním konkrétního materiálu standardními zkušebními postupy za definovaných zkušebních podmínek. Detailní postupy pro zkoušení určitých materiálových vlastností jsou dnes sjednoceny v podobě národních nebo nadnárodních zkušebních norem.

V samostatných jakostních normách jsou pak stanoveny hodnoty, které daný materiál musí v jednotlivých zkouškách vykázat, aby mohl být použit pro určitý účel. Výsledky normových zkoušek se zároveň používají jako základ konstrukčních výpočtů.

Velikost vzorku použitého k jakémukoliv hodnocení materiálu a způsob jeho odběru bývají rovněž předepsány příslušnou zkušební nebo materiálovou normou a aspekt správné volby vzorku nesmí být podceňován.

Zkoušený vzorek musí být především vzorkem reprezentativním, tedy vzorkem tak velkým, aby v sobě obsahoval v potřebné míře všechny složky ovlivňující výsledné vlastnosti. Potřebná velikost zkušebního vzorku může také záviset na použité zkušební technice či na citlivosti použité zkušební metody.

Běžným praktickým úkolem je hodnocení konkrétní dodávky nebo zásoby nějaké stavební hmoty. V tomto případě musí být zkoušený vzorek také vzorkem průměrným. Mnohdy je předepsán odběr určitého souboru vzorků.

Dodržet všechny zásady správného odběru vzorku není jednoduché, a v praxi proto bývají tyto zásady často porušovány. Odchýlení od stanoveného postupu však vážně znehodnocuje následně získané výsledky a nemůže být tolerováno, pokud mají normové zkoušky opravdu přinést kvalitní informace.

Třetí skupina poznatků vychází ze znalosti struktury materiálu a ze znalosti fyzikálně-chemických souvislostí mezi strukturou a chováním. Dokonalé strukturní poznání materiálu a správná interpretace vlivu struktury na vlastnosti není jednoduchou záležitostí. Zvládnutí příslušných vztahů však může být technicky i ekonomicky velmi atraktivní. Cílené ovlivňování struktury dává možnost přizpůsobit vlastnosti materiálu konkrétním požadavkům stavby nebo konstrukce. Ze strukturního poznání můžeme čerpat i podněty pro vývoj úplně nových materiálů.

Velký význam ve výrobě stavebních hmot má stále stoupající úroveň kontroly jakosti a rostoucí úroveň udržování optimální hodnoty technologických parametrů.

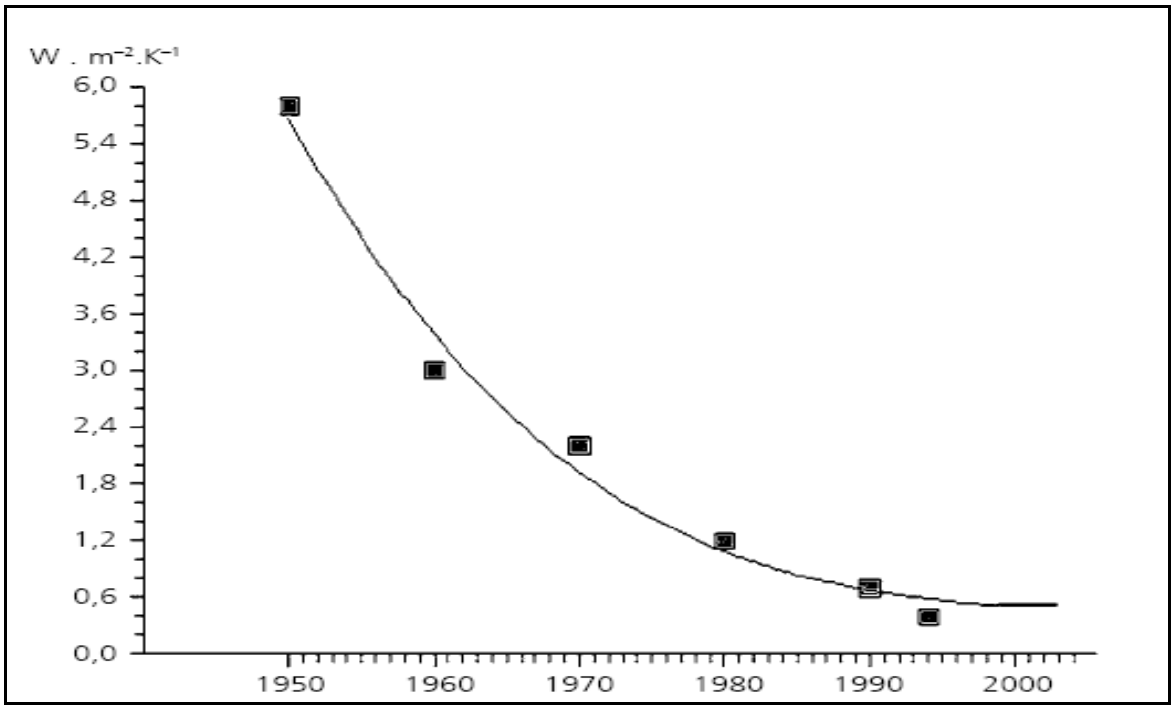
Výroba stavebních hmot je do určité míry obor konservativní. Velké výrobní objemy vyžadují nákladné výrobní celky napojené na dostatečně kapacitní surovinové zdroje a každá zásadní změna technologie pak představuje rozhodnutí s velkým ekonomickým dopadem.

Množina materiálů nabízených pro stavební použití je přesto neustále doplňována nově vyvinutými výrobky. V případě základních stavebních hmot však většinou nejde o výrobky nějakého zásadně nového složení, ale spíše o výrobky zdokonalené popřípadě o značkové výrobky se stálou či zaručenou kvalitou.

Potřeba úpravy stávajících uživatelských vlastností stavebních výrobků může být vyvolána změněnou společenskou situací. V posledních letech to byl výrazný nárůst vytápěcích nákladů, který vedl k výraznému zlepšení tepelných vlastností řady používaných materiálů a konstrukčních prvků.

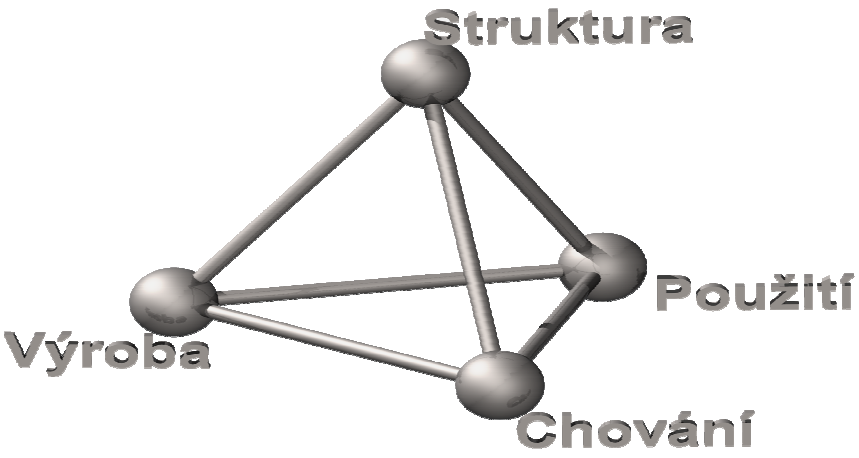
Příkladem může být třeba okenní zasklení, u něhož se postupnou konstrukční a materiálovou úpravou podařilo snížit součinitel prostupu tepla tak, jak je uvedeno na *obr. 1.2*.

Interdisciplinárním předmětem orientovaným na problematiku materiálů je *materiálové inženýrství*, které je dnes součástí studijních programů většiny vysokých stavebních škol.




*Obr. 1.2* Postupné snižování prostupu tepla okenním zasklením

V materiálovém inženýrství jsou sledovány vztahy mezi strukturou a vlastnostmi (chováním) materiálu, zároveň se studuje jaký dopad mají změny vlastností na užitnou hodnotu materiálů a jakým způsobem je možné ovlivnit strukturu materiálu (tedy i jeho vlastnosti) úpravou či změnou výrobního procesu.




*Obr. 1.3* Vztahový tetraedr charakterizující materiálové inženýrství

Reálnou použitelnost stavebního materiálu kromě mechanických vlastností a trvanlivosti, často určují jeho tepelně-vlhkostní parametry. Proto je v materiálovém inženýrství kladen důraz na problematiku transportu tepla a problematiku transportu vlhkosti studovanou s ohledem na charakter a účel stavebních materiálů, a s ohledem na typické podmínky jejich použití.

Základními vědními disciplínami využívanými v materiálovém inženýrství jsou chemie a fyzika, ke zpracování a zobecnění získaných poznatků slouží sofistikované výpočtové postupy založené na modelování či simulaci určitých jevů a stavů.

Pro materiálové studie a jejich následnou interpretaci se používá postup založený na pozorování a pokusech v podobě společné pro všechny experimentální vědní discipliny.

Prvotní je precizní a nepředpojaté pozorování objektivně existujících skutečností, následované pokusem o jejich sjednocení či vysvětlení pomocí určité hypotézy.

Na základě této hypotézy se pak plánují další experimenty, jejichž výsledky buď výchozí premisu posilují, nebo naopak vedou k její korekci či úplnému zamítnutí.

Dostatečně potvrzené hypotézy získávají charakter zákonitostí, které dovolují předpovědět budoucí chování materiálu na základě jeho struktury a případně umožňují i navrhovat strukturní úpravy vedoucí ke změně těchto vlastností.

S ohledem na rostoucí podíl teoretických poznatků zkoumaných v rámci materiálové inženýrství dochází k určitému potlačení původního prakticky orientovaného přístupu a proto se dnes termín materiálové inženýrství často doplňuje, nebo přímo nahrazuje, termínem *materiálová věda*.

V současném stavebnictví mají rostoucí význam výrobky přizpůsobené „na míru“ budoucí funkci v určitém objektu a současně i specifickým podmínkám panujícím při aplikaci dotyčného výrobku na příslušné stavbě.

Úspěšná aplikace takovýchto zakázkových (*tailor made*) materiálů je samozřejmě podmíněna nejen teoretickými znalostmi o vztazích mezi strukturou a vlastnostm, ale i praktickými zušenostmi a náležitým realizačním zázemím. Vznikají proto firmy orientované na dodávky a aplikace speciálních materiálů.

Z možná až příliš širokého oboru, kterým je materiálové inženýrství se proto jako relativně samostatná disciplina vyděluje *formulační inženýrství* orientované bezprostředně na vývoj kompozitních materiálů. V široké míře využívá různé optimalizační postupy, monitoruje vznik nových nových materiálů a hledá inspiraci pro tvorbu nových materiálů i v příbuzných odvětvích.

K nejčastějším úkolům v oblasti formulačního inženýrství patří inovace stávajících kompozitních materiálů vedoucí ke zlepšení vlastností nebo ke snižování výrobních nákladů.

Pro tyto účely se používají především různé recepturní obměny. Protože jednotlivé složky se mohou vzájemně ovlivňovat a mohou i navzájem spolupracovat (synergický efekt), není stanovení optimální receptury tak prosté, jak se může na první pohled zdát.

Klíčovou roli hraje správná volba optimalizačního kriteria. Obvykle nepostačí zvolit jako optimalizační kriterium jednoduchou fyzikální vlastnost (např. pevnost).

Lepší výsledky se získavájí, když je použit ukazatel komplexnější (složený z více vlastností s různou přidělenou vahou), který daný materiál charakterizuje dostatečně výstižně.

Vlastní optimalizační proces může v zásadě probíhat dvojím způsobem. Buď se postupuje na základě předem stanoveného experimentálního plánu, který se vyhodnocuje jako celek, nebo se jednotlivé optimalizační varianty volí postupně, na základě průběžně získávaných dat.

Velký význam ve výrobě všech stavebních hmot má stále stoupající úroveň kontroly jakosti a rostoucí úroveň udržování optimální hodnoty technologických parametrů. I zde je zřejmá potřeba kvalifikovaných pracovníků k zajišťování této činnosti.

Pokud uvažujeme o tom jak se stát opravdu kvalifikovaným materiálovým specialistou, je třeba připomenout nepominutelný význam osobní praxe a zkušenosti.

Žádný, byť sebedokonalejší, slovní popis či obrázek nás nenaučí správně pracovat s materiálem, ať již touto prací rozumíme experimentální činnost v laboratoři či skutečnou aplikaci materiálu na stavbě.

Obojímu se lze naučit pouze vlastnoruční reálnou činností, která přináší jinak nesdělitelné poznatky.

## 2 CELKOVÝ PŘEHLED

Nabídka stavebních hmot je velmi široká co do množství jejich druhů i množství jejich použití. Pro zjednodušení orientace je možné provádět jejich rozdělování do určitých skupin podle různých hledisek.

Podle původu lze stavební hmoty rozdělit na:

- *přírodní*,
- anorganické (horniny),
- organické (dřevo, bambus, ovčí vlna),
- *umělé*,
- z anorganických surovin (vápno, cement, keramika, sklo, kovy aj.),
- z organických surovin (plasty, bitumeny, aglomerované dřevo),
- z kombinovaných surovin (dřevocement, polystyrenbeton).

Podle použití se stavební materiály dělí na:

- *konstrukční materiály*, tvoří nosnou (vodorovnou, svislou) konstrukci stavby a jsou pro ně důležité zejména mechanické vlastnosti (pevnost),
- *výplňové materiály*, tvoří výplň nosných svislých konstrukcí a mohou zčásti plnit i izolační funkci (akustickou, tepelnou apod.), při porovnání s konstrukčními materiály mají obvykle nižší objemovou hmotnost,
- *izolační materiály*, tvoří ochranu stavby proti působení nežádoucích vlivů,
- dekorační materiály, tvoří povrchové úpravy exteriérových či interiérových povrchů a plní estetickou funkci,
- ostatní materiály.

Izolační materiály se dále dělí na materiály:

- tepelně izolační,
- zvukově izolační,
- hydroizolační (mohou plnit i ochranu proti difúzi radonu nebo ochranu vůči chemickým látkám),

Podle funkce při tvorbě složitějších struktur lze stavební hmoty rozdělit na:

- pojiva,
- plniva,
- vyztužující látky,
- pomocné látky,
- kusová staviva.

Podle materiálové podstaty a technologie výroby se stavební hmoty dělí na:

- kamenné výrobky,
- keramické materiály,
- výrobky ze skla,
- vápenické výrobky,
- cementářské produkty,
- autoklávované výrobky,
- kovové výrobky,
- živičné hmoty,
- plasty,
- výrobky z dřeva a celulosy
- ostatní.

Toto poslední dělení je použito v této knize, protože je z hlediska nauky o stavebních hmotách nejpřirozenější. Při jeho použití se do stejné skupiny dostávají produkty se stejnou látkovou podstatou a jejich vlastnosti je pak možné odvozovat ze společného strukturního základu.

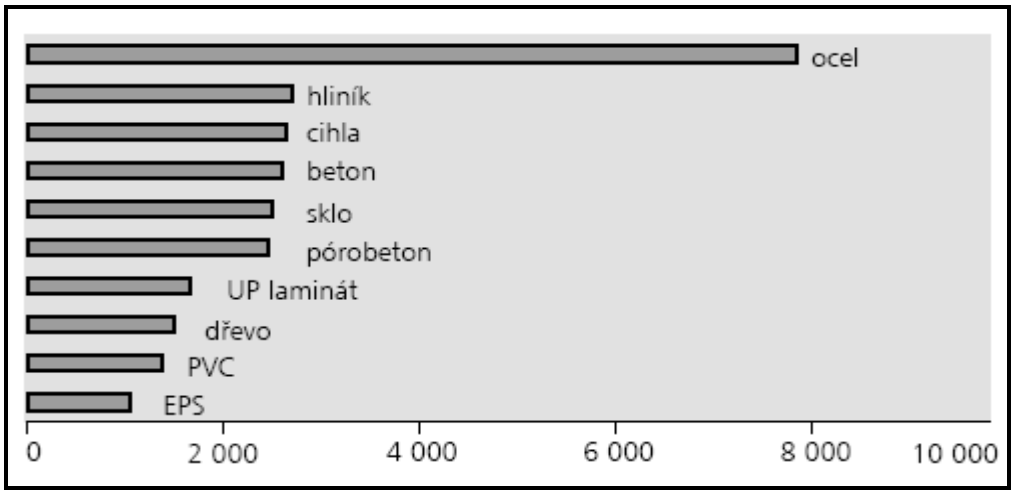
V tab. 2.1 jsou uvedeny typické stavební materiály a jejich nejdůležitější vlastnosti. Tam kde příslušná vlastnost vykazuje výraznější závislosti na konkrétním provedení materiálu je na místo průměrné hodnoty uvedeno rozmezí.

Přehled nejdůležitějších vlastností některých stavebních hmot *Tab. 2.1*

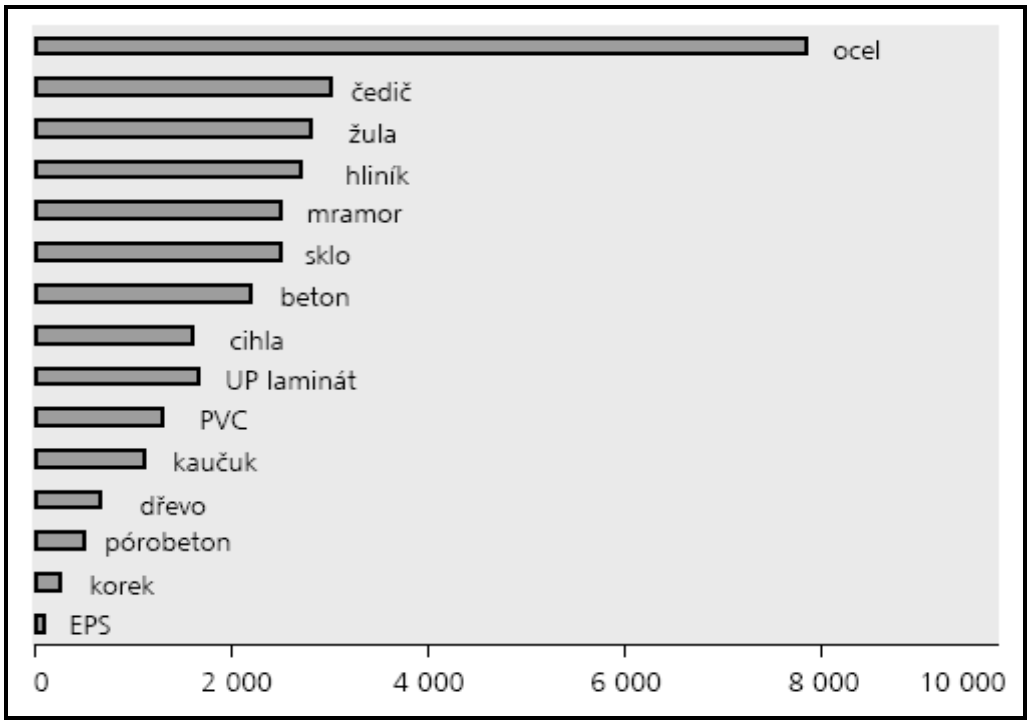
| Vlastnost | | Dřevo | Ocel | Hliník a lehké slitiny | Plné pálené cihly | Beton obyčejný | Pórobeton | PVC tvrdé | Polyester, skelný laminát | Pěnový polystyren |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| hustota | $kg.m^{-3}$ | 1 500 | 7 850 | 2 650 – 2 800 | 2 600 – 2 700 | 2 500 – 2 700 | 2 400 – 2 500 | 1 360 – 1 400 | 1 400 – 1 900 | 1 060 |
| objemová hmotnost v suchém stavu | $kg.m^{-3}$ | 400 – 700 | 7 850 | 2 650 – 2 800 | 1 600 – 2 200 | 2 000 – 2 400 | 400 – 700 | 1 360 – 1 400 | 1 400 – 1 900 | 14 – 100 |
| nasákavost hmotnostní | % | 140 – 170 | 0 | 0 | 20 – 25 | 6 – 13 | 40 – 90 | do 0,4 | 0,5 – 2,1 | 70 – 500 |
| nasákavost objemová | % | 55 – 70 | 0 | 0 | 35 – 55 | 13 – 30 | 35 – 40 | do 0,55 | 0,8 – 4 | do 7 |
| pevnost v tlaku | MPa | 47 – 55 [1)] | 350 – 2 000 [2)] | 70 – 700 [2)] | 6 – 25 [3)] | 6 – 60 [3)] | 2 – 3 | 70 | 100 – 250 | 0,12 – 0,5 |
| pevnost v tahu | MPa | 80 – 135 | 250 – 2 000 | 70 – 700 | 1,2 – 4 | 1 – 5 | 0,2 – 2 | 50 | 150 – 400 | 0,15 – 0,22 |
| modul pružnosti | MPa | 11 000 – 16 000 | 210 000 | 65 000 – 73 000 | 8 000 – 12 000 | 15 000 – 40 000 | 800 – 2 000 | 2 500 – 3 600 | 10 000 – 30 000 | 3,5 – 15 |
| součinitel tepelné vodivosti | $W.m^{-1}.K^{-1}$ | 0,9 – 0,2 [4)] | 50 – 58 | 125 – 210 | 0,65 – 0,8 | 1,2 – 1,75 | 0,12 – 0,25 | 0,15 | 0,175 – 0,30 | 0,035 – 0,045 |
| měrná tepelná kapacita | $kJ.kg^{-1}.K^{-1}$ | 2,1 – 2,7 | 0,46 | 0,92 – 1 | 0,9 – 1,1 | 0,85 – 1,2 | 0,85 | 1 – 1,1 | 1,05 | 1,35 |
| součinitel délkové teplotní roztažnosti | $K^{-1}$ | $3,0 – 5,0.10^{-6}$ | $11 – 12.10^{-6}$ | $20 – 24.10^{-6}$ | $5,0.10^{-6}$ | $9 – 12.10^{-6}$ | $7 – 8.10^{-6}$ | $80.10^{-6}$ | $10 – 17.10^{-6}$ | $\sim 50.10^{-6}$ |

Následující pruhové grafy obsahují porovnání běžných materiálů vždy podle určité vybrané vlastnosti. Hodnoty uváděné v grafech je třeba chápat jako hodnoty průměrné nebo typické.

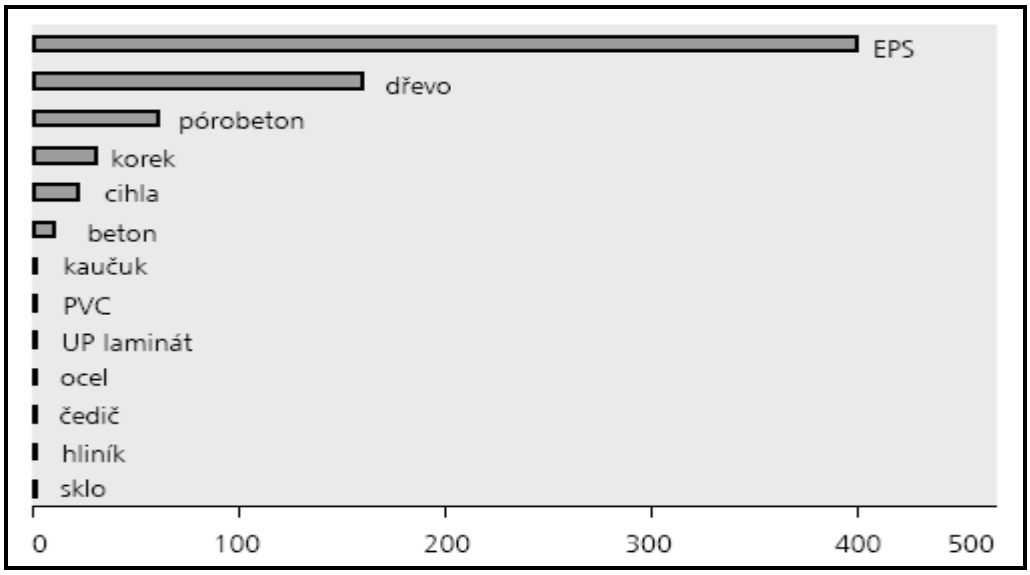
Účelem grafů je přinést orientační srovnání materiálů mezi sebou a usnadnit zapamatování jejich postavení z hlediska hlavních vlastností. Podrobnější údaje o výrobě, vlastnostech a použití jednotlivých materiálů jsou umístěny ve čtvrté části knihy.



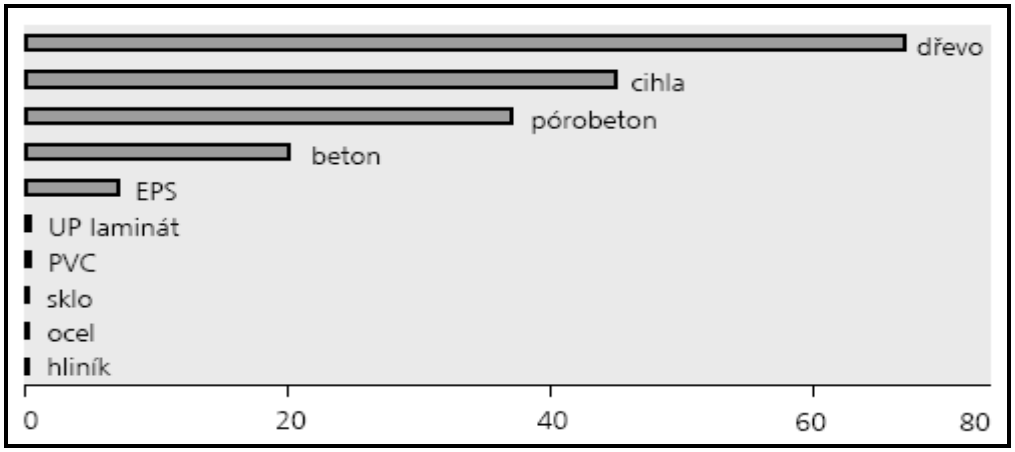

*Obr. 2.1* Hustota (kg.m$^{-3}$)



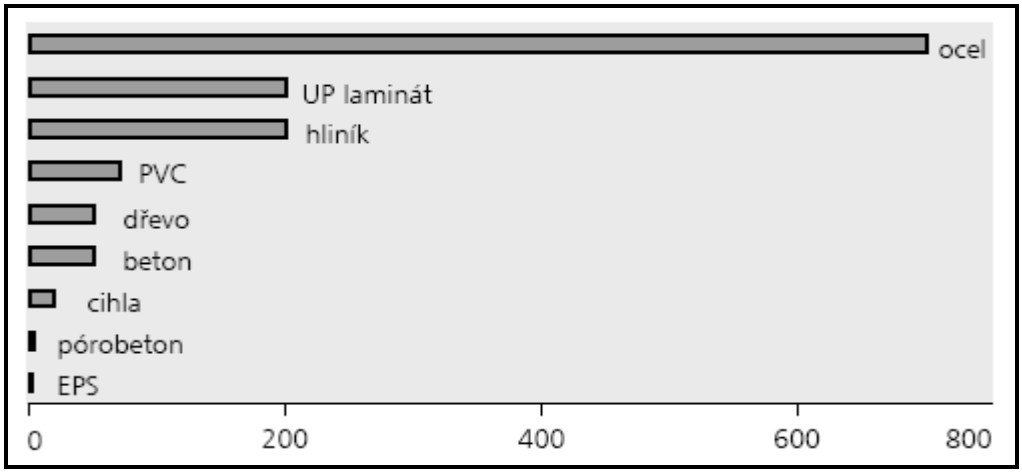

*Obr. 2.2* Objemová hmotnost (kg.m$^{-3}$)



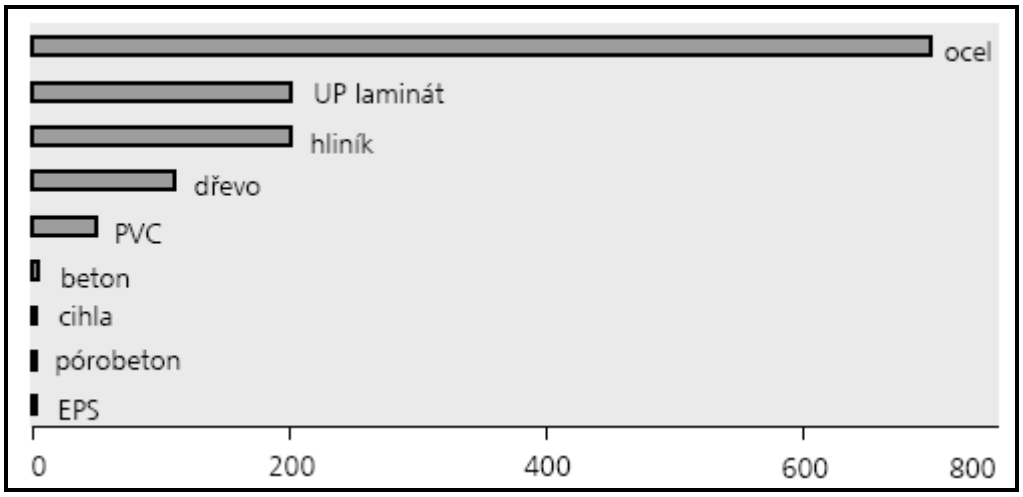

*Obr. 2.3* Hmotnostní nasákavost (%)



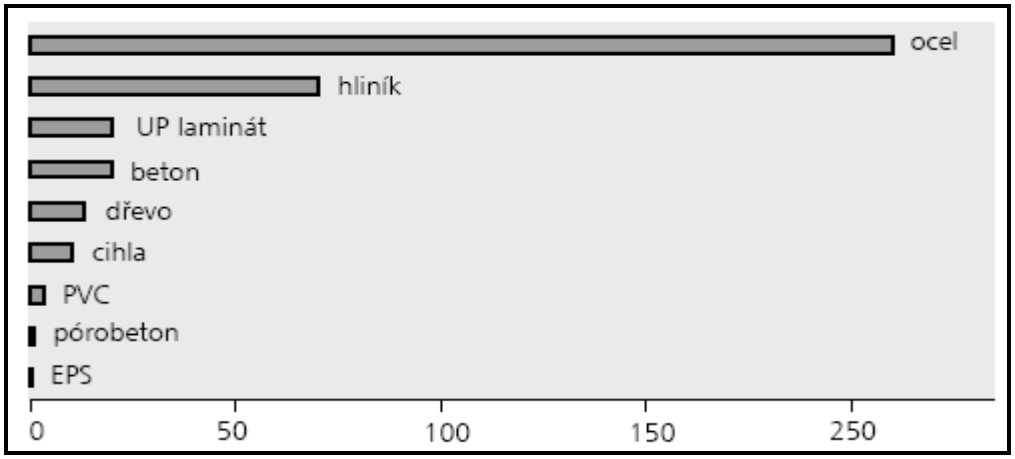

*Obr. 2.4* Objemová nasákavost (%)



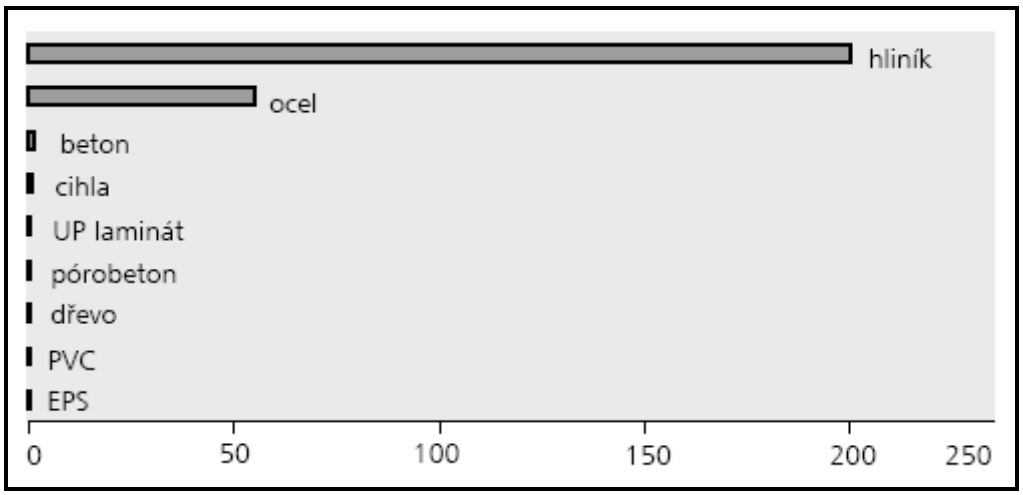

*Obr. 2.5* Pevnost v tlaku (MPa)



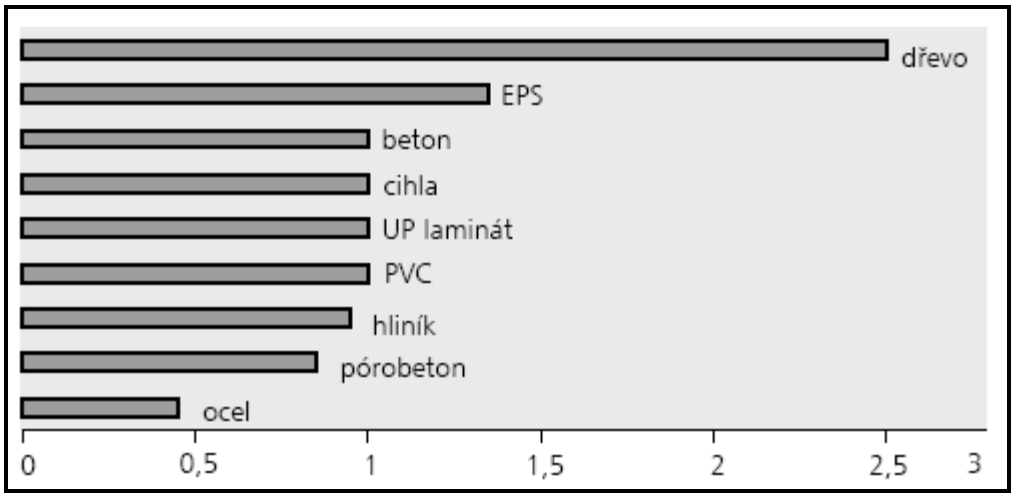

*Obr. 2.6* Pevnost v tahu (MPa)



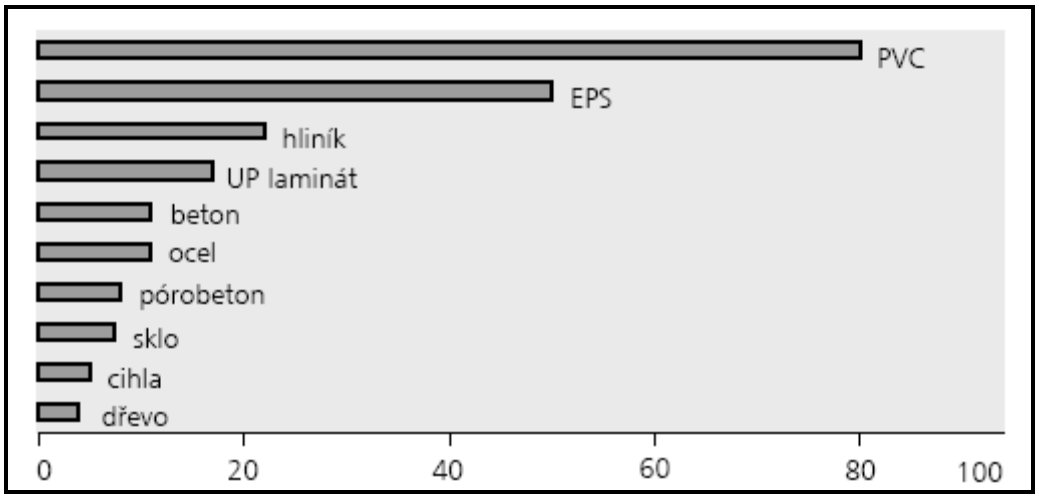

*Obr. 2.7* Modul pružnosti (GPa)



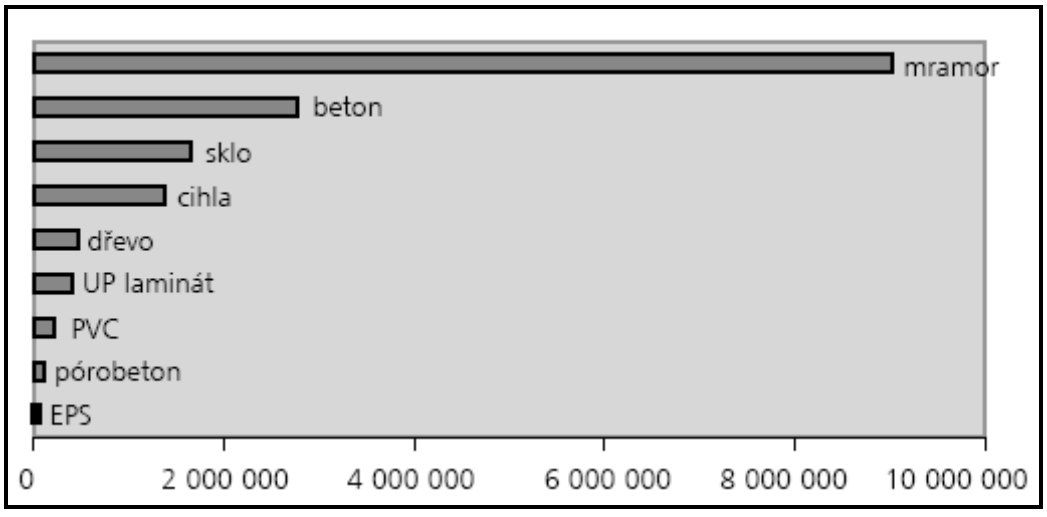

*Obr. 2.8* Součinitel tepelné vodivosti ($W.m^{-1}.K^{-1}$)



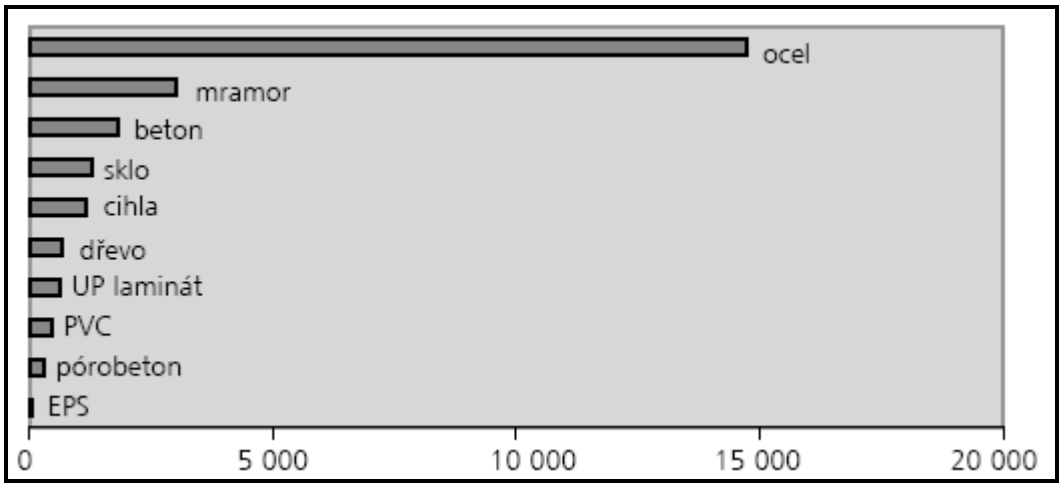

*Obr. 2.9* Měrná tepelná kapacita ($kJ.kg^{-1}.K^{-1}$)




*Obr. 2.10* Součinitel délkové teplotní roztažnosti ($10^{-6}$ . $K^{-1}$)




*Obr. 2.11* Tepelná jímavost ($W^2.s.m^{-4}.K^{-2}$)




*Obr. 2.12* Tepelná jímavost podlahy ($W.s^{0,5}.m^{-2}.K^{-1}$)

Zvláštní klasifikaci stavebních hmot představuje třídění podle energetické náročnosti výroby.

Objemová hmotnost a energetická náročnost výroby vybraných materiálů *Tab. 2.2*

| Materiál | Objemová hmotnost [kg/m$^{3}$] | Energetická náročnost hmotnostní [MJ/kg] | Energetická náročnost objemová [MJ/dm$^{3}$] |
|---|---|---|---|
| Prostý beton | 2300 | 0,69 | 1,59 |
| Armovací ocel | 7800 | 22,7 | 177,1 |
| Tvárnice THERM | 800 | 2,49 | 1,99 |
| EPS 25 | 25 | 98,5 | 2,46 |
| Minerální vlna | 104 | 23,3 | 2,42 |
| Korková deska | 120 | 7,1 | 0,85 |
| Sádrokarton | 850 | 4,44 | 3,77 |
| Dřevo (fošna) | 540 | 1,89 | 1,02 |
| OSB deska | 660 | 9,32 | 6,15 |
| Překližka | 455 | 8,04 | 3,66 |

K novějším ekologickým kriteriím patří tak zvaná *uhlíková stopa*.

Jedná se o množství $CO_2$ a ostatních skleníkových plynů (přepočtené na ekvivalentní množství $CO_2$), které se během životního cyklu stavebního materiálu uvolnění do ovzduší.

Výpočet uhlíkové stopy není jednoduchý, v úvahu se bere nejen výroba ale i doprava na místo, užívání (údržba) a likvidace po skončení životnosti.

Jednoduchou ekologickou klasifikaci stavebních materiálů je možné také provést posouzením obnovitelnosti výchozích zdrojů používaných při jejich výrobě a zhodnocením možností recyklace po vyčerpání životnosti.

Uhlíková stopa vybraných stavebních materiálů *Tab. 2.3*

| Stavební materiál | Uhlíková stopa (kg $CO_2$ ekv./kg) |
|---|---|
| Plná pálená cihla | 0,23862 |
| Cement | 0,76122 |
| Hlína | 0,00293 |
| OSB deska | 0,48132 |
| Sádrokarton | 0,35429 |
| Expandovaný polystyren | 4,2121 |

I když se zatím jedná o dělení používaná spíše ekology než národohospodáři, jejich význam postupně bude (zejména u hlavních stavebních hmot a výrobků) vzrůstat.

K doplnění celkového pohledu je vhodné uvést v jakých objemech se vyrábějí nejpoužívanější stavební hmoty viz. Tab. 2.4.

U těžených minerálních surovin )vápence, kaolinu a písků) a u vápna zahrnuje uváděné číslo i spotřebu v jiných průmyslových odvětvích.,

Výroba hlavních stavebních hmot a výrobků v ČR [Vybrané obory průmyslu stavebních hmot 2005,2006] *Tab. 2.4*

| Komodita | Jednotka | Množství |
|---|---|---|
| Kamenivo drcené | Mt | 30,32 |
| Štěrkopísky těžené | Mt | 15,64 |
| Vápenec | Mt | 7,02 |
| Písky křemité a křemičité | Mt | 2,71 |
| Kaolín plavený | Mt | 1,02 |
| Směsi betonové | Mt | 13,01 |
| Cement | Mt | 3,98 |
| Betonová krytina | Mt | 1,61 |
| Suché maltové směsi | Mt | 1,53 |
| Vápno pálené | Mt | 1,05 |
| Krytina pálená | Mt | 0,24 |
| Vápenný hydrát | Mt | 0,16 |
| Sádra | Mt | 0,13 |
| Netvarované žáromateriály | Mt | 0,11 |
| Šamot | Mt | 0,07 |
| Sádrokartonové desky | $Mm^2$ | 36,41 |
| Vláknocementové výrobky | $Mm^2$ | 22,78 |
| Keramické dlaždice glazované | $Mm^2$ | 23,64 |
| Keramické dlaždice neglazované | $Mm^2$ | 8,18 |
| Stavební dílce | $Mm^3$ | 0,71 |
| Cihly pálené | $Mm^3$ | 0,74 |

# 3 STRUKTURA A VLASTNOSTI STAVEBNÍCH HMOT

Vlastnosti používané k hodnocení jakékoliv hmotné soustavy můžeme rozdělit na *vlastnosti extensivní,* jejichž míra nebo velikost je pevně spojena s velikostí hodnocené soustavy (hmotnost, objem, tepelný odpor), a na *vlastnosti intensivní*, které jsou na velikosti této soustavy nezávislé (barva, skupenství, bod varu, hustota).

Soustavy, které jsou dostatečně charakterizovány pomocí intensivních vlastností, nazýváme látky. Vlastnosti intensivní označujeme proto také jako vlastnosti látkové.

Velmi užitečné intensivní vlastnosti lze získat vztažením vhodné extensivní vlastnosti na jednotkovou velikost soustavy. Jako vztažnou základnu obvykle používáme jednotkovou hmotnost neb jednotkový objem (jednotkové množství). Takto vzniklé vlastnosti se často označují jako měrné nebo specifické.

S výjimkou kusových staviv spadají všechny stavební hmoty do kategorie látek. Samozřejmě i v případě kusových staviv je možné určit látku nebo látky tvořící materiálovou podstatu příslušného výrobku nebo jeho částí.

Látkové vlastnosti se používají, jak k charakteristice jednotlivých surovin a materiálů, tak k jejich vzájemnému srovnávání. Je však třeba připomenout, že látkové vlastnosti se mohou měnit v závislosti na okolních podmínkách a běžně udávané charakteristické vlastnosti látek platí pouze za definovaných vnějších podmínek.

Za jinak stejných okolních podmínek rozhoduje o intensivních vlastnostech jakékoliv konkrétní látky její struktura. Je zde jednoznačný příčinný vztah – látkové vlastnosti jsou důsledkem struktury.

## 3.1 Složení stavebních hmot

Z výše uvedeného je zřejmé, že při posuzování vlastností hmotných soustav používaných ve stavebnictví je účelné se soustředit nejprve na složení (látkovou podstatu) stavebních hmot a otázky tvaru a rozměru kusových staviv ponechat až do části věnované konkrétním výrobkům.

## 3.2 Atomová a molekulární struktura

*Atomy*, tvoří základní stavební jednotky veškerých látek Jsou to hmotné částice o hmotnosti $10^{-22}$ – $10^{-24}$ g. Jejich velikost se pohybuje v desetinách nanometru. Tvarově definovatelné stabilní útvary vzniklé spojením konkrétního počtu určitých atomů se označují jako *molekuly*.

Běžné molekuly mají nanometrickou velikost, existují však i 10000krát větší makromolekuly, jejichž hlavní rozměr dosahuje desítek mikrometrů.

Látky tvořené jedním druhem atomů jsou *prvky*, látky tvořené jedním druhem molekul jsou *sloučeniny*.

Procesy tvorby sloučenin z prvků, procesy přeměny sloučenin a procesy izolace prvků ze sloučenin se označují jako *chemické reakce*. Při chemických reakcích se mění vazebné vztahy mezi jednotlivými atomy, vznikají nebo zanikají chemické vazby.

*Chemická vazba* vzniká v důsledku interakce elektronových obalů reagujících atomů a nijak se netýká proton-neutronového jádra. Protože o identitě atomu rozhoduje počet protonů v jádře, nedochází žádnou chemickou reakcí ke změně atomů jako takových.

Protože přeměna (transmutace) jednoho prvku v nějaký jiný prvek chemickou reakcí není možná, pokusy alchymistů o výrobu zlata chemickou cestou nemohly být úspěšné.

Faktická nezničitelnost prvku chemickou cestou se využívá v klasické chemické analýze. Obsah určitého prvku v nějaké látce se zjišťuje pomocí kvantitativního chemického převodu tohoto prvku do sloučeniny, jejíž vzniklé množství lze přesně stanovit. Vhodnou sloučeninou je sloučenina, kterou lze snadno izolovat v čistém stavu. Takový postup je často využíván při chemickém rozboru stavebních hmot.

### 3.3 Směs a složka

Prakticky každá reálná látka je směsí tvořenou větším počtem jednodušších látek (složek) a výsledné vlastnosti celé soustavy závisí jak na druhu těchto složek, tak na jejich zastoupení, vzájemném uspořádání a interakci.

Jako složku (čistou látku) označujeme část směsné látky, která je tvořena stejnými částicemi. Složku je možné z původní látky izolovat.

Izolace složky se provádí vhodným fyzikálním způsobem, který umožní oddělení částic tvořících složku od částic ostatních (například na základě jejich tvaru, velikosti, polarity, těkavosti, rozpustnosti).

Částice tvořící složku nelze dále dělit, aniž by se změnily látkové vlastnosti složky. Jedna taková částice (v případě prvku atom a v případě sloučeniny molekula) zároveň představuje nejmenší množství dané složky schopné existence.

Pokud v nějaké látce jedna složka výrazně převládá a do značné míry určuje vlastnosti celé látky, můžeme danou směs chápat jako prostou (jednosložkovou) látku určité čistoty.

Podle obsahu hlavní složky pak hovoříme o látkách technicky čistých, laboratorně čistých nebo o látkách analytické čistoty.

Obsah dominantní složky v technicky čisté látce bývá větší než 90 %, obsah v látce laboratorně čisté bývá nejčastěji větší než 95 %. Analyticky čisté látky obsahují nečistoty jen ve zlomcích procenta.

Základní chemické vlastnosti každé čisté látky jsou dány druhem atomů, které ji tvoří, a vazebnými vztahy mezi nimi (molekulární struktura). O ostatních látkových vlastnostech rozhodují slabší (nevazebné) silové interakce mezi molekulami a také to, zda jednotlivé molekuly jsou v prostoru umístěny nepravidelně, nebo zda vytvářející nějakou pravidelnou nadmolekulární strukturu.

Základní fyzikální vlastností látek je skupenství (termodynamický fázový stav). Za běžných teplotních a tlakových podmínek dělíme látky podle skupenství na plynné, kapalné a pevné.

## 3.4 Plynné látky

Plyny jsou látky s nejmenším zastoupením hmotnosti v objemové jednotce. Za normálního atmosférického tlaku je jejich hustota tisíckrát nižší než hustota kapalin nebo pevných látek.

Pokud tlak plynné látky není řádově větší než tlak atmosférický, jedná se o soustavu, ve které jsou jednotlivé molekuly v prostoru od sebe natolik vzdálené, že jejich vzájemné působení není příliš závislé na konkrétním druhu plynu. Za takto nízkého tlaku je proto chování všech plynů podobné.

V takovém případě lze pro popis chování plynů použít sadu univerzálních vztahů, které sice úplně přesně neplatí pro žádný reálný plyn, při dostatečně nízkém tlaku však představují uspokojivou aproximaci.

Při používání těchto vztahů předpokládáme u plynu (plynné směsi) tak zvané ideální chování. Pokud uvažujeme výchozí složky o stejném tlaku a teplotě, platí pro ideální plyn (směs ideálně se chovajících plynů) především zákon aditivity objemů (*Amagatův zákon*):

$$V_c = \sum V_i$$

kde $V_c$ je celkový objem plynné směsi, $V_i$ jsou parciální objemy jednotlivých složek.

Dále pak platí zákon aditivity tlaků v jehož důsledku objemová koncentrace složky v ideální plynné směsi odpovídá parciálnímu tlaku této složky (*Daltonův zákon*).

Při dané teplotě dále platí zákon dokonale pružného chování plynné soustavy, podle kterého je součin tlaku a objemu konstantní (Boylův zákon).

A konečně, koeficient lineární objemové roztažnosti ideálního plynu je číselně roven přibližně 0,0036 $K^{-1}$ (*Gay-Lussacův zákon*).

Objem 1 molu ideálního plynu činí za normálních podmínek (T = 273,15 K, P = 0,1013 MPa) přibližně 22,4 $dm^3$.

Pro chování n molů ideálního plynu (nebo pro n molů směsi ideálních plynů) platí *univerzální stavová rovnice*:

$$PV = nRT$$

kde P je tlak, V je objem, T je absolutní teplota a R je univerzální plynová konstanta, která má hodnotu cca 8,314 $J.mol^{-1}.K^{-1}$.

S pomocí univerzální stavové rovnice je možné všechny předcházející zákony odvodit a pro výpočty popisující chování plynů za nízkých tlaků představuje univerzální stavová rovnice opravdu univerzální nástroj.

Pro orientační výpočty, uvažující jako plynné medium vzduch, lze v univerzální stavové rovnici používat průměrnou molekulovou hmotnost vzduchu (80 obj. % dusíku, 20 obj. % kyslíku) s hodnotou 28,8 $g.mol^{-1}$.

Při výpočtech za vyšších tlaků je nutno přihlédnout k individuálním vlastnostem jednotlivých plynů.

Promíchané plynné směsi představují dokonale homogenní systémy. K místním odchylkám ve složení může dojít jen ve špatně míchaných soustavách (hromadění těžkých par hořlavých látek u podlahy nedokonale větraných místností).

### 3.5 Kapaliny

Hustota většiny kapalin je o něco nižší než hustota většiny pevných látek, nejedná se však (pokud ke srovnání nebereme kovy) o rozdíl řádový.

Na rozdíl od plynného skupenství jsou si molekuly v kapalině značně blízké, přitom je však zachována jejich pohyblivost. Tento stav je ideální z hlediska vzájemných interakcí různých molekul a v kapalném prostředí proto probíhá řada významných chemických reakcí.

V kapalném prostředí (nebo alespoň na rozhraní kapalina – pevná látka) probíhají i všechny vytvrzovací reakce na jejichž existenci je založeno použití stavebních pojiv. V kapalné fázi nebo opět na rozhraní kapalina – pevný povrch probíhají i korozní pochody, karbonatace betonu a další reakce, které rozhodující měrou ovlivňují životnost stavby.

Charakteristickou vlastností kapalin je tok, tedy nevratná deformace tvaru, probíhající již účinkem malé síly. Působením gravitace se kapaliny tvarově přizpůsobují svému okolí. Veškerá práce vynaložená vnější silou na deformaci kapaliny přitom nevratně přechází v teplo.

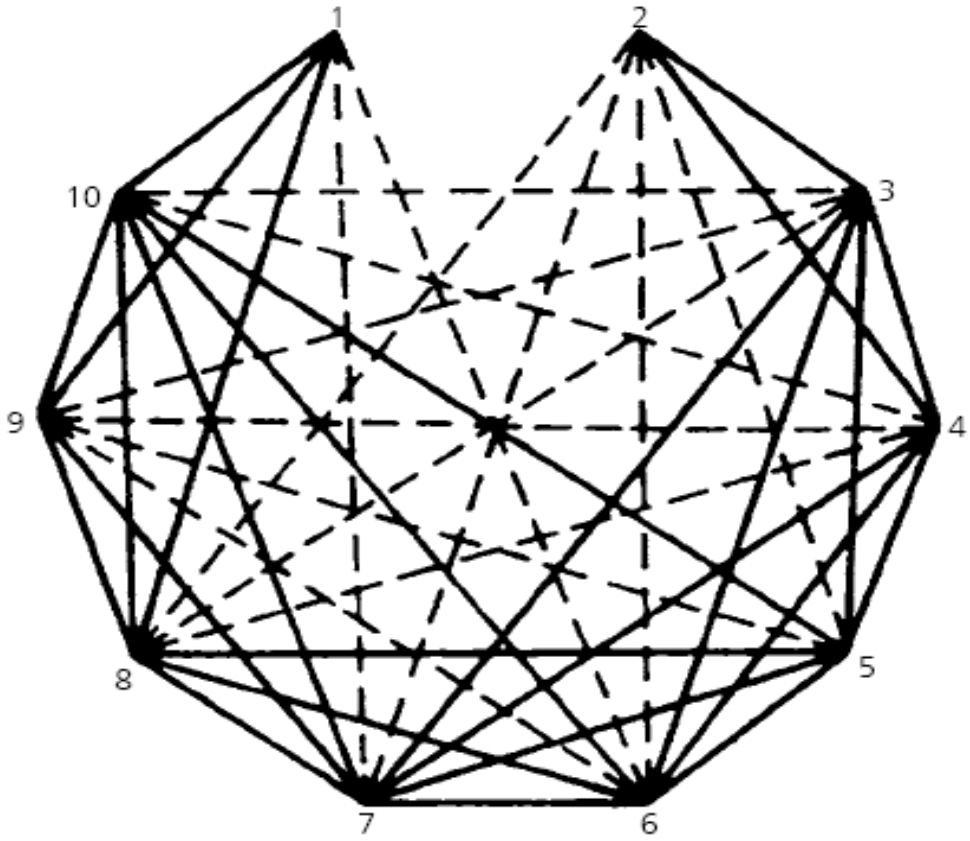
Dobře promíchané roztoky představují zcela homogenní soustavy. Jednotlivé složky jsou v nich přítomné v podobě rovnoměrně rozptýlených molekul, atomů a nebo iontů.

U pevných látek je množství, které může být převedeno do homogenního roztoku, omezené a tuto skutečnost vyjadřujeme jako *rozpustnost* příslušné látky.

Běžné homogenní kapaliny jsou neelastické. Viskozita (vyjadřující úměrnost mezi napětím a rychlostí deformace kapaliny) je na deformačním napětí nezávislá. Takové kapaliny se označují jako Newtonovské.

Viskozita homogenních kapalin vzrůstá s velikostí molekul přítomných v roztoku a roztoky polymerů jsou proto vysoce viskózní (viskozitní měření se užívají k určení průměrné molekulové hmotnosti polymerů).

Ani kapaliny však nejsou vždy neomezeně mísitelné a existují i soustavy nemísitelných kapalin, které jsou tvořeny makroskopickými kapkami jedné kapaliny v druhé kapalině. Takovéto soustavy vznikají dočasně jako výsledek působení vnější energie (protřepání). Ponecháním v klidu se obě kapaliny oddělí do dvou vrstev.




*Obr. 3.1* Vzájemná mísitelnost kapalin [Hennig O., Lach V., 1983]

1 voda, 2 hexan, 3 tetrachlormetan, 4 toluen, 5 éter, 6 etylacetát,

7 aceton, 8 etylalkohol, 9 glykol, 10 kyselina octová

plná spojnice = mísitelné, čárkovaná spojnice = omezeně mísitelné

žádná spojnice = kapaliny se navzájem nemísí

Rozpustnost, respektive mísitelnost, úzce souvisí s chemickým charakterem látky (hustotou kohezní energie). Tento fakt se projevuje tak, že homogenní soustavu ochotněji vytvářejí látky chemicky podobné.

Za přítomnosti látek upravujících povrchové napětí je možné ze dvou navzájem nemísitelných kapalin připravit stálou dispergovanou soustavu jedné kapaliny v druhé.

Dispergovanou soustavu označujeme jako hrubou disperzi, pokud velikost dispergovaných částic překračuje stovky nanometrů, v opačném případě hovoříme o koloidní disperzi (koloidním roztoku).

## 3.6 Pevné látky

V pevných látkách jsou základní stavební jednotky tvořící prostou látku (atomy nebo molekuly) stále v určitém vazebném kontaktu. Jsou více či méně pravidelně uspořádány a zaujímají vůči sobě stejné rovnovážné polohy. Pevné látky proto zachovávají objem i tvar.

Způsob uspořádání může být ve všech směrech stejný – pak jde o látku *izotropní***.** Různé uspořádání v různých směrech (a v důsledku toho závislost některých vlastností na směru, ve kterém jsou zkoumány) vykazují látky *anizotropní.* Zvláštní případ anizotropie představují látky *ortotropní*, v jejichž případě lze stanovit vzájemný úhel mezi směry, ve kterých zkoumané vlastnosti nabývají maximálních a minimálních hodnot.

V případě materiálů s orientovanými vlákny (laminát ze skelné tkaniny, dřevo) je anizotropní úhel pravý (po vláknech – kolmo na vlákna).

O mnohých látkových vlastnostech pevných látek výrazně rozhodují víceméně náhodné lokální odchylky v základním strukturním uspořádání, které jsou přítomné v každé reálné pevné struktuře.

### 3.6.1 Krystalické látky

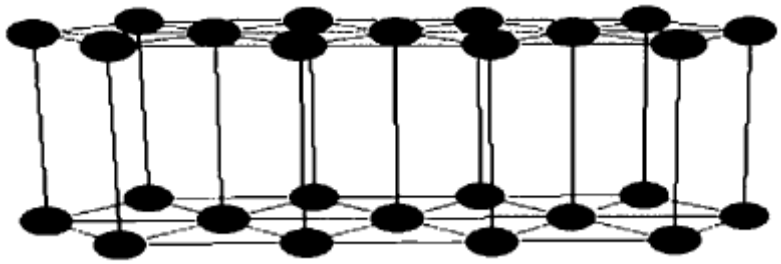
Protože tvorba nové sloučeniny vyžaduje pohyb reagujících atomů, molekul či iontů, vzniká řada pevných látek reakcí v tekutých systémech. Pokud je určité uskupení stavebních jednotek nově vznikající pevné látky nějak energeticky výhodné, pak při fázovém přechodu takové uskupení vzniká přednostně. Jeho soustavným opakováním se vytváří pravidelná krystalická struktura.

Ke krystalizačním jevům dochází ovšem také při tuhnutí roztavených látek či při vylučování látek z roztoku, aniž by v systému musela nutně probíhat chemická reakce.

Při krystalizaci z vodných roztoků dochází často k tomu, že integrální součástí krystalické mřížky se stává *krystalová voda.*

V krystalu jsou atomy, ionty nebo molekuly v prostoru pravidelně uspořádány podle jednoduchých geometrických schémat a vytvářejí krystalickou mřížku. Pokud je součástí mřížky krystalová voda, je odstranění této vody možné jen tepelným rozkladem (*kalcinací*). Kalcinace je provázena rozpadem krystalu.

Strukturu krystalů lze rozložit na nejmenší útvary, tzv. elementární buňky. Tvar elementární buňky je složen z bodů, které udávají vzájemnou polohu stavebních částic krystalu. Podle vzhledu elementární buňky se dělí krystaly do šesti krystalografických soustav (trojklonná = triklinická, jednoklonná = monoklinická, kosočtverečná = rombická, klencová = romboedrická, šesterečná = hexagonální, krychlová = kubická).



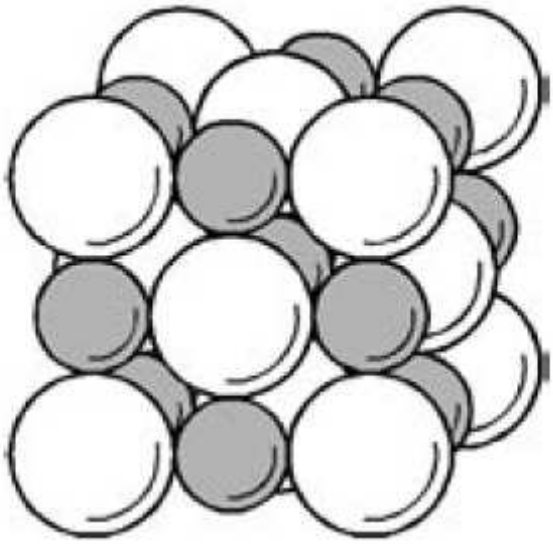
*Obr. 3.2* Drátový model hexagonální (šesterečné) soustavy

Obrázek hexagonální krystalické soustavy (obr. 3.2) dokládá, že v této (a ve většině dalších soustav) máme co do činění se strukturou anizotropní. V důsledku prostorové anizotropie jsou i vlastnosti krystalů v různých směrech různé.

Stavba krystalové mřížky je dána charakterem vazebných sil, které k sobě poutají částice pevné hmoty. Základní typy krystalických mřížek jsou mřížky iontové, atomové, molekulové a kovové.

*Iontová krystalová mřížka* je tvořena pravidelným střídáním pozitivně a negativně nabitých iontů. Elektrostatické přitažlivé síly působící mezi jednotlivými kationty a anionty jsou silné a iontová mřížka je díky tomu velmi stabilním útvarem. S iontovou mřížkou se setkáváme u sloučenin kovů s nekovy, především pak u solí.

Příkladem krystalové iontové struktury je kubická mřížka chloridu sodného. Na obr. 3.3 jsou větší chlorové anionty provedeny jako bílé kuličky a menší sodíkové kationty jsou šedé.



*Obr. 3.3* Kubická mřížka typická pro NaCl

*Atomová krystalová mřížka* je vybudována z atomů spojených mezi sebou kovalentními vazbami. *Kovalentní vazba* vzniká společným sdílením vazebného elektronu dvěma sousedními atomy.

Atomová krystalová mřížka je typická pro sloučeniny kovů s uhlíkem (karbidy), křemíkem (silicidy) a dusíkem (nitridy).

Sloučeniny s atomovou mřížkou se vyznačují vysokým bodem tání, vysokou tvrdostí a chemickou odolností. V tomto směru vyniká zejména karbid křemičitý SiC (karborundum).

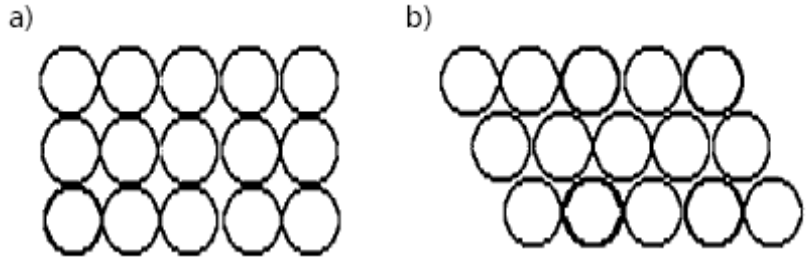
*Molekulová krystalová mřížka* je vybudována z molekul, které jsou mezi sebou vázány poměrně slabými silami van der Waalsovými. Krystaly složené z těchto mřížek mají proto malou pevnost, jsou měkké, plastické a mají nízký bod tání.

Molekulová mřížka je typická pro málo polární organické sloučeniny. Slabé elektrostatické síly v těchto látkách nepředstavují dostatečně silný impulz ke tvorbě pravidelné struktury a málo polární nebo nepolární látky proto krystalizují jen neochotně.

S krystaly molekulového charakteru se setkáváme i u makromolekulárních látek, kde dochází k uspořádávání částí dlouhých makromolekulárních vláken do pravidelných svazčitých či lamelovitých struktur (*krystality*).

*Kovová krystalová mřížka* je složena z atomů vázaných mezi sebou kovovou vazbou. Mřížka je tvořena kationty, které jako celek společně sdílejí pohyblivé valenční elektrony.Velká volnost valenčních elektronů v rámci celé krystalické struktury způsobuje, že na každý kus kovu je možno pohlížet jako na jedinou obří molekulu. Molekulární orbital, tvořený oblakem valenčních elektronů obklopující kationtovou mřížku, dává kovům jejich charakteristické vlastnosti, jako jsou velká tepelná a elektrická vodivost, kujnost, tažnost, barevnost a lesk.

Řada látek se může vyskytovat ve více krystalických modifikacích a někdy je přechod z jedné krystalické soustavy do druhé relativně snadný. Vždy jsou však s takovým přechodem spojené podstatně změny vlastností.




*Obr. 3.4* Schematické znázornění přechodu krychlové soustavy v soustavu šesterečnou

a) krychlová struktura

b) hexagonální struktura

Příprava větších ideálně krystalických těles tvořených pouze jedním krystalem je velmi náročná a s *monokrystaly,* jako konstrukčními materiály, se proto ve stavební praxi nesetkáváme.

Krystalická fáze má ve stavebních materiálech polykrystalickou podobu. Sestává z velkého počtu monokrystalů, zpravidla velice drobných, jejichž krystalová mřížka není stejně orientována. Jsou-li tyto monokrystaly orientovány zcela náhodně, má výsledný polykrystal strukturu statisticky izotropní; převládá-li počet monokrystalů orientovaných určitými směry, je polykrystal v makroskopickém měřítku anizotropní, resp. ortotropní.

Vzájemná soudržnost polykrystalů je na hranicích monokrystalických zrn zajišťována vazebními silami téhož druhu jako uvnitř monokrystalů, ale vzhledem k nestejné orientaci krystalových mřížek, jsou zde kohezní síly nižší a může snáze dojít k posunům. Struktura polykrystalů ve stavebních hmotách navíc není většinou dokonalá, ale obsahuje určité množství pórů a mikrotrhlin na hranicích mezi krystaly i uvnitř krystalů. Tyto defekty způsobují zhoršení mechanických vlastností materiálu.

### 3.6.2 Amorfní látky

Jako amorfní látky se označují takové hmoty, jejichž struktura není zjevně prostorově uspořádána do geometrické pravidelné mřížky, jako tomu je u látek krystalických. Je nicméně prokázáno, že submikroskopická struktura amorfních látek vykazuje až do určitého měřítka rovněž pravidelné prostorové uspořádání základních částic (tj. atomů, iontů nebo molekul) a teprve při pozorování větších útvarů se tato pravidelnost ztrácí. Jako příklady amorfních látek bývají uváděny vosky, pryskyřice a skla.

Formálně můžeme amorfní látky pokládat za podchlazené kapaliny, kterým bylo v přeměně do energeticky výhodné krystalické struktury zabráněno rychlým zatuhnutím. K takovému jevu ostatně opravdu dochází i ve skutečnosti. Z některých tavenin vzniká podle rychlosti ochlazování buď látka krystalická, nebo látka amorfní.

Amorfní struktura je méně stabilní a může v ní proto probíhat dodatečný krystalizační proces, který je pozvolný a dlouhodobý. Přesto může mít i destruktivní charakter. Příkladem je pozvolná krystalizace skla v památkách dochovaných ze starověku.

### 3.6.3 Heterogenní látky

Krystalické oblasti obklopené amorfním okolím u částečně zkrystalovaných látek mohou v materiálu vytvářet heterogenní strukturu.

Pro tuto strukturu je charakteristické, že v materiálu existují oblasti, které jsou ohraničené vůči svému okolí a mají jiné vlastnosti nebo i složeni než toto okolí.

Z běžných pevných materiálů mají homogenní charakter jen některé kovové slitiny. Jistá míra heterogenity je pro ostatní pevné látky typická. V případě vícesložkových pevných látek jsou totiž jen zřídka jednotlivé složky ve směsi homogenně rozptýlené jako jednotlivé molekuly (nebo uskupení několika málo molekul). Daleko častěji vytvářejí oblasti (*domény*) větších rozměrů.

Strukturně homogenní složky obsažené v jednotlivých doménách nazýváme *fáze*. Pojem fáze se tedy při popisu heterogenních materiálů používá v širším smyslu než v termodynamice a není pouhým ekvivalentem pojmu skupenství.

Pojem heterogenity je ovšem do značné míry otázkou měřítka, které se při zkoumání struktury používá. Materiály s heterogenitou řádově menší, než je rozlišovací schopnost použité zkušební metody, se jeví jako *statisticky homogenní.*

Velikost zkušebního vzorku, umožňujícího hodnotit heterogenní látku jako celek, je u různých materiálů různá. U kovů jsou to řádově milimetry nebo desetiny milimetrů, u betonu obvyklých zrnitostí centimetry až decimetry.

Pokud zkoušíme pevnost betonu tak, že hodnotíme celkovou pevnost betonových kostek o rozměrech 150x150x150 mm, provádíme vlastně jeho hodnocení jako statisticky homogenního materiálu.

Heterogenita struktury materiálu se navenek může projevovat jako jeho anizotropie. Jestliže se však heterogenní látka skládá ze součástí, které jsou sice samy o sobě anizotropní, ale jsou v makrostruktuře orientovány náhodně, jeví se vlastnosti takového materiálu při dostatečně velkém zkušebním vzorku jako *statisticky izotropní.*

Heterogenní oblasti mohou být tvořeny složkami odlišného skupenství. V prakticky používaných pevných stavebních hmotách plynné či kapalné heterogenity běžně nacházíme.

### 3.6.4 Pórovité látky

Póry jsou heterogenní oblasti, které mají charakter dutin obklopených pevnou fází. Mohou být zaplněny vzduchem nebo jinými plyny, případně kapalinami, zejména vodou. Póry se od sebe dále mohou lišit svou velikostí, tvarem, jakostí vnitřního povrchu a způsobem rozdělení v materiálu.

Ojedinělé póry se nacházejí prakticky v každém materiálu, jako pórovité materiály však označujeme jen takové, kde póry představují podstatnou část struktury.

Zásadní praktický dopad na vlastnosti pórovitých materiálů má spojení pórů s povrchem materiálu. Póry, které jsou s povrchem spojené kapilárami, jsou *póry otevřené.* Póry, které s povrchem nekomunikují, označujeme jako *póry uzavřené*.

### 3.6.5 Zrnité látky

U zrnitých látek pevná fáze netvoří jednolitou nosnou kostru, nýbrž je rozdělena do jednotlivých zrn. Výraznou heterogenitu tvoří v těchto látkách mezery, mezi zrny které mohou být zaplněny plynem nebo kapalinou.

Pokud jsou mezizrnné prostory vyplněny plynem (vzduchem), vzdorují zrnité látky působení vnější síly jen díky tření mezi jednotlivými zrny. Ke změně tvaru proto stačí malá síla – látky jsou sypké.

Periodickým působením vnější síly je možné zrna sypké látky uvést do kmitavého pohybu a vyvolat *zhutňování* nebo naopak *nakypřování* látky. Zhutněné zrnité látky jsou výrazně soudržnější.

Pokud jsou mezizrnné prostory vyplněny kapalinou (vodou), chovají se zrnité látky jako břečky (suspenze), řídké kaše nebo hustá těsta.

V případě látek s drobnými zrny mají mezery mezi zrny kapilární charakter. Při postupném odparu vody z těchto prostor pak účinkem kapilárního sání dochází k přiblížení jednotlivých zrn a k fixaci jejich vzájemné polohy. Sušením těsta připraveného z jemnozrnné hlíny vzniká pevný výrobek. Čím jsou zrna jemnější, tím jsou větší mezifázové síly, současně však vzrůstá i smršťování materiálu.

Pevnost sušených výrobků není trvalá. Přitažlivé síly při opětovném nasycení kapilárních prostor vodou zanikají (výrobek se rozmáčí). *Pseudopevnost* sušené látky se sice dá stavebně využít (cihly ze sušené hlíny), lepší však je, když sušená látka dalším procesem (vypálením) získá trvalou pevnost.

### 3.6.6 Kompozity

V praxi se pro výpočet vlastnosti směsi používá směšovací pravidlo podle kterého je výsledná vlastnost směsi tvořena součtem parciálních vlastností složek, přičemž parciální vlastnost složky je dána její původní látkovou vlastností vynásobenou objemovým (v některých případech plošným nebo hmotnostním) podílem této složky. Úspěšnost aplikace směšovacího pravidla je různá. Zatímco výpočet průměrné objemové hmotnosti za použití parciálních objemových hmotností dává správné výsledky, výpočet finální pevnosti používající parciální plošné pevnostní příspěvky složek (podle jejich zastoupení v namáhaném průřezu) je problematický.

Mnohé prakticky používané stavební materiály jsou kompozity, vícesložkové látky jejichž některou mechanickou vlastnost (respektive kombinaci některých mechanických vlastností) nelze na stejné úrovni získat samostatným použitím kterékoliv z přítomných strukturně homogenních složek.

Skutečnost, že některá z výsledných vlastností dosahuje díky spolupůsobení dvou či více homogenních složek mimořádných hodnost se označuje jako *synergie*.

Kompozit musí obsahovat nejméně dvě strukturně homogenní složky (konstituenty), z nichž alespoň jedna musí být pevná. Mezi konstituenty musí být rozpoznatelné rozhraní, konstituenty musí vytvářet rozlišitelné oblasti (domény). Konstituenty jsou často označovány jako fáze, je však třeba mít na paměti, že v tomto případě se nejedná o fáze v termodynamickém slova smyslu (jejich skupenství se nemusí lišit).

Kompozitní charakter má nejen většina soudobých uměle vytvářených materiálů, ale zřetelně kompozitní je i většina materiálů, se kterými se setkáváme v živé přírodě.

Silikátové stavební materiály počítáme mezi *makrokompozity* (obsahují makroskopicky viditelné fáze), což ovšem neznamená, že v nich nemůže být některá složka přítomná ve formě mikroskopických domén.

*Mikrokompozity,* obsahující pouze mikroskopické domény, jsou mezi stavebními materiály méně časté, uplatňují se však dobře v ostatních průmyslových odvětvích. K mikrokompozitům patří některé polymerní směsi obsahující plnivo o velkosti 0,001 – 0,1 mm. Pro speciální účely se začínají uplatňovat *nanokompozity* obsahující částice s alespoň jedním rozměrem nanometrické velikosti.

Kompozitní efekt je dán schopností příslušné látkové kombinace blokovat vznik a růst trhlin ve struktuře. Růst trhliny může zastavit jen doména, která ve srovnání trhlinou není příliš malá. S ohledem na počáteční velkost trhlin však za bariérově účinné můžeme považovat již útvary velikosti $10^{-7}$ m.

Za pravé kompozity se zpravidla nepovažují *plněné látky,* ve kterých silně převažuje pojivo zajišťující kohezi materiály a plnivo je řídce rozptýleno. Mechanické vlastnosti výsledné hmoty se v takovém případě blíží vlastnostem samotného pojiva

Přísada plniva v plněných látkách má často důvody pouze ekonomické nebo estetické. Typickými příklady takovýchto látek jsou plněné a barvené termoplasty.

Mezi kompozity se naopak počítají *pojené látky,* které obsahují tolik plniva, že jeho zrna jsou v těsném sousedství a vytvářejí tak *kostru* (skelet). Vzniklá konstrukce totiž do značné míry určuje vlastnosti kompozitu a výsledný produkt má jiné vlastnosti než výchozí složky.

Vyztužené látky tvoří nejvýznamnější skupinu kompozitních materiálů. Nosnou funkci v těchto látkách zajišťuje výrazně pevnější a houževnatější složka (*výztuž*) obalená pojivem. Pojivo zajišťuje vnitřní soudržnost hmoty a zprostředkuje přenos vnitřních sil do výztuže.

Základní spojitá fáze, ve které jsou ostatní složky umístěné, se nazývá matrice. Spojitá kompozitní fáze (matrice) bývá obvykle měkčí a poddajnější než vyztužující diskontinuální fáze. V důsledku *synergie* (vzájemného posílení účinku jednotlivých složek) pak bývá kompozitní materiál houževnatější, protože pevná a křehká výztuž je poddajnou a rázy tlumicí matricí dobře chráněna.

Výztuž ve vyztužených látkách bývá z elementů s převládajícím jedním směrem (dlouhá vlákna) nebo se může výztuž skládat z elementů kratších (např. sekaných vláken, sekaného drátu) nebo z elementů plošných.

Délkové elementy se užívají na vyztužování buď jednotlivě (rozptýleně), nebo se sdružují do svazků a pramenců, či splétají se do provazců a nití. Z délkových elementů se vytvářejí elementy plošné, a to tkaniny, sítě nebo rohože, které se pak stmelují pojivem najednou.

Vrstvené hmoty, v nichž je výztuž tvořena na sebe kladenými vložkami z tkaniny, rohoží nebo fólií, se označují jako *lamináty*.

Vlastnosti měřené podél vlákna se liší výrazně od vlastností měřených kolmo na vlákna a vláknité materiály vyztužené plošnými elementy proto bývají výrazně ortotropní.

Pokud by výztuž ze sekaných vláken byla orientována náhodně, byl by výsledný kompozit statisticky izotropní. V praxi ovšem při vytváření kompozitu ze sekaných vláken často dochází k jejich určité orientaci.

Klasickým příkladem je kdysi velmi oblíbený azbestocement, ve kterém rozptýlená jemná vlákna azbestu zajišťují značně vyšší pevnost a houževnatost materiálu než má samotný cementový kámen. Přesto, že se jedná o krátká (nejvýše několikacentimetrová) vlákna, vykazují azbestocementové desky výrazné ortotropní vlastnosti, způsobené právě orientací vláken při výrobě desek.

S orientovanou výztuží se setkáváme i v případě železobetonu. Ocelová výztuž je v železobetonu tvořena silnějšími pruty rozmisťovanými plánovitě tak, aby únosnost železobetonového prvku dosáhla požadovaných hodnot.

## 3.7 Přípravky

Jako přípravky označujeme směsné tekuté, pastovité nebo práškovité materiály, které jsou definované svým specifickým složením (recepturou) a toto složení bylo cíleně vytvořeno (připraveno) k tomu, aby výsledný přípravek umožnil nebo usnadnil nějakou činnost. Pro přípravky je typické, že jsou homogenní (respektive statisticky homogenní).

Ve stavebnictví se takovéto výrobky nejčastěji vyskytují v podobě pomocných hmot (čisticí přípravky, odbedňovací přípravky, odrezovače), nebo hmot upravujících vlastnosti hmot konstrukčních (impregnanty).

Přípravky mohou mít podobu jednoduchého roztoku jedné účinné látky, často jsou však vícesložkové a jejich složky synergicky spolupůsobí. Počítáme je mezi výrobky stavební chemie.

## 3.8 Inteligentní materiály

Jako inteligentní či chytré materiály (smart materials) se označují materiály, které některou svou vlastnost vhodně mění v reakci na změnu okolního prostředí.

Patří sem paropropustné fólie s proměnným difúzním odporem, vnitřní omítky, schopné v teplých dnech akumulovat teplo, či skla reagující změnou zabarvení na intenzitu osvětlení.

Ve vývoji jsou materiály, které jsou schopné takové změny na základě nějakého konkrétního specifického signálu. Příkladem mohou být lepidla s magnetickými nanočásticemi na bázi oxidu železa. Tyto částice (tzv. ferrofluidy) fungují jako antény, které jsou schopné zachytit mikrovlnné záření a jeho působením se velmi rychle ohřát na teplotu potřebnou k vytvrzení lepicí hmoty. Lze tak uskutečnit „lepení na povel“.

Materiály je možné vybavit i určitou senzitivní schopností – příkladem mohou být piezzokeramické materiály použitelné do konstrukcí určených k omezení hluku a chvění.

Předpokladem pro další rozvoj takovýchto materiálů je zvládnutí nanotechnologických operací, umožňujících vytváření promyšleně koncipované materiálové struktury na molekulární úrovni.

Další možnost představuje používání biotechnologických postupů a využívání poznatků genetického inženýrství při tvorbě nových hmot.

Ve vývoji je kupříkladu beton (nebo spíše cementový kompozitní materiál) s určitou regenerační schopností. Jedná se o ECC kompozit (hmota na bázi cementu plněná drobným kamenivem a mikroskopickými vlákny se speciální povrchovou úpravou) ve kterém při zvýšeném mechanickém namáhání vznikají místo jedné velké trhliny pouze mikroskopické trhlinky do šířky 150 μm. K jejich opětovnému zacelení přispívají spory bakteriálního kmene Bacillus megaterium, kterými je kompozit inokulován. Vedlejším efektem životních pochodů bakteriální kultury, oživlé v zavodněné trhlině, je tvorba krystalického kalcitu, který trhlinky utěsní.

Na tomto místě je třeba ještě poznamenat, že termín chytrý materiál je používán i jako čistě reklamní slogan. V takovém případě toto označení nemusí být (a často také není) podložené žádným skutečným efektem.

Rovněž tak tvrzení, že nějaký stavební materiál byl vyvinut s souvislosti s kosmickým výzkumem nebo na základě nanotechnologie, může být daleko od reality. S takovýmto slovním doprovodem se na trhu často objevují i materiály vysloveně šarlatánské.

Rozpoznat problematické (nebo přímo podvodné) výrobky není vůbec jednoduché. Předkládaná dokumentace může obsahovat certifikace od neexistující nebo nedostatečně kvalifikované instituce.

Oblíbeným trikem je doklad z renomovaného institut, který kupř. konstatuje, že dotyčný materiál není ekologicky škodlivý, ale výrobcem deklarovanou funkcí se vůbec nezabývá.

Pokud dodavatel pouze konstatuje, že výrobek má osvědčení z nějaké instituce (aniž by toto osvědčení předložil), případně nabízí jen první stránku zkušebního protokolu, je jistá skepse na místě.

Bohužel velmi nízkou průkazní hodnotu mohou mít i údaje o praktické úspěšnosti daného technického řešení (údaje o referenčních stavbách). Zpravidla jsou těžko ověřitelná a v některých případech může jít i o placenou reklamu.

## 3.9 Základní fyzikální vlastnosti

K základním fyzikálním vlastnostem se řadí ty, k jejichž určení postačí stanovení hmotnosti a rozměrů či objemu zkoušeného vzorku materiálu. Jsou to vlastnosti, které materiál charakterizují a na nichž závisejí vlastnosti ostatní.

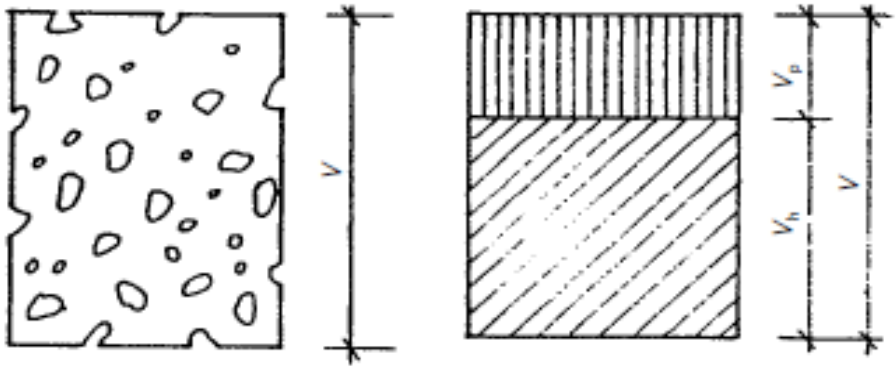
Za základní fyzikální vlastnosti jsou u stavebních hmot považovány především:

- objemová hmotnost,
- hustota (dříve specifická hmotnost),
- pórovitost,
- vlhkost,
- zrnitost.

### 3.9.1 Objemová hmotnost a hustota

Objemová hmotnost a hustota jsou definovány jako hmotnost objemové jednotky příslušné látky. V případě objemové hmotnosti se uvažuje objem celého kusu materiálu se všemi póry a dutinami (objem *V*), u hustoty se počítá pouze s objemem vlastní látky beze všech dutin a pórů (objem $V_h$).

Jak vyplývá z níže napsaných rovnic a obrázku 3.5, základním rozměrem obou veličin je kg.m$^{-3}$.




*Obr. 3.5* Struktura pevných látek a podíl pórů

*Objemová hmotnost* se vypočítá ze vztahu:

$$\rho_v = \frac{m}{V}$$

kde m (kg) je hmotnost materiálu, *V* (m$^3$) je objem materiálu.

*Hustota* se vypočítá ze vztahu:

$$\rho = \frac{m}{V_h}$$

kde $V_h$ (m$^3$) je objem vlastního materiálu (vlastní pevné fáze) bez všech dutin, pórů a mezer.

U látek hutných jsou hodnoty hustoty a objemové hmotnosti blízké, u kapalin jsou prakticky stejné. U porézních materiálu se číselné hodnoty obou vlastností mohou výrazně lišit.

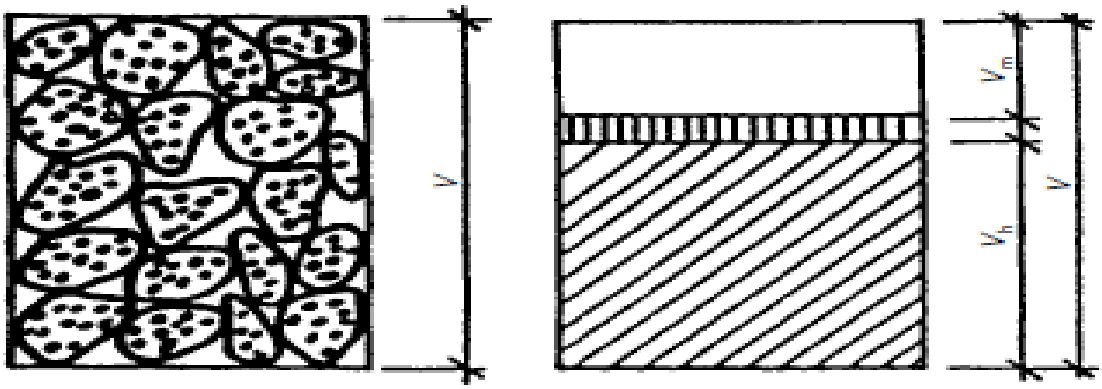
Zatímco hutný beton má objemovou hmotnost cca 2200 kg.m$^{-3}$, u pórobetonu není problém dosáhnout objemové hmotnosti cca 500 kg.m$^{-3}$. Pevná fáze obou hmot má přitom průměrnou hustotu okolo 2500 kg.m$^{-3}$.

Hustota je dána složením pevné fáze příslušného materiálu, a je proto vcelku nezávislá na zpracování a vlivech prostředí. Objemová hmotnost závisí však na obsahu vlhkosti v látce a může se s ní značně měnit. Proto, pokud není výslovně udána vlhkost, při níž byla objemová hmotnost stanovena, se předpokládá, že objemová hmotnost byla stanovena ve vysušeném stavu. Jen tak lze spolehlivě porovnávat hodnoty různých materiálů mezi sebou.

U sypkých materiálů (viz obr. 3.6) k celkovému zaujímanému objemu přispívá i objem mezer mezi zrny ($V_m$):

$$V = V_h + V_p + V_m$$

Celkový objem se navíc stává proměnnou veličinou závisící na míře zhutnění sypké látky.




*Obr. 3.6* Podíl pórů a mezer sypké látky

Při stanovení objemové hmotnosti zrn se do uvažovaného objemu neuvažuje objem mezer. Způsob určení objemu a následného výpočtu objemové hmotnosti zrn je tedy stejný jako u nezrnitých pevných látek ($V_m$ = 0).

$$V = V_h + V_p$$

Pro celkový popis zrnité látky se používá *sypná hmotnost*, která uvažuje celkový objem zrnité soustavy, včetně objemu mezer mezi zrny :

$$V = V_h + V_p + V_m$$

$$\rho_s = \frac{m}{V}$$

Takto se získá *sypná hmotnost*, která je oproti objemové hmotnosti zrn číselně menší (viz obr. 3.6).

Sypná hmotnost je navíc závislá na předchozím zacházení se sypkým materiálem (míře zhutnění), takže není pro daný materiál konstantní.

V praxi se proto uvádějí dva extrémy, sypná hmotnost ve stavu volně sypaném, stanovená v co nejvíce nakypřené stavu, a sypná hmotnost ve stavu setřeseném (zhutněném), stanovená na látce co nejvíce setřesené, zhutněné či zdusané.

U sypkých materiálů se pak podle způsobu použití počítá s hodnotami ve volně sypaném stavu či ve stavu zhutněném, případně s nějakou hodnotou mezi těmito extrémy, která odpovídá dosaženému stavu zhutnění a je pro daný materiál více méně charakteristická. Často se pak místo o sypné hmotnosti mluví o objemové hmotnosti příslušného materiálu. Používat pojem objemová hmotnost pro sypký materiál jako celek není sice správné, je to však natolik běžné, že je třeba tuto skutečnost zde zmínit.

U pórovitého kameniva se tedy rozlišují celkem čtyři různé veličiny:

- sypná hmotnost ve stavu volně sypaném (např. 400 $kg.m^{-3}$),
- sypná hmotnost ve stavu setřeseném (např. 600 $kg.m^{-3}$),
- objemová hmotnost zrn (např. 850 $kg.m^{-3}$),
- hustota (např. 2550 $kg.m^{-3}$).

### 3.9.2 Hutnost

Hutností se popisuje, jak je celkový objem materiálu vyplněn vlastní pevnou fází, a lze ji tedy definovat pouze u pevných látek. Matematicky se vyjadřuje jako poměr objemu pevné fáze k objemu celkovému nebo poměrem objemové hmotnosti k hustotě:

$$h = \frac{V_h}{V} = \frac{\rho_v}{\rho}$$

V praxi se hutnost uvádí jako desetinné číslo (např. 0,25) nebo se udává v procentech (25 %).

Obdobnou vlastností jako hutnost je u sypkých látek *stupeň zhutnění* nebo též *míra zhutnění*. Je definována poměrem sypné hmotnosti při určitém zhutnění ku sypné hmotnosti při zhutnění dokonalém.

Se stupněm zhutnění je možné se setkat nejčastěji v oblasti zemních prací, kdy se jím posuzuje kvalita provedení ukládaných vrstev zeminy.

### 3.9.3 Pórovitost

Poměr objemu pórů v určitém množství materiálu k celkovému objemu tohoto materiálu se nazývá pórovitost (*celková pórovitost*).

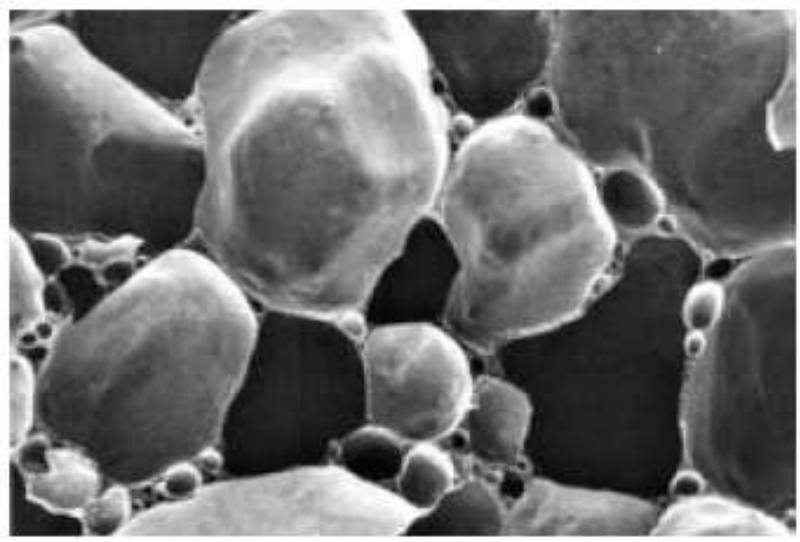
Otevřené póry, tj. póry spojené s povrchem látky, tvoří část z celkové pórovitosti označovanou jako o *pórovitost otevřená*. Pokud se v objemu pórů uvažují pouze póry uzavřené, tj. nespojené s povrchem, dostává se *pórovitost uzavřená*.

Pórovitost se stejně jako hutnost udává bezrozměrným číslem nebo v procentech a je vlastně doplňkem hutnosti do jedné, resp. do 100 %. Vypočítá se:

$$p = 1 - h = 1 - \frac{\rho_v}{\rho}$$

Pórovitost se zjišťuje u pevných látek nebo u jednotlivých zrn látek sypkých. Pórovitost přímo ovlivňuje navlhavost a nasákavost materiálu, jeho mechanické, tepelně-fyzikální i akustické vlastnosti.

U stavebních materiálů se pórovitost může pohybovat v celém teoretickém rozmezí od 0 do téměř 1. Kovy mají pórovitost nepatrnou, pro praktické účely zcela zanedbatelnou. Pěnové izolační hmoty mají pórovitost i větší než 96 %.



*Obr. 3.7* Fotografie struktury pěnového skla v optickém mikroskopu (zvětšeno 100x) [Pytlík, P., 1998]

Ve skutečnosti tvoří pórovou soustavu prostorový systém „dutinek“ vyplněných plyny nebo kapalinami. Rozměry pórů spadají do velmi širokého rozmezí s různým stupněm vzájemného spojení.

Otevřené spojité póry mohly vzniknout např. únikem plynů během výroby (lehčené materiály), postupným odpařováním (vysušováním) vody z materiálů (beton, omítky, keramika), záměrným provzdušněním (lehké betony) a napěněním materiálů (pěnový polystyren). Protože jsou otevřené póry kapilárami spojené s prostředím, ve kterém se materiál nachází, mohou jimi materiály do svého objemu přijmout vodu i vzdušnou vlhkost.

Otevřené póry proto ovlivňují:

- navlhavost a vysychavost materiálů,
- schopnosti pronikání (difúze) kapalin a plynů materiály,
- schopnost pohlcování zvuku (viz činitel zvukové pohltivosti materiálů),
- tepelně-fyzikální vlastnosti (součinitel tepelné vodivosti, měrnou tepelnou kapacitu).

Uzavřené póry vznikají např. slinutím keramického střepu a neumožňují přijímat do objemu materiálů vzdušnou vlhkost. Spojení mezi póry je vyloučeno.

### 3.9.4 Mezerovitost

Mezerovitost je vlastnost zjišťovaná u sypkých materiálů a vyjadřuje poměr objemu mezer mezi zrny k celkovému objemu určitého množství sypké látky. Definuje-li se takto mezerovitost (M), je možné napsat následující závislost:

$$M = \frac{V_m}{V} = \frac{V - V_h - V_p}{V} = 1 - \frac{V_h + V_p}{V} = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_V}$$

kde $\rho_V$ (kg.m$^{-3}$) je objemová hmotnost zrn, $\rho_s$ je sypná hmotnost.

Protože sypná hmotnost závisí na setřesení látky, bude mezerovitost, na rozdíl od pórovitosti, veličinou pro daný vzorek látky proměnnou v závislosti na změně sypné hmotnosti.

Dostáváme opět dva extrémy, mezerovitost ve stavu volně sypaném a mezerovitost ve stavu setřeseném (zhutněném). Pokud je pórovitost zrn zanedbatelná oproti objemu mezer mezi zrny (např. přírodní křemenné štěrkopísky), můžeme ve jmenovateli vzorce nahradit objemovou hmotnost zrn hustotou.

U pórovitých látek (např. u pórovitého kameniva) by tato záměna vedla k hrubé chybě a k nesprávnému výsledku. Mezerovitost se často zjišťuje u pojených hmot, kde mezery mezi zrny plniva vyplňujeme většinou podstatně dražším pojivem. Dosažení nejmenší mezerovitosti v plnivu znamená tak úsporu materiálových nákladů.

### 3.9.5 Zrnitost

U sypkých látek je jednou ze základních vlastností zrnitost, což je poměrná skladba zrn jednotlivých velikostí.

Na zrnitosti závisejí také:

- mezerovitost,
- sypná hmotnost,
- propustnost,
- stlačitelnost a další mechanické vlastnosti,
- tepelné a akustické vlastnosti.

Velikost zrna sypké látky je definována jako velikost otvoru síta, jímž posuzované zrno právě projde. V případě podlouhlých zrn není tedy velikost zrna jeho největším rozměrem. Pro posuzování velikosti zrn jednotlivých materiálů se používají síta se čtvercovými nebo kruhovými otvory různých velikostí.

Častěji než velikost zrna, což je pojem celkem jen teoretický, se zavádí pojem *frakce* (zrnění), definovaná jako rozmezí dvou velikostí sít, kde horním sítem s většími otvory všechna zrna projdou a na dolním, menším sítě, zůstanou.

Zjišťování velikosti zrn na základě jejich propadu síty je však možné jen u zrn střední velikosti (tj. asi od 0,05 mm do 80 mm).

U větších zrn je totiž již obtížné dosáhnout takového natočení zrna, aby mohlo otvorem síta dobře projít. V těch případech zbývá pak při hledání velikosti zrna jen přímé proměření jeho rozměrů.

U zrn menších než asi 0,05 mm dochází při sítování k vzájemnému slepování a k jejich nalepování na dráty sít. Výroba přesných sít s oky menšími než 0,1 mm je navíc obtížná. Proto se velikosti malých zrn určují fyzikálními metodami, např. sedimentací na základě Stokesova zákona.

Je-li známa velikost jednotlivých zrn (resp. frakcí) a jejich poměrný obsah ve směsi, hovoříme o známé zrnitosti (granulometrii). *Zrnitost* se udává buď tabelárně, nebo graficky.

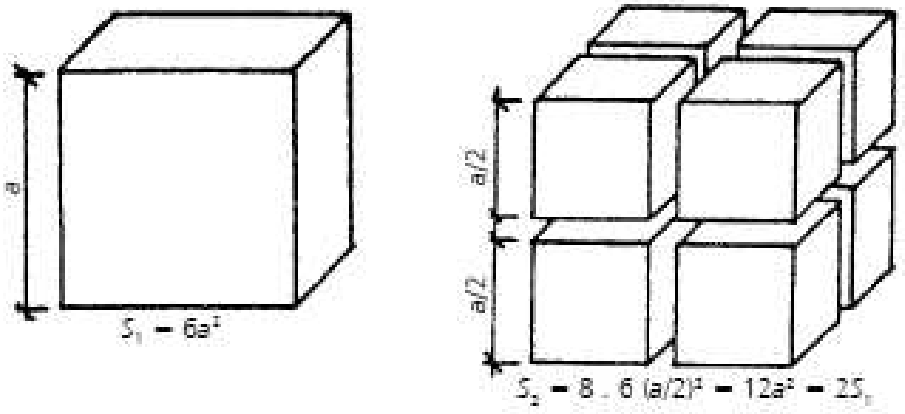
Ve stavebnictví se ke grafickému zobrazení zrnitosti používá spojnicový diagram zobrazující propady na sítech seřazených podle velikosti tzv. *čára zrnitosti*.

Granulometrie je jednou z klíčových charakteristik kameniva. Podrobnější popis celé problematiky je proto možné nalézt v kapitolách 4.1 a 5.3.

### 3.9.6 Měrný povrch

Zajímá-li nás pouze průměrná velikost zrn v sypké látce, je k tomu velmi dobrou charakteristikou *měrný povrch*.

Měrný (specifický) povrch vyjadřuje celkovou povrchovou plochu všech zrn jednotkového množství látky. Jeho rozměrem je $m^2.kg^{-1}$. Je jasné, že čím bude látka jemnější, tím bude měrný povrch větší (viz obr. 3.8).




*Obr. 3.8* Závislost měrného povrchu na velikosti částic

Popisování zrnitosti měrným povrchem je vhodné zvláště u velmi drobných materiálů, kde sítový rozbor nedává spolehlivé výsledky.

Měrným povrchem se například udává *jemnost mletí* cementu. Běžné cementy mají měrný povrch 250 až 350 $m^2.kg^{-1}$.

Díky svému velkému měrnému povrchu (15 000 až 30 000 $m^2.kg^{-1}$) se oblíbenou materiálovou přísadou stal křemičitý úlet. Ve stavebnictví je používaný především při přípravě speciálních betonů a malt.

## 3.10 Vlhkostní a difúzní vlastnosti materiálů

Vlhkostní a difúzní vlastnosti materiálů souvisí s přítomností pórů v objemu materiálů, a je nutné se jimi zabývat především v případě:

- tepelně izolačních materiálů,
- keramických materiálů,
- betonů,
- autoklávovaných pórobetonů,
- vápenopískových cihel,
- omítek včetně omítek sanačních a tepelně izolačních,
- dřevěných prvků,
- nátěrů.

Vlhkost materiálů ovlivňuje mnohé další vlastnosti, zejména s objemovou hmotnost, mrazuvzdornost, měrnou tepelnou vodivost, měrnou tepelnou kapacitu, pevnost a pružnost.

### 3.10.1 Vlhkostní vlastnosti materiálů

Vlhkostní vlastnosti (např. hmotnostní vlhkost, objemová vlhkost, objemová hmotnost ve vlhkém stavu) buď vyjadřují, jaké množství vlhkosti (volné nebo fyzikálně vázané vody) materiály obsahují, nebo kvantifikují dopady působení vlhkosti (ve stavu kapalném i plynném) na sledovaný materiál pomocí nasákavosti a vzlínavosti.

Základní vlhkostní vlastnosti materiálů *Tab. 3.1*

| Název, značení a rozměr veličiny | Rovnice pro výpočet veličiny | Popis veličin v rovnici |
|---|---|---|
| Objemová vlhkost materiálu $w_v$ (%) | $w_v = (V_w/V) .100$ | $V_w$ je objem volné vlhkosti v materiálu ($m^3$)<br>$V$ je objem materiálu ($m^3$) |
| Objemová hmotnost materiálu ve vlhkém stavu $\rho_w$ ($kg.m^{-3}$) | $\rho_w = m_w/V$ | $m_w$ je hmotnost materiálu ve vlhkém stavu (kg)<br>$V$ je objem materiálu ($m^3$) |
| Hmotnostní vlhkost materiálu $w_m$ (%) | $w_m = ((m_w - m_d)/m_d) .100$ | $m_w$ je hmotnost materiálu ve vlhkém stavu (kg)<br>$m_d$ je hmotnost materiálu v suchém stavu (kg) |

#### 3.10.1.1 Vlhkost pórovitých materiálů

Pórovité materiály se prakticky v suchém stavu nevyskytují. Jejich vlhkost má vždy nějakou nenulovou hodnotu.Totéž platí samozřejmě i v případě, kdy jsou trvale zabudovány do konstrukcí a tvoří jejich nedílnou součást.

Vlhkost (voda) se v materiálech vyskytuje jako:

- volná (vyplňující velké póry a dutiny),
- fyzikálně vázaná,
- kapilární voda (tvořící výplň malých pórů a kapilár),
- adsorbovaná voda (vyplňující nejmenší póry a pokrývající stěny kapilár),
- chemicky vázaná (tvořící součást základní mřížky materiálů, např. jako voda krystalová) .

Podle zdroje vlhkosti v materiálu rozlišujeme:

- vlhkost výrobní (technologická, počáteční), která je ovlivněna mokrými technologickými procesy při výrobě materiálů,
- vlhkost zemní - transportovanou do materiálů tvořících např. obvodové suterénní konstrukce obklopené zeminou (rostlým terénem) v objektech, kde nejsou provedeny funkční hydroizolace,
- sorpční vlhkost – přijímanou materiály v konstrukcích z okolního vzduchu,
- zkondenzovanou vodu, která se sráží na povrchu nebo uvnitř materiálů (konstrukcí) a její příčinou mohou být nejen vodní páry obsažené ve vzduchu, ale i vodní páry prostupující např. konstrukcemi obvodových plášťů,
- provozní vlhkost, která je závislá na typu využití prostorů, na vytápění a větrání.

#### 3.10.1.1.1 Druhy vlhkosti

Množství vlhkosti v pórovitých materiálech není konstantní a mění se nejen během výroby, ale i během celé doby jejich životnosti.

Z tohoto důvodu se rozeznávají následující druhy vlhkostí materiálů, které jsou typické pro jednotlivé etapy tvorby a použití materiálu:

- *výrobní vlhkost*, která v případě mokrých procesů dosahuje vysokých hodnot, ale po krátkém čase její velikost podstatně klesá,
- *skladovací vlhkost*, která ovlivňuje způsob následného zpracování (např. u kameniva do betonu se musí počítat do množství záměsové vody nutné k výrobě betonu požadovaných vlastností)
- *trvalá vlhkost* je charakteristická pro materiály zabudované do konstrukce.

Ve srovnání s vlhkostí výrobní u materiálů vyrobených mokrým procesem nabývá vlhkost trvalá nižší velikosti a výrazně se nemění po delší dobu životnosti materiálů.

Přibližná doba potřebná k dosažení trvalé vlhkosti je mezi 2 až 7 lety od zabudování materiálů do konstrukcí. Délku této doby ovlivňuje:

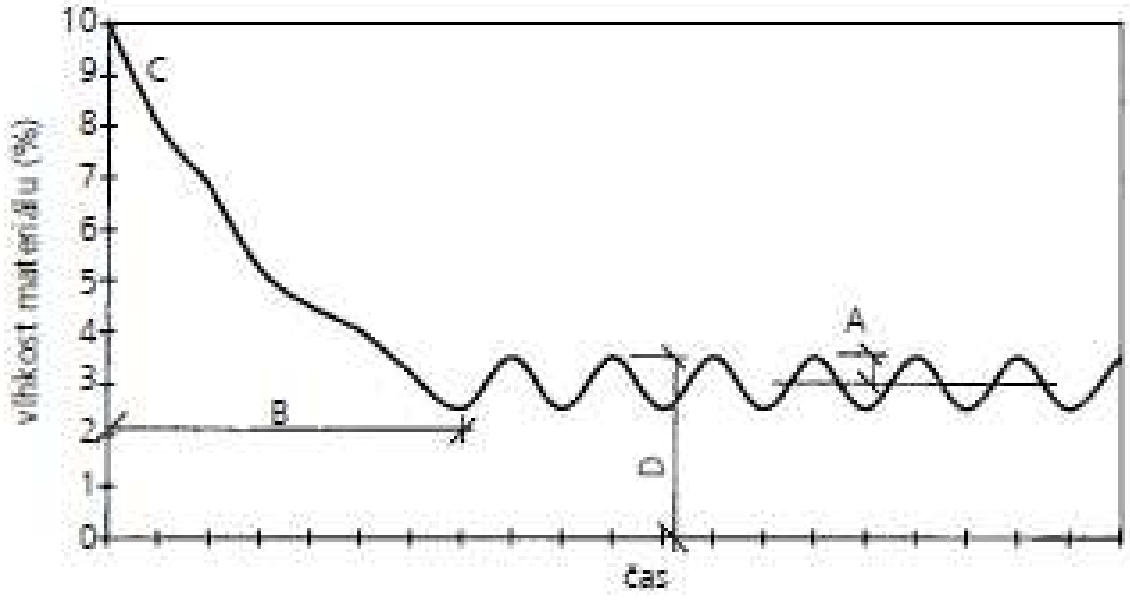
- vlhkostní a teplotní parametry provozu v budově (mohou se měnit během dne, měsíce a roku),
- roční období,
- pórovitost materiálů (množství, velikost a otevřenost pórů),
- intenzita větrání a typ vytápění.

*Kritická vlhkost* je maximální přípustná vlhkost materiálu zabudovaného do konstrukce. Při jejím překročení mění materiály do té míry své vlastnosti (pevnost, objem, tepelnou vodivost, chemické vlastnosti apod.), že jejich další použití je nevhodné a nebezpečné.

*Okamžitá hmotnostní vlhkost* materiálu $w_{m,exp}$ ( %) je vztažená k času, místu, výrobku, stavební konstrukci s definovanou skladbou a k dalším okolnostem uváděným při odběru vzorků pro její stanovení.

*Praktická hmotnostní vlhkost* materiálu $w_{mp}$ (%) je určená na základě výsledků z odběru vlhkostních sond ze stavební konstrukce. Je to výpočtově stanovená hodnota vlhkosti materiálu dané stavební konstrukce, která s pravděpodobností 90 % nebude v průběhu jejího užívání překročena, při dodržení určujících normových parametrů vnitřního a vnějšího prostředí.

*Normová hmotnostní vlhkost* materiálu $w_{mn}$ ( %) se určuje na základě bezrozměrného vlhkostního součinitele materiálu $Z_{w0}$ a koeficientů podmínek působení. Je to výpočtem stanovená vlhkost materiálu, ke které jsou při nestanovené hodnotě praktické vlhkosti vztaženy výpočtové číselné hodnoty fyzikálních veličin materiálu.




*Obr. 3.9* Změna vlhkosti stavebních materiálů od výrobní vlhkosti po ustálený vlhkostní stav

A – roční amplituda ustálené vlhkosti, B – doba v měsících potřebná ke snížení praktické vlhkosti na vlhkost ustálenou, C – výrobní vlhkosti, D – praktická vlhkost

*Charakteristická hmotnostní vlhkost* materiálu $w_{mk}$ ( %) je sorpční vlhkost materiálu, stanovená za smluvních podmínek při teplotě vzduchu $t_a$ = 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu $\psi_a$ = 80 %, ke které je vztažena charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti materiálu $\lambda_k$ (W $m^{-1}$ $K^{-1}$).

*Sorpční hmotnostní vlhkost materiálu* $w_{m,\,sb}$ ( %) je rovnovážná vlhkost materiálu, která se v původně vysušeném materiálu ustálí při jeho uložení v prostředí s danou relativní vlhkostí a teplotou vzduchu.

### 3.10.1.1.2 Transport vlhkosti

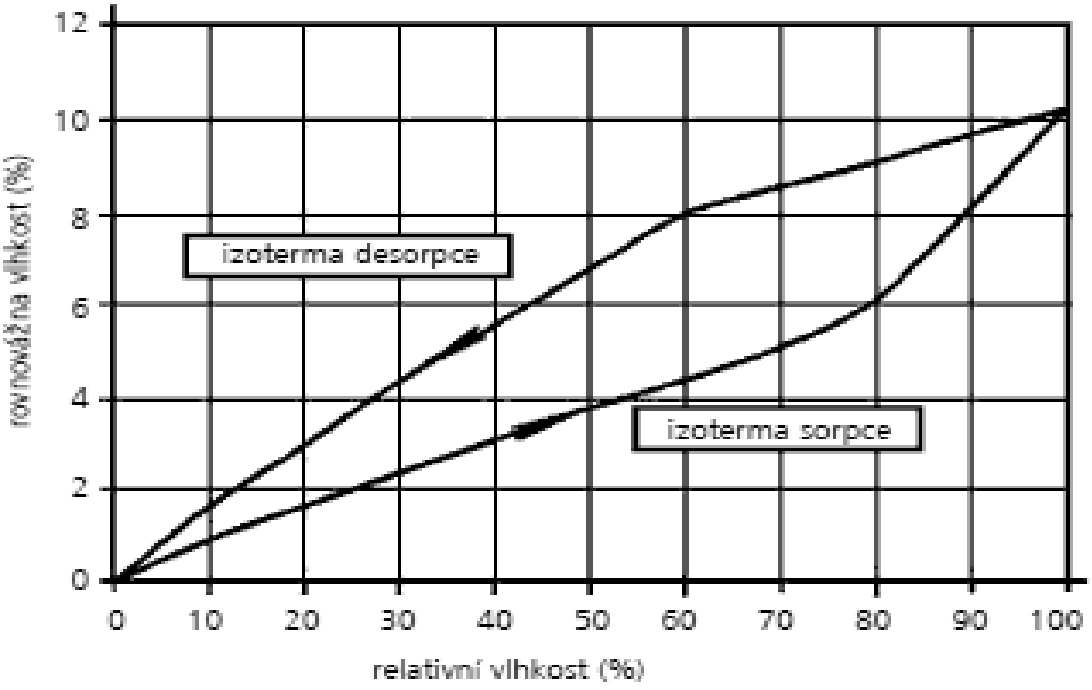
Současně se šířením tepla probíhá v materiálech přenos vlhkosti, ke které může docházet třemi způsoby:

- sorpcí vodní páry,
- difúzí vodní páry,
- vodivostí vlhkosti.

Přijímání vlhkosti pohlcováním vodní páry obsažené ve vzduchu, který materiál obklopuje se nazývá *sorpce vlhkosti.* Její součástí je *adsorpce*, jež je způsobena mezimolekulárními van der Waalsovými silami, kterými se navzájem přitahují molekuly tuhých látek a vodní páry. Adsorpce vede ke vzniku molekulárních vrstev vodní páry na stěnách pórů. Jejich tloušťka závisí především na relativní vlhkosti vzduchu.
Dalším sorpčním jevem je *absorpce*, při které se kapalná nebo plynná fáze vstřebává difúzí a vedením vlhkosti dovnitř tuhé fáze a *chemisorpce*, při níž se uplatňují chemické vazby vody a tuhé fáze materiálu.

Roste-li množství vlhkosti ve vzduchu, dochází k sorpci a naopak, klesá-li množství vodní páry ve vzduchu, dochází k *desorpci.*

Mění-li se relativní vlhkost vzduchu, způsobuje obvykle i objemové změny pórovitých materiálů, protože změnou kapilárních sil uvnitř pórů se mohou stěny pórů deformovat.




*Obr. 3.10* Vliv relativní vlhkosti vzduchu na rovnovážnou vlhkost stavebního materiálu (typický tvar izotermy rovnovážné vlhkosti) [Vaverka,. J., Chybík, J.,Mrlík, F., 2000]

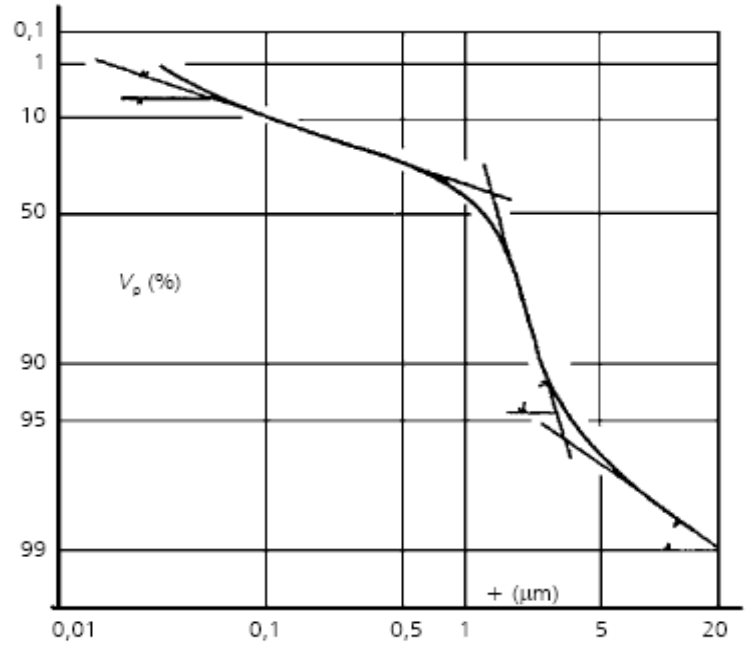
Rovnovážná sorpční a desorpční vlhkost vybraných materiálů v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu *Tab. 3.2*

| Materiál | Objemová hmotnost ρ [kg.m$^{-3}$] | Teplota t [$^{O}$C] | Sorpční* a desorpční vlhkost (% hmotnosti) při relativní vlhkosti vzduchu | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 20 | 40 | 60 |
| Cihla plná pálená | 1800 | 25 | 0,1* | 0,25* | 0,295* |
| Pórobeton | 580 | 25 | 2,86 | 3,1 | 8,55 |
| Vápenná omítka | 1590 | 25 | 0,16 | 0,27 | 0,34 |

*Rovnovážná sorpční vlhkost* je taková, při níž materiál nevykazuje v čase žádný přírůstek ani úbytek vlhkosti. Je-li obklopující vzduch zcela nasycen vodními parami, nabývá sorpční vlhkost materiálů nejvyšší hodnoty nazvané *vlhkost hygroskopická*.

*Difúze* je schopnost pronikání molekul plynu, páry či kapaliny mezi molekuly pórovitého materiálu. V případě, kdy pórovitý materiál odděluje dvě prostředí, mezi nimiž je rozdíl částečných tlaků vodní páry, dochází k difúzi vodní páry. Difúze probíhá z prostředí, kde je částečný tlak vodní páry vyšší
a dochází k ní v makrokapilárách, které mají průměr d > $10^{-7}$ m, protože v takovýchto makrokapilárách nedochází ke kapilární kondenzaci. Výrazný makrokapilární charakter mají pórovité tepelně izolační materiály.

V mikrokapilárách o rozměru d < $10^{-7}$ m dochází ke *kapilární kondenzaci*. V jemných pórech se kumuluje voda. Její hladiny v pórech jsou zakřivené. Vodní páry z okolí difundují k zakřivenému povrchu vodní hladiny a zde kondenzují.




Obr. 3.11 Typické rozdělení pórů podle velikosti v cihelném střepu, kde $V_p$ ( %) je objem pórů menších než *d* (µm)

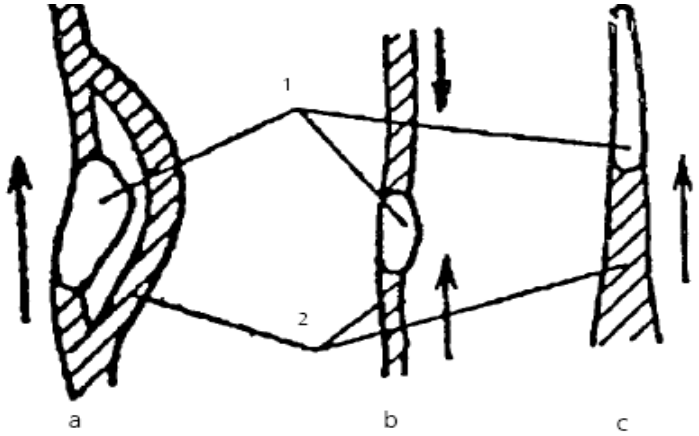
[Pytlík, P., 1998]

*Vodivost vlhkosti* je schopnost materiálu vést vlhkost v kapalné fázi k povrchu, z něhož se odpařuje nebo difunduje do okolí.

Navlhavost a vysychavost betonu se zkouší podle ČSN 73 1327 (viz kap. 5.3.2.6).

### 3.10.1.2 Nasákavost

Maximální množství vlhkosti, které v materiálu může být obsaženo se vyjadřuje pomocí nasákavosti.




Obr. 3.12 Schéma uzavření vzduchu v kapilárách [Vaverka,. J., Chybík, J.,Mrlík, F., 2000]

1 - vzduch, 2 - voda, a - jednosměrný tok vody, b - dvojsměrný tok vody, c – uzavření vzduchu v neprůchodné kapiláře

*Nasákavost hmotnostní* se udává stejně jako hmotnostní vlhkost poměrem hmotnosti nasáklé vlhkosti k hmotnosti suchého vzorku materiálu a *nasákavost objemová* poměrem objemu nasáklé vlhkosti k objemu vzorku materiálu. Nasákavost se udává buď po jisté době ponoření vzorku do kapaliny (po 1 hod., 24 hod. apod.), nebo svou největší hodnotou, tj. teoreticky po nekonečné době, kdy všechny otevřené póry budou již vyplněny vodou.

Nasákavost objemová se může pohybovat od 0 % do cca 100 %, nasákavost hmotnostní může u materiálů lehčích než voda hodnotu 100 % i značně překročit.

Nasákavost (hmotnostní, objemová) vybraných materiálů *Tab. 3. 3*

[Halahyja, M., Betko, B., Bloudek, K., Puškáš, J., 1985]

| Materiál | Hmotnostní nasákavost (%) | Objemová nasákavost (%) |
|---|---|---|
| Dřevo | 140 – 170 | 55 – 70 |
| Ocel | ~ 0 | ~ 0 |
| Cihly plné pálené | 20 – 25 | 36 – 55 |
| Beton hutný | 6 – 13 | 13 – 30 |
| Pórobeton | 40 – 90 | 35 – 40 |
| Pěnový polystyrén | 70 – 500 | do 7 |

### 3.10.1.3 Vzlínavost

*Vzlínavost* je vlastnost pórovitých materiálů, která se projevuje při jejich částečném ponoření do kapaliny.

Vzlínavost je vyjádřena rozdílem (výšek) hladiny vody v kapilárách proti hladině vody, v níž je materiál ponořen. Ve starší technické literatuře se lze setkat místo názvu vzlínavost s názvem *kapilarita*.

Vlivem kapilárních a sorpčních sil dojde k vystoupání kapaliny i nad čáru ponoru (*kapilární elevace*). Výška, do níž kapalina nad hladinu vystoupí, závisí na struktuře materiálu, na rozměrech jeho pórů, na rychlosti odpařování do ovzduší a na době, po kterou je látka v kapalině částečně ponořena. V první fázi ponoření nastane rychlé vzlínání kapaliny do látky, postupem času se rychlost vzlínání zpomaluje. V praktických případech se vzlínavost posuzuje výškou hladiny vlhkosti, do které vlhkost vystoupila nad čáru ponoru (rozdílné zbarvení materiálu nad hranicí a pod hranicí vzlínavosti).

V laboratorních měřeních se pro větší přesnost vzlínavost popisuje přírůstkem hmotnosti (hmotnostní vzlínavost) částečně ponořeného vzorku (při zkoušení vzlínavosti betonu se postupuje podle ČSN 73 1316).

Měřené vzorky (s vodotěsně izolovanými boky) se částečně ponořují testovanou plochou dolů do vodní lázně a poté se v určených časových intervalech váží. Časové intervaly mezi jednotlivými váženími se řídí rychlostí nasakování. Hmotnostní přírůstek zjišťovanou při pokusu se vynáší do diagramu v závislosti na druhé odmocnině času.

Pokud má závislost mezi přírůstkem hmotnosti vztaženým na jednotkovou plochu a druhou odmocninou času v podstatě (odhlédnuto od počátečního průběhu) lineární charakter, je směrnici této přímky možné chápat jako *koeficient nasákavosti* ($kg.m^{-2}.s^{-1/2}$). Takto zjištěný koeficient nasákavosti se používá při posuzování vlastností omítek a fasádních barev (viz. 4.12.1).

Se vzlínavostí zemní vlhkosti se lze nejčastěji setkat u suterénního zdiva bez funkční hydroizolace, s níž se do pórovitého systému materiálů dostávají i ve vodě rozpustné soli (chloridy, sírany, dusičnany), které urychlují degradační procesy a snižují životnost zdiva, zdících malt, omítek i nátěrů. Může docházet ke ztrátě pevnosti (opadávání) omítek, chemickému rozrušování zdiva a omítek (výkvěty solí a vznik plísní).

Hranici vzlínavosti je možné snížit aplikací elektrického proudu zavedeného do vlhkého pórovitého zdiva s pomocí elektrod vhodného tvaru (pásových nebo tyčových). I když se tento tzv. *elektroosmotický jev* dobře předvádí na laboratorních vzorcích, je jeho úspěšná praktická realizace na zdivu obtížná. Problémem je zejména rychlá koroze kladné elektrody zabudované do zdiva a elektrická nehomogenita vysoušeného zdiva. Lepší výsledky se získají při použití nekorodujících elektrod z grafitu nebo elektricky vodivé pryže. Další možnost představuje usazení elektrod do vývrtů zaplněných elektricky vodivým tmelem.

Hmotnostní vzlínavost vybraných materiálů v závislosti na čase *Tab. 3.4*

[Halahyja, M., Betko, B., Bloudek, K., Puškáš, J., 1985]

| Materiál | Objemová hmotnost v suchém stavu | Hmotnostní vzlínavost C ($kg.m^{-2}$) za čas | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 2 hodiny | 8 hodin | 24 hodin |
| Pěnový polystyren | 16 | 1,1 | 1,2 | 1,2 |
| Pěnový polyuretan | 35 | 0,3 | 0,4 | 0,4 |
| Plynosilikát | 540 | 12,7 | 19,9 | 29,7 |

Je třeba zdůraznit, že s elektroosmózou nemají nic společného metody bezkontaktní („magnetokinetické“), které pokoušejí snížit hranici vzlínavosti bez přímého elektrického kontaktu zprostředkovaného elektrodami. To, že výrobci těchto zařízení se na elektroosmotický jev odvolávají, je neseriózní obchodní praktikou.

Zařízení pro realizaci bezkontaktního vysoušení jsou nabízena s velmi sebevědomou reklamou, ale možnosti ovlivnění vlhkosti jejich působením je obtížné uvěřit. Údajný magnetokinetický fenomén není potvrzen žádným reprodukovatelným experimentem.

Některé z bezkontaktních přístrojů zjevně žádné magnetické či elektromagnetické pole nevytvářející. Neměřitelnost deklarovaného silového pole se někteří výrobci snaží obejít tvrzením, že se jedná o pole „superslabé“. Takové tvrzení patří do kategorie pseudovědeckých bizarností, stejně jako tvrzení, že k odstranění vlhkosti dochází účinkem jakéhosi dosud neznámého „gravomagnetického“ pole.

Účinnost magnetokinetických metod se při bližším zkoumání jeví jako nulová [Klečka, T., Kolář, K., Kolísko, J., 2005]. Přesto jsou zařízení založená na neexistujícím magnetokinetickém efektu stále nabízena a prodávána.

### 3.10.1.4 Navlhavost a vysýchavost

Navlhavost (sorpční vlhkost) je vlhkost, kterou mohou materiály přijímat z vlhkého vzduchu. Vyjadřuje dopad vlivu působení vzdušné vlhkosti na pórovitý materiál (s otevřenými póry) a schopnost materiálu přijímat vzdušnou vlhkost. Proces pohlcování vodní páry probíhá až do rovnovážného stavu sorpční vlhkosti látky, při které je částečný tlak vodní páry v materiálu a v okolním vzduchu v rovnováze.

Rovnovážná sorpční vlhkost závisí na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu a na barometrickém tlaku. V případě, kdy vlhkost ve vzduchu klesá a částečný tlak vodní páry v materiálu je vyšší, nastává jev nazvaný vysýchavost (desorpce), tj. uvolňování vlhkosti z materiálu do vzduchu.

Navlhavost i vysýchavost je možné vyjádřit hmotnostně nebo objemově a výpočet lze provést podle obdobných vzorců jako pro výpočet hmotnostní, respektive objemové vlhkosti. Protože jde o vlastnosti navzájem vratné, je vzorec pro výpočet navlhavosti i vysýchavosti shodný a liší se jen znaménkem. Navlhavost a vysýchavost závisejí na pórovitosti materiálu a na velikosti a tvaru pórů (kapilár).

### 3.10.2 Difúzní vlastnosti

Materiály, u kterých je nutné znát jejich difúzní vlastnosti jsou:

- materiály bránící pronikání vodní páry např. do základových a střešních konstrukcí (hydroizolační materiály, parozábrany),
- materiály současně bránící pronikání vodní páry a plynů z podloží do prostorů staveb (protiradonové fólie),
- materiály pro sanace vlhkého zdiva (např. sanační omítky, které umožňují odvod vlhkosti z konstrukcí systémem pórů),
- materiály povrchových úprav konstrukcí (nátěrové systémy).

Veličiny používané k hodnocení difúzních vlastnosti homogenních materiálů a nehomogenních vrstev *Tab. 3.5*

| Název veličiny | Značení | Jednotky |
|---|---|---|
| Homogenní materiály | | |
| Faktor difuzního odporu | $\mu$ | (–) |
| součinitel difuzní vodivosti | $\rho$ | (–) |
| Nehomogenní vrstvy materiálů | | |
| Ekvivalentní faktor difuzního odporu | $\mu_{ev}$ | (–) |
| Ekvivalentní součinitel difuzní vodivosti | $\rho_{ev}$ | (–) |

Schopnosti materiálů propouštět vodní páry difúzí, které jsou závislé na tloušťce materiálů, lze také vyjádřit pomocí

- ekvivalentní difúzní tloušťky,
- difúzního odporu.

#### 3.3.2.1 Součinitel difúze

Součinitel difúzní vodivosti $\delta$ se běžně uvádí v sekundách ($\delta$ = 1 kg.m$^{-1}$.s$^{-1}$.Pa$^{-1}$ = 1 s). Vyjadřuje schopnost materiálu propouštět vodní páru difúzí.

Normové hodnoty součinitelů difúze vodních par stavebních materiálů, které lze najít v ČSN 73 0540, se pohybují od hodnot blížících se dokonalé parotěsnosti, tj. $\delta_n \approx 0$ s (např. hydroizolační materiály, kovy, sklo) do $\delta_n \approx 0{,}17.10^{-9}$ s (např. rohože z minerálních vláken).

Součinitel difúze vodní páry pro samotný vzduch je $\delta = 0{,}178.10^{-9}$ s .

V ČSN 73 0540 je také uveden ekvivalentní součinitel difúzní vodivosti $\delta_{ev}$, vyjadřující schopnost nehomogenní vrstvy materiálu propouštět vodní páru difúzí.

Velikost součinitele difúze materiálů $\delta$ (s) závisí na:

- teplotě (se vzrůstem teploty stoupá),
- vlhkosti (se vzrůstající vlhkostí se zmenšuje),
- množství, velikosti, otevřenosti (uzavřenosti) a na vzájemné propojenosti pórů.

### 3.3.2.2 Faktor difúzního odporu

Schopnost materiálu propouštět vodní páry lze vyjádřit vedle součinitele difúze také bezrozměrným faktorem difúzního odporu. Faktor difúzního odporu $\mu$ vyjadřuje relativní schopnost materiálu propouštět vodní páry difúzí. Je poměrem difúzního odporu materiálu a difúzního odporu vrstvy vzduchu o téže tloušťce při definovaných podmínkách.

Normové hodnoty faktorů difúzního odporu dle ČSN 730540 stavebních materiálů se pohybují od 1 do 160 000 a jeho hodnota nabývá nejvyšších hodnot u hydroizolačních materiálů.

Pro převod mezi součinitelem difúze vodních par a faktorem difúzního odporu platí vztah

$$\mu = \frac{1}{N.\delta}$$

kde $\mu$ je faktor difúzního odporu,

$\delta$ je součinitel difúzní vodivosti (s),

a $N$ je přibližná hodnota difúzního odporu vzduchu $5{,}45.10^{9}$ $s^{-1}$ závisející na teplotě.
V ČSN 73 0540 je také uveden ekvivalentní faktor difúzního odporu $\mu_{ev}$, vyjadřující relativní schopnost nehomogenní vrstvy materiálu propouštět vodní páru difúzí.

Difúzní vlastnosti materiálů dle ČSN EN 12524 *Tab. 3.6*

| Materiál | Objemová hmotnost | Vlhkost hmotnostní a objemová při 23 °C a relativní vlhkosti 50 % | | Vlhkost hmotnostní a objemová při 23 °C a relativní vlhkosti 80 % | | Faktor difuzního odporu $\mu$ (–) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\rho$ (kg.m$^{-3}$) | $u$ (kg.kg$^{-1}$) | $\psi$ (m$^3$.m$^{-3}$) | $u$ (kg.kg$^{-1}$) | $\psi$ (m$^3$.m$^{-3}$) | |
| Expandovaný polystyren | 10 – 50 | | 0 | | 0 | 60 |
| Extrudovaný polystyren | 20 – 65 | | 0 | | 0 | 150 |
| Tuhá polyuretanová pěna | 28 – 55 | | 0 | | 0 | 60 |
| Minerální vlna | 10 – 200 | | 0 | | 0 | 1 |
| Pěnové sklo | 100 – 150 | 0 | | 0 | | ∞ |
| Dřevovláknité desky | 150 – 250 | 0,1 | | 0,16 | | 5 – 10 |
| Volná minerální vlna | 15 – 60 | | 0 | | 0 | 1 |
| Volně plněná celulózová vlákna | 20 – 60 | 0,11 | | 0,18 | | 2 |
| Volně sypaný expandovaný perlit | 30 – 150 | 0,01 | | 0,02 | | 2 |
| Volně sypané polystyrenové kuličky | 10 – 30 | | 0 | | 0 | 2 |
| Pálená hlína (plné cihly) | 1 000 – 2 400 | | 0,007 | | 0,012 | 10 – 16 |
| Silikátbeton (kalciumsilikát) | 900 – 2 200 | | 0,012 | | 0,024 | 15 – 20 |
| Beton s hutným kamenivem a umělým kamenivem | 1 600 – 2 400 | | 0,025 | | 0,04 | 120 – 150 |
| Autoklávovaný porobeton | 300 – 1 000 | 0,026 | | 0,045 | | 6 – 10 |
| Malty (zdicí malty a omítkové malty) | 250 – 2 000 | | 0,04 | | 0,06 | 10 – 20 |

ČSN EN 12524 obsahuje tabulku s návrhovými hodnotami faktoru difúzního odporu vybraných materiálů. Návrhová hodnota dle ČSN EN 12524 je hodnotou vlastnosti materiálu nebo výrobku za specifikovaných vnějších a vnitřních podmínek, které mohou být považovány za typické pro chování materiálu nebo výrobku zabudovaného do stavebního dílce.

### 3.3.2.3 Ekvivalentní difúzní tloušťka materiálu

Ekvivalentní difúzní tloušťka $r_d$ (m) je další z difúzních vlastností materiálů, jejíž velikost, na rozdíl od součinitele difúzní vodivosti a faktoru difúzního odporu, je závislá na tloušťce materiálu. Používá se hlavně k vyjádření difúzních vlastností povrchových úprav (sanačních omítek, nátěrových systémů apod.)

$$r_d = \mu . d$$

kde $\mu$ je faktor difúzního odporu,

$d$ je tloušťka materiálu (m).

V ČSN EN 12524 se používá pro ekvivalentní difúzní tloušťku značka $s_d$ a v této normě je uvedena tabulka s hodnotami ekvivalentní difúzní tloušťky hydroizolačních materiálů v metrech.

### 3.3.2.4 Difúzní odpor materiálu

Pomocí difúzního odporu materiálu (konstrukce) se v tepelně-technických výpočtech stanovuje množství zkondenzované vodní páry např. v souvrství materiálů tvořících skladby střešních konstrukcí apod.

$$R_d = \mu . d . N = r_d . N$$

kde $\mu$ je faktor difúzního odporu materiálu,

$d$ - tloušťka materiálu (m),

$N$ - přibližná hodnota difúzního odporu vzduchu $5{,}45.10^9$ $s^{-1}$ závisející na teplotě,

$r_d$ - ekvivalentní difúzní tloušťka materiálu (m).

Normové difúzní vlastnosti nehomogenních vrstev materiálů dle ČSN 73 0540 *Tab. 3.7*

| Stavební konstrukce | Normové hodnoty | Ekvivalentní normové hodnoty | |
|---|---|---|---|
| | objemová hmotnost v suchém stavu $\rho_{dn}$ (kg.m$^{-3}$) | faktor difuzního odporu $\mu_{ev,n}$ (–) | součinitel difuze vodní páry $\delta_{ev,n}.10^9$ (s) |
| Zdivo z plných pálených cihel CP | | | |
| rozměrů 290/140/65 $Z_{w,c}$ = 0,13 | 1 700 | 8,5 | 0,022 |
| | 1 800 | 9,0 | 0,021 |
| Zdivo z cihel metrického formátu CDm | | | |
| rozměrů 240/115/113, tl.115 mm | 1 400 | 7,0 | 0,027 |
| tl.375 mm | 1 450 | 7,0 | 0,027 |

Normové difúzní vlastnosti homogenních materiálů dle ČSN 73 0540 *Tab. 3.8*

| Materiál | Normové hodnoty | | | Charakteristické hodnoty |
|---|---|---|---|---|
| | objemová hmotnost v suchém stavu $\rho_{dn}$ (kg.m$^{-3}$) | faktor difuzního odporu $\mu_n$ (–) | součinitel difuze vodní páry $\delta_n.10^9$ (s) | hmotnostní vlhkost $w_{mk}$ (%) |
| Betony | | | | |
| Beton hutný | 2 200 | 20 | 0,009 | 1,5 |
| Železobeton | 2 400 | 29 | 0,007 | 1,5 |
| Beton z liaporu | 700 | 8 | 0,024 | 0,2 |
| Beton z liaporu | 1 300 | 13 | 0,014 | 0,6 |
| Beton z perlitu | 300 | 9 | 0,021 | 2,00 |
| Beton z perlitu | 500 | 14 | 0,013 | 10,0 |
| Betony lehké autoklávované | | | | |
| Pískový pórobeton | 580 | 6 – 9 | 0,031 – 0,02 | 4,5 |
| Popílkový pórobeton | 580 | 7 – 10 | 0,027 – 0,019 | 5,5 |
| Omítky | | | | |
| Omítka vápenná | 1600 | 6 | 0,031 | 1,8 |
| Omítka vápenocementová | 2000 | 19 | 0,01 | 1,3 |
| Omítka perlitová | 500 | 7 – 15 | 0,027 – 0,013 | 4 – 6 |
| Tepelněizolační pěnoplastické materiály | | | | |
| Polystyren pěnový (PPS) | 10 | 40 – 67 | 0,0047 – 0,002 | 2,5 |
| Polystyren pěnový (EXP) | 30 | 100 | 0,0019 | |
| Polyuretan pěnový tuhý pěněný freonem, neplášťovaný | 35 | 180 – 260 | 0,001 – 0,00072 | 3,0 |
| Tepelněizolační vláknité materiály | | | | |
| Materiály z minerální plsti | 200 | 1,1 – 3 | 0,17 – 0,063 | < 2 |
| Materiály z minerální plsti lisované | 250 | 5 – 12 | 0,038 – 0,016 | 2 – 4 |
| Materiály ze skleněné plsti | 15 | 2,5 | 0,075 | > 1 |
| Dřevo, materiál z agregovaného dřeva a korku | | | | |
| Dřevo tvrdé, tepelný tok | | | | |
| • kolmo k vláknům | 600 | 157 | 0,0012 | 13 |
| • rovnoběžně s vlákny | 600 | 4,5 | 0,042 | 13 |
| Dřevo měkké, tepelný tok | | | | |
| • kolmo k vláknům | 400 | 157 | 0,0012 | 13 |
| • rovnoběžně s vlákny | 400 | 4,5 | 0,042 | 13 |
| Deskové materiály ostatní | | | | |
| Sádrokarton | 750 | 90 | 0,021 | 10 |
| Sypké materiály | | | | |
| Liapor | 400 | 2,5 – 4,5 | 0,075 – 0,042 | 3 |

### 3.10.2.1 Propustnost

K difúzním vlastnostem by bylo možné přiřadit i p*ropustnost zemin* (permeanci), která umožňuje difúzí a konvekcí pronikání plynného radonu. Tato vlastnost závisí na množství jemnozrnných částic (0,063 mm) v zemině.

Propustností se je nutné zabývat u půdních vrstev pod základovými konstrukcemi s výskytem radioaktivního plynu radonu. Platí, že čím vyšší propustnost, tím větší nebezpečí pronikání radonu z podloží.

Podle podílu jemnozrnných částic se horniny třídí na

- málo propustné (obsah jemných částic 65 %),
- středně propustné (obsah jemných částic od 15 do 65 %),
- dobře propustné (obsah jemných částic menší 15 %).

Propustnost závisí na

- velikosti a tvaru zrn,
- velikosti a distribuci pórů,
- na obsahu vlhkosti.

Podle propustnosti zemin v podloží se klasifikují radonová rizika (nízké, střední a vysoké) a podle objemové aktivity radonu (kBq.m$^{-3}$) v podloží se stanovují technické požadavky na budovy.

Ve starší technické literatuře se lze také setkat se součinitelem propustnosti pro vodu či jiné kapaliny i pro plyny a provzdušností, která charakterizovala schopnost pronikání vzduchu průchodnými kapilárami.

V literatuře vycházející z německých předpisů se setkáme s propustností vodních par chápanou jako množství vody v gramech, které za 24 hodin projde přes plochu 1 m$^2$ určitého materiálu.

Tato veličina se využívá hlavně u paropropustných fólií, používaných jako pojistné hydroizolace šikmých střech. Lze ji vypočíst násobením převrácené hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky $S_d$ číslem 43,3.

### 3.10.2.2 Prosákavost a vodotěsnost

O prosákavosti hovoříme především u těch materiálů, kde je průnik vody běžně předpokládatelný, To je i případ skládaných střešních krytin, kde prosákavost souvisí s výskytem kapilárních pórů v materiálu krytin. Množství a velikost kapilár i trhlinek (o rozměru od 0,01 mm do cca 0,5 mm) vyskytujících se v materiálu ovlivňují rychlost průsaku např. pálenými a betonovými taškami.

. U skládaných krytin se zkouší jejich neprosákavost zkouškou, která sleduje prosáknutí za určitou dobu takového množství vody, jenž vytvoří kapku.

Zkušební postup stanovuje výšku hladiny vody a dobu odkápnutí první kapky na rubu tvarovky.

Např. u pálené krytiny je výška hladiny vody 60 mm (ČSN EN 539-1) a doba odkápnutí první kapky nejdříve za 4 hodiny a u betonové tašky je výška hladiny vody 50 mm (10 – 15 mm nad nejvyšší hranou) a odkápnutí první kapky nejdříve za 24 hodin.

Z výsledků měření a z praktických zkušeností plyne, že keramické i betonové tašky vždy provlhnou (prosákne jimi vlhkost), a tudíž půdní prostor, přesněji rubová strana sklonitého střešního pláště, musí být větrány, aby docházelo k vysušování vlhké rubové strany tašek.

Vlhkostní poměry skládané krytiny ovlivňuje tlak větru, sklon střechy (předepsán výrobci pro jednotlivé druhy krytiny), teplotní a vlhkostní parametry v půdním prostoru.

U materiálů, které musí být neprosákavé, např. u živičných materiálů pro povlakové krytiny, hovoříme spíše o vodotěsnostnosti i když tuto vodotěsnost fakticky také hodnotíme zkouškou prosákavosti.

Zkouškou prosákavosti trvající 24 hodin se zjišťuje vodotěsnost hydroizolačních pásů a fólií podle ČSN EN 1928. Zkouška má dvě varianty. Nízkotlaká zkouška A (vodní sloupec o tlaku do 60 kPa) se používá pro běžné střešní izolace, vysokotlaká zkouška B je určena pro speciální střešní izolace a izolace proti tlakové vodě.

Doplňkovou zkouškou je stanovení vodotěsnosti po protažení při nízké teplotě. Podtlakový postup, který upravuje ČSN EN 13897 je vhodný jen pro jednovrstvé mechanicky kotvené izolace.

Podstatou zkoušky vodotěsnosti povrchových úprav stavebních konstrukcí prováděné podle ČSN 73 2578 je změření množství vody, které nasákne do materiálu jednotkovou povrchovou plochou během třiceti minut. Zkouška se provádí přiložením zkušebního zvonu k povrchu zkoušeného materiálu a dokonalým utěsněním stykové spáry.

Spojením zvonu s byretou získáme měřicí zařízení známé jako Karstenova trubice, které se předepsaným způsobem naplní vodou. Na byretě se pak odečte objem vody, který do vzorku vsákl mezi pátou a třicátou pátou minutou od naplnění a zjištěné množství se přepočte na vsakovací plochu 1 $m^2$. Výsledek se označuje jako $V_{30}$ (l. $m^{-2}$).

Minimální zkoušená plocha má být 200 x 200 mm, ale zkouška v zásadě nevyžaduje odběr vzorku a může se provádět i přímo na stavebních konstrukcích (jak na horizontálních, tak i vertikálních plochách). Tento postup je oblíben při posuzování vodotěsnosti omítek a fasádních barev. Částečnou nevýhodou metody je možnost znečištění měřeného materiálu těsnícím tmelem.

Pro vodotěsnost betonu u nás dlouho platila ČSN 73 1321, která rozeznávala čtyři třídy vodotěsnosti (V2, V4, V8, V12). Tyto třídy udávaly v desetinách MPa tlak vodního sloupce při kterém beton významně nepropouštěl vodu.

Tato norma byla bez náhrady zrušena a dnes se vodotěsnost betonu posuzuje podle ČSN EN 12390-8 (viz 5.3.2.5).

Normové difúzní vlastnosti hydroizolačních materiálů dle ČSN 73 0540 *Tab. 3.9*

| Materiál | Normové hodnoty fyzikálních veličin materiálů | | | |
|---|---|---|---|---|
| | objemová hmotnost v suchém stavu $\rho_{dn}$ (kg.m$^{-3}$) | tloušťka $d_{mat}$ (mm) | faktor difuzního odporu $\mu_n$ (–) | součinitel difuze vodní páry $\delta_n.10^9$ (s) |
| Al fólie | 2 700 | 0,1 | 700 000 | 0,00000027 |
| Asfaltový nátěr | | | 1 200 | 0,00016 |
| 2x asfaltový nátěr | 1 200 | | 280 | 0,00067 |
| Bitagit | 1 345 | min. 3,5 | 13 500 – 14 600 | 0,000014 – 0,000013 |
| Foalbit | 1 270 | 3,4 | 46 600 | 0,0000040 |
| Fólie PVC | | 0,5 | 16 700 | 0,000011 |
| Igelit | | 0,3 | 14 480 | 0,000013 |
| IPA | 1 280 | 5,1 | 18 570 | 0,000010 |
| IPA 400 SH | 900 | 5,4 | 9 400 | 0,000020 |
| Lepenka A 400 H | 900 | 0,7 | 3 150 | 0,000060 |
| Lepenka A 50 SH | 660 | 1,6 | 170 | 0,0011 |
| Pebit | 1 350 | min. 3,4 | 39 000 – 41 000 | 0,0000048 – 0,0000046 |
| Polyetylenová folie | 900 | 0,1 | 124 000 – 164 000 | 0,0000015 – 0,0000011 |
| Ruberoid | 1 155 | 2,2 | 48 550 | 0,0000039 |
| Sklobit | 930 – 1 220 | 1,9 – 3,4 | 49 250 | 0,0000038 |
| Pebit A | 1 100 | 1,0 | 3 140 | 0,000060 |

K novým normám patří ČSN EN 14068, která stanovuje postup přípravy zkušebního tělesa a provedení zkoušky vodotěsnosti injektovaných trhlin. Injektážní výrobky se ověřují na trhlině o šířce 1 mm, připravené rozlomením betonového tělesa. Celková doba působení tlakové vody je 28 dnů, přičemž tlak se zvyšuje vždy po 7 dnech o 25%.

## 3.11 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti materiálu udávají vztah mezi mechanickým namáháním a odporem, který materiál účinkům tohoto namáhání vzdoruje.

V případě namáhání, představovaného pouze mechanickým napětím, se tyto mechanické vlastnosti podrobněji označují jako *vlastnosti přetvárné* (deformační) nebo jako *vlastnosti pevnostní*, podle toho, popisují-li chování materiálu zachovávajícího si ještě svou celistvost, nebo nacházejícího se již ve fázi porušování.

Vlastnosti, jimiž povrch materiálu vzdoruje kombinovaným účinkům mechanického napětí, tření a vnikání cizích těles, lze souhrnně nazvat jako odolnost materiálu proti opotřebení. Z těchto vlastností jsou nejdůležitější tvrdost a obrusnost.

### 3.11.1 Deformační a pracovní diagramy

Deformace pevných látek účinkem napětí vyjadřuje *pracovní diagram,* tj. závislost deformace Δ*l* na síle *F*, která v látce napětí, a tím i deformaci v určitém směru způsobila, nebo *deformační diagram*, tj. závislost poměrné deformace *ε* na napětí *σ* jí vyvozující.

V jednoduchých případech je napětí úměrné síle, např.

$$\sigma = \frac{F}{A} ,$$

kde *A* je plocha průřezu zkušebního tělesa.

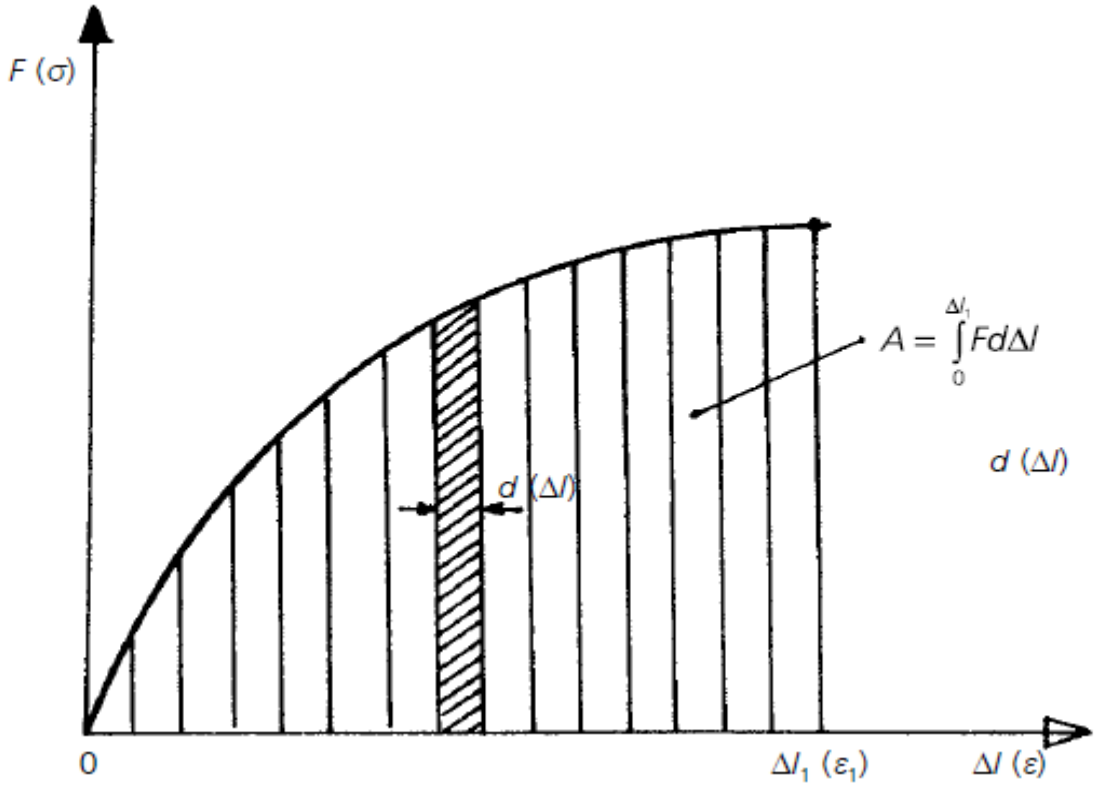
Plocha průřezu se uvažuje stále svou počáteční hodnotou, i když se při zatěžování mění, a je tedy jedno, zda se do grafu vynáší hodnota síly, nebo napětí (mění se pouze měřítko grafu).

Obdobně také nezáleží na tom, zda se do grafu vynáší Δ*l*,nebo *ε*, protože poměrná deformace je dána vztahem:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} ,$$

kde Δ*l* je napětím vyvozená změna původní délky *l*.

Z uvedeného tedy vyplývá, že tentýž graf lze označit buď jako pracovní diagram, nebo jako diagram deformační, záleží jen na označení a měřítku proměnných. Název „pracovní diagram" vychází z toho, že plocha pod křivkou závislosti až do bodu $x_{max}$ je dána výrazem *F.d* (obr. 3.13), který má rozměr *N.m*. Vyjadřuje tedy množství přetvárné práce (mechanické energie) spotřebované na dosažení deformace materiálu $x_{max}$.




*Obr. 3.13* Pracovní diagram (*F* – Δ*l*), deformační diagram (*σ* – *ε* )

Pracovní, resp. deformační diagram definuje řadu vlastností materiálu:

*deformační chování* – lineární v přímkové části grafu – nelineární v zakřivené části grafu,

*mez kluzu*, tj. kritické napětí, při kterém materiál přechází ze stavu pružného do stavu tvárného (při dosažení tohoto napětí roste deformace, aniž by bylo nutno napětí zvyšovat),

*mez pevnosti*, tj. největší dosažené napětí, odpovídající nejvyššímu bodu na křivce,

*houževnatost* - měřítkem houževnatosti je množství přetvárné práce, čím je toto množství větší k dosažení stejné deformace, tím je materiál méně křehký, tj. houževnatější,

*moduly pružnosti a přetvárnosti*, které lze odečíst jako tečny nebo sečny pracovního diagramu.

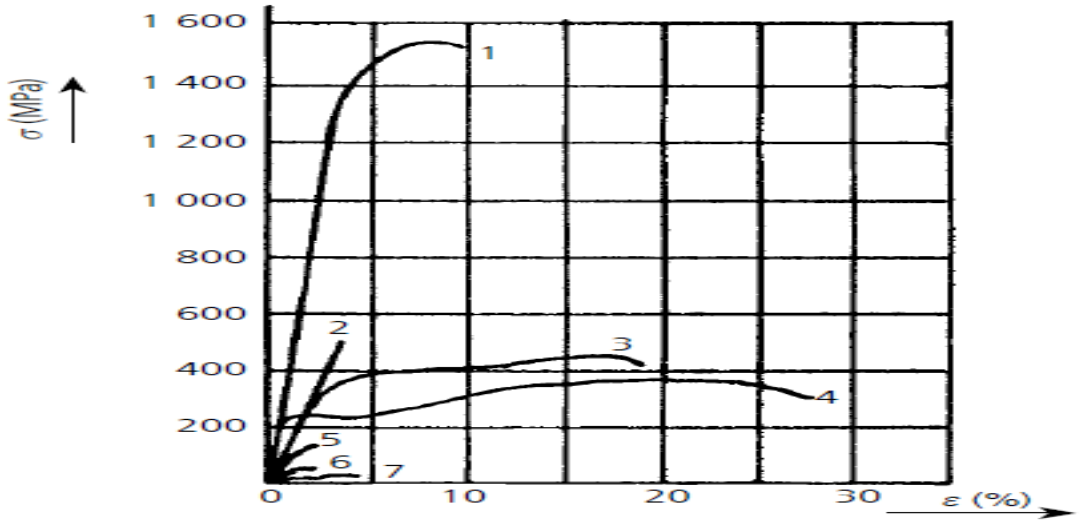
Příklady typických pracovních diagramů jsou schematicky uvedeny v obr. 3.14 až 3.17. Z takto vynesených křivek nelze však vždy jednoznačně určit, zda se jedná o materiál pružný, nebo tvárný. To lze stanovit jedině stupňovitým zatěžováním s následným odlehčováním, neboť až po odlehčení lze určit, zda se jedná o deformace pružné, nebo tvárné.

Některé látky přecházejí během zatěžování postupně z oblasti dokonale (lineárně) pružné přes oblast nelineárně pružnou do oblasti tvárné (plastické). Takovým

materiálem jsou např. tvárné kovy (ocel). Tyto oblasti jsou ohraničeny kritickými napětími: *mezí úměrnosti*, *mezí pružnosti* a zvláště *mezí kluzu*. U materiálů tažených se mez kluzu nazývá též *mez průtažnosti*, u tlačených *mez stlačitelnosti*.

Po vzniku plastických deformací na mezi kluzu dochází u kovů ke zpevnění materiálu, tj. pro vytvoření dalších deformací je potřebné další zvýšení napětí, avšak deformace rostou daleko rychleji s větším přírůstkem napětí než před mezí kluzu. Materiály, které během zatěžování přecházejí z oblasti pružné do oblasti tvárné, nazýváme *pružně tvárné* a mohou být jak s vyznačenou mezí kluzu, tak i bez ní.

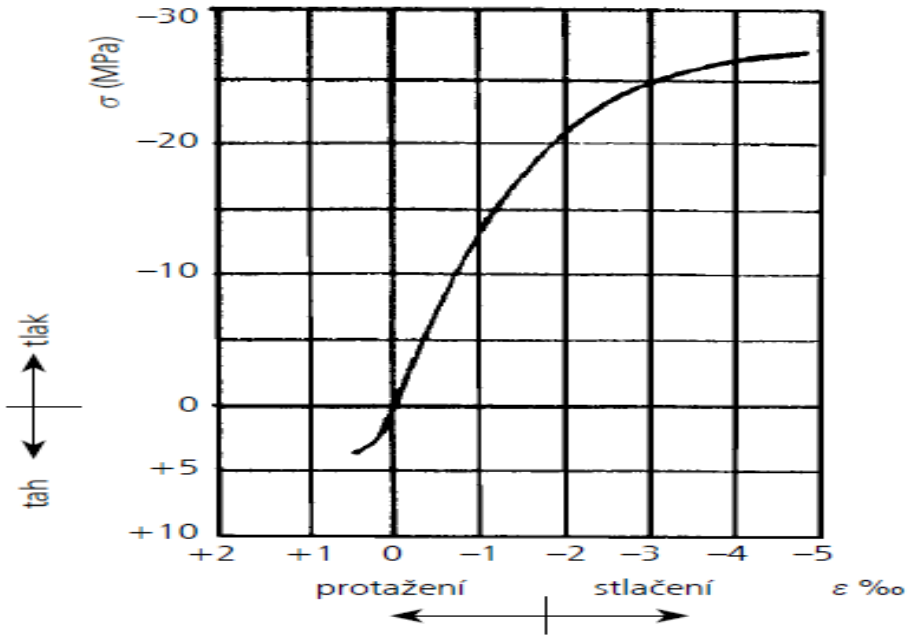
Mez kluzu je velmi důležitá vlastnost pružně tvárných materiálů pro navrhování stavebních konstrukcí, např. z oceli. Jelikož nesmíme připustit v konstrukci velké deformace, musíme výpočtové hodnoty odvodit od meze kluzu, a nikoliv od meze pevnosti, která je dosažena až při nadměrných deformacích.



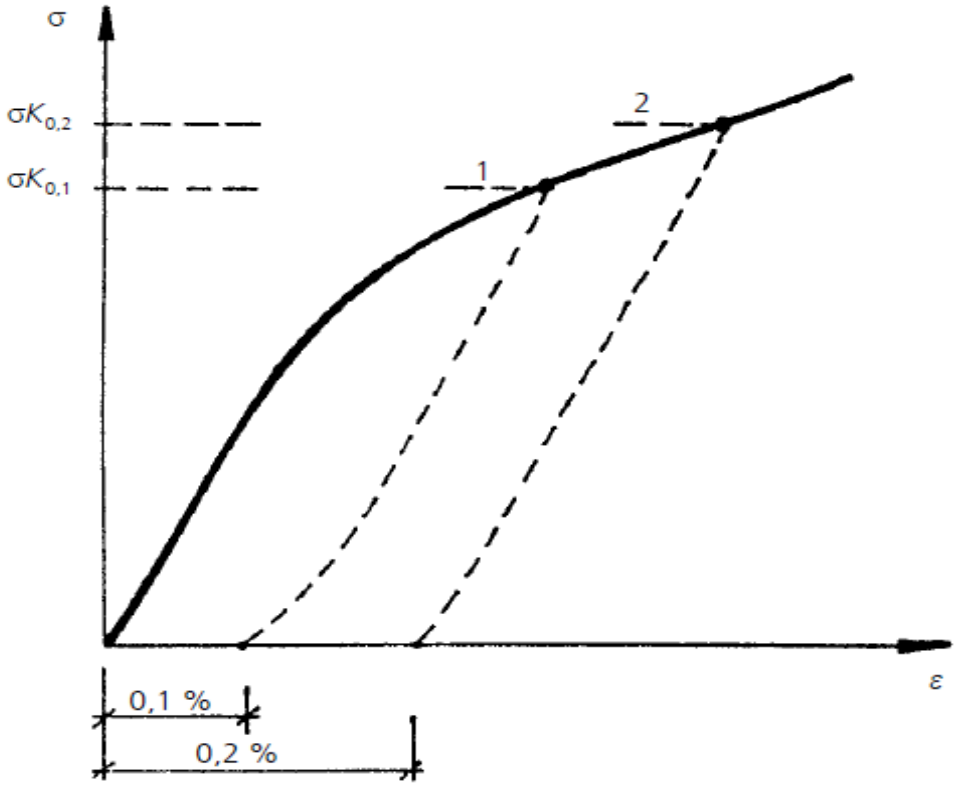

1 – vysokopevnostní ocel, 2 – sklo, 3 – hliníková slitina, 4 – betonářská ocel, 5 – dřevo, 6 – beton, 7 – termoplast

*Obr. 3.14* Srovnání deformačních diagramů různých materiálů při zatížení (Ocel, sklo a hliníková slitina jsou namáhány tahem, dřevo a beton tlakem.)

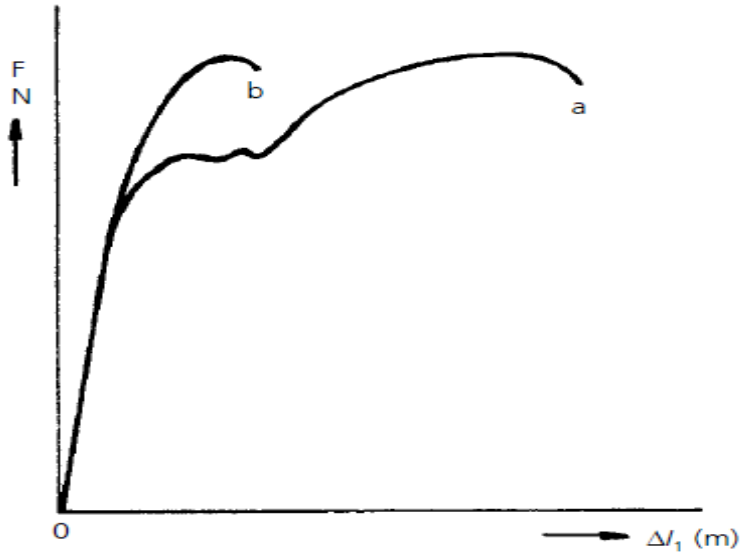
Nemají-li pružně tvárné materiály vyznačenou mez kluzu, zavádí se u nich dohodnutá, čili *smluvní mez kluzu*, definovaná jako napětí, po jehož dosažení a opětném odlehčení zbude v materiálu určitá dohodnutá trvalá deformace. Podle velikosti této deformace se např. u oceli jedná o *mez 0,2*, nebo o *mez 0,1*, což značí napětí, které vyvolá trvalé deformace velikosti 0,2 resp. 0,1 % (obr. 3.16).




*Obr. 3.15* Deformační diagram betonu v zatížení tahem i tlakem




*Obr. 3.16* Deformační diagram pružně tvárné látky se smluvní mezí kluzu 0,1 a 0,2




*Obr. 3.17* Srovnání pracovních diagramů pružně tvárné látky – oceli
a - pouze válcované za tepla, b - navíc tvářené za studena

Z posledního obrázku je patrný rozdíl mezi deformačními diagramy oceli vyrobené pouze válcováním za tepla (s vyznačenou mezí kluzu) a téže oceli ještě navíc tvářené za studena (bez vyznačené meze kluzu).

### 3.11.2 Modul pružnosti a přetvárnosti

Další základní mechanickou vlastností konstrukčních látek je *modul pružnosti*, definovaný z Hookeova zákona jako poměr napětí k poměrné deformaci

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

při namáhání tahem nebo tlakem nebo pro případ smykového namáhání

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

Modul pružnosti má tedy rozměr napětí a vyjadřuje tangentu úhlu, který svírá tečna či sečna k pracovnímu diagramu se směrem rovnoběžným s osou deformace. Jak ovšem z názvu vyplývá, popisuje tato vlastnost chování materiálů pružných (podle formulace Hookeova zákona lineárně pružných, jejichž pracovní diagram je přímkový).

Jestliže se má tento pojem rozšířit i na látky, které vedle deformací pružných vykazují i deformace nepružné, nazývá se poměr napětí k celkové poměrné deformaci *modul přetvárnosti*. V případě tlakového namáhání se označuje jako *modul stlačitelnosti*.

Jelikož se látky vykazující při zatížení nepružné deformace při odlehčování chovají víceméně pružně, vztahuje se pak u nich modul pružnosti na sklon příslušné větve pracovního diagramu, registrované během odlehčování.

U modulu pružnosti i přetvárnosti je třeba rozeznávat podle způsobu stanovení: *modul počáteční, modul sečnový, modul tečnový* nebo *modul rozdílový*.

Pro některé materiály, např. pro beton, se stanovuje sečnový modul odpovídající napětí rovnému 30 % meze pevnosti materiálu a nazývá se *modul pracovní*. Stanovení je patrno z obr. 3.18.

Moduly pružnosti zobrazené na obr. 3.18 platí pro případ, že jde o materiál nelineárně pružný a zobrazené deformace jsou tedy pouze deformace pružné. Pokud by šlo o materiál pružně tvárný a deformace by byly deformacemi celkovými, zobrazení platí pro *modul přetvárnosti*.

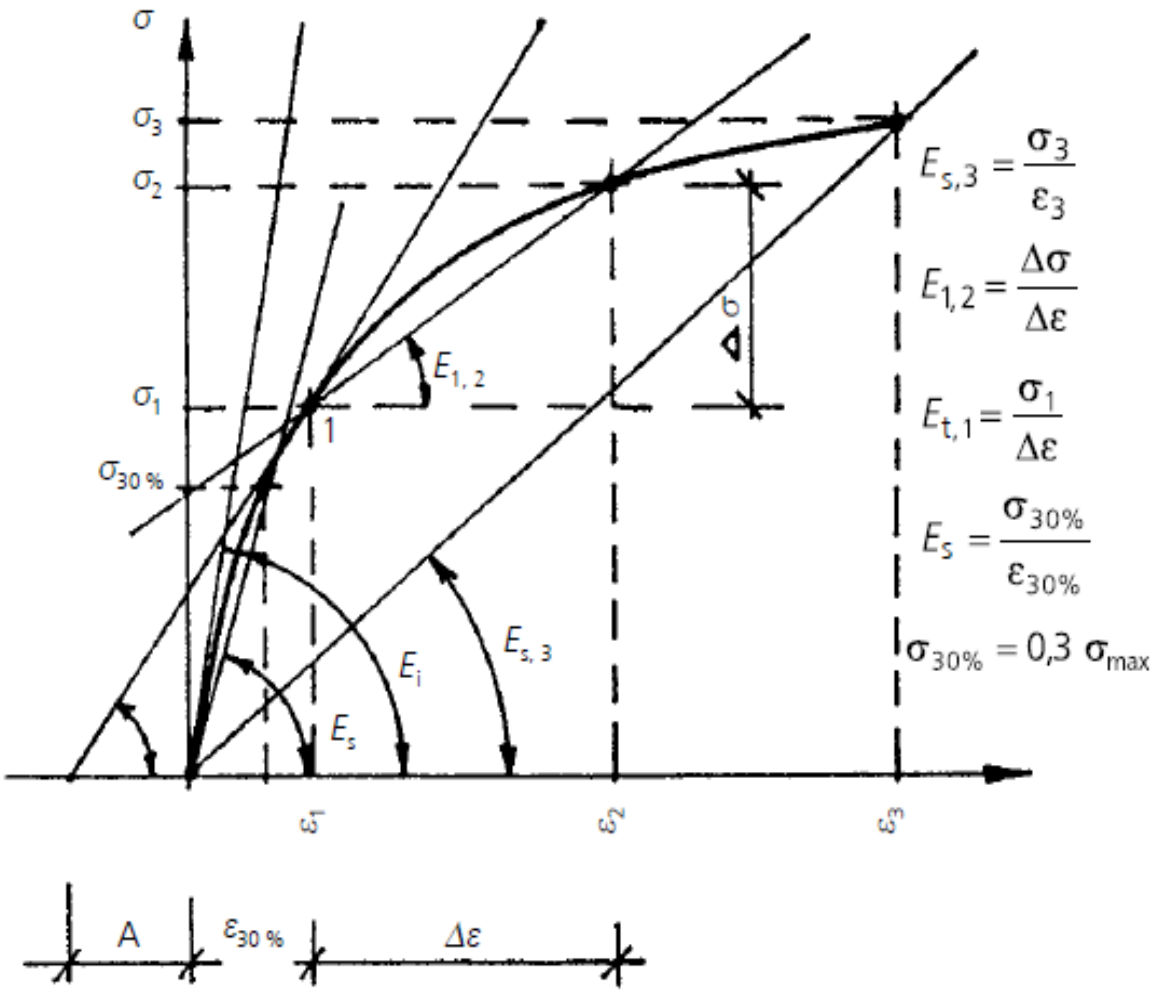
Chceme-li stanovit modul pružnosti tohoto materiálu pro napětí nad mezí pružnosti, musíme změřit pružnou deformaci při odlehčování (viz obr. 3.19).

Všechny tyto moduly bývají zpravidla měřeny při zatížení zvolna se měnícím, a klasifikují se proto jako *moduly statické*.

*Modul dynamický* se stanovuje ze zatížení velmi rychle se měnícího, a to buď z průběhu deformačního diagramu při zatěžování elektronicky snímaného a počítačem vyhodnoceného, častěji však výpočtem z rychlosti mechanických kmitů v daném materiálu podle Newtonova zákona.

Tato rychlost se zjišťuje buď z doby průchodu ultrazvukových, či jiných mechanických impulzů zkušebním tělesem, nebo i částí konstrukce (*metody impulzové*), nebo z frekvence vlastního kmitání zkušebních vzorků (*metoda rezonanční*).

U lineárních materiálů je hodnota modulu pružnosti stejná pro různě velké napětí (např. oceli v oblasti do meze úměrnosti), u nelineárních je různá. Pokud je průběh křivky deformačního diagramu jako na obr. 3.18 (např. dřeva a betonu), je hodnota modulu pružnosti menší pro větší hodnotu napětí $\sigma$. Proto se při experimentálním stanovení modulu pružnosti vyhodnocuje jako průměrná hodnota z více hodnot zjištěných pro různé napětí, nebo se přímo stanoví tzv. modul pracovní ($E_S$).




*Obr. 3.18* Zobrazení modulů pružnosti

$E_i$ – počáteční, $E_{1,2}$ – sečnový rozdílový, $E_{s,3}$ – sečnový, $E_{t,1}$ – tečnový, $E_s$ - pracovní

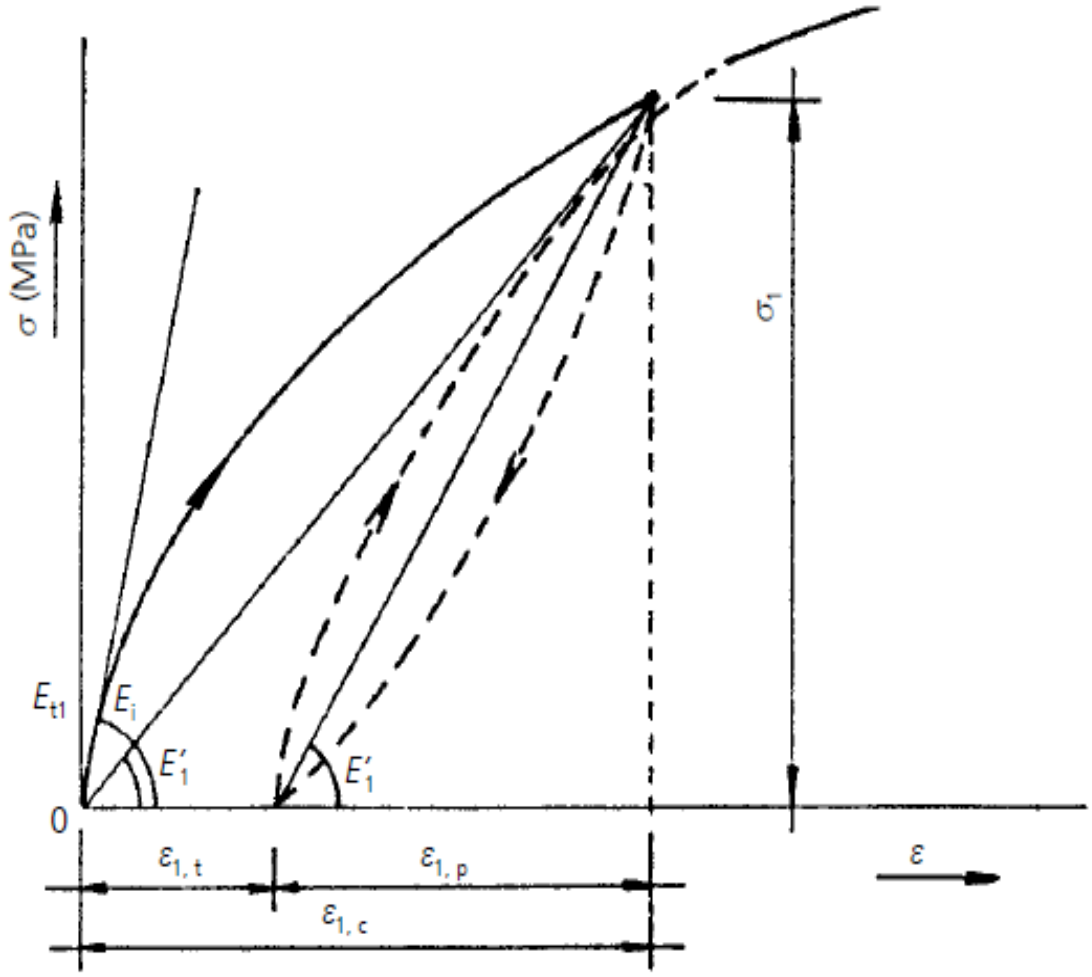
Na následujícím obrázku jsou moduly definovány jako:

modul pružnosti

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_{1p}}$$

modul přetvárnosti

$$E_1' = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_{1c}}$$




*Obr. 3.19* Zobrazení modulů pružnosti a přetvárnosti

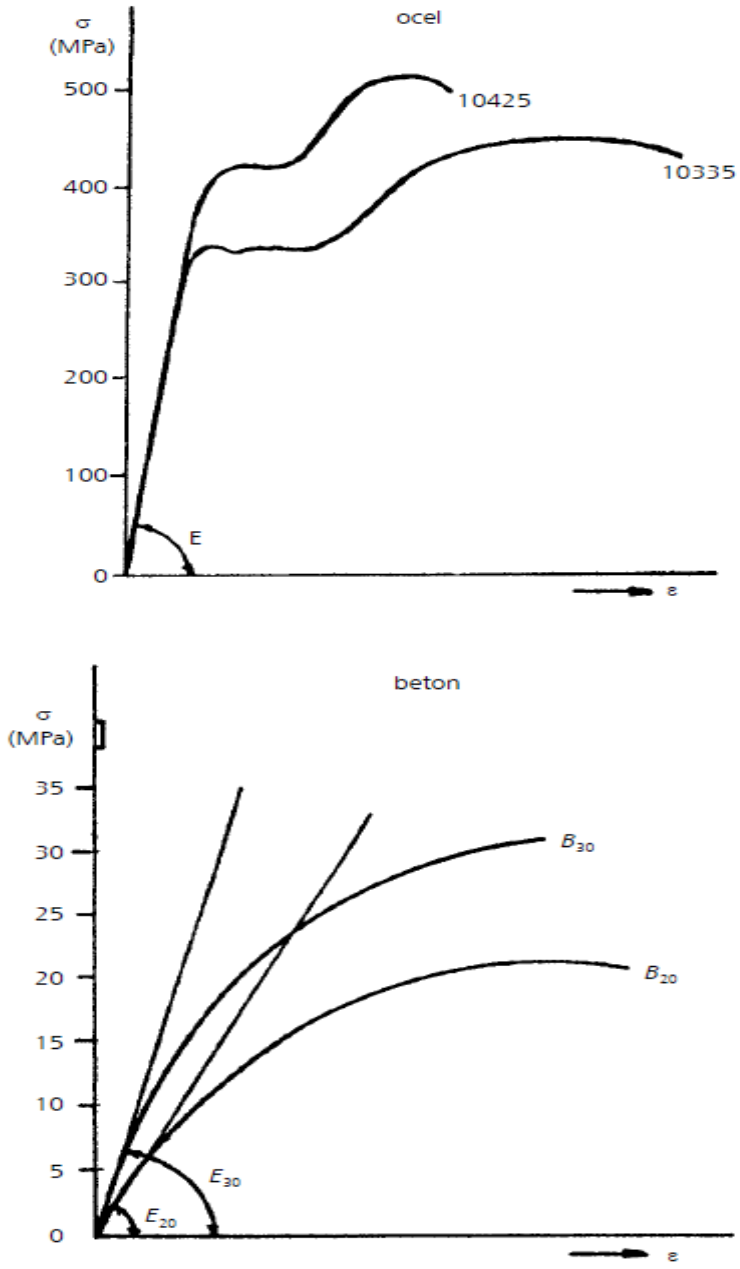
$\varepsilon_{1,p}$ – pružné přetvoření, $\varepsilon_{1,t}$ – trvalé přetvoření, $\varepsilon_{1,c}$ – celkové přetvoření, $E_i$ – počáteční modul pružnosti.

Různé materiály mají různou hodnotu modulu pružnosti. Z průběhu deformačních diagramů na obr. 3.20 vyplývá, že u některých materiálů se modul pružnosti uvažuje stejný pro různou kvalitu materiálu (např. u kovů), ale u ostatních materiálů (např. betonu, dřeva, hornin, keramických materiálů, skla a plastů) závisí jeho hodnota na jejich jakosti.

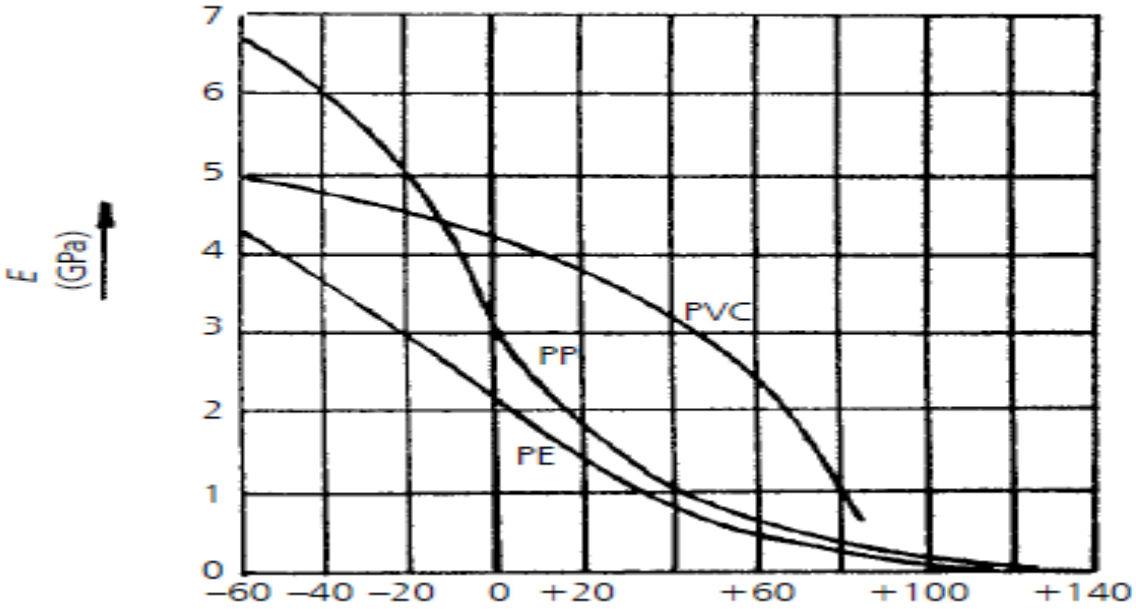
Čím větší je pevnost materiálu, tím má i modul pružnosti vyšší hodnotu. Protože pevnost malt a betonů roste s jejich stářím, roste tím i jejich modul pružnosti.

Na hodnotu modulu pružnosti má vliv teplota a u pórovitých nasákavých materiálů i jejich vlhkost. Vliv teploty je velmi značný u termoplastů. Záporná teplota hodnotu zvětšuje, při stoupající teplotě do +80 °C se hodnota modulu pružnosti silně snižuje (obr. 3.21).

U betonu v rozsahu teplot od -20 °C do +70 °C se hodnota modulu pružnosti v podstatě nemění, ale při teplotě pod -50 °C se zvětšuje asi o 20 % a při teplotě nad +300 °C se snižuje na 50 %.




*Obr. 3.20* Porovnání deformačních diagramů ocelí a betonů různé jakosti




*Obr. 3.21* Vliv teploty na modul pružnosti plastů

Hodnoty modulu pružnosti různých materiálů *Tab. 3.10*

| Materiál | Modul pružnosti *E* (MPa) |
|---|---|
| ocel | 210 000 |
| sklo | 50 000 – 85 000 |
| hliník a lehké slitiny | 65 000 – 73 000 |
| beton obyčejný | 15 000 – 60 000 |
| pórobeton | 1 000 – 3 000 |
| pálená cihla | 8 000 – 12 000 |
| dřevo | 7 000 – 18 000 |
| skelný laminát | 10 000 – 30 000 |
| reaktoplasty (termosety) | 4 000 – 13 000 |
| termoplasty hutné | 100 – 4 000 |
| termoplasty pěnové | 2 – 30 |
| kaučuk | 2 – 5 |

### 3.11.3 Pevnost

Pevností materiálu se rozumí mezní schopnost materiálu vzdorovat silovým účinkům zatížení. Podrobnější definice jsou různé, protože se při nich přihlíží ke druhu materiálu a ke způsobu namáhání. Pevnost křehkých materiálů je největší napětí, kterému je hmota schopna vzdorovat bez porušení.

U materiálů tvárných nelze takto pevnost vůbec zjistit, neboť materiál se účinkem vysokých napětí příčně deformuje, přičemž jeho podélné deformace značně rostou a k porušení vůbec nemusí dojít. Pro tyto materiály se proto zavádí *pevnost smluvní*, např. u kovů se uvažuje pevnost v tlaku stejnou hodnotou jako pevnost v tahu.

U některých hmot se za mez pevnosti definuje napětí odpovídající určité předepsané trvalé deformaci (např. pevnost dřeva v tlaku kolmo k vláknům, pevnost pěnového skla).

Pod pojem pevnosti se zahrnuje nejen skutečná mez pevnosti, ale i mez kluzu, protože u některých materiálů, např. kovů, je rozhodující pro navrhování konstrukcí. Podle toho je pevnost nadřazený pojem a zahrnuje v sobě jak mez kluzu, tak i mez pevnosti.

Pevnost se zpravidla vztahuje na počáteční průřezové rozměry před zatěžováním, někdy eventuálně i na jmenovitý průřez udávaný výrobcem materiálu (odchylky způsobené rozměrovými tolerancemi se pak zahrnují do rozptylu pevnosti).

Pevnost můžeme definovat ze tři základních hledisek:

*Pevnost strukturní* nebo *pevnost teoretická* – teoreticky stanovená hodnota pevnosti materiálu na základě vazebných sil mezi atomy, popřípadě ionty, molekulami a částicemi látky, mezi složkami u látek složených (pojených, plněných, vyztužených), přičemž se uvažují skutečná rozdělení napětí a deformací uvnitř struktury.

Stanovení teoretické pevnosti je značně složité, a proto se v praktických případech vychází při hodnocení materiálů z pevností stanovených experimentálně, a to ještě za určitých zjednodušujících podmínek.

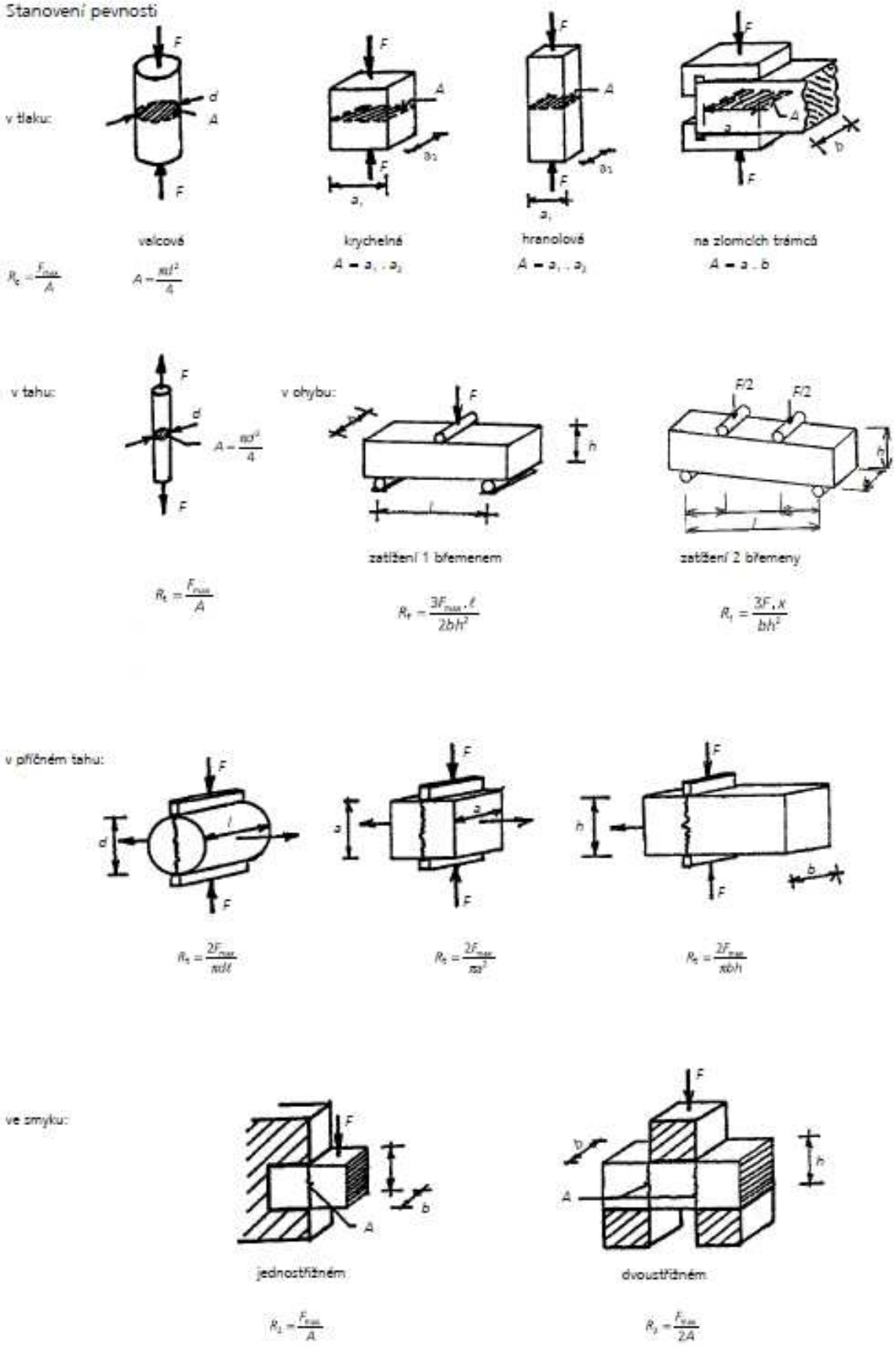
*Pevnost technická* – pevnost z hlediska potřeb stavební praxe pro stanovení výpočtových hodnot pro projektování a pro provádění kontroly jakosti materiálů použitých v konstrukci.

*Pevnost z hlediska statistického*, která na základě teorie pravděpodobnosti zajišťuje spolehlivost konstrukcí i bez znalosti skutečných pevností materiálů (popř. teoretických pevností) a operuje s výsledky technické pevnosti.

Zde se budeme zabývat pouze posledními dvěma hledisky na pevnost.

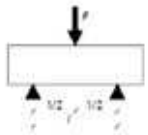
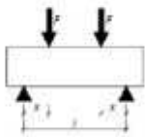
#### 3.11.3.1 Technická pevnost

Pevnost, která se stanoví ze zjištěné únosnosti zkušebního tělesa s použitím zákonitostí nauky o pružnosti a pevnosti za předpokladu, že materiál je homogenní, respektive statisticky homogenní, se označuje jako pevnost technická. Přitom jsou zkušební tělesa volena ve tvaru umožňujícím co nejsnadněji vyvodit v nich napětí odpovídající určitému způsobu namáhání. Těmito namáháními a jejich účinky se zjišťuje *pevnost v tlaku, v tahu, v ohybu, ve smyku a v kroucení*. Schematické znázornění stanovení technické pevnosti je na obr. 3.22.




Obr. 3.22 Schéma stanovení technické pevnosti

*Tab. 3.11* Některé hodnoty ohybového momentu a průřezového modulu

| Schéma zatížení | Ohybový moment | Tvar průřezu (mm) | Průřezový modul (mm³) |
|---|---|---|---|
|  | $M = \frac{1}{4} F.l$ |  | $W = \frac{1}{6} a^3$ |
| | |  | $W = \frac{1}{6} bh^2$ |
|  | $M = F.x \ /2$ |  | $W = \frac{\pi}{32} d^3 = 0{,}1 d^3$ |
| | |  | $W = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32D}$ |

Zkušební tělesa se buď zhotovují opracováním (vyříznutím, vyvrtáním, vybroušením) části výrobku ze zkoušeného materiálu (např. krychle nebo válce z pórobetonu, kamene či dřeva, zkušební tyče z betonářské oceli a pod.), nebo se vyrábějí obdobným způsobem jako zkoušený materiál (např. krychle, válce a trámce z malt nebo z betonu).

Pevnost je možno však zkoušet i přímo na skutečných výrobcích (např. cihly, tvárnice a jiné menší konstrukční prvky).

*Pevnost v tlaku* stanovená na krychlích se nazývá *krychelná*, na hranolech *hranolová*, na válcích *válcová*. Poměr výšky k šířce základny u hranolu nebo k průměru základny válce pro stanovení pevnosti v tlaku nesmí být příliš velký, protože u štíhlých prvků je únosnost vyčerpána ztrátou stability prvku a nikoliv dosažením meze pevnosti materiálu. Kritické napětí, při kterém ztráta stability (vychýlení, zprohýbání) nastává, je nižší než mez pevnosti.

U křehkých materiálů s pevností v tlaku podstatně větší než v tahu (např. u betonu, malt, kamene, keramiky ap.) se při tlakové zkoušce nikdy nezjistí skutečná pevnost v tlaku, protože o porušení rozhodne vyčerpání pevnosti v tahu působením příčných napětí.

Proto na zkušebním tělese při dosažení největšího zatížení v tlaku, které těleso snese, vzniknou svislé trhliny a k drcení dojde teprve později, a to již při síle nižší. Pevnost takto zjištěná neudává tedy skutečnou pevnost materiálu v tlaku, ale je pouze určitou dohodnutou hodnotou vyjadřující pevnost v tlaku, jelikož lépe ji zjistit nedovedeme.

Pevnost krychelná není shodná s pevností hranolovou nebo válcovou. Při zatěžování zkušebních těles s větším poměrem výšky ku základně se totiž snižuje vliv tření působícího mezi tlačnými deskami zkušebního stroje a tlačenými plochami tělesa, které zabraňuje příčnému roztahování tlačeného tělesa. U krychlí dochází tímto třením k většímu příčnému sevření tělesa, které zvyšuje jeho únosnost. Proto je krychelná pevnost vždy vyšší než pevnost zjištěná na hranolech nebo na válcích.

*Pevnost v tahu* se zjišťuje na tělesech ve tvaru tyčí nebo velmi štíhlých hranolů namáháním prostým tahem v podélném směru. U křehkých materiálů se běžnou zkouškou zjistí pouze mez pevnosti při přetržení vzorku, u materiálů tvárných se zjistí ještě další kritická napětí pro mez kluzu, popř. mez úměrnosti a mez pružnosti, jak bylo popsáno u pracovního diagramu (viz obr. 3.13).

Pevnost v tahu se zjišťuje také zkouškou ohybem na trámcích (při menších rozměrech na trámečcích), zatížením ohybovým momentem. Ohybový moment se vyvozuje zatížením trámce, uloženého na dvou podporách, jednou nebo více osamělými silami. Ohybem trámce vzniknou největší napětí na jeho spodním a na horním povrchu. Při působení zatížení shora kolmo k podélné ose trámce je dolní povrch tažený a horní tlačený. Jakmile toto napětí dosáhne meze pevnosti materiálu, dojde k vyčerpání únosnosti a k porušení povrchových vláken.

U materiálu s výrazně větší pevností v tlaku než v tahu (kámen, beton, keramika ap.) dojde k jeho porušení na taženém povrchu trámce, a tím dostaneme při mezním zatížení *pevnost v tahu za ohybu*. Jelikož tyto materiály jsou současně křehké, při porušení tahem se únosnost vyčerpá tak, že trhlina vzniklá na taženém povrchu se okamžitě rozšíří po celé výšce trámce k tlačenému povrchu a nastane rychlé zlomení trámce.

Porušení trámců nastane vždy v místě největšího ohybového momentu, tj. obvykle uprostřed rozpětí. Při porušení lomem vzniknou dva zlomky trámce. Protože ohybem není materiál mimo lomovou oblast narušen, je možno ještě dále na nich zkoušet pevnost v tlaku, která se nazývá *pevnost v tlaku na zlomcích*. Každý zlomek trámce se zkouší tlakem mezi dvěma ocelovými deskami, které na něm vymezují zkušební plochu.

U materiálů, které nemají příliš rozdílné pevnosti v tahu a v tlaku (např. dřevo), dochází k současnému porušování obou povrchů a zjištěná pevnost se označuje jako *pevnost v ohybu*.

Pevnost v ohybu nelze stanovit u materiálů tvárných (např. ocel) a dále na vzorcích, které nemají dostatečnou tuhost a nemohou ohybu vzdorovat (např. fólie, vlákna a tkaniny). V těchto případech se pevnost v tahu zkouší pouze prostým tahem.

Pevnost v tahu křehkých materiálů, jako je např. beton nebo kámen, lze zjišťovat tlakovým namáháním válců nebo krychlí na dvou protilehlých úzkých ploškách podle obr. 3.22. Válcová tělesa jsou obvykle jádrové vývrty, krychlová tělesa se buď vyřezávají nebo přímo vyrábějí odlitím do forem (u betonu).

Tímto namáháním vyvozené soustředěné přímkové napětí vyvodí uvnitř tělesa příčné napětí v tahu, které způsobí roztržení tělesa v ploše spojující obě tlačné povrchové přímky. Napětí, které způsobí porušení tělesa, se nazývá *pevnost v příčném tahu*.

Pevnost v příčném tahu je možno zkoušet také na zlomcích trámců po zkoušce ohybem. Tím lze získat poměr mezi pevností v tahu za ohybu a v příčném tahu, jejichž hodnoty nejsou stejné. Největší hodnota pevnosti se získá zkouškou v ohybu, menší v příčném tahu a ještě o něco menší v prostém tahu. Proto nelze výsledky získané různými zkušebními postupy přímo srovnávat.

*Pevnost ve smyku* a *pevnost v kroucení* se opět stanovuje na zkušebních tělesech takového tvaru a tak namáhaných, aby v nich byla vyvozena napětí ve smyku, resp. v kroucení. Pevnost je pak opět největší napětí dosažené v průřezu před jeho porušením.

### 3.11.3.2 Pevnost z hlediska statistického

Statistický přístup stanovení pevnosti spočívá v tom, že se pevnost uvažuje jako náhodná veličina, a to jak uvnitř vyšetřovaného tělesa (zkušebního tělesa, konstrukčního prvku), tak i z hlediska pevnosti jednotlivých těles mezi sebou. Jednotlivá místa uvnitř jednoho tělesa a stejně tak jednotlivá tělesa určitého počtu, i když jsou vyrobena ze stejného materiálu, vykazují s ohledem na řadu technologických vlivů při výrobě nestejné hodnoty pevnosti.

Čím větší je počet různých činitelů ovlivňujících kladně i záporně pevnost, tím větší rozptyl mezi pevnostmi jednotlivých výrobků vznikne. Čím kvalitnější je výroba, tím je tento rozptyl menší.

Např. při výrobě cihel ovlivňují postupně jejich výslednou pevnost jakost suroviny, její promísení, její zpracováni, sušení cihel, teplota a rychlost výpalu a další. Při výrobě betonu je to např. zrnitost a vlhkost kameniva, pevnost cementu, nepřesnosti dávkováni složek, dokonalost promísení čerstvého betonu a další vlivy, které během výroby se neustále mění kolem předpokládaného stavu. Proto nelze pevnost stanovit pouze zkouškou na jednom vzorku a je třeba zkoušet vzorků více.

Ke stanovení reprezentativního počtu zkušebních vzorků a k jejich vyhodnocení se používá metod teorie pravděpodobnosti a operací matematické statistiky. K pochopení těchto zásad je nutno vyložit několik základních pojmů z těchto oborů.

*Jev* je souhrn skutečností popisující určitý stav nebo děj (např. porušení zkušebního tělesa). Vyskytuje-li se opakovaně ve větším počtu, je to *jev hromadný* a jestliže za daných podmínek může, ale nemusí nastat, je to *jev náhodný*.

Jestliže jev je jistý, ale způsobí jej nějaká veličina, jejíž hodnotu nemůžeme předem určit, jde o *náhodnou veličinu*. Například budeme vyšetřovat napětí, které způsobí porušení zkušebního tělesa. Porušení nastane vždy, tedy jev je jistý, ale hodnota napětí je náhodná veličina.

*Základní soubor* je soubor vyšetřovaných náhodných veličin, který obsahuje nejen hodnoty zjištěné, ale i nezjištěné, které však jsou zjistitelné.

Např. pevnost cihly je vyšetřovaná náhodná veličina. Kdybychom všechny vyrobené cihly vyzkoušeli, dostali bychom soubor hodnot všech pevností. Jelikož bychom však všechny vyrobené cihly zničili destruktivní zkouškou pevnosti, nemůžeme je všechny vyzkoušet. Zjistíme tedy jen některé z nich, avšak pevnosti ostatních cihel objektivně existují, i když nebudou zjištěny.

Vybereme z nich tedy jen náhodně určitý menší počet tak, aby co nejlépe reprezentoval celý základní soubor. Získáme soubor hodnot, který nazýváme *náhodný výběr*.

*Rozdělení četnosti*. Z dostatečného počtu prvků vyšetřovaného souboru můžeme vynést závislost počtu prvků na hodnotě vyšetřované veličiny (např. krychelné pevnosti betonu). Tato závislost se nazývá *čára četnosti* (obr. 3.23). Skutečné rozdělení základního souboru neznáme, proto je nahradíme vhodnou teoretickou křivkou, která nám umožní stanovit pravděpodobnost rozdělení prvků základního souboru. Křivka je vyjádřena analyticky funkcí $\varphi(x)$. V matematické statistice existuje řada takových funkcí, nejčastěji se používá tzv. *normální rozdělení* dané Gauss-Laplaceovou křivkou (obr. 3.23).

Průběh funkce $\varphi(x)$ a její polohu vůči počátku souřadnic x určují parametry, které se stanoví statistickým zpracováním souborů podle vztahů uvedených v tabulce. Jsou to střední hodnota (aritmetický průměr $\overline{X}$), rozptyl $S^2$, směrodatná odchylka $S$, popřípadě další veličiny.

Tab. 3.12 Charakteristiky statistických souborů a náhodných výběrů

| | Průměr | Rozptyl | Směrodatná odchylka |
|---|---|---|---|
| statistický soubor | $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$ | $s^2 = \frac{1}{n}\sum_{x=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2$ | $s = +\sqrt{s^2}$ |
| náhodný výběr | $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$ | $s^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{x=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2$ | $s = +\sqrt{s^2}$ |
| $n$ je počet prvků v souboru s prvky $x_i$ pro $i$ = 1,2,...$n$ | | | |

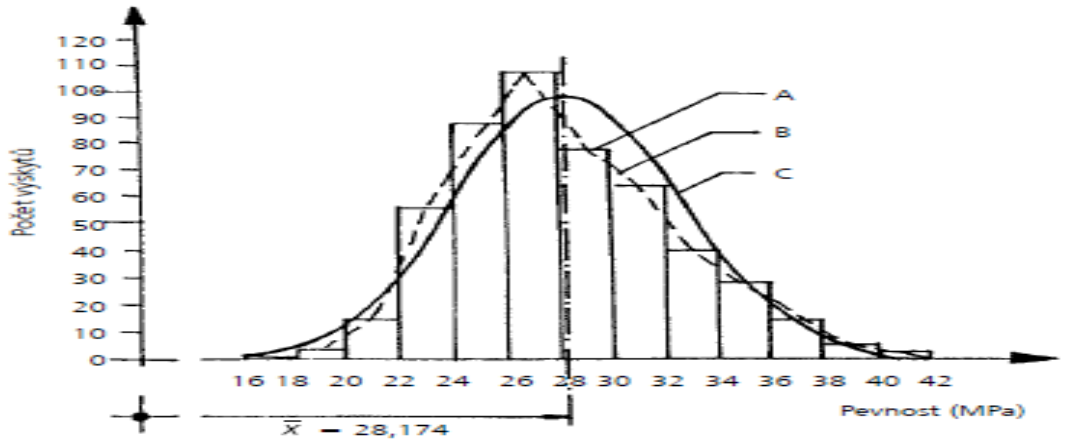
Menší hodnota rozptylu znamená větší soustředění hodnot kolem průměru a odpovídá stejnoměrnější výrobě, větší rozptýlení naopak méně kvalitní výrobě.

Pravděpodobnost výskytu náhodné veličiny je dána poměrem

$P = m/n$,

kde $m$ je počet možných hodnot veličiny z celkového počtu $n$. Z náhodného výběru neznáme ani počet $m$ ani $n$ hodnot základního souboru.

Proto musíme ke stanovení pravděpodobnosti výskytu použít křivku hustoty pravděpodobnosti pro zvolené rozdělení (nejčastěji normální). Celková plocha omezená křivkou $\varphi(x)$ a osou $x$ je totiž úměrná celkovému počtu $n$ a rovná se tedy 1, tj. 100 % výskytů.

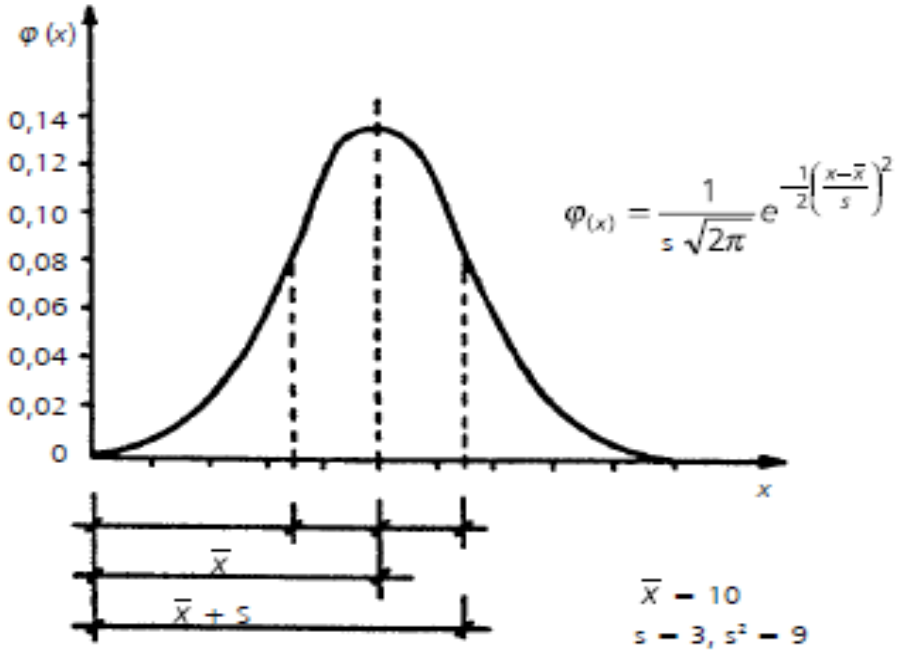



*Obr. 3.23* Četnost souboru zkoušek pevnosti a teoretické rozdělení

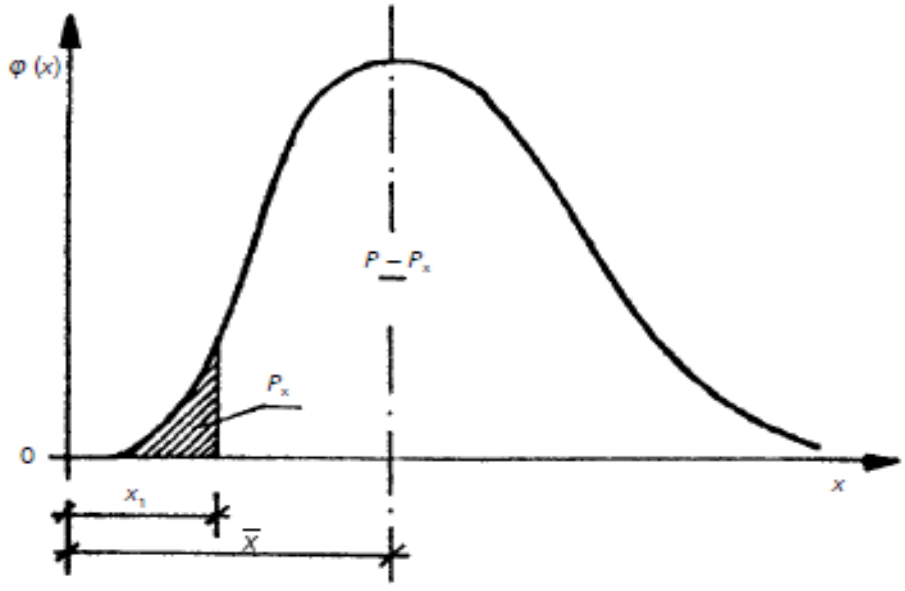
A – histogram četnosti, B – čára četnosti, C – normální rozdělení

Rozdělíme-li tuto plochu na dvě části svislicí v hodnotě $x_1$, bude část plochy vlevo ($P_X$) vyjadřovat počet výskytů s hodnotou $x$ menší než $x_1$ a zbylá část plochy vpravo (1 - $P_X$) počet výskytů s hodnotou $x$ větší než $x_1$ (viz obrázek). Jelikož plocha $P_X$ je úměrná počtu hodnot $x$ menších než $x_1$, tj. počtu případů $m$, a celková plocha je úměrná počtu všech případů $n$, má zlomek vyjadřující pravděpodobnost výskytu hodnot $x$ menších než $x_1$ tvar $P_{(x < x1)} = P_x/1$.

To znamená, že plocha $P_x$ udává hodnotu pravděpodobnosti, s jakou se může vyskytnout v základním souboru hodnota veličiny $x$ menší než $x_1$.




*Obr. 3.24* Hustota pravděpodobnosti normálního rozdělení *N (10,9)*




*Obr. 3.25* Pravděpodobnost $P_x$ výskytu hodnot menších než $x_1$

Velikost plochy $P_x$ se získá integrací funkce $\varphi(x)$ :

$$P_x = \int_{-\infty}^{x_1} \varphi(x)dx$$

a vyjádří se v % celkové plochy. Vyjde-li např. tato pravděpodobnost $P_x$ = 1,5 %, znamená to, že v jednom tisíci případů se může vyskytnout 15 případů s hodnotou menší než $x_1$. Aby odpadla obtížná práce s integrací, jsou v publikacích matematické statistiky sestaveny tabulky pro praktické výpočty.

V předchozím se stanovila pravděpodobnost výskytu veličiny s hodnotou menší, než je určitá zvolená hodnota $x_1$. V praxi se však vyskytuje i úloha obrácená, tj. stanovit hodnotu $x_1$ pro určitou zvolenou pravděpodobnost $P_x$.

Stanovená hodnota $x_1$ se nazývá *kvantil* a podle toho, pro jakou hodnotu zvolené pravděpodobnosti α je stanoven, se nazývá α-kvantil. Např. pro zvolenou pravděpodobnost 1 % se značí jako 0,01-kvantil nebo 1 %-kvantil a znamená, že v základním souboru hodnot se může vyskytovat nejvýše 1 % hodnot menších, než je hodnota kvantilu. Pokud bychom tedy experimentálně zjistili všechny hodnoty základního souboru pevností (což většinou není možné), pak pouze 1 % ze všech hodnot by mělo hodnotu nižší než $x_1$.

*Statistická záruka* pevnosti udává pravděpodobnost, s jakou se v základním souboru vyskytnou hodnoty větší, než je určitá zvolená hodnota $x_1$. Její číselnou hodnotu (1 - $P_x$) udává část plochy vpravo od $x_1$ a rovná se 1 - $\alpha$. Např. 0,01-kvantil je hodnota se statistickou zárukou 0,99 čili 99 %.

#### 3.11.3.2.1 Statistické rozdělení jakosti materiálu uvnitř těles

Hodnota pevnosti určitého prvku se považuje za stejnou ve všech jeho dílčích částech, ačkoliv se pevnosti jednotlivých jeho částí víceméně liší. Těleso se totiž poruší vyčerpáním pevnosti v té části, jejíž pevnost je v rámci celku nejmenší (v důsledku vad, nehomogenity, snížené jakosti ap.), ale my zaznamenáme pouze hodnotu celého tělesa.

Jelikož pravděpodobnost výskytu slabého místa (tj. části s velmi nízkou pevností) je ve velkém tělese vyšší než v tělese malém, mají velká tělesa ve srovnání s malými nižší pevnost. To se objeví s velikou pravděpodobností u většího počtu náhodně vybraných zkušebních těles obou velikostí. Neplatí to pro jednotlivé srovnání (např. pro srovnání jedné krychle malé a jedné krychle velké, obě vyrobené ze stejné záměsi při zkoušce betonu), kde mohou být náhodně výsledky stejné, nebo právě opačné. Ve skutečnosti jsou příčiny vlivu rozměrového činitele na pevnost tělesa složitější, ale ve většině případů je uvedená statistická úvaha (označovaná někdy jako Weibullova teorie) zcela postačujícím vysvětlením.

Jelikož se při hodnocení pevností vychází z náhodných výběrů s větším počtem prvků, musí se rozměrový činitel respektovat. Např. základní krychle pro zkoušku pevnosti betonu v tlaku má délku hrany 150 mm. Zjistíme-li na výběru těchto krychlí např. průměrnou pevnost 10 MPa, pak bychom zjistili na krychlích s délkou hrany 200 mm průměrnou pevnost 9,5 MPa a na krychlích s délkou hrany 300 mm 9,0 MPa.

#### 3.11.3.2.2 Statistické hodnocení pevnosti souboru zkušebních těles

Hodnocení pevnosti kusových výrobků a zkušebních těles se provádí statistickým hodnocením náhodných výběrů. Ze statistických charakteristik zjištěných z náhodného výběru se pevnost vyhodnotí podle kriterií spolehlivosti, popř. i hospodárnosti.

*Kriterium spolehlivosti* prokazuje, zda pravděpodobnost výskytu hodnot pevnosti nižších, než je požadovaná hodnota, se v základním souboru nejvýše rovná zvolené hodnotě $f_{ck}$. Tato požadovaná hodnota se nazývá *charakteristická pevnost* ($R_g$).

Charakteristickou pevností je například hodnota krychelné nebo válcové pevnosti betonu, který je vyráběn se statistickou zárukou 95 %. Hodnota pravděpodobnosti $P_x$ je tedy 5 %. Kriterium spolehlivosti zaručuje, že pevnost vyráběného materiálu odpovídá hodnotě, se kterou je počítáno při návrhu konstrukce.

Někdy se prokazuje, zda pevnost nepřekračuje určitou stanovenou mezní hodnotu, nebo zda směrodatná odchylka souboru pevnosti není větší než určitá mezní hodnota. Tím se zajišťuje, aby výrobek neměl zbytečně vysokou pevnost, a nedocházelo tak k plýtvání materiálem a energií. K tomuto posouzení se používá *kritérium hospodárnosti*. Obdobně jako pevnost je možno statisticky vyšetřovat i jiné vlastnosti.

### 3.11.4 Houževnatost a křehkost materiálu

Pro navrhování stavebních konstrukcí i pro sledování jejich funkce při případném přetížení je velmi důležité znát chování materiálů v okamžiku před porušením, neboť pomáhá lépe posoudit skutečnou míru bezpečnosti proti vyčerpání únosnosti. Materiály křehké se při vyčerpání únosnosti, tj. při dosažení hodnoty meze pevnosti, porušují náhle, bez předchozích nadměrných přetvoření. Tak se chovají např. kámen, keramické výrobky, sklo, malty, beton a litina. Naopak materiály houževnaté před porušením vykazují značné deformace, např. houževnaté oceli, plasty a dřevo. Tím signalizují přetížení a je možno předejít náhlé havárii konstrukce.

Deformační kapacitu látek namáhaných tahem vyjadřuje *tažnost*, což je poměrná nevratná deformace látky vyvozená v průběhu jejího zatěžování tahovou silou až do přetržení. V tažnosti tedy není zahrnuta pružná deformace, která je vratná, a proto při odlehčením materiálu po jeho přetržení vymizí. Tažnost se stanoví při zkoušce tahem ze vztahu pro vyjádření $\delta$ v %.

$$\delta = \frac{L_1 - L}{L} 100$$

U oceli se např. hodnotou tažnosti posuzuje houževnatost. Tažnost houževnatých ocelí je větší než 20 %, křehkých menší než 10 %.

Obdobně jako tažnost se u materiálů namáhaných tahem definuje ještě *stažnost*, což je v % vyjádřený poměr trvalého zmenšení průřezové plochy zkušebního vzorku po přetržení k původní ploše.

$$\psi = \frac{A - A_1}{A} 100$$

Ve vzorcích $L$ a $A$ jsou délka, resp. průřezová plocha, před namáháním, $L_1$ a $A_1$ po přetržení.

Houževnatost se také zjišťuje přerážecím kladivem rázovou silou za ohybu. Jsou-li zkušební tělíska hladká, vyjádří se zkouškou *rázová houževnatost*, resp. *rázová pevnost,* jsou-li opatřena zářezem (vrubem), získá se *vrubová houževnatost,* resp. *vrubová pevnost*.

Zkouška rázové (vrubové) houževnatosti, respektive pevnosti se nejčastěji provádí rázovou zkouškou v ohybu s pomocí Charpyho kladiva. Otočně zavěšené kladivo (kyvadlo) padá při zkoušce tak, že cestou přeráží zkušební tělísko uložené na pevných podporách.

Část kinetické energie kyvadla se spotřebuje na přeražení a odmrštění zkušebního tělesa a zbytek této energie vynáší kyvadlo výšky, která je nižší než výška výchozí. Rozdíl obou výšek je možné odečíst na stupnici přístroje přímo jako spotřebovanou rázovou práci.

Při výpočtu rázové houževnatosti se rázová práce se vztahuje na původní průřez tělesa ohraničující lomovou plochu a výsledek je tedy možné vyjádřit ve fyzikálních jednotkách ($kJ.m^{-2}$). Při výpočtu rázové pevnosti se rázová práce vztahuje na průřezový modul přeráženého tělesa a výsledky tedy získáváme v jednotkách napětí (MPa).

Přesto, že výsledné hodnoty nejsou formálně závislé na absolutních rozměrech tělesa, jsou ve skutečnosti výsledky rázových zkoušek značně ovlivňovány, jak zkušebním upořádáním, tak konkrétním typem použitých zkušebních těles.

Houževnatost materiálů je vruby (zvláště ostrými) snižována tím více, čím jsou tyto materiály křehčí (využívá se např. k řezání skla). Toto snížení houževnatosti udává *vrubové číslo*, což je poměr vrubové a rázové houževnatosti nebo vrubové a rázové pevnosti.

Protikladem houževnatosti je *křehkost*, avšak tento termín je používán pouze kvalitativně a není vyjadřován fyzikálními jednotkami.

Mezi vlastnosti dané houževnatostí patří ještě *odolnost proti otluku*, ale ani tato vlastnost není přesněji fyzikálně definována a zjišťuje se jen experimentálně.

### 3.11.5 Součinitel příčné roztažnosti

Důležitou informaci o deformačním chování materiálu poskytuje též *součinitel příčné roztažnosti* (jinak též Poissonovo číslo či Poissonův poměr), který udává poměr mezi příčnou poměrnou deformací $\varepsilon_x$ a podélnou poměrnou deformací $\varepsilon_y$ osově zatíženého tělesa:

$$\mu = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \quad .$$

Částice, resp. součásti struktury, se totiž vychylují působením podélného napětí určitou měrou do stran a příčná deformace má proto vždy opačný smysl než deformace podélná (podélnému protažení odpovídá příčné zkrácení a naopak).

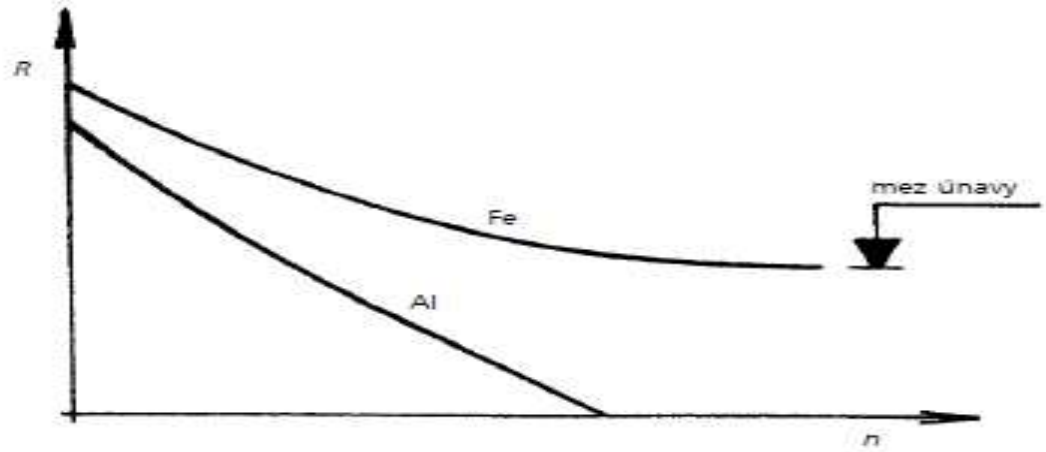
Poissonova čísla tvrdých krystalických i amorfních látek se zpravidla pohybují v mezích 0,1 až 0,2. U měkčích látek bývají vyšší, např. u kaučuků se blíží hodnotě 0,5. Hodnota oceli se pohybuje od 0,25 do 0,33, betonu od 0,08 do 0,18.

### 3.11.6 Odolnost cyklickému namáhání

Pokud jde o závislost na časovém průběhu zatížení způsobujícího porušení, rozeznává se *pevnost statická*, tj. při zatížení působícím klidně, a p*evnost dynamická* při zatíženích mžikových. Při statickém zatěžování se rozlišuje *pevnost krátkodobá*, která se stanovuje ze zatěžování trvajícího několik sekund nebo minut a *pevnost dlouhodobá* ze zatěžování trvajícího několik dní, měsíců, popř. i let. Stanovení dlouhodobé pevnosti je zvláště důležité u plastů pro jejich význačné deformační chování s časem.

Dále se rozlišuje pevnost jednorázová od pevnosti při zatížení opakovaném, tj. *pevnosti únavové*, která je vlivem postupného narušování struktury materiálu při jednotlivých zatěžovacích cyklech vždy nižší.

Uvedený nepříznivý důsledek opakovaného namáhání se nazývá *únava materiálu*. Únavová pevnost se sleduje v závislosti na počtu cyklů. Z výsledků zkoušek se vynášejí diagramy, které se nazývají *Wöhlerovy křivky*.



Obr. 3.26 Závislost únavové pevnosti na počtu zatěžovacích cyklů *n*

### 3.11.7 Tvrdost a obrusnost

*Tvrdost* pevných látek není jednoznačně definovatelnou vlastností, obvykle se definuje jako odpor, který klade látka proti vnikání cizího tělesa do povrchu zkoušeného materiálu. Tato definice připouští různé možnosti stanovení tvrdosti, a tím není možno získat jednotné klasifikace a stejných jednotek, ve kterých by se vyjadřovala. Proto neexistuje ani jednotná zkušební metoda, jež by byla vhodná pro všechny látky.

Metody stanovení tvrdosti (tvrdoměrné nebo také sklerometrické) lze rozdělit do tří skupin:

*metody vrypové*, při nichž se rýpe do povrchu látky jinou látkou, tvrdou čepelí nebo diamantovým hrotem,

*metody vnikací*, při nichž se do povrchu látky vtlačuje určitou silou kulička, kužel, jehlan nebo jiné, přesně definované tělísko z tvrdého kovu nebo z diamantu,

*metody odrazové*, při nichž se měří hodnota odskoku určitého tělíska spuštěného na povrch látky z určité výšky nebo vrženého proti povrchu definovanou rychlostí.

Nejstarší způsob je *klasifikace tvrdosti podle Mohse*, založená na metodě vrypové. Zkoušený materiál je měkčí než nerost, který do materiálu rýpá a naopak tvrdší materiál rýpá do měkčího nerostu. Rýpou-li do sebe navzájem, jsou stejně tvrdé. Moshova stupnice sestává z těchto nerostů: 1 - mastek, 2 - sádrovec, 3 - vápenec, 4 - kazivec, 5 - apatit, 6 - živec (ortoklas), 7 - křemen, 8 - topas, 9 - korund a 10 - diamant.

Tato metoda se používá stále k hodnocení tvrdosti keramických výrobků (dlaždic, obkladaček), pro většinu jiných stavebních hmot se však nehodí.

Vrypovou metodou je i hodnocení tvrdosti nátěrových filmů pomocí sady tužek s různou tvrdostí hrotu.

Nejrozšířenější pro stanovení tvrdosti stavebních hmot jsou metody založené na odporu proti vnikání cizího tělesa do materiálu, např. metoda podle Brinella (kuličková - HB), podle Vickerse (diamantový jehlan - HV), Rockwella (diamantový kužel - HRC), Shoreho (pružinový tvrdoměr s ocelovým hrotem - SH) aj. Výsledná hodnota tvrdosti je závislá na metodě zkoušení, a označuje se proto před číselnou hodnotou značkou metody (HB 174, HV 256, HRC 32, SH 67 °apod.).

Číselná hodnota znamená u Brinellovy a Vickersovy metody desetinu tlaku v MPa vyvozeného kuličkou, resp. jehlanem na plochu vtisku. U Rockwellovy a Shoreovy metody se číselné hodnoty zatlačení hrotu odečítají přímo na stupnici přístroje.

Brinellova metoda se používá pro měření kovů, dřeva, tvrdých plastů, Vickersovy a Rockwellova metoda pro měření tvrdých kovů a slinutých karbidů, Shoreova metoda pro měření měkkých plastů a pryží.

Tvrdost závisí na teplotě a u nasákavých látek na vlhkosti, oba tyto fyzikální vlivy tvrdost snižují.

*Metoda odrazová* se používá k nedestruktivnímu zkoušení pevnosti betonu tzv. Schmidtovým tvrdoměrem (ČSN EN 12504-2).

Podle hodnoty odrazu zjištěné tvrdoměrem je možné zhruba odhadnout pevnost zatvrdlého betonu v tlaku. Tvrdost zjištěná tímto způsobem se využívá k posouzení stejnoměrnosti betonu a k ohraničení míst s rozdílnou kvalitou, případně při sledování vývoje pevnosti v závislosti na době tvrdnutí nebo na dalších podmínkách. Přímé stanovení pevnosti vyžaduje kalibraci tvrdoměru na zkoušený druh betonu.

*Obrusnost* se definuje jako odpor proti opotřebení povrchu vystaveného obrusu za určitých podmínek na brusné dráze a je dána úbytkem výšky vzorku po obrusu na dráze určité délky, např. 500 m. Často se klade obrusnost do souvislosti s tvrdostí látek, ačkoliv tato vlastnost na ní není přímo závislá, neboť je ještě řada dalších činitelů, které ji ovlivňují (zahřívání látky třením vyvolá změnu chemických vlastností a vznik nových produktů na povrchu látky, obrusnost betonu ovlivňuje hlavně tvrdost a relativní obsah kameniva aj.). Proto jsou srovnatelné pouze výsledky stejných látek mezi sebou, stanovené stejným postupem. Tak jako na tvrdost i na obrus má nepříznivý vliv vlhkost látek.

Obrusnost se stanovuje u materiálů, které jsou v konstrukci tomuto namáhání vystaveny, hlavně při použití na podlahy a dlažby (kámen, keramické výrobky, plasty). S obrusností souvisí např. *opotřebitelnost* dlaždic.

Přístroje měřící obrusnost (*abrasery*) pracují na různých principech. Kromě brusné dráhy tvořené smirkovým plátnem se používají přístroje na principu otryskávání či kartáčování kovovými kartáči.

### 3.11.8 Adheze a koheze

*Přilnavost (adheze)* je zajišťována vazebnými (zpravidla molekulárními) silami. Adheze je vždy nižší než *koheze (vnitřní pevnost*) pojiva, které přilnavost zajišťuje, ale může být případně vyšší než koheze druhého materiálu (plniva). Potom při mechanickém namáhání nedojde k porušení ve styčné ploše, nýbrž uvnitř tohoto druhého materiálu. To se děje například při porušování lehkých betonů z pórovitého kameniva nízké pevnosti.

### 3.11.9 Další mechanické vlastnosti

Vedle pevnosti se zjišťují i další mechanické vlastnosti, které s pevností souvisejí. Je to *soudržnost*, která udává pevnost spojení dvou různých materiálů (např. oceli a betonu v železobetonových prvcích), a *přídržnost* (např. povrchové úpravy k podkladu). Soudržnost i přídržnost (nazývaná též *pevnost v odtrhu*) mohou být výsledkem působení přilnavosti, tření mezi oběma materiály a u soudržnosti případného mechanického opření, resp. zaklesnutí, jejich nerovných povrchů.

Přídržnost povrchových úprav (nátěrů, nástřiků, omítek, asfaltových pásů) na podkladní materiál (beton, zdivo) je dnes velmi sledovanou vlastností a kriteriem kvality jak materiálu, tak i provedení. Měří se odtrháváním kovového terče přilepeného obvykle epoxidovým lepidlem přímo na příslušnou povrchovou úpravu. Aby odtrh probíhal na definované ploše, musí být po obvodu terče zkoušená povrchová úprava jádrovým vrtákem prořízнuta (probroušena) až k podkladu.

Odtrhovým přístrojem (mechanickým nebo hydraulickým) se měří síla při níž dojde k oddělení úpravy od podkladu.

Odtrhovou zkoušku je třeba provádět velmi pečlivě, a to hlavně z hlediska zajištění síly, která musí působit centricky a kolmo k podkladní ploše. Jinak vykazují výsledky vysoký rozptyl a zkouška se stává nespolehlivou.

Při vyhodnocování odtrhové zkoušky se kromě stanovení přídržnosti zjišťuje, zda k porušení došlo ve styčné spáře obou materiálů nebo pouze v podkladu či naopak v povrchové úpravě.

Zkouška je u některých materiálů, např. asfaltových pásů, silně závislá na teplotě během provádění, což je třeba vzít v úvahu při vyhodnocování výsledků. Je pak nutné buď udávat teplotu při níž odtrhová zkouška proběhla, anebo stanovit závislost mezi odtrhovou pevností a změnami teploty.

### 3.11.10 Viskoelastické chování

Na hodnoty mechanických vlastností má u některých materiálů významný vliv teplota při níž zkouška probíhá. Zvláště termoplastické materiály (plasty) nebo asfalty při vzestupu teploty vykazují vysoký pokles pevností i modulu pružnosti. Zatímco u tradičních materiálů jako je ocel, beton či zdivo se zhoršení mechanických vlastností projevuje až při teplotách nad 100 $^{o}$C, tedy při teplotách pro zabudovaný stavební materiál výjimečných (požár apod.), u plastů a asfaltů silný pokles mechanických vlastností nastává již při teplotách do 100 $^{o}$C, tedy v podstatě při běžných teplotách, kterým materiál může být vystaven.

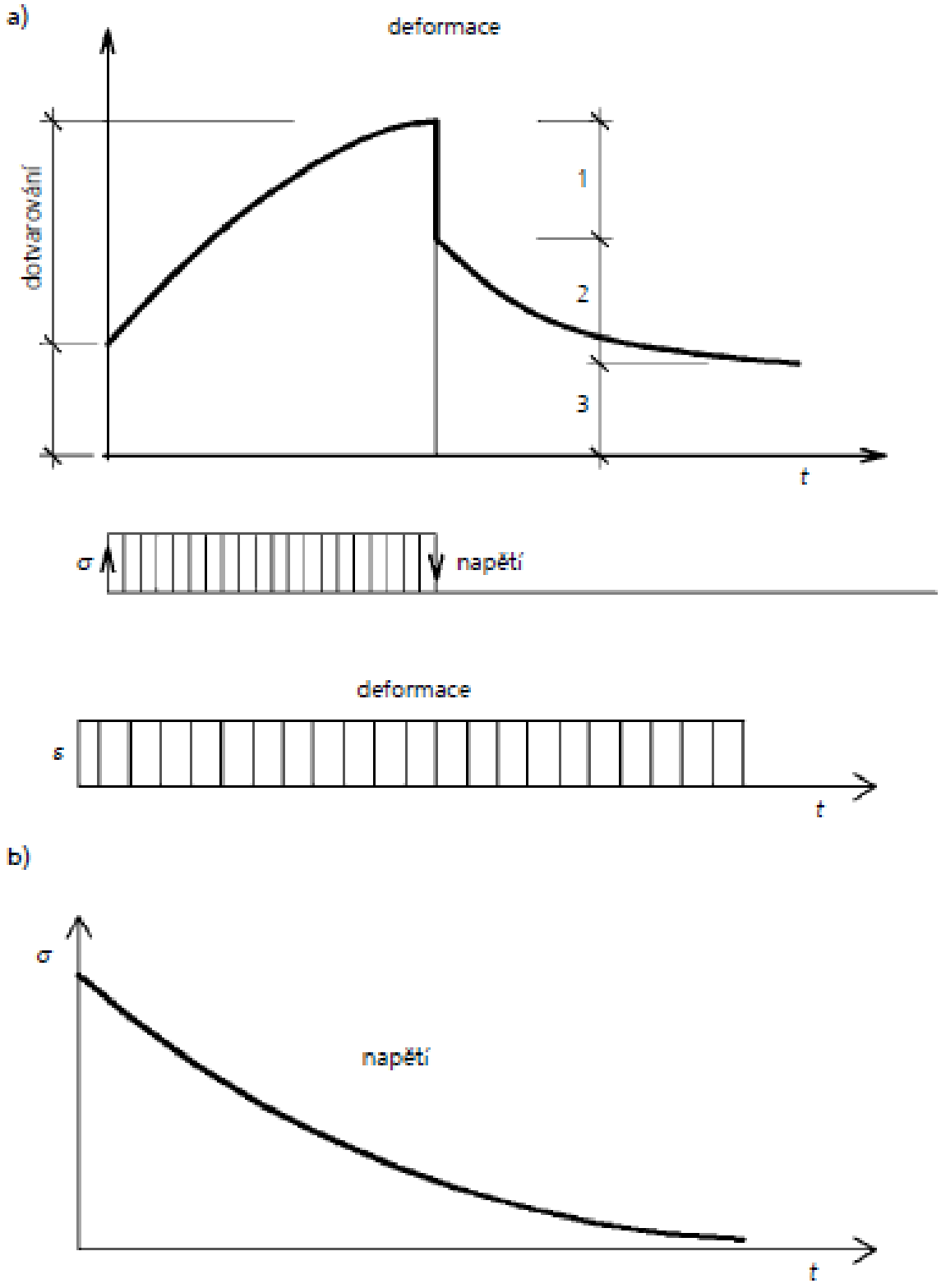
V dosavadních úvahách jsme předpokládali, že deformační charakteristiky materiálů následují okamžitě a trvale po změně stavu napjatosti, tj. že platí Hookův zákon. To platí jen u materiálů dokonale pružných, většina materiálů se však chová pružně plasticky, to znamená, že deformace se v závislosti na čase opožďují za vnesením napětím. Tyto tzv. rheologické vlastnosti materiálů popisují dva typické extremní stavy.

Prvním je případ, kdy vnesení konstantního působícího napětí dojde k vzniku deformace podle Hookova zákona. V průběhu doby zatěžování tato deformace se více či méně zvětšuje. Tento jev se nazývá *kríp* (psáno též creep) nebo *tečení*. U betonu se tento proces nazývá ne zcela přesně *dotvarování*. Postupný nárůst deformace se může v průběhu doby zastavit, při větším namáhání však může deformace dále narůstat až do porušení (viz obr. 3.27a).

Druhým případem je tzv. *relaxace materiálu*, tj. kdy vnesením určité deformace dojde ve vzorku ke vzniku napětí. Toto napětí pak ale postupem času poklesá, případně může zcela vymizet (viz obr. 3. 27b). Jev se projevuje například jako ztráta předpětí u předpjatých betonových konstrukcí nebo naopak jako vymizení vnitřních pnutí u odlévaných prvků apod.

Vliv teploty i času na mechanické vlastnosti stavebních materiálů se může vyskytovat současně a tak se jejich účinek synergicky zvětšuje. Viskoelastické chování tak vylučuje například plasty z použití jako konstrukční materiál pro nosné

stavební konstrukce. Jako materiálové charakteristiky pro navrhování nelze také u plastů zavádět hodnoty získané z krátkodobých zkoušek za běžné teploty.




*Obr. 3.27* Časová závislost deformace vazkopružné (viskoelastické) látky

## 3.12 Tepelné vlastnosti stavebních materiálů

Jsou důležité především z hlediska materiálů, ze kterých jsou zhotoveny konstrukce, oddělující prostředí s rozdílnými teplotními, vlhkostními a tlakovými parametry.

Materiálové vlastnosti, které charakterizují vedení tepla, lze rozdělit na tepelně-fyzikální, kam patří především měrná tepelná vodivost a tepelná kapacita, a na tepelně-technické, kam řadíme tepelnou jímavost, součinitel teplotní vodivosti a tepelný odpor vrstvy materiálu.

Hodnoty tepelně-fyzikálních veličin jsou v normě ČSN 73 0540-1 vyjádřeny pomocí:

- *normová hodnota,* což je číselná hodnota veličiny statisticky vyhodnocená z naměřených hodnot, v návaznosti na hodnoty veličin určujících vlastností tak, aby zahrnovala variabilitu hodnot veličiny způsobenou v procesu výroby, to je, aby tato hodnota nebyla běžně překročena, s předem stanovenou spolehlivostí,
- *charakteristická hodnota* udávaná jako číselná hodnota veličiny stanovená normalizovaným postupem, statisticky vyhodnocená z naměřených hodnot, v návaznosti na hodnoty veličin určujících vlastností, pro stanovenou charakteristickou hodnotu vlhkosti $\omega_{mk}$ tak, aby zahrnovala variabilitu hodnot veličiny způsobenou v procesu výroby, to je, aby tato hodnota nebyla běžně překročena, s předem stanovenou spolehlivostí,
- *návrhová (výpočtová) hodnota* stanovené výpočtem podle této normy, na základě normové nebo charakteristické hodnoty této veličiny, koeficientů, přirážek, hodnot určujících vlastností apod. tak, aby zohledňovala podmínky zabudování materiálu ve stavební konstrukci a její užití, podmínky provozu budovy, a aby zahrnovala i variabilitu hodnot veličiny způsobenou v procesu výroby, to je, aby tato hodnota nebyla běžně v průběhu užívání překročena, s předem stanovenou spolehlivostí.

Výpočtovou hodnotou může být popřípadě také hodnota stanovená přímo z tabulek ČSN 73 0540-3.

Při podcenění významu tepelně-fyzikálních vlastností materiálů dochází v nesprávně navržených nebo provedených konstrukcích ke kondenzaci vlhkosti, a to zejména v místech s nižším tepelným odporem, označovaných jako *tepelné mosty.*

Zvláště nežádoucí je vlhké *kryptoklima,* které vzniká ve špatně přístupných částech a dutinách.

Kondenzovaná voda nejen dále zhoršuje tepelně-technické vlastnosti konstrukce, ale vytváří také prostředí pro růst zdraví škodlivých plísní. Ve vlhku probíhá i řada korozních jevů, které mohou vést ke snížení životnosti konstrukce.

### 3.12.1 Šíření tepla materiály

Teplo se může šířit vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) nebo sáláním (radiací, zářením).

Zastoupení jednotlivých způsobů šíření tepla v rámci materiálů je závislé na druhu materiálu, na jeho vlastnostech a stavu.

V pevných látkách jako takových se teplo šíří vedením. Šíření tepla prouděním se uplatňuje především u kapalin a plynů. Sálání je energetická výměna mezi plochami o různé teplotě, která probíhá prostřednictvím elektromagnetického záření.

U porézních či mezerovitých stavebních materiálů se kromě kondukce uplatňují i obě další složky. Zejména ve větších pórech a mezerách není proudění plynů či par zanedbatelné. Na protilehlých plochách pórů a mezer dochází také k šíření tepla sáláním.

### 3.12.2 Vliv tepla na materiály

Účinkem tepelné energie předané do materiálu dochází ke změně jeho teploty. V důsledku teplotní změny pak dochází ke změnám v rozměrech, resp. objemu materiálu. Zároveň dochází ke změnám mechanických vlastností (pevnosti, tvrdosti, tažnosti). Teplotní závislost, více či méně výraznou, vykazují všechny materiálové charakteristiky.

Délkové (objemové) změny vyvolané v materiálu v důsledku působení tepelné energie mohou vést ke vzniku trhlin. V tomto směru jsou zvláště citlivá souvrství tvořená vrstvami s rozdílnou teplotní roztažností.

Tepelná energie může v materiálu vyvolat i další fatální změny vedoucí až k narušení celistvosti (rozpad po vysušení, zuhelnatění účinkem žáru).

### 3.12.3 Tepelně-fyzikální veličiny

Přehled vlastností počítaných mezi tepelně-fyzikální spolu s jejich obvyklým značením přináší tab. 3.13.

Tepelně-fyzikální vlastnosti homogenních a nehomogenních materiálů *Tab. 3.13*

| Název vlastnosti materiálu | Název veličiny | Značení | Jednotky |
|---|---|---|---|
| Homogenní materiály | | | |
| měrná tepelná vodivost | součinitel tepelné vodivosti | $\lambda$ | $(W.m^{-1}.K^{-1})$ |
| tepelná kapacita | měrná tepelná kapacita | $c$ | $(J.\ kg^{-1}.K^{-1})$ |
| teplotní roztažnost | součinitel lineární teplotní roztažnosti | $\alpha$ | $(K^{-1})$ |
| | vlhkostní součinitel materiálu | $Z_w$ | (–) |
| Nehomogenní vrstvy materiálů | | | |
| měrná tepelná vodivost | ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti | $\lambda_{ev}$ | $(W.m^{-1}.K^{-1})$ |
| tepelná kapacita | měrná tepelná kapacita | $c_{ev}$ | $(J.\ kg^{-1}.K^{-1})$ |
| teplotní roztažnost | součinitel lineární teplotní roztažnosti | $\alpha$ | $(K^{-1})$ |
| | vlhkostní součinitel nehomogenních vrstev | $Z_{wc}$ | (–) |

### 3.12.3.1 Měrná tepelná vodivost

Měrná tepelná vodivost je základní tepelně-fyzikální vlastností homogenních stavebních materiálů. Vyjadřuje schopnost materiálu vést teplo v případě, kdy není ve všech jeho místech stejná teplota.

Měrnou tepelnou vodivost konkrétních materiálů charakterizuje součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ *(*W $m^{-1}K^{-1}$*)*, který vyjadřuje schopnost homogenního isotropního materiálu vést teplo.

Lze jej také charakterizovat jako přenášený tepelný výkon (W) plochou homogenního izotropního materiálu o velikosti 1 $m^2$ do vzdálenosti 1 m při teplotním rozdílu jednoho stupně 1 (K).

V ČSN 73 0540-1 je vedle součinitele tepelné vodivosti $\lambda$ ($W.m^{-1}.K^{-1}$) homogenních materiálů definován také ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{ev}$ ($W.m^{-1}.K^{-1}$), který vyjadřuje schopnost nehomogenní vrstvy materiálu dané tloušťky šířit teplo a kvantifikuje vliv všech způsobů sdílení tepla.

Tepelně-fyzikální veličiny (normové, výpočtové) vybraných nehomogenních materiálů dle ČSN 73 0540-3 *Tab. 3.14*

| Nehomogenní materiál | Normové hodnoty | Ekvivalentní normové hodnoty | | Výpočtové hodnoty |
|---|---|---|---|---|
| | objemová hmotnost v suchém stavu $\rho_{dn}$ ($kg.m^{-3}$) | součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{ev,n}$ ($W.m^{-1}.K^{-1}$) | měrná tepelná kapacita $c_{ev,n}$ ($J.kg^{-1}.K^{-1}$) | ekvivalentní hodnota součinitele tepelné vodivosti $\lambda_{ev,p}$ ($W.m^{-1}.K^{-1}$) |
| Zdivo z plných pálených cihel CP | | | | |
| rozměry 290/140/65 | 1 700 | 0,73 | 900 | 0,80 |
| | 1 800 | 0,77 | 900 | 0,86 |
| Zdivo z cihel metrického formátu CDm, rozměrů 240/115/113 | | | | |
| tloušťka zdiva 115 mm | 1 400 | 0,60 | 960 | |
| tloušťka zdiva 375 mm | 1 450 | 0,52 | | 0,69 |
| Zdivo z příčně děrovaných cihel CD 36, rozměrů 360/240/výška | | | | |
| tloušťka zdiva 360 mm výška 113 mm | 1 200 | 0,47 | 960 | 0,55 |
| výška 140 mm | 1 150 | 0,44 | | 0,52 |
| Zdivo z příčně děrovaných cihel CD 32, rozměrů 320/240/výška | | | | |
| tloušťka zdiva 320 mm výška 113 mm | 1 300 | 0,51 | 960 | 0,58 |
| výška 140 mm | 1 350 | 0,51 | | 0,57 |

V ČSN 73 0540-3 jsou dále uvedeny i tabulkové hodnoty součinitelů tepelné vodivosti stavebních materiálů.

Ještě nějaký čas se v literatuře budeme setkávat s odkazy na návrhové hodnoty tepelně-fyzikální veličin převzatými z ČSN EN 12524, která byla v roce 2010 zrušena. Pro ilustraci jsou vybrané hodnoty uváděné v této zrušené normě níže uvedeny (tab. 3.15).

Velikost součinitele tepelné vodivosti materiálu závisí na:

- vlhkosti,
- pórovitosti (objemové hmotnosti),
- struktuře (izotropie – anizotropie),
- teplotě.

Součinitel tepelné vodivosti materiálů se dosazuje do tepelně-technických výpočtů vlastností stavebních konstrukcí. Požadavky na tepelně-technické vlastnosti stavebních konstrukcí jsou uvedeny v ČSN 73 0540-2, a to na základě požadovaných a doporučených hodnot součinitelů prostupu tepla *U* ($W.m^{-2}.K^{-1}$), který nahradil dříve běžně používaný parametr stavebních konstrukcí odpor konstrukce při prostupu tepla R ($m^2.K.W^{-1}$).

Podle velikosti součinitele tepelné vodivosti můžeme materiály rozdělit na:

- *vysoce tepelně izolační materiály* s tepelnou vodivostí od cca 0,03 $W.m^{-1}.K^{-1}$ do 0,10 $W.m^{-1}.K^{-1}$ a objemovou hmotností do 500 $kg.m^{-3}$,
- *materiály s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi* s tepelnou vodivostí od 0,10 $W.m^{-1}.K^{-1}$ do 0,30 $W.m^{-1}.K^{-1}$ a objemovou hmotností od 500 $kg.m^{-3}$ do 800 $kg.m^{-3}$,
- *materiály se středními tepelně izolačními vlastnostmi* s tepelnou vodivostí od 0,30 $W.m^{-1}.K^{-1}$ do 0,60 $W.m^{-1}.K^{-1}$ a objemovou hmotností od 800 $kg.m^{-3}$ do 1600 $kg.m^{-3}$,
- *materiály s běžnými tepelně izolačními vlastnostmi,*s tepelnou vodivostí od 0,60 $W.m^{-1}.K^{-1}$ do 1,25 $W.m^{-1}.K^{-1}$ a objemovou hmotností od 1 600 $kg.m^{-3}$ do 2 400 $kg.m^{-3}$,
- *velmi hutné anorganické materiály* s tepelnou vodivostí od 1,25 $W.m^{-1}.K^{-1}$ do 3,50 $W.m^{-1}.K^{-1}$ a objemovou hmotností větší než 2 400 $kg.m^{-3}$,
- *ostatní velmi hutné izotropní materiály* s velikostí tepelné vodivosti vyšší než 3,50 $W.m^{-1}.K^{-1}$,
- *kovy* s velikostí tepelné vodivosti větší než 50,00 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Vlhkost materiálu má velký vliv na velikost jeho součinitele tepelné vodivosti. Zvyšováním vlhkosti materiálu dochází k růstu velikosti součinitele tepelné vodivosti a tudíž k poklesu tepelně izolačních vlastností materiálu.

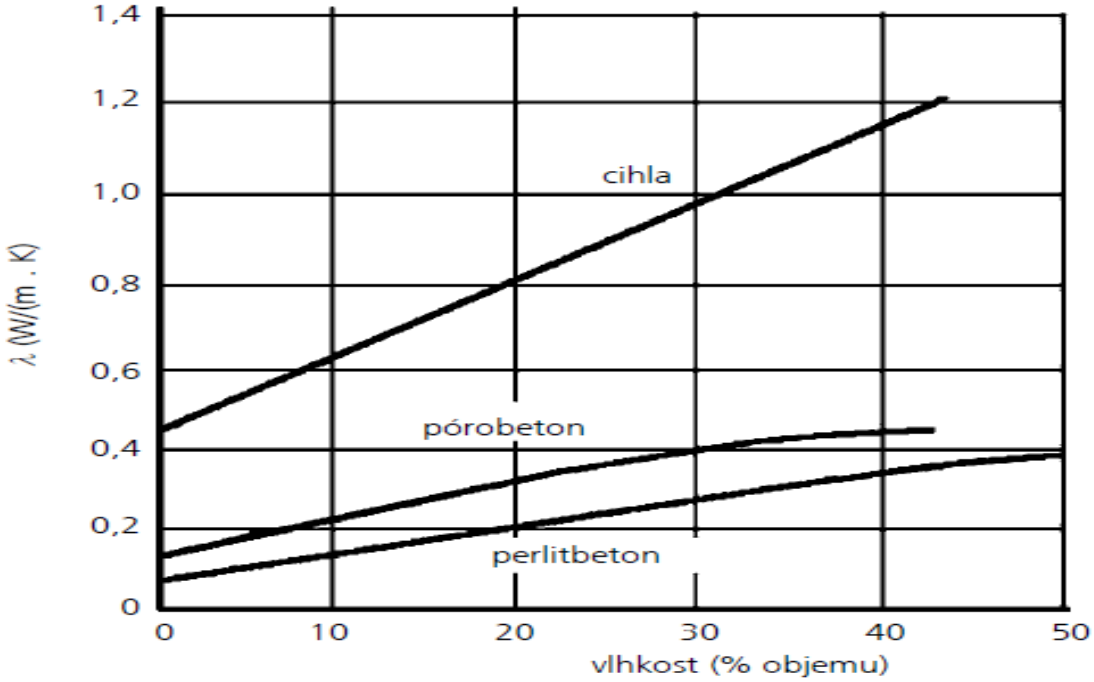
Je to působeno jednak tím, že součinitel tepelné vodivosti vody za klidu (0,58 $W.m^{-1}.K^{-1}$) je cca 25 x větší než vzduchu (suchý neproudící vzduch má $\lambda \approx 0{,}0258$ $W.m^{-1}.K^{-1}$) a také tím, že v pórech dochází k přemísťování vlhkosti ve směru tepelného spádu a k šíření tepla prouděním.

Závislost mezi velikostí součinitele tepelné vodivosti a velikostí vlhkosti je pro každý materiál odlišná.

Návrhové tepelně-fyzikální veličiny vybraných materiálů dle zrušené ČSN EN 12524
*Tab. 3.15*

| Materiálová skupina nebo aplikace | Objemová hmotnost $\rho$ (kg.m$^{-3}$) | Návrhová tepelná vodivost $\lambda$ (W.m$^{-1}$.K$^{-1}$) | Měrná tepelná kapacita $c_p$ (J.kg$^{-1}$.K$^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| **Beton**[a] | | | |
| střední objemová hmotnost | 2 000 | 1,35 | 1000 |
| vysoká objemová hmotnost | 2 400 | 2,00 | 1000 |
| vyztužený (2%) ocelí | 2 400 | 2,5 | 1000 |
| **Plyny** | | | |
| vzduch | 1,23 | 0,025 | 1008 |
| argon | 1,70 | 0,017 | 519 |
| krypton | 3,56 | 0,0090 | 245 |
| xenon | 5,68 | 0,0054 | 160 |
| **Skla** | | | |
| sodné sklo (včetně skla float) | 2 500 | 1,00 | 750 |
| křemenné sklo | 2 200 | 1,40 | 750 |
| **Kovy** | | | |
| hliníkové slitiny | 2 800 | 160 | 880 |
| ocel | 7 800 | 50 | 450 |
| **Pevné plasty** | | | |
| polystyren | 1 050 | 0,16 | 1300 |
| polyuretan (PU) | 1 200 | 0,25 | 1800 |
| **Těsnicí hmoty, těsnění proti povětrnostním vlivům a výrobky pro přerušení tepelného mostu** | | | |
| polyuretanová (PU) pěna | 70 | 0,05 | 1500 |
| **Sádra** | | | |
| sádra | 900 | 0,30 | 1000 |
| sádrokartonové desky[b] | 900 | 0,25 | 1000 |
| **Omítky a malty** | | | |
| sádrová omítka | 1 300 | 0,57 | 1000 |
| vápenná s pískem | 1 600 | 0,80 | 1000 |
| cementová s pískem | 1 800 | 1,00 | 1000 |
| **Dřevo**[c] | | | |
| | 500 | 0,13 | 1600 |
| | 700 | 0,18 | 1600 |

[a] Objemová hmotnost v suchém stavu.
[b] Tepelná vodivost zahrnuje vliv papírových vrstev.
[c] Objemová hmotnost u dřeva a výrobků na bázi dřeva znamená objemovou hmotnost v rovnováze se vzduchem o teplotě 20 °C a relativní vlhkosti 65 %.




*Obr. 3.27* Vliv vlhkosti na měrnou tepelnou vodivost vybraných materiálů

V případě, kdy dojde ke zmrznutí vlhkosti v pórech materiálu, dochází k dalšímu poklesu jeho tepelně izolačních vlastností v porovnání se stavem, kdy nebyla vlhkost v pórech zmrzlá, neboť součinitel tepelné vodivosti zmrzlé vody při -10 ºC je 2,3 $W.m^{-1}.K^{-1}$ (voda v pórech zamrzá při nižších teplotách než 0 °C).

Podstatné snižování součinitele tepelné vodivosti při vzrůstu vlhkosti má důsledky na praktické provádění tepelných izolací. Nasákavé materiály je nutno v průběhu montáže a i po zabudování chránit dostatečně proti vlivu vlhkosti.

Pro návrh tepelných izolací je nutné počítat s velikostí součinitele tepelné vodivosti odpovídající praktické vlhkosti materiálu, a nikoliv vlhkosti materiálu dokonale laboratorně vysušeného.

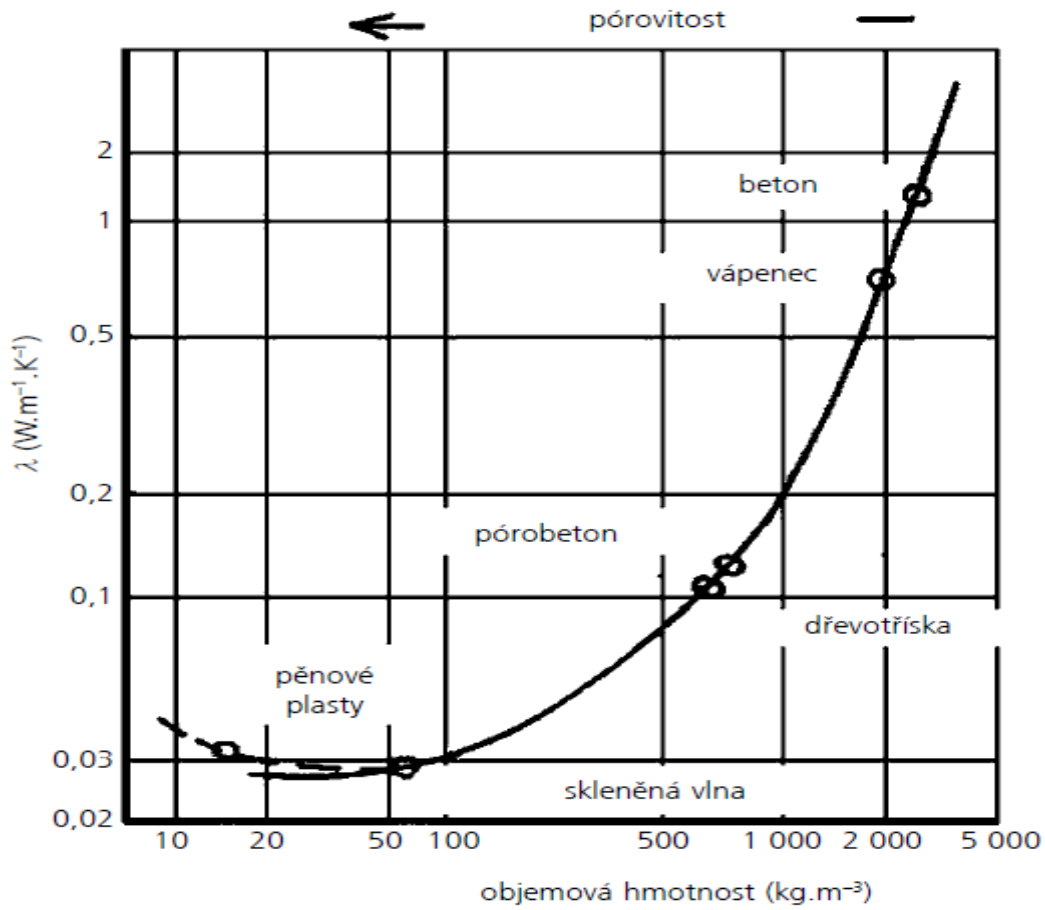
ČSN 73 0540-1 vyjadřuje změnu velikosti charakteristické hodnoty součinitele tepelné vodivosti při změně jeho hmotnostní vlhkosti pomocí součinitele $Z_u$ viz tab. 3.16.

Závislost velikosti součinitele tepelné vodivosti vody a vzduchu na teplotě [Halahyja, M., aj., 1985] *Tab. 3.16*

| $\lambda$ ($W.m^{-1}.K^{-1}$) | Teplota (°C) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| Voda | 0,555 | 0,571 | 0,587 | 0,603 | 0,620 |
| Vzduch | 0,0235 | 0,0243 | 0,0250 | 0,0257 | 0,0263 |

Materiály s velmi malými otevřenými póry (kapilárami) jsou navlhavé a nemusí být jako tepelně izolační materiály vždy vhodné.

Z hlediska tepelně izolačních vlastností jsou nejvýhodnější uzavřené póry cca o velikosti 0,1 až 1 mm.



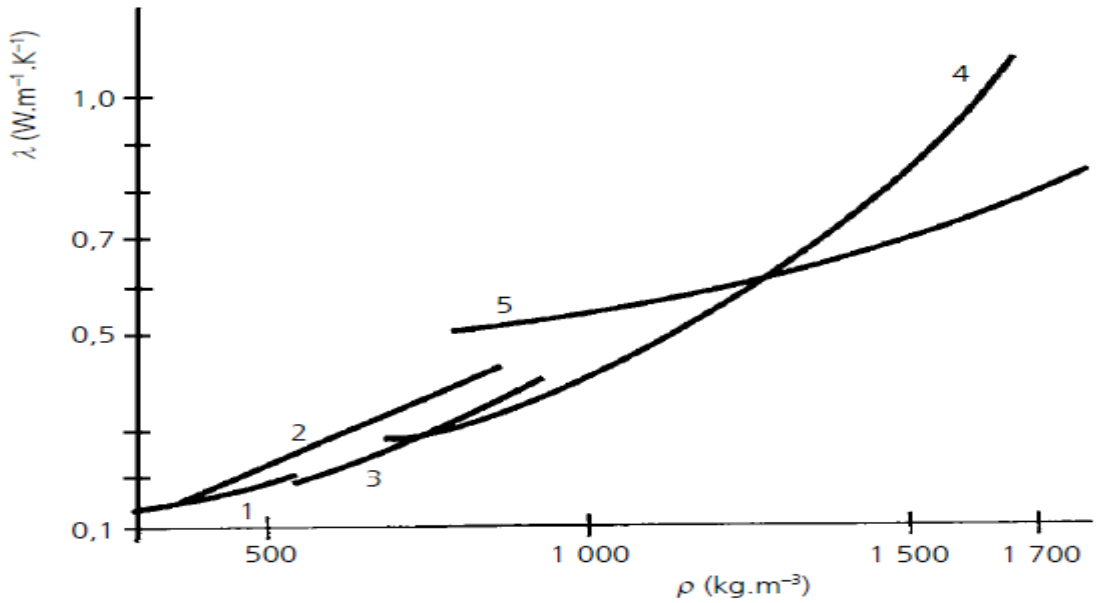

Obr. 3.28 Vliv pórovitosti na měrnou tepelnou vodivost vybraných materiálů

Protože součinitel tepelné vodivosti suchého neproudícího vzduchu má řádově nižší velikost než u hutných materiálů, vede zpravidla zvýšení jeho obsahu ke snížení velikosti součinitele tepelné vodivosti uvedených materiálů. Ale v případě materiálů s velkými póry dochází v pórech k šíření tepla prouděním, a proto při zvyšování pórovitosti těchto materiálů dojde k vzrůstu jejich součinitele tepelné vodivosti.

Pro zvýšení tepelně izolačních vlastností materiálů je výhodnější větší množství malých pórů oproti pórům velkým (viz tab.3.17).

Velikost součinitele teplené vodivosti vzduchu v závislosti na velikosti pórů v materiálu [Halahyja, M., aj., 1985] *Tab. 3.17*

| Průměr pórů *d* (mm) | 0,1 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 5,0 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\lambda$ (W.m$^{-1}$.K$^{-1}$) | 0,024 | 0,026 | 0,028 | 0,031 | 0,044 |




*Obr. 3.29* Vliv objemové hmotnosti na měrnou tepelnou vodivost vybraných materiálů [Pytlík, P., 1998]

1 – lehký beton z experlitu, 2 – pórobeton, 3 – plynosilikát (vápenopopílkový pórobeton), 4 – lehký beton z keramzitu, 5 – cihelný střep

Anizotropní materiály mají v jednotlivých směrech různé hodnoty součinitele tepelné vodivosti. Typickým příkladem jsou lamináty vyztužené skleněnými vlákny, u nichž součinitel tepelné vodivosti skla je několikrát větší než makromolekulárního pojiva. Součinitel tepelné vodivosti ve směru kolmém na rovinu výztuže (kolmo na vlákna) je proto menší než ve směru roviny výztuže (po vláknech). Obdobně je tomu u dřeva a jiných vláknitých materiálů.

Vliv anizotropie dřeva na velikost součinitele tepelné vodivosti *Tab. 3.18*

| Druh dřeva | Objemová hmotnost $\rho$ (kg.m$^{-3}$) | Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ (W.m$^{-1}$.K$^{-1}$) | |
|---|---|---|---|
| | | kolmo na vlákna | rovnoběžné s vlákny |
| Borovice | 550 | 0,17 | 0,35 |
| Dub | 800 | 0,23 | 0,41 |

U pórovitých materiálů dochází se zvyšováním jejich teploty k intenzivnějšímu sálání v pórech a ke zvýšení tepelné vodivosti uzavřeného vzduchu. Protože v pórovitém materiálu je přenos tepla póry rozhodující (zvláště při malém obsahu pevné fáze), lze říci, že s rostoucí teplotou se bude zvyšovat i velikost součinitele tepelné vodivosti pórovitého materiálu.

U hutných materiálů dochází rovněž ke změně velikosti součinitele tepelné vodivosti v závislosti na teplotě. Vztah je pro každý materiál individuální, v běžné stavební praxi lze u většiny materiálů (výjimkou jsou některé polymery) tuto závislost zanedbat.

Pro informativní stanovení závislosti mezi teplotou materiálu a součinitelem tepelné vodivosti (v intervalu teplot od 0 ºC do 100 ºC) platí vztah:

$$\lambda_t = (\lambda_0 + 0{,}0025\, t)$$

kde $\lambda_0$ (W.m$^{-1}$.K$^{-1}$) je součinitel tepelné vodivosti při teplotě 0 ºC,

$t$ - teplota, při které se počítá $\lambda_t$ (W.m$^{-1}$.K$^{-1}$).

Teplota se do vzorce dosazuje ve ºC.

### 3.12.3.2 Měrná tepelná kapacita

*Měrná tepelná kapacita* (měrné teplo) $c$ (J.kg$^{-1}$.K$^{-1}$) vyjadřuje množství tepelné energie, kterou je třeba dodat 1 kg materiálu, aby se zvýšila jeho teplota o 1 K. Přesná definice měrné tepelné kapacity předpokládá isobarický průběh celého procesu (tlak v ohřívaném systému se nemění).

Z praktického hlediska je důležité, aby byla přesně definována vlhkost příslušného materiálu. Měrná tepelná kapacita vody je velmi vysoká (4186 J.kg$^{-1}$.K$^{-1}$) a přítomnost vody proto značně ovlivňuje výsledek.

Měrná tepelná kapacita materiálů se dosazuje do tepelně-technických výpočtů (např. výpočet tepelné jímavosti či součinitele teplotní vodivosti).

Velikost měrné tepelné kapacity materiálů závisí především na
- vlhkosti,
- teplotě.

ČSN 73 0540-3 obsahuje tabulkové hodnoty měrné tepelné kapacity a ekvivalentní měrné tepelné kapacity $c_d$ (J.kg$^{-1}$.K$^{-1}$) stavebních materiálů.

Pro závislost mezi vlhkostí a měrnou tepelnou kapacitou materiálů platí, že se zvyšující se vlhkostí roste velikost měrné tepelné kapacity. (Srovnání měrné tepelné kapacity vody v porovnání s velikostmi měrné tepelné kapacity stavebních materiálů viz tab. 3.19).

Tepelně-fyzikální veličiny (normové, charakteristické, výpočtové) vybraných homogenních materiálů dle ČSN 73 0540-3 *Tab. 3.19*

| Materiál | Normové hodnoty | | Charakteristické hodnoty | Výpočtové hodnoty |
|---|---|---|---|---|
| | objemová hmotnost v suchém stavu $\rho_{dh}$ (kg.m$^{-3}$) | měrná tepelná kapacita v suchém stavu $c_{dh}$ (J.kg$^{-1}$.K$^{-1}$) | součinitel tepelné vodivosti $\lambda_k$ (W.m$^{-1}$.K$^{-1}$) | součinitel tepelné vodivosti $\lambda_p$ (W.m$^{-1}$.K$^{-1}$) |
| Beton | | | | |
| beton hutný | 2 200 | 1 020 | 1,10 | 1,30 |
| železobeton | 2 400 | 1 020 | 1,34 | 1,58 |
| beton z liaporu | 700 | 880 | 0,23 | 0,28 |
| beton z liaporu | 1 300 | 880 | 0,59 | 0,63 |
| beton z perlitu | 300 | 1 150 | 0,085 | 0,091 |
| beton z perlitu | 500 | 1 150 | 0,13 | 0,14 |
| pískový pórobeton | 580 | 840 | 0,18 | 0,21 |
| popílkový pórobeton | 580 | 840 | 0,18 | 0,20 |
| Omítky | | | | |
| omítka vápenná | 1 600 | 840 | 0,70 | 0,88 |
| omítka vápenocementová | 2 000 | 790 | 0,88 | 0,99 |
| omítka perlitová | 500 | 850 | 0,16 | 0,18 |
| Tepelněizolační pěnoplastické materiály | | | | |
| polystyren pěnový (PPS) | 10 | 1 270 | 0,050 | 0,051 |
| polystyren pěnový (PPS) | 50 | 1 270 | 0,036 | 0,037 |
| polystyren pěnový (EXP) | 30 | 2 060 | 0,034 | 0,034 |
| polyuretan pěnový tuhý pěněný freonem, nepláštovaný | 35 | 1 500 | 0,032 | 0,032 |
| polyuretan pláštovaný plechem | 35 | 1 510 | 0,029 | 0,029 |
| Tepelněizolační vláknité materiály | | | | |
| materiály z minerální plsti | 200 | 880 | 0,048 | 0,064 |
| materiály z minerální plsti lisované | 250 | 1 150 | 0,072 | 0,079 |
| materiály ze skleněné plsti | 15 | 940 | 0,042 | 0,046 |
| Dřevo, materiály z agregovaného dřeva a korku | | | | |
| dřevo tvrdé, tepelný tok | | | | |
| • kolmo k vláknům | 600 | 2 510 | 0,18 | 0,22 |
| • rovnoběžně s vlákny | 600 | 2 510 | 0,42 | 0,49 |
| dřevo měkké, tepelný tok | | | | |
| • kolmo k vláknům | 400 | 2 510 | 0,15 | 0,18 |
| • rovnoběžně s vlákny | 400 | 2 510 | 0,35 | 0,41 |
| Ostatní deskové materiály | | | | |
| sádrokarton | 750 | 1 060 | 0,15 | 0,22 |
| liapor (sypaný) | 400 | 1 260 | 0,12 | 0,13 |
| liapor (sypaný) | 1 000 | 1 260 | 0,22 | 0,24 |

Orientační závislost mezi velikostí měrné tepelné kapacity a vlhkostí materiálu lze vypočítat podle vztahu:

$$c = c_d + 0{,}42u_m$$

kde $c$ je měrná tepelná kapacita materiálu při hmotnostní vlhkosti $u_m$ (J.kg$^{-1}$.K$^{-1}$),

$c_d$ - měrná tepelná kapacita materiálu v suchém stavu (J.kg$^{-1}$.K$^{-1}$),

$u_m$ - hmotnostní vlhkost (%).

Pro popis vztahu mezi teplotou materiálu a měrnou tepelnou kapacitou neexistuje žádný obecně platný vzorce. Tato závislost je zcela individuální pro každý druh materiálu. Změny velikosti tepelné kapacity materiálů mohou dosáhnout např. u některých makromolekulárních materiálů i několika set procent.

Za běžných teplot jsou velikosti měrné tepelné kapacity materiálů v suchém stavu následující:

- anorganické materiály přibližně od 840 do 1500 J.kg$^{-1}$.K$^{-1}$,
- organické materiály uměle vyrobené a směsí anorganicko-organických materiálů přibližně od 1000 do 2500 J.kg$^{-1}$.K$^{-1}$,
- organické materiály přírodního původu okolo 2500 J.kg$^{-1}$.K$^{-1}$.

### 3.12.3.3 Teplotní lineární délková roztažnost

Při zahřívání a ochlazování materiálů dochází k jejich vratným délkovým a objemovým změnám. Ty lze vyjádřit pomocí *součinitele délkové (lineární) teplotní roztažnosti* $\alpha$ (K$^{-1}$), který vyjadřuje reakci materiálů na změnu teploty. Při zvýšení velikosti teploty materiálu se zvětšují jeho rozměry ve všech třech směrech. Při poklesu teploty materiálu se rozměry materiálu ve všech třech směrech zmenší.

Pro materiály tvořící stavební konstrukce se vzhledem k jednomu převažujícímu rozměru teplotní roztažnost obvykle posuzuje pouze podle změny jejich délky $\Delta L$. Součinitel teplotní délkové roztažnosti $\alpha$ tedy vyjadřuje závislost mezi změnou délky materiálu a změnou jeho teploty podle vzorce

$$\Delta L = \alpha . L_0 . \Delta T$$

kde $\Delta L$ je přírůstek délky (m),

$\alpha$ - součinitel lineární teplotní roztažnosti (K$^{-1}$),

$L_0$ - měrná délka při výchozí teplotě (m),

$\Delta T$ - změna teploty (K).

U většiny tradičních materiálů se součinitel lineární teplotní roztažnosti pohybuje mezi 6 a $16.10^{-6}$ $K^{-1}$. Makromolekulární materiály (plasty) mají součinitel řádově větší, asi 80 až $200.10^{-6}$ $K^{-1}$. S jejich odlišnou teplotní roztažnosti je tedy třeba počítat při jejich kombinaci s tradičními materiály.

Pro beton a ocel se uvažuje hodnota součinitele lineární teplotní roztažnosti stejná, a sice $10 – 12.10^{-6}$ $K^{-1}$.

U složeného materiálu je výsledná hodnota součinitele délkové teplotní roztažnosti závislá na teplotních roztažnostech jeho jednotlivých složek a jejich vzájemném poměru. Při větších rozdílech jejich součinitelů vzniká však při změně teploty v materiálu vnitřní pnutí.

Zejména v prospektové literatuře se stále setkáváme s nekorektně utvořenou „jednotkou“, která má vyjadřovat o kolik milimetrů se změní délka jednoho metru materiálu při změně teploty o jeden Celsiův stupeň. Hodnota v reciprokých Kelvinech je tisíckrát menší. Pro přepočet na správnou jednotku proto použijeme vztah:

1 mm/m/ºC = $1. 10^{-3}$ $K^{-1}$

### 3.12.3.4 Součinitel objemové teplotní roztažnosti

Součinitel objemové teplotní roztažnosti γ lze přibližně určit ze vztahu

$$\gamma \cong 3\alpha$$

*kde α je součinitel délkové lineární roztažnosti.*

Součinitel objemové roztažnosti je samozřejmě i přímo experimentálně dostupná veličina. Určuje se na základě měření objemu zkušebních těles při různých teplotách.

## 3.12.4 Tepelně-technické vlastnosti materiálů

S tepelně izolačními vlastnostmi materiálů souvisí i dále popsané tepelně-technické veličiny (tepelná jímavost, součinitel teplotní vodivosti, tepelný odpor vrstvy materiálu) viz tab. 3.20.

Výpočet uvedených tepelně-technických vlastností materiálů lze provést v případě, že jsou známé číselné hodnoty tepelně-fyzikálních vlastností materiálů (součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita).

Tepelně-technické vlastnosti stavebních materiálů *Tab. 3.20*

| Název veličiny | Značení | Jednotky |
|---|---|---|
| Tepelná jímavost | *b* | $(W^2.s.m^{-4}.K^{-2})$ |
| Tepelná jímavost podlahy | *B* | $(W.s^{0.5}.m^{-2}.K^{-1})$ |
| Součinitel teplotní vodivosti | *a* | $(m^2.s^{-1})$ |
| Součinitel prostupu tepla | *U* | $(W.m^{-2}.K^{-1})$ |
| Tepelný odpor vrstvy materiálu | *R* | $(m^2.K.W^{-1})$ |

### 3.12.4.1 Tepelná jímavost materiálů

*Tepelná jímavost* vyjadřuje schopnost materiálu přijímat nebo uvolňovat teplo. Čím větší je velikost tepelné jímavosti materiálu, tím méně materiál přijímá, ale i uvolňuje teplo. Naopak nízká hodnota tepelné jímavosti vyjadřuje, že materiál rychle přijme teplo, ale i rychle teplo uvolní (vychladne).

Tepelná jímavost materiálu má rozměr $W^2.s.m^{-4}.K^{-2}$ a vypočítá se ze vztahu:

$$b = \lambda . c . \rho$$

*kde λ je součinitel tepelné vodivosti materiálu* $(W.m^{-1}.K^{-1})$,

*c - měrná tepelná kapacita materiálu* $(J.kg^{-1}.K^{-1})$,

*ρ - objemová hmotnost ve stavu definované vlhkosti* $(kg.m^{-3})$.

Na výsledné velikosti tepelné jímavosti se, jak vyplývá z uvedeného vzorce, podstatně podílí velikost objemové hmotnosti materiálu. Z uvedeného důvodu dosahují vysokých hodnot tepelné jímavosti kovy ve srovnání s ostatními stavebními materiály. Naopak relativně nízké hodnoty tepelné jímavosti mají *tepelně izolační materiály*.

V ČSN 73 0540-1 je, kromě tepelné jímavosti, zavedena ještě *tepelná jímavost podlahy,* která se určuje se jako druhá odmocnina z hodnoty tepelné jímavosti a má tedy rozměr $W.s^{0,5}.m^{-2}.K^{-1}$.

Tato veličina je zavedena terminologicky velmi nešťastně a snadno může dojít k záměně se samotnou tepelnou jímavostí.

K možné záměně obou veličin přispívá fakt, že tepelná jímavost podlahy (definovaná výše uvedeným způsobem) je obecnou materiálovou charakteristikou. Protože je dobrým ukazatelem toho, jak teple působí materiál na dotek, používá se i při hodnocení jiných materiálů než podlahových. Termín „tepelná jímavost podlahy“ je při takovémto použití ovšem zcela nevhodný. Poslední slovo se pak často vypouští. Rozměru uváděnému u veličiny nazývané tepelná jímavost je proto vždy třeba věnovat náležitou pozornost.

### 3.12.4.2 Součinitel teplotní vodivosti

*Součinitel teplotní vodivosti* materiálu (teplotní vodivost) *a* je veličina o rozměru $m^2.s^{-1}$ zmiňovaná v ČSN 73 0540-1, která vyjadřuje schopnost materiálu o definované vlhkosti vyrovnávat rozdílné teploty při neustáleném vedení tepla.

Hodnoty tepelné jímavosti a teplotní vodivosti materiálů tvořících obvodové konstrukce jsou rozhodující při neustáleném teplotním stavu (např. přerušovaném vytápění) a kolísaní teploty v interiéru.

Platí, že čím je velikost součinitele teplotní vodivosti materiálu vyšší, tím rychleji probíhá vyrovnání teplot, nebo také, že akumulační schopnost materiálu je tím větší, čím více tepla je materiál schopen přijmout a čím pomaleji toto teplo odevzdává okolí.

Součinitel teplotní vodivosti lze vypočítat ze vztahu:

$$a = \frac{\lambda}{c.\rho}$$

kde $\lambda$ je součinitel tepelné vodivosti materiálu ($W.m^{-1}.K^{-1}$),

c - měrná tepelná kapacita materiálu ($J.kg^{-1}.K^{-1}$),

$\rho$ - objemová hmotnost ve stavu definované vlhkosti ($kg\ m^{-3}$).

V případě, kdy je teplotní vodivost materiálu relativně nízká a tepelná jímavost relativně vysoká, se vytápěný prostor bude sice déle ohřívat, ale po přerušení vytápění si dosaženou teplotu delší dobu udrží (pokles dosažené teploty bude pozvolný).

### 3.12.4.3 Tepelný odpor vrstvy materiálu

Vyjadřuje tepelně izolační vlastnosti určité konkrétní tloušťky materiálu. Čím vyšší je tepelný odpor vrstvy materiálu, tím vyšší je i její tepelně izolační schopnost.

Vysokých hodnot tepelného odporu se dosahuje použitím materiálů s nízkou hodnotou součinitele tepelné vodivosti $\lambda$ ($W.m^{-1}.K^{-1}$). K získání uspokojivých hodnot tepelného odporu pak stačí relativně slabá tloušťka. Příkladem může být dodatečné zateplování budov pomocí vysoce tepelně izolačních materiálů (např. polystyrénu, skelných nebo minerálních vláken) používaných v tloušťkách od cca 5 cm do 20 cm.

Tepelný odpor vrstvy materiálu ($m^2.K.W^{-1}$) se vypočítá ze vztahu:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

kde *d* je tloušťka vrstvy materiálu kolmá na směr tepelného toku (m),

*λ* - součinitel tepelné vodivosti materiálu ($W.m^{-1}.K^{-1}$).

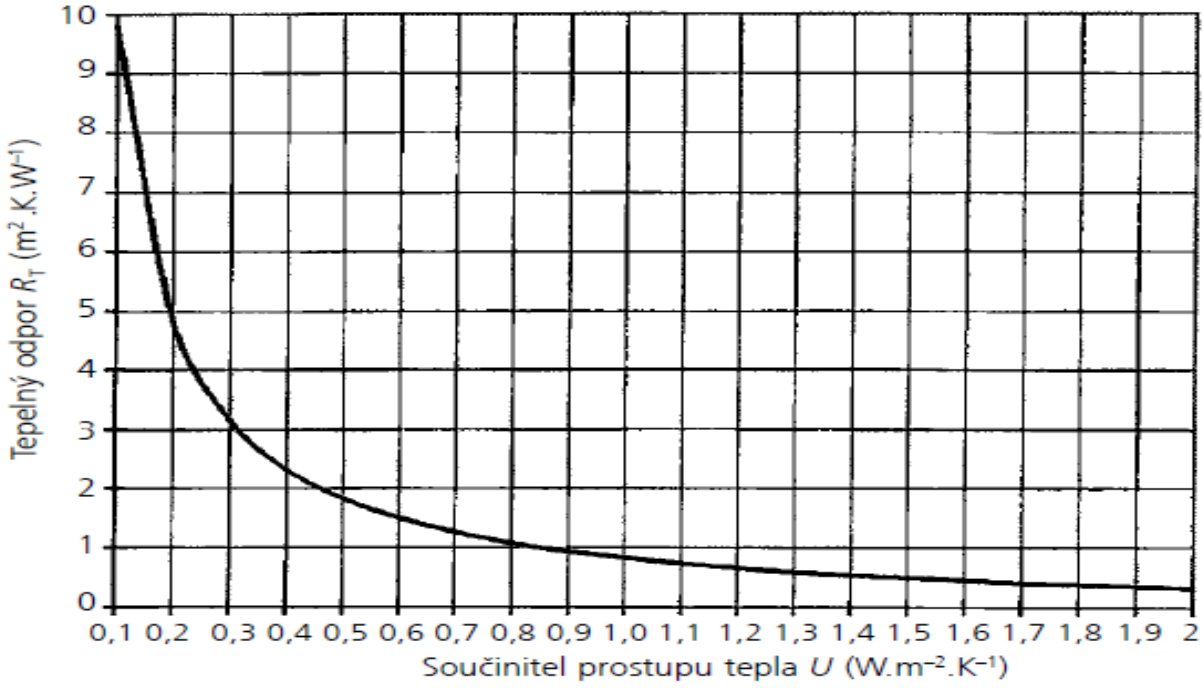
### 3.12.4.4 Součinitel prostupu tepla

Není charakteristikou homogenní ani nehomogenní vrstvy materiálu, ale vztahuje se k vlastnostem konstrukcí. Z hlediska jeho důležitosti v rámci tepelně-technických parametrů konstrukcí, na kterých se neodmyslitelně podílejí i tepelně-fyzikální vlastnosti jednotlivých materiálů, se o něm zmiňuje i následující text.

Podle ČSN 73 0540-2 z roku 2002 je tepelně-technickou veličinou charakterizující tepelně izolační schopnost konstrukce součinitel prostupu tepla U ($W.m^{-2}.K^{-1}$), který od data platnosti uvedené normy nahradil, do té doby běžně používanou, veličinu odpor konstrukce při prostupu tepla $R_T$ ($m^2.K.W^{-1}$) se kterou pracovalo předchozí vydání normy z roku 1994.

V roce 2002 tak došlo ke sjednocení tepelně-technických veličin vztahujících se na průsvitné i neprůsvitné konstrukce.

V ČSN 73 0540-2 nově vydané v roce 2007 jsou uvedeny požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla stavebních konstrukcí včetně výplní otvorů (zasklení a rámů).



*Obr. 3.30 Znázornění závislosti tepelného odporu $R_T$ ($m^2.K.W^{-1}$) na součiniteli prostupu tepla U ($W.m^{-2}.K^{-1}$) [Vaverka, J., Chybík, J., Mrlík, F., 2000]*

## 3.13 Sálavé vlastnosti materiálů

Jak již bylo v předešlém textu napsáno, teplo (tepelná energie) se šíří vedením, prouděním a sáláním.

Sáláním se rozumí elektromagnetické záření (charakterizované vlnovou délkou nebo kmitočtem) z povrchu nepropustného tělesa nebo z vnitřku objemu polopropustného prostředí. Sálání je spojeno s teplotou sálajícího tělesa a s jeho radiačními (sálavými) vlastnostmi.

I když v odborné literatuře jsou termíny radiace – radiační používány častěji než termíny sálání – sálavý, je v této kapitole dávána přednost druhé dvojici. Slovo radiace je příliš často chápáno v posunutém významu (jako zdraví škodlivé záření) a tomu se chceme vyhnout.

Z hlediska tepelného sálání je rozhodující interval vlnových délek mezi 0,1 μm a 100 μm (ČSN EN ISO 9288).

Při nízkých teplotách je teplo sdíleno především vedením a prouděním, při vysokých teplotách roste podíl tepla sdíleného sáláním ve srovnání s množství tepla sdíleného vedením a prouděním.

Charakteristiky podintervalů spektra elektromagnetického záření *Tab. 3.21*

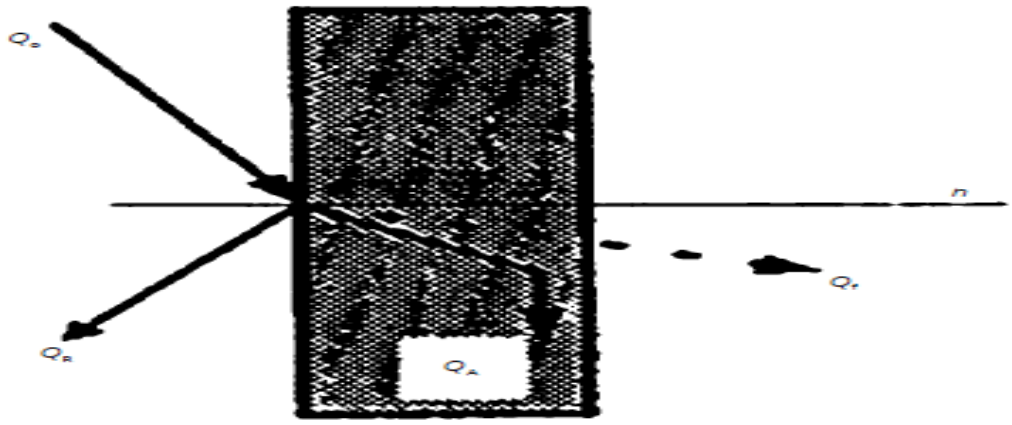
| Záření | Vlnová délka $\lambda$ (μm) | Kmitočet $\nu$ (GHz) | Mechanizmus vzniku záření |
|---|---|---|---|
| infračervené | < 1 000<br>0,7 > | 300 – 420 000 | rotace molekul, vibrace molekul |
| viditelné | < 0,7<br>0,4 > | 420 000 – 720 000 | přemístění vnějších elektronů atomu |
| ultrafialové | < 0,01<br>0,4 > | 720 000 – 30 000 000 | přemístění vnějších elektronů atomu, přemístění vnitřních elektronů atomu |
| tepelné | < 100<br>3,0 > | 3000 – 100 000 | převážně rotace molekul |
| sluneční | < 3<br>0,01 > | 100 000 – 30 000 000 | převážně vibrace molekul |

Radiačními vlastnostmi materiálů jsou:

- emisivita $\varepsilon$ definovaná jako podíl vyzařování $I_\lambda$ ($W.m^{-3}$) teplotního zářiče a vyzařování $I_{\lambda\check{c}}$ ($W.m^{-3}$) dokonale černého tělesa při stejné teplotě,
- reflexe $\rho$, odrazivost (resp. reflektance) je podíl zářivého toku od materiálu (tělesa) odraženého a zářivého toku na materiál (těleso) dopadajícího,
- absorpce $\alpha$ , pohltivost (resp. absorptance) je podíl zářivého toku materiálem (tělesem) pohlceného a zářivého toku na materiál (těleso) dopadajícího.

Čisté kovy s lesklým hladkým povrchem mají relativně nízkou hodnotu emisivity ($\varepsilon \cong$ 0,1 ), tzn. jejich emisivita je rovna přibližně desetině velikosti emisivity dokonale černého tělesa. Kovové povrchy však mají významné reflexní vlastnosti.
Reflexivita kovů souvisí s existencí volných elektronů v obalech atomů tvořících kovovou mřížku.
Pro pevné látky a kapaliny platí, že velikost jejich adsorpce $\tau$ je rovna 0, a proto je:

$$\alpha + \rho = 1$$

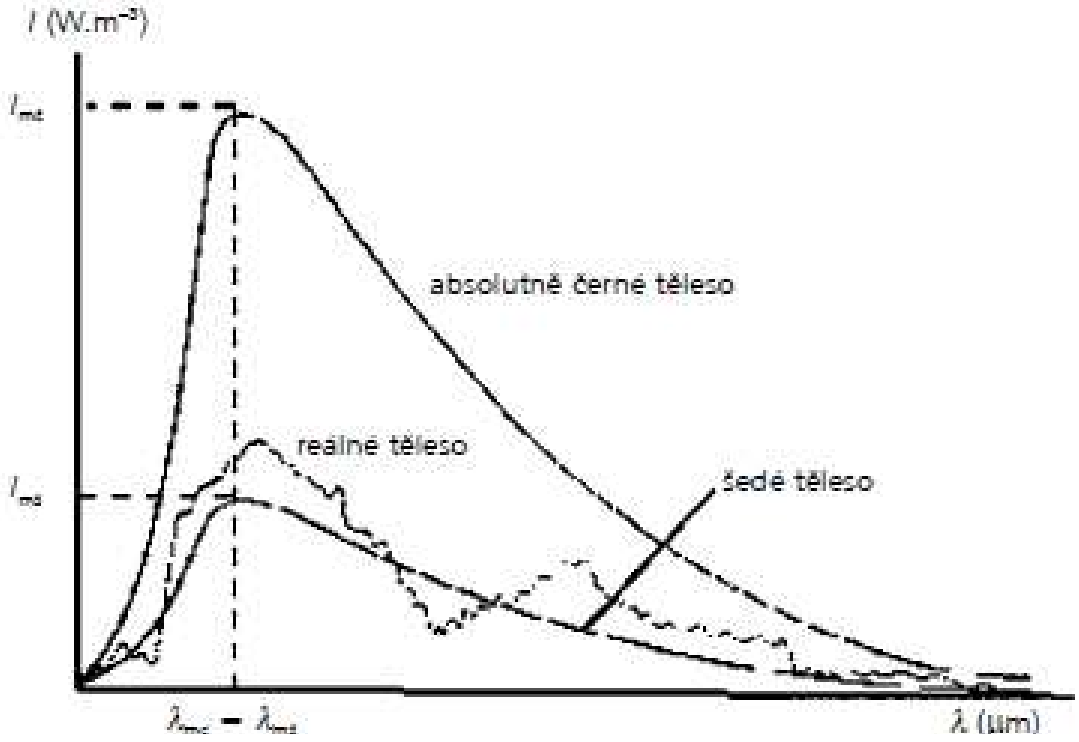


*Obr. 3.31* Znázornění rozdělení zářivého toku $Q_o$ (W), dopadajícího na povrch materiálů, na část, která se od povrchu materiálu odrazí $Q_R$ (W), a na část, kterou materiál absorbuje $Q_A$ (W)

Sálavé vlastnosti jsou z hlediska stavebních materiálů důležité především pro:
- pokovené fólie aplikované v tepelně izolačních zaskleních,
- kovové povrchy reflexních izolací,
- kovové fólie tvořící povrchy uzavřených vzduchových vrstev,
- povrchy obvodových plášťů a střech.

Sálavé projevy materiálů závisí na:
- velikosti termodynamické teploty zdroje záření (zdroje o velikosti termodynamické teploty v řádech 1000 K vyzařují především krátkovlnného záření, zdroje o velikosti termodynamické teploty okolo 400 K vyzařují převážně dlouhovlnné záření),
- vlastnostech mikrostruktury materiálů,
- vlastnostech povrchu odrážejícího dopadající záření (hladkost, matnost, lesk), matné povrchy odrážejí dopadající záření difúzně a lesklé hladké odrážejí záření zrcadlově.

Reflexní vlastnosti kovových fólií se časem zhoršují. Sálavý projev totiž závisí na přítomnosti oxidů na povrchu kovu a na tloušťce oxidační vrstvy (oxidační vrstva na povrchu kovů způsobuje ztrátu lesku a zmatnění povrchu).




*Obr. 3.32* Znázornění záření černého, šedého a reálného materiálu (tělesa)

### 3.13.1 Zdroje sálání

Zdroji elektromagnetického záření stejně jako tepelného sálání jsou z jistého úhlu pohledu všechny materiály všech skupenství o různých velikostech termodynamických teplot.

Zdroje sálání lze rozdělit podle :

- velikosti jejich emisivity (reflexe, absorpce) na
  - absolutně černá tělesa (materiály),
  - reálné materiály (šedá tělesa) – kovy,
  - reálné materiály (šedá tělesa) – nekovy,
- velikosti jejich termodynamické teploty na zdroje
  - převážně dlouhovlnného záření (otopná tělesa v interiérech, cca 350 K),
  - převážně krátkovlnného záření s teplotou v řádech 1000 K (Slunce, 6000 K).

Radiační veličiny se dosazují do tepelně-technických výpočtů:

- součinitelů prostupu tepla $U$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$) tepelně izolačních zasklení,
- součinitelů prostupu tepla $U$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$) obvodových plášťů, v jejichž skladbě je použito vzduchových vrstev a kovových reflexních materiálů,
- součinitelů přestupu tepla $h_{i/e}$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$) ,
- tepelných odporů vrstev materiálů $R$ ($m^2.K.W^{-1}$) včetně nehomogenních vrstev materiálů, a to pouze v případě tepelných odporů vzduchových vrstev, jejichž povrchy tvoří kovové fólie.

### 3.13.2 Hodnoty sálavých vlastností

V technické literatuře lze najít „tabulkové“ hodnoty radiačních vlastností materiálů, ale je nutné si uvědomit, že běžně uváděné údaje mají pouze informativní charakter, neboť pro přesnou informaci by uvedené tabulkové hodnoty musely specifikovat také:

- velikostí termodynamické teploty zdroje záření a rozsahem převažujících vlnových délek záření,
- vlastnosti povrchu (hladkost, drsnost, matnost, lesklost),
- přítomnost povrchových úprav na povrchu (např. eloxace povrchu hliníku),
- postup stanovení (měření), ze kterého vzešly uvedené tabulkové hodnoty včetně okrajových podmínek měření,
- v případě reflexe informací, zda se jedná o zrcadlovou reflexi (typická pro lesklé kovové povrchy), nebo reflexi difúzní (typická pro matné povrchy nekovových materiálů).

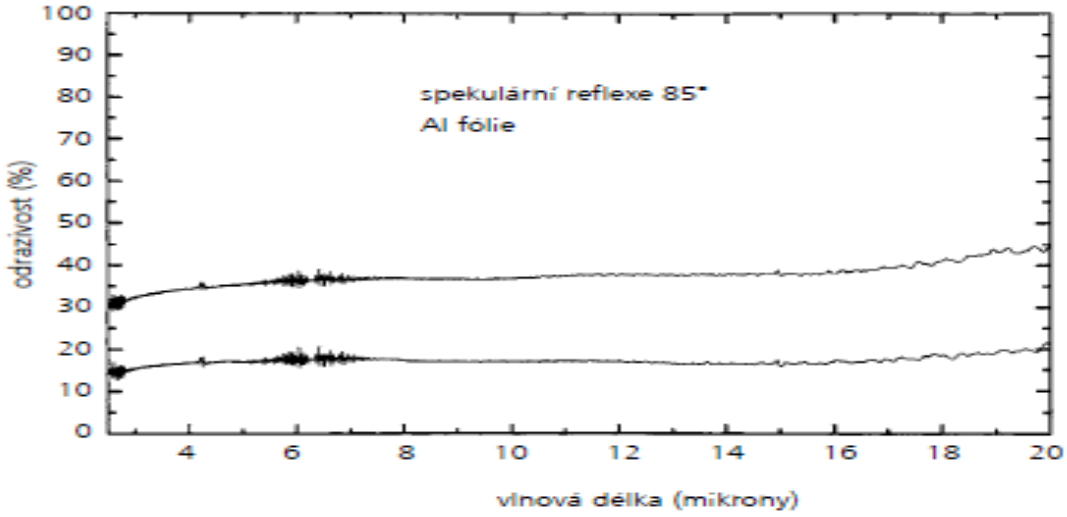
Navíc je zřejmé, že radiační vlastnosti některých materiálů se v čase mění (např. v případě hliníku v důsledku rostoucí tloušťky $Al_2O_3$ na jeho povrchu).

Porovnání velikostí celkových emisivit různě povrchově upraveného hliníku (bez pokrytí produkty koroze) uvedených za srovnatelných okrajových podmínek měření *Tab. 3.22*

| Specifikace stavu povrchu hliníku | Teplota při měření | Velikost emisivity |
|---|---|---|
| vysoce leštěný | 293 K (20 °C) | 0,08 |
| vysoce leštěný | 293 K | 0,040,05 |
| leštěný | 293 K | 0,135 |
| surový | 273 – 773 K | 0,070,08 |
| povrchově neupravený | 293 K | 0,175 |

Porovnání velikostí celkových emisivit lesklých hliníkových fólií pokrytých vrstvou oxidů (produktů koroze) *Tab. 3.23*

| Tloušťka vrstvy oxidů | Teplota při měření | Velikost emisivity |
|---|---|---|
| 0,5 µm | 293 K | 0,11 |
| 1,0 µm | 293 K | 0,30 |
| 1,5 µm | 311 K | 0,48 |
| 2,0 µm | 293 K | 0,63 |
| 2,5 µm | 311 K | 0,68 |




*Obr. 3.33* Velikost reflexe $\rho$ dvou vzorků hliníkové fólie s hladkými lesklými povrchy s úhlem dopadu dlouhovlnného záření ($85^0$) v závislosti na vlnové délce $\lambda$ (μm)

Nově stanovené hodnoty sálavých vlastností materiálů přinesla norma ČSN 73 0540-3 z roku 2005.

### 3.13.3 Praktický význam tepelné reflexe

Využitelnost reflexních materiálů pro zvýšení tepelně izolačních vlastností stavebních konstrukcí a zlepšení energetické bilance běžných budov je v případě neprůsvitných konstrukcí téměř nulová.

Výrazné reflexní vlastnosti mají kovové hladké lesklé povrchy, na které dopadá tepelné záření od zdrojů s velikostí termodynamických teplot, které se v běžných budovách nevyskytují.

Svůj význam mají lesklé kovové plochy jen v bezprostřední blízkosti tepelného zdroje s vyšší povrchovou teplotou (např. u infrazářiče). K dosažení měřitelného účinku musí zpravidla být přímo součástí topidla.

Prakticky významné reflexní vlastnosti nátěrových systémů, nabízených ke zlepšení tepelně-technických vlastností stěn a stropů obytných místností, se nepodařilo prokázat.

Dokonce ani v případě reflexních kovových materiálů s hladkým lesklým povrchem nebyl prokázán prakticky využitelný vliv na zkvalitnění tepelně-technických parametrů stěn a stropů v obytných místnostech.

### 3.13.4 Energetické vlastnosti transparentních látek

Energetické vlastnosti transparentních materiálů jsou úzce svázány s jejich vlastnostmi optickými.

Z hlediska stavebních aplikací jsou důležité zejména pro materiály:
- výplní otvorů (okenních, dveřních apod.),
- některých lehkých obvodových plášťů.

Optické a energetické vlastnosti souvisejí s elektromagnetickým vlněním v určitém rozsahu vlnových délek $\lambda$, který můžeme rozdělit na:
- ultrafialové záření o vlnových délkách 100 až 380 nm,
- viditelné světlo 380 až 780 nm,
- infračervené záření 780 až $10^6$ nm.

Základní optickou vlastností skla je *světelná propustnost* $\tau$. Určí se ze vztahu:

$$\tau = \frac{\sum_{\lambda=300}^{780} \phi\lambda . \tau\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} \phi\lambda}$$

kde $\tau$ je činitel světelné propustnosti určený v normálovém směru

a $\Phi$ je monochromatický tok záření dopadající na sklo ve $W.m^{-2}.(nm)^{-1}$

Sluneční záření při dopadu na zasklení se částečně odráží, pohlcuje zasklením a nakonec zasklením prochází (viz obr. 3.34).

Energetické vlastnosti zasklení jsou charakterizovány:
- propustností záření $T$ , která je definována jako poměr celkového toku zářivé energie pronikající zasklením k dopadajícímu toku slunečního záření podle vztahu:

$$T = \frac{\sum_{\lambda=300}^{2500} J_\lambda . T_\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{2500} J_\lambda}$$

kde $T$ je propustnost slunečního záření,

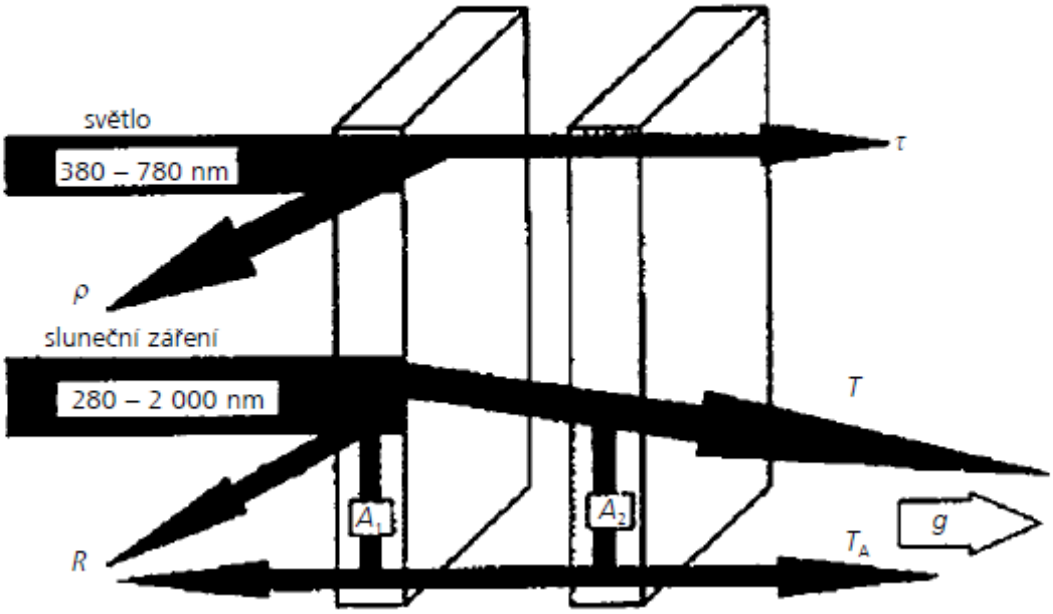
$J_\lambda$ – monochromatické záření dopadající na zasklení ve $W.m^{-2}.(nm)^{-1}$,

a $T_\lambda$ – monochromatická propustnost záření,

- odrazivostí záření $R$, definovanou jako podíl odraženého zářivého toku k dopadajícímu slunečnímu záření,
- pohltivostí záření $A$, definovanou jako podíl absorbovaného zářivého toku zasklením k zářivému toku dopadajícímu.

Platí:

$$T + R + A = 1.$$




*Obr. 3.34* Tok energie procházející zasklením

*p* – odražené světlo, *T* – propustnost záření, *R* – odrazivost záření, *A* – pohltivost záření, $A_1$,$A_2$ – záření pohlcené sklem, $T_{A\ -}$ záření od pohlcené části, *g* – celková energetická propustnost

Skla je možné z hlediska energetických vlastností rozdělit na:

- čirá, u kterých převládá propustnost záření (patří sem všechny druhy bezbarvých skel),
- reflexní skla nebo skla pohltivá, která díky příměsí oxidů Fe, Zn, Ni dosahují zvýšené hodnoty pohltivosti nebo odrazivosti záření (vnímáme je v různých barevných odstínech),
- selektivní skla – pokovovaná tenkou vrstvou oxidu kovu.

Reflexní skla se navenek zpravidla jeví jako modrá, zelená, šedá, bronzová, zlatistá či stříbřitá. Selektivní skla mohou mít různě nastavenou propustnost, pohltivost a odrazivost slunečního záření.

Propustnost záření různých druhů zasklení *Tab. 3.24*

| Druh zasklení | Činitel světelné propustnosti $\tau$ (–) | Propustnost záření $T$ (–) | Odrazivost záření $R$ (–) | Pohltivost záření $A$ (–) |
|---|---|---|---|---|
| Zasklení jednoduché | | | | |
| sklo čiré (FLOAT) 4 mm | 0,89 | 0,82 | 0,07 | 0,11 |
| sklo čiré (FLOAT) 10 mm | 0,86 | 0,75 | 0,05 | 0,20 |
| Zasklení dvojsklem | | | | |
| sklo čiré 4 – 12 – 4 mm | 0,80 | 0,70 | 0,13 | 0,17 |
| sklo čiré 6 – 12 – 6 mm | 0,78 | 0,64 | 0,12 | 0,24 |

## 3.14 Akustické vlastnosti materiálů

Pro potlačení odrazu zvukových vln se navrhují konstrukce *pohlcující,* pro potlačení přenosu zvukových vln se navrhují konstrukce *zvukově izolační.* V obou případech se návrh podřizuje parametrům prostředí, jímž se vlny šíří, tj. vzduchem nebo hmotou pevného skupenství.

Měřítkem vhodnosti stavebních materiálů pro pohltivé, resp. zvukově izolační, konstrukce je jejich *vlnový odpor Z* (N.s.m$^{-3}$), tj. materiálový parametr, který se vypočítá ze vztahu:

$$Z = \rho . c$$

kde ρ je objemová hmotnost materiálu (kg.m$^{-3}$),

c je rychlost šíření podélných vln v materiálu (m.s$^{-1}$).

Vlnový odpor *Z* (N.s.m$^{-3}$) je měřítkem „akustické tvrdosti“ materiálů, podle kterého se materiály dělí na:

- akusticky měkké materiály s hodnotami vlnového odporu blízkými vlnovému odporu vzduchu ($Z \approx Z_0$),
- akusticky tvrdé materiály s hodnotami vlnového odporu řádově většími ($Z >> Z_0$).

Řádové srovnání velikosti vlnového odporu Z (N.s.m$^{-3}$) ve vzduchu a v pevných látkách s velikostí vlnového odporu v akusticky účinných konstrukcích *Tab.3.25*

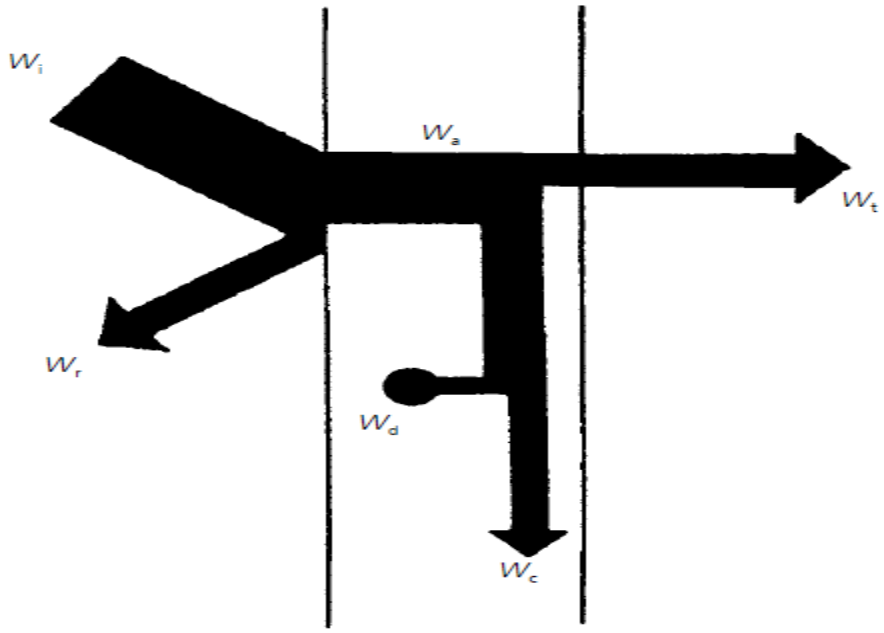
Materiály o vzájemně extrémních akustických tvrdostech jsou např. vzduch a hutný beton. Pro rychlost šíření podélných vln ve vzduchu $c_0$ = 340 m.s$^{-1}$ a objemovou hmotnost vzduchu $\rho_0$ = 1,18 kg.m$^{-3}$ je hodnota vlnového odporu $Z_0$ = 4,012.10$^2$ N.s.m$^{-3}$. Pro rychlost šíření podélných vln v hutném betonu *c* = 3228 m.s$^{-1}$ a objemovou hmotnost betonu $\rho$ = 2400 kg.m$^{-3}$ je hodnota vlnového odporu *Z* = 7,7472.10$^6$ N.s.m$^{-3}$.

### 3.14.1 Materiály pro pohlcující konstrukce

Veličinou vyjadřující schopnost konstrukce pohltit část akustického výkonu dopadající zvukové vlny je *činitel zvukové pohltivosti* $\alpha$ v kmitočtovém pásmu, pro dané kmitočtové pásmo definovaný jako podíl akustického výkonu konstrukcí pohlceného k akustickému výkonu na konstrukci dopadajícímu, $0 \leq \alpha \leq 1$. Hodnoty činitele pohltivosti se určují měřením, dozvukovou metodou s výsledkem označovaným $\alpha_S$. Katalogové hodnoty $\alpha_S$ a z nich vycházející výpočty se mají uvádět minimálně v oktávových pásmech 125 Hz až 4000 Hz.

Na obr. 3.35 je zobrazen akustický výkon dopadající zvukové vlny $W_i$ , který je konstrukcí zčásti odražen, zčásti pohlcen. Rozkládá se tedy na složku: $W_r$ akustického výkonu odražené části vlny a složku $W_a$ akustického výkonu pohlcené části vlny.

Složka pohlcené části vlny se rozkládá na složky: $W_t$ akustického výkonu části vlny přenesené (vyzářené) do sousedního (chráněného) prostoru, $W_c$ akustického výkonu části vlny šířené dále konstrukcemi budovy, $W_a$ akustického výkonu transformovaného na jiný výkon.

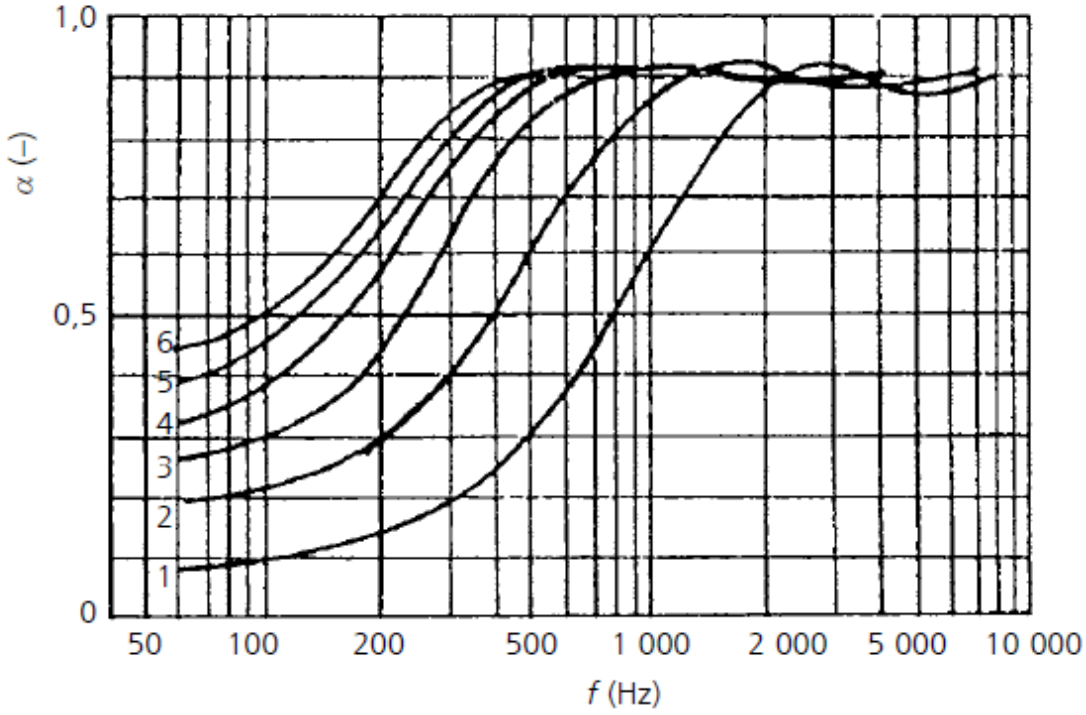



*Obr. 3.35* Představa o rozložení akustického výkonu zvukové vlny po dopadu na stavební konstrukci [Čechura, J., 1999]

*Zvuková pohltivost A* ($m^2$) je schopnost absorbéru (pohlcovače) pohlcovat (neodrážet) část akustického výkonu zvukové vlny, která na něj dopadá. Zvuková pohltivost *A* ($m^2$) v kmitočtovém pásmu jako fyzikální veličina je absolutním ukazatelem této vlastnosti:

$$A = \alpha_S \cdot S$$

kde $\alpha_S$ je činitel zvukové pohltivosti pohlcovače v kmitočtovém pásmu a *S* je plošný obsah ($m^2$) volného povrchu pohlcovače.




*Obr. 3.36 Spektrum činitele pohltivosti α vrstvy technické plsti na tuhé nosné konstrukci pro dopad zvukové vlny v závislosti na tloušťce vrstvy h - 0,025 m, 2 - 0,050 m, 3 - 0,075 m, 4 - 0,100 m, - 0,125 m, 6 - 0,150 m [Čechura, J.,1999]*

### 3.14.2 Materiály pro neprůzvučné konstrukce

Neprůzvučnými konstrukcemi jsou konstrukce stěn a stropů, které akusticky oddělují různé prostory. To znamená, že zprostředkují přenos zvukových vln ze vzduchu mezi těmito prostory s určitou ztrátou akustického výkonu. Rozlišují se neprůzvučné konstrukce jednoduché (jednoprvkové) a víceprvkové.

Jednoduchými konstrukcemi jsou zejména konstrukce jednovrstvé homogenní, včetně konstrukcí s omítkou, a jednovrstvé konstrukce vylehčené dutinami.

Při navrhování a posuzování jednoduchých konstrukcí z hlediska neprůzvučnosti se rozlišuje, jde-li o konstrukce ohybově poddajné, polotuhé nebo tuhé.

Významnou akustickou charakteristikou konstrukcí je jejich plošná hmotnost (kg.m$^{-2}$).

Podle toho, v jakém vztahu je nalezená plošná hmotnost *m'* k charakteristickým hodnotám plošné hmotnosti $m'_c$ a $m'_s$, se rozlišují konstrukce:

- ohybově poddajné, pro které je $m' \leq m'_c$,
- polotuhé, u nichž platí $m'_c \leq m' \leq m'_s$ ,
- a tuhé, kde $m'_s \leq m'$ .

Plošné hmotnosti $m'_c$ a $m'_s$ jsou pro různé materiály různé a určují se pomocí vztahů:

$$m'_c = k_c \frac{\rho}{c}$$

$$m'_s = k_s . k_c \frac{\rho}{c} = k_s . m'_c$$

kde $\rho$ je objemová hmotnost materiálu (kg.m$^{-3}$),

$c$ - rychlost podélných vln v materiálu (m.s$^{-1}$),

$k_c$ (m.s$^{-1}$) , $k_s$ - materiálové konstanty, závislé na hodnotě ztrátového činitele materiálu $\eta$ .

V této souvislosti je vhodné připomenout, že v látkách pevného skupenství rychlost šíření podélných vln úzce souvisí s tuhostí těchto látek, neboť platí, že $c \approx (E/\rho)^{1/2}$, kde $E$ (Pa) je dynamický modul pružnosti materiálu.

Dalšími akustickými materiálovými konstantami jsou vážená neprůzvučnost $R_{wc}$ (dB) pro plošnou hmotnost jednoduché konstrukce $m'_c$, resp. vážená neprůzvučnost $R_{ws}$ (dB) pro plošnou hmotnost $m'_s$:

$$R_{wc} = 20.\log(m'_c) + 10$$

$$R_{ws} = R_{wc} + 10$$

Pro $m' \leq m'_c$, neboli pro konstrukce ohybově poddajné

$$R_w = 20.\log(m') + 10$$

Pro $m'_c \leq m' \leq m'_s$ , neboli pro konstrukce ohybově polotuhé

$$R_w = R_{wc} + \frac{10}{\log k_s}.\log\frac{m'}{m'_c}$$

Pro $m'_s \leq m'$, neboli pro konstrukce ohybově tuhé

$$R_w = 20.\log\left(\frac{m'}{k_s}\right) + 20$$

Neprůzvučnost jednoduchých konstrukcí tedy záleží na následujících konstantách stavebních materiálů:

- na objemové hmotnosti $\rho$ (kg.m$^{-3}$) (se zvětšující se objemovou hmotností se zvětšuje),
- na rychlosti šíření podélných zvukových vln $c$ (m.s$^{-1}$), resp. na dynamickém modulu pružnosti materiálu v tahu za ohybu $E$ (Pa) (s jejichž zmenšujícími se hodnotami se zvětšuje),
- na ztrátovém činiteli $\eta$ materiálu (s jehož zvětšováním se zvětšuje).

Kromě toho neprůzvučnost jednoduchých konstrukcí závisí ještě na jediném konstrukčním parametru – na tloušťce $h$ (m), s jejímž zvětšováním se zvětšuje. Hodnoty $\rho$, $c$ a $\eta$ stavebních materiálů jsou uvedeny v tab. 3.26.

Dvouprvkové konstrukce jsou sestaveny ze dvou jednoduchých konstrukcí (prvků) za sebou, vzájemně oddělených poddajnou *separační vrstvou* (obvykle vzduchovou).

Vzduchová vrstva bývá vyložena tlumicí vložkou, jejíž význam je podobný jako u rezonančních pohlcovačů. Zhotovena z minerálních vláken a osazena do přímého kontaktu s ohybově poddajnějším dílčím prvkem konstrukce zvětšuje hodnotu ztrátového činitele tohoto prvku, resp. přispívá k tlumení vibrací v tomto prvku. Je-li tloušťka tlumicí vložky rovna asi polovině tloušťky separační vrstvy, funguje tlumicí vložka jako porézní pohlcovač (opatření proti půlvlnné rezonanci) v separační vrstvě. Vzduchová neprůzvučnost dvouprvkových konstrukcí je zpravidla větší než vzduchová neprůzvučnost jednoduchých konstrukcí o téže plošné hmotnosti.

Vysoké nároky na neprůzvučnost splňují tříprvkové konstrukce (např. ztrojená okna), které jsou sestaveny ze tří jednoduchých konstrukcí (prvků) za sebou, vzájemně oddělených poddajnými separačními vrstvami (obvykle vzduchovými). Tříprvková konstrukce je soustavou tří hmotných prvků o plošných hmotnostech $m'_1$, $m'_2$, $m'_3$ ($kg.m^{-2}$) oddělených dvěma separačními vrstvami o dynamických tuhostech $s'_1$, $s'_2$ ($Pa.m^{-1}$), resp. o tloušťkách $d_1$, $d_2$ (m), které při dopadu zvukové vlny kmitají jako celek ve dvou rezonančních kmitočtech $f_{rI}$, $f_{rII}$ (Hz).

### 3.14.3 Materiály pro konstrukce pohlcující vibrace

*Vibrace* je výraz pro šíření zvukových vln v hmotách pevného skupenství. Zvukové vlny se ve stavebních konstrukcích tvaru prutů a desek šíří převážně ohybovým vlněním, při němž je část akustického výkonu vyzářena do okolního prostředí. Jedním z prostředků, jak bránit šíření ohybových vln, je zvětšovat vnitřní útlum zvuku v konstrukcích aplikací antivibračních opatření. Tato opatření se mají provádět po celé ploše upravovaných konstrukcí a jejich úkolem je absorbovat šířící se zvukovou energii a přeměňovat ji v energii ztrátovou. Mají tedy podobnou funkci jako absorbéry při přenosu zvuku vzduchem.

Užívanými antivibračními opatřeními jsou:

- antivibrační nátěry,
- antivibrační vrstvené konstrukce.

Vlastnosti materiálů (materiálové konstanty) pro dělící a obvodové konstrukce [ČSN 73 0540-2, 2002] *Tab. 3.26*

| $m'_c$ (kg.m$^{-2}$) | $R_{w,c}$ (dB) | $k_s$ (–) | Materiál | $\rho$ (kg.m$^{-3}$) | $c$ (m.s$^{-1}$) | $\eta$ (–) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Cihelné zdivo** | | | | | | |
| 7,78 | 27,8 | 9,52 | zdivo z lehčených cihel | 900 | 2 108 *) | 0,035 *) |
| 15,57 | 33,8 | 9,52 | zdivo z plných cihel | 1 800 | 2 108 | 0,035 |
| Dřevo, korek, aglomerované dřevo a pazdeří | | | | | | |
| 3,35 | 20,5 | 13,37 | dřevo napříč vláken | 500 | 2 400 | 0,01 |
| 1,61 | 14,1 | 13,37 | dřevo podél vláken | 500 | 5 000 | 0,01 |
| 6,09 | 25,7 | 10,36 | dřevotřískové desky | 690 | 1 996 | 0,025 |
| 8,44 | 28,5 | 6,92 | korek | 200 | 500 | 0,15 |
| Kovy | | | | | | |
| 9,06 | 29,1 | 16,63 | hliník | 2 640 | 4 375 | 0,005 |
| 24,38 | 37,8 | 19,85 | ocel | 7 850 | 4 573 | 0,003 |
| Plasty | | | | | | |
| 0,4 | 2,0 | 10,99 | lehčený polystyren | 30 | 1 730 | 0,02 |
| 32,16 | 40,1 | 8,75 | PVC | 1 450 | 852 | 0,05 |
| Sádrové výrobky | | | | | | |
| 7,81 | 27,8 | 10,85 | sádrokarton | 800 | 1 775 **) | 0,021**) |
| Silikátové výrobky | | | | | | |
| 14,72 | 33,4 | 7,87 | hutný beton | 2 400 | 3 228 | 0,08 |
| 8,81 | 26,7 | 14,91 | lehčený beton | 1 000 | 2 280 | 0,015 |
| 7,93 | 28,0 | 14,91 | lehčený beton | 1 400 | 2 739 | 0,015 |
| 9,43 | 29,5 | 14,91 | lehčený beton | 1 800 | 2 963 | 0,015 |
| 8,06 | 28,1 | 13,37 | Plynosilikát | 600 | 1 197 | 0,01 |
| Skleněné výrobky | | | | | | |
| 7,90 | 28,0 | 15,67 | tabulové sklo | 2 450 | 4 738 | 0,006 |

*) Hodnoty pro $\rho$ = 1 800 kg.m$^{-3}$.
**) Hodnoty pro $\rho$ = 920 kg.m$^{-3}$.

### 3.14.3.1 Antivibrační nátěry

Tlumení vibrací antivibračními nátěry se uplatňuje nejčastěji u tenkých desek z materiálů o nízkém ztrátovém činiteli $\eta$, např. z kovů. Materiály pro tlumení vibrací mají mít naopak velkou hodnotu ztrátového činitele $\eta$ a velkou hodnotu dynamického modulu pružnosti v tahu za ohybu $E$ (Pa), resp. velkou hodnotu součinu hodnot obou veličin. Tyto hodnoty mají být co nejméně závislé na teplotě. Materiály, které tyto požadavky splňují, bývají označovány jako vazkoelastické a bývají vyráběny z vysokopolymerních látek.

Nedoporučuje se užívat nátěry na asfaltové bázi, jejichž vlastnosti se mění se složením asfaltu a s teplotou nad 25 ℃. Nevhodné j sou i nátěry na bázi pryže, které jsou příliš elastické.

Čím je upravovaná deska ohybově tužší, tím větší musí být tloušťka antivibračního nátěru (např. se požaduje asi dvojnásobek tloušťky plechu). Nátěr se nanáší jen na jednu stranu upravované desky. Výhodou antivibračních nátěrů je kmitočtová nezávislost útlumu vibrací.

### 3.14.3.2 Vrstvené zvukově izolační konstrukce

V tuhých tělesech se zvuk šíří převážně podélným vlněním. V důsledku tření hmotných částic klade materiál tuhých těles podélnému vlnění odpor, jehož výsledkem vyjádřeným přenosovým útlumem vibrací $D_t$ (dB) je postupná zvuková izolace prostředí ve směru vlnění.

V betonu je měrný přenosový útlum podélného vlnění přibližně 0,1 až 0,5 dB $m^{-1}$, ve zdivu z plných pálených cihel až 1 $dB.m^{-1}$. Větších hodnot útlumu se dosahuje přenosem vlnění do prostředí o rozdílném vlnovém odporu. Vložením rozhraní dvou prostředí nastane okamžitý, tzv. vložný útlum vibrací $D_i$ (dB). Vložný útlum vibrací na rozhraní teoreticky neomezených prostředí betonu a měkké pryže je asi 15 dB, na rozhraní betonu a korku asi 13 dB.

S izolací vibrací v tuhých tělesech souvisí i problematika tlumení kročejového zvuku. Roznášecí podlahové desky se ukládají na podložky, na jejichž zvukově izolační funkci se podílejí parametry:

- dynamická tuhost $s'_n$ ($MPa.m^{-1}$),
- objemová hmotnost $\rho_0$ ($kg.m^{-3}$),
- stlačitelnost $K_n$ (%).
- ztrátový činitel $\eta_n$, případně též pružnost $\varepsilon_n$ (%),
- tloušťka v nezatíženém stavu (nominální tloušťka) $d_0$ (m).

Pro izolační vrstvy tzv. těžkých plovoucích podlah se rozeznávají kvalitativní stupně materiálů pro zvukově izolační podložky podle stlačitelnosti a kvalitativní třídy zvukově izolačních podložek podle dynamické tuhosti, viz následující tabulky.

Materiály pro zvukově izolační vrstvy [ČSN 73 0540-2,2002] *Tab. 3.27*

| Kvalitativní stupeň | $K_n$ (%) | $\varepsilon_n$ (%) |
|---|---|---|
| 1 | ≥ 20<br>měkké | ≥ 90<br>pružné |
| 2 | 5 – 20<br>polotuhé | 50 – 90<br>polopružné |
| 3 | < 5<br>tuhé | < 50<br>nepružné |

Zvukově izolační podložky [ČSN 73 0540-2,2002] *Tab. 3.28*

| Kvalitativní třída | $s'_n$ (MPa.m$^{-1}$) |
|---|---|
| I. | ≤ 30<br>poddajné |
| II. | 30 – 200<br>polopoddajné |
| III. | > 200<br>nepoddajné |

Nejkvalitnější jsou zvukově izolační podložky o nejmenší dynamické tuhosti, tj. I. třídy, poddajné. Je zřejmé, že dynamická tuhost výrobku je tím menší, čím je materiál výrobku při konstantní nominální tloušťce výrobku a pružnosti materiálu měkčí (více stlačitelný), nebo čím je nominální tloušťka výrobku při konstantní stlačitelnosti a pružnosti materiálu větší.

## 3.15 Radioaktivita stavebních materiálů

Na lidský organismus působí odjakživa radioaktivní záření přicházející z vesmíru či zemské kůry. V minulém století se přidaly zdroje umělého radioaktivního záření, a to rentgenové záření, záření z užívaných radioizotopů v lékařství, záření z provozu jaderných zařízení, např. jaderných elektráren, nebo záření z televizních a počítačových obrazovek. Významné je i záření z použitých či zkoušených jaderných zbraní.

Přirozená radioaktivita některých stavebních materiálů je rovněž vlastnost, která ve větším množství působí škodlivě na lidský organismus. Protože tomuto nepříznivému působení nelze vždy zabránit, je třeba alespoň omezit riziko ohrožení zdraví.

V přírodě se vyskytuje 37 radioaktivních prvků. Protože některé prvky se vyskytují ve formě dvou i více radioizotopů, vyskytuje se přírodě celkem 73 radionuklidů. Radioaktivní prvky jsou zdrojem radioaktivního záření *α* (alfa) a *γ* (gama), které působí nepříznivě na živé tkáně.

Přírodnímu záření nelze zabránit, je tedy alespoň třeba snížit riziko ozáření na úroveň, která nebude větší než ostatní rizikové činnosti člověka. Z uvedených přírodních radionuklidů se obyčejně sledují pouze tři: radioaktivní izotop draslíku $^{40}$K, izotopy radia $^{226}$Ra a thoria $^{232}$Th.

### 3.15.1 Hodnocení škodlivosti záření

V posledních letech se věnuje výrazná pozornost jak měření množství radiační zátěže na člověka, tak i stanovení škodlivosti tohoto záření, tj. stanovení přípustných hodnot, které je možno krátkodobě a dlouhodobě připustit. Zdravotní poškození lidského organismu může hlavně způsobit:

pronikavé záření γ (gama) uvolňované ze stavebního materiálu jako důsledek rozpadu radia

záření α (alfa) uvolněné z rozpadu vdechnutého radonu a vdechnutých jeho dceřiných produktů

V prvém případě je základní jednotkou *zářivé aktivity* zdroje 1 Bq (Bequerel), , který odpovídá jednomu jadernému rozpadu provázenému uvolněním zářivé energie za sekundu. Jednotkou popisující účinek záření, tj. dávku ozáření, je množství energie předané zářením látce o jednotkové hmotnosti. Nazývá se *absorbovaná dávka D* a její jednotkou je 1 Gy (Gray), který odpovídá jednomu J.kg$^{-1}$.

Starší jednotkou pro měření absorbované dávky byl 1 rad, pro nějž platilo

1 Gy = 100 rad

Různé druhy záření (alfa, gama, beta, neutrony) mají při shodné dávce odlišné účinky na organismus. Tuto skutečnost zohledňuje *efektivní dávkový ekvivalent H*, jehož jednotkou je 1 Sv (Sievert).pro nějž platí *H = Q.D,*

kde *Q* je jakostní faktor.

V závislosti na druhu záření je efektivní dávkový ekvivalent až řádově vyšší než dávka. Jakostní faktor *Q* totiž souvisí především s hustotou energie předávané tkáni.

Pro $\gamma$-záření, X-paprsky a elektrony je *Q* = 1, pro $\alpha$-částice je Q = 20, tedy 20x vyšší.

Starší jednotkou pro efektivní dávkový ekvivalent byl 1 rem ( 1 Sv = 100 rem).

Radiační působení stavebních materiálů se obvykle posuzuje podle tzv. *hmotnostní měrné aktivity*, jejíž jednotkou je $Bq.kg^{-1}$. Obvykle se vystačí pouze s hmotnostní aktivitou $^{226}Ra$, jejíž zvýšené hodnoty mohou vyloučit používání materiálu ve stavebnictví. Pokud je třeba brát v úvahu i výše zmíněné další prvky, počítá se tzv. *index hmotnostní aktivity*:

$$I = a_K / 3000 + a_{Ra} / 300 + a_{Th} / 200 .$$

Směrné hodnoty indexu hmotnostní aktivity, které nesmí výrobek překročit, uvádí následující tabulka ze zákona č.18/1997 Sb. Směrnými hodnotami rozumíme úroveň radioaktivity, která sice není zcela neškodná, ale jejíž zdravotní riziko lze v daných ekonomických podmínkách považovat za přijatelné.

Směrné hodnoty obsahu přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech *Tab. 3.29*

| Stavební materiál | Index hmotnostní aktivity |
|---|---|
| stavební kámen | 1 |
| písek, štěrk, kamenivo, jíly | 1 |
| popílek, škvára, struska, umělé kamenivo | 1 |
| keramické obkládačky a dlaždice | 2 |
| cihly a jiné výrobky z pálené hlíny | 0,5 |
| cement, vápno, sádra | 1 |
| výrobky z betonu, sádry a cementu, výrobky z pórobetonu | 0,5 |
| výrobky přírodního a umělého kamene | 1 |

Kromě přímého ozáření radioaktivním materiálem dochází k ohrožení zdraví působením radioaktivních látek v ovzduší, konkrétně radonem. Radon je inertní plyn, který vzniká rozpadem radia $^{226}Ra$.

Doprovodným produktem rozpadu radonu je především záření α (alfa). Produktem rozpadu plynného radonu jsou *dceřiné produkty* tvořené atomy pevných látek. Jsou to atomy vizmutu ($^{214}$Bi), polonia ($^{214}$Po, $^{218}$Po) a olova ($^{214}$Pb). Ty pak spolu s prachem vytvářejí aerosoly, které se dostávají se vzduchem do plic člověka, kde se ukládají a poškozují tkáňové buňky. Při větší koncentraci a delším působení může vzniknout i rakovinné bujení.

Samotný radon je mnohem méně škodlivý než jeho dceřiné produkty. V plicní tkáni nezachytává a z největší části je v nezměněné podobě opět vydechnut (poločas rozpadu radonu je asi 90 hodin). Záření *α* ohrožuje jen citlivou plicní tkáň nechráněnou pokožkou. Pro vnější části lidského těla nepředstavuje radon a jeho dceřiné produkty žádné nebezpečí.

Pronikavé záření je třeba sledovat především u těch materiálů, kterých je ve stavební konstrukci nejvíce, tedy u betonu, zdiva apod. Většinou toto přímé ozáření nebývá příliš silné a navíc, od roku 1991 jsou všechny stavební materiály dodávané na trh pravidelně kontrolovány z hlediska přípustné radioaktivity.

Hygienickými předpisy jsou určeny mezní hodnoty hmotnostní aktivity $^{226}$Ra, které materiál ve stavbě nesmí překročit – viz tab. 3.30.

Mezní hodnoty hmotnostní aktivity radia pro stavební materiály *Tab. 3.30*

| Stavební materiál | Hmotnostní aktivita radia $^{226}$Ra (Bq.kg$^{-1}$) | |
|---|---|---|
| | stavby s pobytovou místností | stavby bez pobytové místnosti |
| stavební kámen | 300 | 1 000 |
| písek, štěrk, kamenivo, jíly | 300 | 1 000 |
| popílek, škvára, struska, umělé kamenivo | 300 | 1 000 |
| keramické obkládačky a dlaždice | 300 | 1 000 |
| cihly a výrobky z pálené hlíny | 150 | 500 |
| cement, vápno, sádra | 300 | 1 000 |
| výrobky z betonu, sádry a cementu, pórobeton | 150 | 500 |
| výrobky z přírodního kamene | 300 | 1 000 |

K většímu překročení směrných hodnot docházelo při zpracování některých surovin do zdiva a omítek. Prvním zjištěným případem bylo používání písku ze zpracovávaných uranových rud do malt a omítek v Jáchymově. Obsah radia v těchto maltách dosahoval až 100 000 Bq.kg$^{-1}$, to je asi 1000 násobně více, než připouštějí limitní hodnoty.

Jiným známým příkladem bylo používání škváry z haldy elektrárny v Rynholci na Kladensku pro výrobu stěnových panelů rodinných domků Start. Zde radioaktivita dosahovala až 4 000 $Bq.kg^{-1}$, což vedlo k překračování směrných hodnot asi o 20 %.

Posledním příkladem, který byl pak někdy bezdůvodně aplikován na všechny pórobetony, bylo v letech 1956 až 1984 zpracovávání černouhelného popílku ve výrobně pórobetonu v Poříčí u Trutnova. Zde v několika případech dosahovala hmotnostní aktivita v hotové tvárnici až 900 $Bq.kg^{-1}$. Tyto hodnoty se vyskytovaly pouze občas v uvedené výrobně a od zahájení radiačních kontrol před více než dvaceti lety již žádné vadné výrobky nepřicházejí na trh.

Množství radioaktivních plynných produktů v ovzduší se popisuje *objemovou aktivitou radonu* (dle ČSN 73 0601 zkráceně OAR). Ta je dána podílem aktivity radonu a objemu látky, v níž je rozptýlen ($Bq.m^{-3}$). V zahraniční literatuře je OAR často nazývána *koncentrací radonu*.

Zdroji radonu v domech mohou být radioaktivní horniny v podloží, použité stavební materiály ve stavební konstrukci, případně voda. Do podzemních podlaží budov se radon dostává především netěsnostmi stavební konstrukce:

- trhlinami v podlahách a stěnách,
- netěsnostmi kolem prostupů instalací a revizních šachet,
- z trativodů a vsakovacích jímek.
-

Legislativní rámec přípustného ozáření stanovuje zmíněný zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (tzv.„atomový zákon“) a navazující vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně (Vyhl. SÚJB č. 307/2002 Sb.).

Směrné a mezní požadavky těchto předpisů pro pobytové místnosti uvádí tab. 3.31.

Požadavky jsou předepsány hodnotami objemové aktivity a fotonovým dávkovým ekvivalentem záření gama udávaného v Sievertech za hodinu ($Sv.h^{-1}$).

V české legislativě ochranu proti radonu z podloží řeší revidovaná ČSN 73 0601 z roku 2006, zářením ze stavebních materiálů se zabývá ČSN 73 0602.

Běžné objemové aktivity (koncentrace) radonu v podloží staveb se pohybují v rozsahu od 1 do 100 $kBq.m^{-3}$, byly však naměřeny hodnoty i přes 1000 $kBq.m^{-3}$. Vysoké objemové aktivity radonu v podloží jsou pak největším zdrojem radonu v objektech na tomto podloží postavených. .

K největšímu ozáření člověka (a to asi 48,5 % z veškerého ozáření) dochází v interiérech budov. Zde má význam sledovat pouze tzv. pobytové místnosti, tj. prostory ve kterých se lidé zdržují více než 1000 hodin za rok, a to ať už jako jedna osoba, nebo součet dob pobytu více osob. Klasifikaci radonového indexu základových půd uvádí tab. 3.32.

Radonový index základových půd *Tab. 3.32*

| Radonový index pozemku | Objemová aktivita radonu v půdním vzduchu $C_s$ v kBq.m$^{-3}$ | | | Radonový potenciál pozemku (RP) |
|---|---|---|---|---|
| vysoký | $C_s \geq 100$ | $C_s \geq 70$ | $C_s \geq 30$ | RP ≥ 30 |
| střední | $30 \leq C_s < 100$ | $20 \leq C_s < 70$ | $10 \leq C_s < 30$ | $10 \leq RP < 35$ |
| nízký | $C_s < 30$ | $C_s < 20$ | $C_s < 10$ | RP < 10 |
| Plynopropustnost zemin | nízká | střední | vysoká | |

Proti radonu musí být chráněny objekty s pobytovými prostory, které mají být postaveny na podloží se středním nebo vysokým radonovým rizikem.

### 3.15.1.1 Požadavky na protiradonovou izolaci

Cílem ochrany staveb proti radonu je zajistit, aby v pobytových místnostech objemová aktivita radonu stanovená průkazným měřením byla menší než směrné hodnoty dané zákonem č.18/1997 Sb. uvedené v tabulce 3.31

Směrné a mezní hodnoty radiační ochrany pro pobytové místnosti *Tab. 3.31*

| | Směrné hodnoty | | Mezní hodnoty | |
|---|---|---|---|---|
| | objemová aktivita radonu (Bq.m$^{-3}$) | fotonový ekvivalent (Sv.h$^{-1}$) | objemová aktivita radonu (Bq.m$^{-3}$) | fotonový ekvivalent (Sv.h$^{-1}$) |
| stávající stavby | 400 | 1 | 4 000 | 10 |
| projektované stavby | 200 | 0,5 | – | – |

Za izolaci proti pronikání půdního radonu považujeme dle ČSN 73 0601 každou hydroizolaci, která splňuje navíc tyto požadavky:

Materiál izolace musí mít stanoven součinitel difúze proti radonu, a to včetně spojů.

Investor musí od dodavatele vyžadovat takový druh spojů, na který byla izolace zkoušena – například nesmějí být odzkoušené svařované spoje nahrazovány samolepícími pásky.

Tažnost izolace musí umožnit přenesení mezních deformací vyplývajících z ČSN 73 1001. Tento požadavek se týká především asfaltových pásů s kovovými (hliníkovými) výztužnými vložkami.

Trvanlivost izolace musí odpovídat předpokládané životnosti stavby, protože izolační souvrství bude zakryto, dále tedy bude nepřístupné a prakticky neopravitelné.

Izolace musí splňovat požadavky vyplývající z konkrétních podmínek, např. odolnosti vůči koroznímu či mechanickému namáhání.

Oproti běžné hydroizolaci, která bývá nejvíce namáhána v oblasti nejvyšší vlhkosti v podzákladí, je protiradonová izolace obvykle nejvíce namáhána v místech suchých, kde je vysoký obsah půdního vzduchu.

### 3.15.1.2 Provedení protiradonové izolace

Protiradonové izolace se nejčastěji vytvářejí z materiálů užívaných pro běžné hydroizolace, tj. z asfaltových pásů a plastových fólií, používají se však i některé stěrkové a nátěrové hmoty.

Součinitel difúze radonu běžných asfaltových pásů z oxidovaného či modifikovaného asfaltu bývá od 10 do $20.10^{-12}$ $m^2.s^{-1}$, pásy s kovovou vložkou mají součinitel difúze ještě nižší.

U fólií z PVC či PE se součinitel difúze pohybuje asi od 6 do $30.10^{-12}$ $m^2.s^{-1}$, u stěrek a nátěrů bývá o jeden řád vyšší. Je třeba znovu připomenout, že průniku radonu musí odolat i spoje izolace, proto nemohou být vytvořeny pouhým přelepením samolepící páskou.

U staveb na pozemcích s nízkým radonovým rizikem se z hlediska ochrany proti radonu nepožadují u novostaveb žádná zvláštní opatření. Dostatečnou ochranu zabezpečuje běžná hydroizolace navržená podle hydrogeologických poměrů. Na pozemcích se středním radonovým rizikem se za postačující opatření považuje protiradonová izolace konstrukcí, které jsou v přímém kontaktu s podložím. Naopak na pozemcích s vysokým radonovým rizikem u novostaveb nestačí již pouhá izolační vrstva a je třeba protiradonovou izolaci kombinovat s větracím systémem nebo s nějakou ventilační vrstvou v kontaktní konstrukci.

Samotná protiradonová izolace tvoří dostatečnou ochranu stavby s pobytovými prostory postavenými na pozemcích s vysokým radonovým rizikem tam, kde třetí kvantil koncentrace radonu nepřesahuje hodnoty:

60 $kBq.m^{-3}$ pro vysoce propustné zeminy,

140 $kBq.m^{-3}$ pro středně propustné zeminy,

200 $kBq.m^{-3}$ zeminy s nízkou propustností.

Na druhé straně v objektech, kde je spolehlivá výměna vzduchu ve všech pobytových místnostech zajištěna nuceným větráním a stropní konstrukce i vstupy do vedlejších prostor jsou opatřeny průchody v těsném provedení, je možno speciální protiradonovou izolaci nahradit běžnou hydroizolací.

V návaznosti na platnou legislativu platí pro výstavbu nových rodinných a bytových domů, a všech objektů s pobytovými místnostmi:

kdo navrhuje umístění stavby musí stanovit radonový index pozemku

na základě radonového indexu stanoví stavební úřad podmínky pro preventivní opatření (pokud je radonový index pozemku vyšší než nízký)

jednou z podmínek bývá předložení výsledků měření ve vnitřním ovzduší ke kolaudaci

V případě rekonstrukcí, změn užívání a nástaveb, kdy není předpokládán zásah do kontaktních konstrukcí objektu s podložím, se využije měření OAR ve vzduchu vybraných místností stávajícího objektu

U místností,které nejsou pobytové v uvedeném slova smyslu, např. trvale uměle větrané garáže, po obvodě otevřená ale zastřešená parkoviště apod., je třeba vždy zvážit, zda protiradonová opatření jsou vůbec nutná.

## 3.16 Chemické vlastnosti

Chemické vlastnosti stavebních hmot, tedy schopnost těchto hmot účastnit se chemických reakcí, je možné rozdělit do několika základních skupin.

Do prvé skupiny můžeme zařadit chemické vlastnosti žádoucí, na kterých je použití příslušné hmoty fakticky založeno, které se přímo projevují jako reaktivita určující zpracovatelské vlastnosti příslušné hmoty.

Ve druhé skupině jsou chemické reakce, jejichž prostřednictvím jeden stavební materiál ovlivňuje druhý stavební materiál, tedy reakce rozhodující o vzájemné kompatibilitě materiálů.

Do třetí skupiny můžeme zařadit vlastnosti, které spočívají v reakcích příslušné hmoty s okolím během užívání za běžných nebo zhoršených podmínek. Ty se navenek projevují jako zrání, stárnutí nebo koroze.

Ve čtvrté skupině jsou chemické vlastnosti, které mohou nějakým způsobem ovlivnit životní prostředí ve stavebním objektu nebo jeho okolí.

A konečně v páté skupině jsou chemické vlastnosti, které rozhodují o tom, nakolik je příslušný materiál slučitelný dlouhodobým rozvojem a ekologickou rovnováhou v celém životním prostředí.

### 3.16.1 Chemické přeměny při zpracovávání

K výrazným změnám chemického nebo fyzikálně-chemického charakteru dochází v případě zpracovávání materiálů obsahujících pojiva.

Tvrdnutí anorganických pojiv souvisí převážně se vznikem méně rozpustných sloučenin, než jaké se původně vyskytovaly v pojivové kaši, nebo se vznikem hydratovaných sloučenin s velkou mezifázovou plochou, vytvářející kompaktní celek. Tvrdnutí pojiv organických je způsobeno především růstem molekul, vzrůstem viskozity systému a tvorbou makromolekulární sítě.

Proces tuhnutí je typicky provázen určitou objemovou změnu. V případě polymerujících látek dochází při spojování monomerních jednotek k poklesu jejich vzájemné vzdálenosti a objem tuhnoucí soustavy se zmenšuje (polymerační smrštění). K podobnému jevu dochází i při vytvrzování polyadičním a polykondensačním.

V případě látek vytvářejících hydratací méně rozpustné krystaly mají reakční produkty větší objem než výchozí složky a je možné pozorovat objemový nárůst (tuhnutí sádry). Stejný efekt může mít i vznik nové sloučeniny s menší hustotou.

Na počátku tuhnutí nejsou objemové změny příliš významné, protože případně vzniklé napětí relaxuje tokem ještě tekuté soustavy. V pozdější fázích tuhnutí vzniká v tuhnoucí soustavě napětí, které se může projevit i tvorbou trhlin.

Při hydrataci cementu jsou hlavní objemové změny způsobeny fyzikálně (odpařováním vody z tuhnoucí soustavy) a smrštění převládá.

V praxi se tvorba smršťovacích trhlin v tuhnoucích betonových plochách omezuje přikrytím (zaplachtováním) nebo vodním postřikem (ošetřovací voda).

Pokud se v průběhu vytvrzování uvolňuje chemickou reakci uvnitř vytvrzované hmoty plyn, dochází k pozitivní objemové změně (nadouvání). K dosažení výrazného nadouvacího efektu se do vytvrzovaných pojiv přidávají speciální nadouvací přísady.

Vytvrzovací procesy jsou detailněji probírány přímo u příslušných látek (viz kap. 4).

### 3.16.2 Materiálová kompatibilita

Chemická odolnost je často rozhodující při posuzování kompatibility dvou materiálů. Na styku dvou materiálů mohou probíhat nečekané a zpravidla nežádoucí reakce.

K uskutečnění chemické reakce na styku dvou pevných povrchů je obvykle zapotřebí kapalná fáze umožňující výměnu iontů. Tuto funkci však splní i neviditelná vrstvička zkondenzované vzdušné vlhkosti nebo vlhkost obsažená v pórech.

Nejtypičtější procesy probíhající v kontaktní zóně mají charakter iontové výměny, elektrochemické reakce, kyselého rozpouštění a alkalického zmýdelnění.

Následující příklady nejsou v žádném případě vyčerpávající a mají pouze ilustrativní charakter.

Kombinace dvou kovových materiálů ve vlhkém prostředí může být nebezpečná, vzhledem k rozdílnému elektrickému potenciálu obou smočených kovových ploch. Při vodivém spojení kovových materiálů s odlišným elektrodovým potenciálem dochází ke vzniku elektrického článku a následné elektrochemické korozi (viz 3.9.3.2).

Z důvodu možné elektrochemické koroze se kupříkladu nedoporučuje přímý kontakt mědi nebo olova s nízkolegovanou ocelí, riskantní je i styk nízkolegované a korozivzdorné oceli. Pokud se takovéto materiálové kombinaci nemůžeme vyhnout, je třeba zabránit (nevodivou vložkou mezi oběma kovy) uzavření proudového okruhu.

Při spojování měděného a ocelového potrubí se nemá řadit ocelové potrubí po proudu vody za měděné. Tekoucí voda strhává určité množství měďnatých iontů a na povrchu ocelového potrubí pak dochází k iontové výměně, v jejímž důsledku se na oceli vylučuje nesouvislá vrstvička mědi.

$$Cu^{2+} + Fe \rightarrow Cu + Fe^{2+}$$

Tento jev souvisí s postavením obou kovů v elektrochemické řadě kovů (tab. 3.33), ve které jsou kovy seřazeny podle standardních elektrodových potenciálů (tedy podle toho jaké relativní napětí se vytvoří na elektrodě z příslušného kovu při ponoření do standardního roztoku příslušných kovových iontů). Standardní elektrodový potenciál ukazuje na snadnost či nesnadnost přechodu kovu v kovové ionty (ušlechtilost kovu).

V reálných roztocích je hodnota elektrodového potenciálu ovlivňována konkrétním složením roztoku. Pro úzkou souvislost s korozním chováním kovu se tento potenciál označuje korozní potenciál.

Elektrochemická řada kovů *Tab. 3.33*

| Neušlechtilé (elektropozitivní) kovy | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Li | Rb | K | Cs | Ba | Sr | Ca | Na | Mg | Be | Al | Mn | Ti | Zn | Cr | Fe | Cd | In | Tl | Co | Ni | Sn | Pb | H2 | Bi | Cu | Os | Ru | Ag | Hg | Pt | Au |
| Kov stojící vlevo je schopen kov (v kladném oxidačním stavu) stojící vpravo zredukovat a sám se oxiduje | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Kov (v kladném oxidačním stavu) stojící vpravo je schopen zoxidovat kov stojící vlevo a sám se redukuje. | | | | | | |

Mikroskopické ostrůvky mědi působí vůči železu ve svém okolí jako miniaturní měděné elektrody. Mají jiný korozní potenciál než okolní železo, kterému odebírají elektrony. To usnadňuje přechod iontů železa do vody a dochází k elektrochemické korozi (viz kap. 3.9.3.2).

Nečekané problémy však může přinést i styk kovu s atypickým nekovovým prostředím . Koroze železa je urychlována chloridovými ionty a železné prvky proto nesmí přijít do přímého styku s hořečnatou maltovinou (xylolitem), protože tato malta obsahuje jako pojivo zásaditý chlorid hořečnatý.

Jinak chemicky velmi dobře odolný olověný plech nelze tmelit jednosložkovým silikonovým tmelem acetátového typu. Takový tmel při vytvrzování uvolňuje kyselinu octovou a ta olovo rychle a intenzivně napadá za tvorby dobře rozpustného octanu olovnatého.

Silikonový acetátový tmel nepředstavuje žádný problém pro hliník, protože oxid hlinitý, přítomný na povrchu hliníkové plechu, je vůči kyselinám poměrně odolný.

Hliník však nesnáší přímý styk s alkáliemi, a neměl by proto být v přímém kontaktu s omítkou nebo betonem, protože v těchto materiálech je prakticky vždy přítomen silně alkalický hydroxid vápenatý. Jeho účinkem pak dochází velmi snadno ke vzniku hlinitanů a destrukci hliníku.

$Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2\ OH^-$

$2\ Al + 2\ OH^- + H_2O \rightarrow (Al_2O_3)^{-2} + 2\ H_2$

S materiálovou nekompatibilitou se můžeme setkat i u nekovových materiálů.

Například kysele vytvrzované křemičitanové tmely nemohou být aplikovány na alkalické betonové podklady. Pokud se taková práce provádí, musí být alkalita betonového podkladu předem odstraněna pomocí okyselovacího nátěru (používá se roztok kyseliny vinné).

Jako příklad kompatibilitních problémů ve skupině polymerních materiálů (plastů) je možné také uvést snadné poškozování expandovaného polystyrenu látkami, které obsahují aromatické uhlovodíky nebo změkčovadla. Tento fakt je způsoben dobrou rozpustnosti polystyrenu v těchto látkách, velkým povrchem porézní struktury expandovaného polystyrenu a malým množstvím pevné fáze v jednotce objemu. K citlivosti expandovaného polystyrenu na rozpouštědla je nutné přihlédnout při výběru nátěrových hmot a lepidel, které s ním přijdou do styku.

Nevhodná je také kombinace PVC prvků s pěnovými hmotami založenými na močovinoformaldehydové nebo fenolformaldehydové pryskyřici. Formaldehyd může vyvolat barevné změny nebo zbobtnání PVC.

Materiály obsahující polyvinylacetát nejsou vhodné na cementový nebo vápenocementový podklad vystavený účinkům vlhkého prostředí. Ve vlhkém prostředí se z těchto podkladů vyplavuje hydroxid vápenatý a dochází k tzv. alkalickému zmýdelnění vinylacetátového polymeru.

Celý jev je vyvolán hydrolytickým štěpením esterových vazeb, které spojují acetátové substituenty se základním polymerním řetězcem. Vznikající kyselina je vázána ve formě soli, což přispívá k posuvu rovnováhy ve prospěch hydrolytické reakce.

Mechanizmus reakce je stejný jako v případě hydrolýzy jednoduchého alkylesteru.

$R\text{-}OCOCH_3 + OH^- \rightarrow CH_3COOH + R\text{-}O^-$

$2\ CH_3COOH + Ca(OH)_2 \rightarrow (CH_3COO)_2Ca + 2\ H_2O$

$R\text{-}O^- + H_2O \rightarrow ROH + OH^-$

Reakce vede ke vzniku polyvinylalkoholu, který je podstatně vodorozpustnější a vazný účinek polyvinylacetátu proto hydrolýzou zaniká.

### 3.16.3 Stárnutí a koroze

Projevy stárnutí materiálu (tedy časově závislého poklesu některých jeho uživatelských vlastností) jsou jen vnějším projevem změn, ke kterým časem dochází ve struktuře materiálu. Na tomto stárnutí se společně podílejí změny fyzikálně-mechanického charakteru (postupný rozvoj mikrotrhlin) a změny fyzikálně-chemické (změny v molekulární struktuře). Stárnutí materiálu může být způsobeno procesy, které mají původ v materiálu samotném častěji je však způsobeno interakcí mezi materiálem a okolním prostředím.

Pokud převládá postupné chemické nebo fyzikálně-chemické znehodnocování materiálu vyvolané působením okolního prostředí (nejčastěji kapalného anebo plynného), hovoříme o korozi. V tomto smyslu řadíme mezi korozní jevy i poškození materiálů podmíněné životní činností organismů (biokoroze).

Koroze materiálů může probíhat v nejrůznějších prostředích: na vzduchu, ve vodě i v zemině. Nejběžnější je atmosférická koroze vyvolaná účinkem ovzduší. Je působena především současným působením kyslíku a vzdušné vlhkosti, mohou se na ní však podílet i kyselé plyny případně přítomné v ovzduší (oxidy síry a dusíku v městské atmosféře).

Nejvýznamnější atmosférickou korozí je koroze železných kovů. Pokud vzduch obsahuje více jak 60 % vlhkosti, vytváří se snadno na o něco chladnějším kovovém povrchu (při teplotě rosného bodu) vodní film. Protože tento film vždy obsahuje rozpuštěné látky pocházející z ovzduší, má vlastnosti elektrolytu. Kontaktem elektrolytu s povrchem železného kovu, který nikdy není homogenní, vznikají elektrické mikročlánky a koroze probíhá jako elektrochemický děj (viz kap. 3.9.3.2).

U materiálů umístěných v exteriéru se jako další destrukční faktory přidávají cyklické teplotní změny, sluneční záření a mechanický účinek deště a větru. Proto je v tomto případě lépe mluvit o povětrnostní odolnosti.

### 3.16.3.1 Koroze anorganických nekovových materiálů

K tomu, aby bylo možné materiál považovat za chemicky odolný v určitém prostředí, musí v tomto prostředí být stálé všechny jeho složky.

U anorganických staviv se často setkáváme s tím, že v jejich struktuře je přítomná „slabá“ složka, která negativně ovlivní chemickou odolnost celého materiálu.

Touto slabou složkou jsou nejčastěji jednoduché vápenaté sloučeniny, především hydroxid vápenatý, uhličitan vápenatý a případně i síran vápenatý. Materiály, ve kterých některá z těchto sloučenin představuje hlavní složku, se rozrušují již působením samotné vody (vzdušná pojiva). Materiály, ve kterých jsou výše uvedené sloučeniny zastoupeny výrazně méně (hydraulická pojiva), se rozrušují až účinkem vod kyselých nebo jinak agresivních.

#### 3.16.3.1.1 Koroze keramiky

Keramické hmoty se při běžném používání jeví jako chemicky velmi odolné a za normální teploty dobře snášejí i působení agresivních vod. Svůj vliv na jejich chemickou odolnost má i případná porozita materiálu, protože s rostoucí porozitou silně vzrůstá i povrch, na který agresivní medium může působit.

Účinek alkalického prostředí na porézní keramické výrobky je často podceňován. Kupříkladu se zpravidla nezohledňuje, že šamot má díky velkému obsahu hlinitokřemičitanu (mullitu) nízkou alkalickou odolnost a že šamotové cihly s vyšším obsahem $Al_2O_3$ proto nejsou nejvhodnější pro vyzdívku topidel určených ke spalování dřeva . Při spalování dřeva vzniká silně alkalický uhličitan draselný (potaš), který je s to takové šamotové cihly v ohništi i v komíně narušit.

Porézní keramické prvky se porušují i v kyselém prostředí. Dokladem toho jsou poškození běžných cihel v komínech připojených na kotle spalující zemní plyn. Ten v současnosti obsahuje významný podíl sirných sloučenin a spaliny procházející komínem proto obsahují oxid siřičitý. Na porézní keramické vyzdívce dochází k jeho přeměně na oxid sírový, který potom účinkem vlhkých spalin přechází na kyselinu sírovou. Ta proniká do pórového systému a vytváří rozpustné vápenaté a hlinité sloučeniny, čímž narušuje keramický střep.

Přerušovaný provoz, který je pro plynová topidla typický, vede vedle chemické koroze ještě k mechanickému poškozování, které degradaci cihel urychluje. Původně bezvodý síran hlinitý při chladnutí komína přibírá vodu a vznikající krystaly narušují zdivo svým tlakem. V zimním období se na destrukci cihel může podílet i promrzání spalinami zvlhlého zdiva.

Málo porézní (slinuté) keramické prvky se porušují jen kyselinou fluorovodíkovou nebo koncentrovaným louhem (roztokem alkalického hydroxidu). Stejné spektrum chemické odolnosti vykazuje i sklo.

### 3.16.3.1.2 Koroze betonu

Korozní procesy probíhající u běžného silikátového betonu či malty můžeme v zásadě rozdělit do tří skupin:

*Vyluhování* některé složky kompozitu, čímž se ochuzuje původní pevná struktura, zvětšují se póry a mechanické vlastnosti se snižují. Vyluhovávanou složkou je především hydroxid vápenatý, který je v měkkých (hladových) vodách poměrně rozpustný. Takovýto korozní proces nazýváme korozí I. druhu.

V kyselém prostředí se k této korozi přidává ještě přeměna uhličitanu vápenatého na rozpustnější vápenaté soli, případně i další *tvorba rozpustných látek* přímo z křemičitanů či hlinitanů vápenatých. Rovněž v alkalickém prostředí může docházet ke vzniku rozpustných látek. Reakce mezi materiálem a prostředím vedoucí k tvorbě rozpustnějších složek (nebo složek, které nemají vazné vlastnosti) se označuje jako koroze II. druhu.

*Rozpínání* vyvolané krystalizací nebo jiným vznikem objemnějších reakčních produktů způsobuje v pórovém a v kapilárním systému materiálu vnitřní pnutí vedoucí až k rozvoji trhlin a oslabení struktury materiálu. Tento proces se označuje jako koroze III. druhu.

Celý korozní děj obvykle sestává z více dílčích korozních změn probíhajících současně v různých kombinacích a s různou intenzitou.

Obyčejný beton proto není příliš chemicky odolný. Za agresivní vůči betonu se považují jak měkké vody s nízkým obsahem solí, tak vody uhličité obsahující nevázaný $CO_2$,.

Vůči betonu jsou agresivní také vody kyselé i vody alkalické, vody s vyšším obsahem hořečnatých solí, vody s vysokým obsahem chloridů, dusičnanů, vody *síranové* a prakticky všechny odpadní vody.

Účinkem vody s nízkým obsahem solí dochází k zvýšenému vyplavování hydroxidu vápenatého ze struktury cementového kamene (koroze I. druhu). Určité nebezpečí představuje tento druh koroze jen při přímém průtoku hladové vody betonovou konstrukcí.

Daleko nebezpečnější jsou vody kyselé (průmyslové odpadní vody, silážní šťávy), které mohou přímo rozpouštět i křemičitany a hlinitany vápenaté (koroze II. druhu).

Korozi III. druhu způsobují u betonu především sírany. Příčinou korozního poškození je *ettringit* ($3CaO.Al_2O_3.CaSO_4.31\ H_2O$) vznikající reakcí trikalciumaluminátu s primárně vzniklým síranem vápenatým. Velký obsah krystalové vody v ettringitu vyvolává velké krystalizační tlaky. S ohledem na složení ettringitu je citlivost betonu vůči síranové korozi závislá výlučně na obsahu trikalciumaluminátu.

V naší zemi, tak bohaté na různé minerální prameny, je problematika síranové koroze živá. K určení případné nebezpečnosti spodní vody pro betonovou konstrukci se musí (po kladné kvalitativní zkoušce) určit obsah síranových iontů kvantitativně. Příslušný postup je popsán v závěru této knihy v kapitole o gravimetrii. Určitým problémem je, že v průběhu roku může množství síranů ve spodní vodě výrazně kolísat a nelze vyloučit ani meziroční změny síranové koncentrace.

Přípustný obsah trikalciumaluminátu v cementu s ohledem na stupeň agresivity prostředí *Tab. 3.34*

| Stupeň agresivity vody | Obsah iontů $SO_4^{2-}$ ($mg.dm^{-3}$) | Přípustný obsah $C_3A$ (%) |
|---|---|---|
| slabě agresivní XA1 | 200 – 600 | není limitován |
| středně agresivní XA2 | 600 – 3 000 | max. 3,5 |
| silně agresivní XA3 | 3 000 – 6 000 | max. 3,5 |

V menším rozsahu mohou korozi III. druhy způsobit i hořečnaté ionty. V tomto případě je expansivní koroze důsledkem reakce mezi hydroxidem vápenatým a hořečnatými ionty. Produktem této reakce je objemný hydroxid hořečnatý.

Sulfan (sirovodík) je vůči betonovým konstrukcím agresivní zejména tehdy, dojde-li k jeho oxidaci na kyselinu sírovou, která způsobuje síranovou korozi. Je však popsáno i přímé působení sulfanu na beton následujícím způsobem:

$$2\ CaCO_3 + H_2S \rightarrow Ca(HCO_3)_2 + CaS$$

$$CaS + H_2S \rightarrow Ca(HS)_2$$

Vznikem rozpustného hydrouhličitanu a hydrosulfidu vápenatého dochází k ochuzení betonu o kalcitovou složku.

Agresivita organických kyselin závisí na rozpustnosti vznikajících vápenatých solí jen do určité míry. Z běžně se vyskytujících nízkomolekulárních organických kyselin je nejagresivnější kyselina mléčná (mléčnan vápenatý vykazuje rozpustnost 58 g na 1 $dm^3$ vody), následovaná kyselinou octovou (rozpustnost octanu vápenatého činí 347 g na 1 $dm^3$ vody) a kyselinou mravenčí (mravenčan vápenatý vykazuje rozpustnost 166 g na 1 $dm^3$ vody).

Prakticky neagresivní je kyselina šťavelová (rozpustnost její vápenaté soli činí pouhých 0,0067 g na 1 $dm^3$ vody). Kyselina šťavelová se proto ve formě 15 % vodného roztoku používá ke snižování povrchové alkality betonu (*oxalátování betonu*).

Oxalátování se provádí u betonů vykazujících povrchovou alkalitu (mladých betonů) před aplikací ochranných vrstev, založených na kysele vytvrzovaných pryskyřicích. Protože s aplikací kyseliny šťavelové mohou být obtíže s ohledem na její toxicitu, používá ke stejnému účelu někdy i kyselina vinná (vinan vápenatý vykazuje rozpustnost 0,37 g na 1 $dm^3$ vody). Kyselina citronová se už pro takovéto použití nepovažuje za vhodnou (rozpustnost citranu vápenatého činí 0,85 g na 1 $dm^3$ vody).

Vyšší organické kyseliny (olejová, stearová, palmitová) vesměs beton narušují a jejich vznik je příčinou korozního poškozování betonu rostlinnými oleji a živočišnými tuky.

Vůči čistým minerálním olejům je beton vcelku odolný. Jejich průnik do betonové konstrukce však nelze připustit z ekologických důvodů. To samé platí i o řadě dalších nepolárních organických látek.

Polární organické sloučeniny mohou na beton působit agresivně. Výslovně je třeba zmínit možné agresivní účinky fenolů, glykolů, glycerolů a cukrů, protože tyto látky se vyskytují v řadě průmyslových produktů.

Účinek alkalických roztoků na betonové konstrukce zhotovené ze silikátové cementu závisí na koncentraci a teplotě agresivního média. Nebezpečné mohou být zejména roztoky s koncentrací alkalického hydroxidu větší než 5 % a roztoky horké. Důležitá samozřejmě je i periodicita korozní expozice. Opakování expozice může mít za následek poškození betonu v důsledku krystalizace alkalických uhličitanů.

### 3.16.3.2 Koroze kovů

Všechny běžně používané technické kovy se při styku s vzdušným kyslíkem pokrývají vrstvičkou oxidu. Tato chemická reakce však sama o sobě nemá destruktivní charakter.

Skutečně závažné korozní děje probíhají jen při styku kovu s nějakým elektrolytem, kterým může být voda, vodné roztoky nebo organické elektricky vodivé látky. Korozní proces je v tomto případě vždy tvořen dvojicí elektrodových reakcí. Probíhají na dvou místech (elektrodách) spojených prostřednictvím kovového můstku vedoucího elektrický proud. Vodivě spojené elektrody tvoří vlastně elektrický článek spojený na krátko (korozní článek).

Elektrodou se stává každý kov v kontaktu s elektrolytem. Nejčastěji se tento jev vysvětluje účinkem polárních molekul elektrolytu, které z kovové mřížky vytrhávány jednotlivé kovové atomy ve formě kladně nabitých iontů. Kov se v důsledku tohoto děje nabíjí záporně a v bezprostřední blízkosti jeho povrchu vzniká vrstva kladně nabitého elektrolytu. Tento jev se nazývá polarizace. V důsledku polarizace se rozpouštění kovu v elektrolytu zastaví.

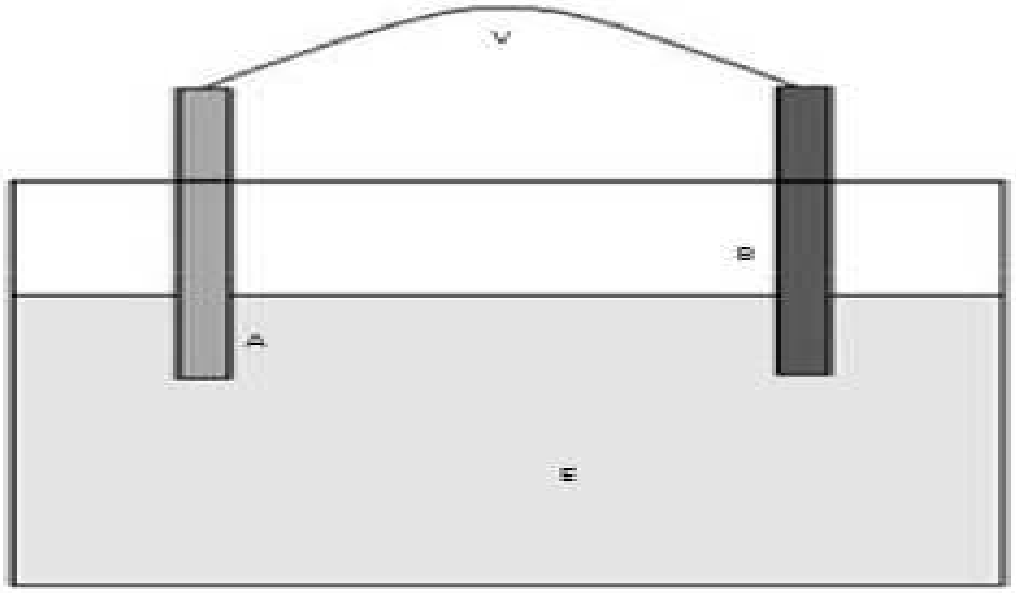
Aby mohlo rozpouštění kovu pokračovat, musí dojít ke snížení přitažlivé síly mezi ionty kovu a záporně nabitým kusem kovu, který se nazývá *anoda.* V korozním článku dochází ke snížení záporného náboje anody převodem přebytečných elektronů na jiný kus kovu nazývaný *katoda,* kde se účastní reakce vedoucí k elektricky neutrálním produktům (depolarizace).

Na katodě se mohou redukovat ionty vodíku anebo kyslík rozpuštěný v elektrolytu. Podle toho, který z obou prvků se redukční reakce účastní jako elektronový akceptor, se rozlišuje vodíková depolarizace

$2\ H^+ + 2\ e^- \rightarrow H_2$,

a kyslíková depolarizace

$4\ H^+ + O_2 + 4\ e^- \rightarrow 2\ H_2O$.




*Obr. 3.37* Schematické zobrazení elektrického článku (korozního makročlánku)

E – elektrolyt v nádobě, A – tyčová anoda (ponořená část uvolňuje do elektrolytu kationty), B – tyčová katoda (ponořená část přijímá elektrony), V – vodivé spojení

Vodíková depolarizace probíhá ve významné míře pouze v kyselých roztocích, kyslíková depolarizace se uplatňuje jak v roztocích kyselých, tak v roztocích neutrálních, protože k jejímu uskutečnění postačuje nižší koncentrace vodíkových iontů.

Dokonce i v alkalickém prostředí (kde je koncentrace vodíkových iontů zanedbatelná) může kyslík působit jako elektronový akceptor:

$O_2 + 2\ H_2O + 4\ e^- \rightarrow 4\ OH^-$ .

Katoda musí mít kladnější potenciál než anoda, aby elektronový převod mohl probíhat. Obě elektrody (anoda a katoda) se proto musí lišit svým složením. Rozdíly ve složení se mohou týkat makroskopické úrovně, pak hovoříme o korozním makročlánku (který byl zmiňován již v kapitole 3.9.2), funkci elektrody však mohou plnit i zcela mikroskopické oblasti, tvořené nečistotou v kovu (uhlíkem, jiným kovem) nebo oxidickým produktem na jeho povrchu.




*Obr. 3.38* Korozní mikročlánek (schematický řez ocelovým plechem s kapkou vody)

E – elektrolyt v podobě kapky, A – anodická oblast, B – katodická oblast, V – vodivé spojení prostřednictvím vlastního kovu plechu

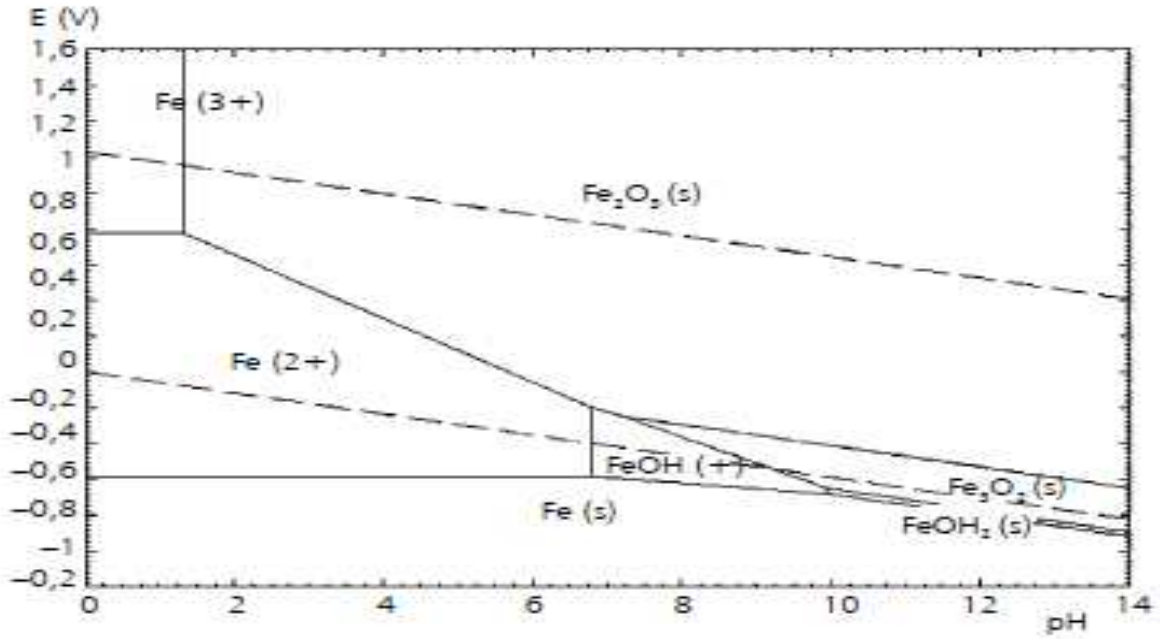
Pro převod elektronů mezi dvojicí kovových elektrod je významné postavení obou kovů v tzv. řadě napětí. Jde o relativní stupnici vzniklou seřazením kovů podle jejich standardních oxidačně-redukčních potenciálů, tj. potenciálů elektrody daného kovu v roztoku vlastních iontů o jednotkové aktivitě. Tato stupnice je relativní, protože potenciál je měřen ve srovnání s potenciálem normální vodíkové elektrody s tím, že potenciál této elektrody je smluvně brán jako nulový.

Kovy s vyšším polarizačním napětím než má vodíková elektroda se nazývají ušlechtilé, kovy s nižším napětím jsou neušlechtilé. Snadnost koroze roste s neušlechtilostí kovu, tedy se snadností přechodu aniontu kovu do roztoku. Je však třeba připomenout, že snadnost, s jakou z povrchu kovu uvolňují anionty, je vázána na teplotu a charakter okolního prostředí.

Jedním z klíčových faktorů, který rozhoduje o velikosti korozního potenciálu kovu a charakteru koroze, je koncentrace vodíkových iontů v korozním roztoku (pH elektrolytu). Často se proto k zobrazení korozních poměrů, které mohou nastat při různém pH roztoku, používají Pourbaixovy diagramy, v nichž jsou vyznačeny charakteristické oblasti korozního chování příslušného kovu. Ukázku takového diagramu představuje obr. 3.39.

Je třeba zdůraznit, že přesná podoba Pourbaixova diagramu závisí na teplotě elektrolytu, na koncentraci kovových iontů v elektrolytu a na přítomnosti dalších látek, které se případně mohou podílet na reakci s některým z korozních produktů či kovem elektrody.

Pourbaixův diagram je navíc pouze zobrazením termodynamických poměrů, panujících v příslušné soustavě. Zobrazuje tedy, jaké procesy v příslušné oblasti teoreticky probíhají, nevypovídá však nic o jejich rychlosti.




*Obr. 3.39* Pourbaixův diagram chování železa v roztoku železnatých iontů o koncentraci 1 mmol.dm$^{-3}$ při teplotě 298,15 K

Odstraňování elektronů katodovou reakcí je pouze jednou z podmínek průběhu koroze. Trvalý průběh vyžaduje ještě přísun reagujících látek z korozního prostředí a odstraňování primárních zplodin anodové i katodové reakce. Tyto jevy probíhají v difúzní vrstvě přiléhající k povrchu kovu.

Prakticky nejvýznamnější je koroze železných materiálů, která působí při jejich používání značné ekonomické ztráty.

Povrch železa ve styku s elektrolytem představuje plochu pokrytou hustou sítí mikročlánků. Na místech fungujících jako anoda se železo oxiduje a uvolňuje elektrony ($e^-$), které ionizují ve vodě rozpuštěný kyslík. V katodové oblasti vznikají hydroxylové ionty, které difundují do oblastí anodových a reagují tam se vzniklými ionty železa na hydroxid podle rovnic:

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2\ e^-$$

$$O_2 + 2\ H_2O + 4\ e^- \rightarrow 4\ OH^-$$

$$Fe^{2+} + 2\ OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$$

$$4\ Fe(OH)_2 + 2\ H_2O + O_2 \rightarrow 4\ Fe(OH)_3$$

V kyselém a neutrálním prostředí se na depolarizační reakci podílejí i vodíkové kationty, korozní produkty jsou pórovité a dalšímu postupu koroze nebrání. V alkalickém prostředí vznikají produkty koroze v kompaktní formě omezující další korozi.

Vzniká-li při korozním ději na povrchu kovu ochranná vrstva, mluvíme o pasivaci. Pasivovaný kov koroduje jen nepatrně. Tento jev má proto neobyčejný význam, neboť může výrazně omezit korozní poškození řady technicky významných kovů. Pasivní vrstvy za vhodných podmínek vytváří nejen železo, ale i chrom, nikl, zinek, titan, hliník a měď. K slabinám pasivačních vrstev patří fakt, že jsou narušovány některými specifickými ionty (např. chloridy).

Skutečnost, že v alkalickém prostředí je povrch železného kovu vůči korozi pasivován, má i hlubší příčiny elektrochemické (mechanizmus depolarizace kovového povrchu a potenciál kovové elektrody jsou závislé na pH elektrolytu a koncentraci rozpuštěných iontů).

V důsledku znečištění atmosféry oxidem siřičitým je tvorba železnatých nebo železitých síranů na povrchu oceli téměř nevyhnutelná. Podobně jsou velmi i běžnou znečišťující látkou chloridy, jejichž největšími zdrojem v pobřežních oblastech je mořská voda a ve vnitrozemí sůl, sloužící k odstraňování námrazy na cestách.

Chloridové a síranové anionty mají dalekosáhlý vliv na celý korozní proces. Místo špatně rozpustného hydroxidu železnatého se v jejich přítomnosti vytvářejí dobře rozpustné železnaté chloridové hydráty nebo hydroxychloridy, resp. analogické sulfátové sloučeniny. Jsou to dobře rozpustné látky, které proto ve vodě mohou difundovat pryč od místa tvorby. Následuje transformace hydrolýzou a oxidací na nerozpustné oxidy, například oxid železitý, který se tak sráží v určité vzdálenosti od místa, kde vznikaly primární korozní produkty.

Oxidačně-hydrolytickou transformací jsou chloridové a síranové anionty uvolňovány do roztoku a mohou se opět zúčastnit korozního děje. Jejich účinek je proto možné označit jako autokatalytický.

#### 3.16.3.2.1 Druhy koroze kovů

Koroze kovu se navenek může projevovat různým způsobem. Podle charakteristických projevů rozdělujeme korozi na korozi stejnoměrnou a nestejnoměrnou.

Stejnoměrná koroze je nejrozšířenější. Projevuje se stejnoměrným úbytkem kovu po celém povrchu korodujícího kovu. *Nestejnoměrná koroze* se projevuje s různou intenzitou pouze na určitých částích povrchu, nebo i uvnitř kovu. Podle charakteru vnějších projevů popisujeme nestejnoměrnou korozi jako bodovou, důlkovou nebo laminární. Skrytý charakter má koroze mezikrystalická a transkrystalová.

K nestejnoměrné korozi může dojít při nestejnorodosti dříve vzniklé oxidické vrstvičky, při částečném poškození ochranného povlaku (nátěru) nebo při místní nehomogenitě kovu. Důlkovou korozi železa můžeme pozorovat v přítomnosti chloridových iontů.

Mezikrystalová koroze není bezprostředně viditelná a není lehké ji odhalit. Může způsobit i náhlé havárie.

#### 3.16.3.2.2 Koroze betonové výztuže

Čerstvý beton je výrazně alkalický (pH > 12) a tuto alkalitu si podržuje i ve ztvrdlém stavu. Příčinou alkality je především vznik velkého množství hydroxidu vápenatého při hydrataci vápenatých křemičitanů.

Protože v alkalickém prostředí je povrch výztuže pasivován, zabraňuje alkalita betonu korozi železné výztuže uložené v železobetonové konstrukci.

*Karbonatace,* tedy reakce s atmosférickým oxidem uhličitým ($CO_2$), však způsobuje, že alkalita betonu postupně klesá a ani dobíhající hydratační pochody (provázené uvolňováním dalšího hydroxidu vápenatého) ji nedokážou udržet na původní hodnotě. Říkáme, že dochází k vyčerpání alkalické rezervy betonového pojiva.

Karbonatace betonu probíhá postupně od povrchu (který je v přímém styku s atmosférou) dovnitř příslušného prvku. Karbonatační proces spočívá v tvorbě uhličitanů (karbonátů) reakcí alkalických sloučenin (přítomných v příslušném materiálu) s kyselinou uhličitou vzniklou rozpuštěním atmosférického oxidu uhličitého ve vodě. Je to typická neutralizační reakce.

Karbonatační reakce probíhá nejrychleji při relativní vlhkosti vzduchu (rozumí se vzduch přítomný v betonových pórech) od 75 do 92 %.

V suchém prostředí (při relativní vlhkosti menší než 30 %) a při úplném zaplnění kapilár vodou (ponořené betonové prvky) karbonatace neprobíhá.

Soubor reakcí, které probíhají v betonu s oxidem uhličitým, je pestrý:

$Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3 + 2\ H_2O$,

$xCaO.SiO_2.yH_2O + CO_2 + H_2O \rightarrow (x\text{-}1)CaO.SiO_2.yH_2O + CaCO_3 + H_2O$,

$4CaO.Al_2O_3.13H_2O + CO_2 + H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.CaCO_3.13H_2O + H_2O$,

$3CaO.Al_2O_3.CaCO_3.13H_2O + 3CO_2 + H_2O \rightarrow 2\ Al(OH)_3 + 4\ CaCO_3 + 11\ H_2O$.

Z hlediska příští koroze výztuže je významná především první reakce, která zachycuje přeměnu volného hydroxidu vápenatého na uhličitan vápenatý.

Tato reakce(označovaná jako karbonatace) vede k postupnému snižování pH betonu ve zkarbonatované vrstvě až na hodnotu 8,4 pH. Zřetelná koroze zabudovaných ocelových prvků přitom nastává již od okamžiku, kdy hodnota pH klesne pod 9,5.

Karbonatace je závislá především na rychlosti difúze $CO_2$ do struktury betonového pojiva.

Obecně platí, že difúzní průnik je lineární funkcí odmocniny z doby (času) trvání difúze (Fickův zákon). Pro hloubku karbonatace ($h_k$) se v souladu s touto skutečností nejčastěji uvádí vztah:

$h_k = k_k \cdot t^{0,5}$

kde *t* je čas a $k_k$ je karbonatační konstanta.

Pokud dosazujeme *t* ve dnech a hloubku karbonatace uvádíme v milimetrech, pohybuje se hodnota karbonatační konstanty běžného betonu od 0,2 do 0,4 $mm.den^{-0.5}$.

Při tomto rozsahu karbonatační konstanty činí hloubka karbonatace za necelých 7 let (2500 dní) 10 - 20 mm. U betonové konstrukce o stáří 60 - 70 let tedy musíme počítat s karbonatací 30 - 60 mm.

Z hlediska samotného betonu (bez železné výztuže) karbonatace zpravidla neškodí. V důsledku mírného nárůstu objemu reakčních produktů dochází naopak ke zpevnění struktury betonu.

Případy, kdy by uhličitan vápenatý vzniklý karbonatací působil v betonu nějaké problémy, jsou vzácné. Při opakovaném provlhání a vysychání betonu nelze sice úplně vyloučit možnost vzniku rekrystalizačních tlaků způsobených uhličitanem vápenatým, ale nejde o významný fenomén.

Jakmile však v okolí ocelové výztuže klesne pH pod 9,5, začíná výztuž (která byla až do této chvíle před elektrochemickou korozí alkalicky chráněná) korodovat. Vznikající korozní produkty jsou výrazně objemnější než původní kov. Uvádí se, že koroze jednomilimetrového pláště ocelového prutu vede k tvorbě korozních produktů (rzi) o tloušťce 4 mm. Zkorodovaný prut ztrácí spojením s betonem, jeho průřez se oslabuje a vznikající korozní produkty poškozují svým tlakem okolní beton.

Při posuzování stavu starších betonových prvků je velmi užitečná zkouška alkality prováděná pomocí acidobázických indikátorů, protože umožňuje zjistit hloubku neutralizace betonu oxidem uhličitým.

Nejčastěji se zjišťování hloubky karbonatace provádí bezbarvým lihovým roztokem fenolftaleinu, který se nanáší na postupně odbrušovaný povrch betonového prvku.

Na vyhovujícím (ještě nezkarbonatovaném) betonu vznikají červenofialové skvrny. Fenolftalein se barví fialově přibližně při pH > 9,8 (oblast barevného přechodu je udávána 8,0 – 9,8).

Citlivější signalizaci probíhající karbonatace poskytuje bezbarvý thymolftalein, který se barví zřetelně modře při pH > 10,5 (barevný přechod leží v oblasti 9,3 – 10,5) a ke svému zabarvení tedy vyžaduje méně zkarbonatovaný beton než fenolftalein.

#### 3.16.3.2.3 Koroze ocelových konstrukcí

Koroze ocelových konstrukcí je závažný jev, způsobující ročně nemalé hospodářské ztráty. Kovová konstrukce, umístěná volně v prostoru či zabudovaná v zemi, není před elektrochemickou korozí nijak chráněna a v našich klimatických podmínkách tato koroze probíhá téměř celoročně.

Zabránit korozi, nebo alespoň omezit její rozsah, lze v zásadě třemi různými způsoby:

úpravou korozního prostředí,

sekundární ochranou,

primární ochranou.

Agresivitu prostředí lze snížit úpravou jeho složení, spočívající buď ve snížení koncentrace agresivní složky, nebo v přídavku látky působící jako inhibitor koroze. Inhibitory koroze se zapojují do elektrochemického korozního děje a už v malých množstvích narušují jeho průběh.

Koroze železa je účinně zpomalována ionty šestimocného chromu a dusitanovými nebo fosforečnanovými anionty. Bývá zmiňován i inhibiční účinek kyseliny třís lové (taninu), není však dobře prokazatelný.

Chromové sloučeniny se používaly k ochraně systémů ústředního topení, dnes jejich používání naráží na hygienická omezení. I když ani dusitany nejsou považovány za hygienicky nezávadné, používají se sloučeniny dusitanového typu běžně k dočasné ochraně skladovaných železných předmětů. Kyselina fosforečná je klíčovou součástí řady odrezovacích a oplachovacích přípravků, používaných k předúpravě železných povrchů před prováděním nátěru.

Jako inhibitor přidávaný do betonové směsi (s cílem zvýšit ochranu výztuže) lze použít především dusitan vápenatý, který zároveň působí i jako urychlovač tvrdnutí. Jeho používání však není v našich podmínkách obvyklé.

Tak zvaná sekundární ochrana je nejčastějším způsobem ochrany proti korozi. Spočívá v zamezení přímého styku materiálu s korozním médiem. Provádí se buď úpravou povrchu materiálu, nebo vytvořením ochranného povlaku.

Stav povrchu materiálu je jedním z faktorů, které mají značný vliv na rychlost koroze. Obecně lze říci, že čím je povrch hladší a uzavřenější, tím více odolává materiál korozi.

Ochranné povlaky se užívají u kovových i nekovových materiálů. Mohou být vytvořeny vrstvou kovu odolného korozi (pokovování), umělou oxidací chráněného kovu, nanášením vrstvy z jiných anorganických látek (fosfátování, smaltování) nebo nátěrem, nánosem či nástřikem.

Zvláštní typ povrchové ochrany představuje katodová ochrana úmyslně vytvořeným makročlánkem, který je zdrojem elektrického proudu působícího proti normální elektrochemické korozi. Jako příklad je možno uvést ocelový předmět opatřený vrstvou zinku nebo hliníku, kdy proud v článku tvořeném ocelí a ochranným kovem brání korozi oceli. Použitý ochranný kov se ovšem stává anodou v tomto článku a dochází k jeho postupné korozi. S ohledem na vlastnosti korozních produktů však má celý proces mnohem příznivější průběh. Katodová ochrana doplňuje bariérový efekt ochranného kovu.

Podmínkou úspěšné sekundární ochrany je čistota podkladního povrchu a dokonalé provedení ochranné vrstvy. Vrstva musí být provedena spojitě a nesmí obsahovat ani drobná poškození sahající až k podkladu (k odstranění průchozích pórů se nátěrové antikorozní úpravy provádějí jako vícevrstvé).

Tam, kde nejsou předpoklady pro úspěšné provádění sekundární ochrany, se musí přikročit k ochraně primární. Primární ochranou se rozumí volba materiálu vhodného složení, tedy použití materiálu, který je v daném prostředí odolný.

### 3.16.3.3 Koroze plastů

Ve srovnání s jinými materiály vynikají plasty velkou odolností anorganickému agresivnímu prostředí a hmoty na polymerní bázi jsou často používány k vytváření sekundární ochrany. Ani odolnost plastů však není univerzální, závisí nejen na složení hmoty a na korozním prostředí, ale i na tom, za jakých podmínek dochází ke vzájemnému styku obou složek.

V atmosférických podmínkách bývá koroze plastů vyvolána současným působením světelného záření, teploty, vzdušného kyslíku, vlhkosti, případně některých nečistot obsažených v atmosféře.

Chemické vlivy tepla se projevují rozrušováním chemických vazeb. Dochází k podstatnému zmenšování makromolekul, provázenému často i dalšími změnami chemického složení. Tím se nevratně mění mechanické i jiné fyzikální vlastnosti plastů. Při dlouhodobém mechanickém namáhání by nemělo docházet k nebezpečnému zvyšování teploty plastů.

Na rozdíl od kovů probíhá u plastů chemická koroze vyvolaná účinkem kapalného prostředí převážně uvnitř hmoty. Její projev závisí na tom, k jaké interakci mezi působícím agresivním mediem a materiálem dochází.

Podmínkou nutnou k tomu, aby spontánně probíhal korozní děj, je pokles volné entalpie systému, který se za dané teploty $T$ může realizovat buď poklesem vnitřní energie systému $U$, nebo nárůstem entropie $S$:

$$\Delta G = \Delta U - T.\Delta S$$

V případě plastů je nejvýznamnějším korozním pochodem rozpouštění, respektive zbobtnání plastu.

Při rozpouštění vždy vzrůstá volnost pohybu molekul rozpouštěné látky a v důsledku poklesu uspořádanosti systému roste entropie. Rozpouštění proto probíhá samovolně i tehdy, když není doprovázeno žádnou změnou vnitřní energie. Při dané teplotě je vzrůst entropie největší na počátku rozpouštění, protože koncentrace vznikajícího roztoku je nepatrná a koncentrační rozdíl je tedy nejvyšší.

Když přírůstek vnitřní energie dosáhne hodnoty entropického členu ve výše uvedené rovnici, nebo ji ještě převýší, přestane se látka rozpouštět. Tento jev ovšem může nastat jen v případě látek se záporným rozpouštěcím teplem (endotermní rozpouštění).

Rozpouštění termoplastů probíhá v zásadě stejně jako rozpouštění nízkomolekulárních látek. Vedlejší vazby mezi polymerními řetězci jsou postupně nahrazovány vedlejšími vazbami mezi strukturními jednotkami polymeru a molekulami rozpouštědla. Pokud je tímto způsobem solvatována celá makromolekula, dochází k jejímu oddělení od ostatních makromolekul a za vhodných podmínek se může volně pohybovat v rozpouštědle. Zpravidla však musí být nejprve rozpuštěny i sousední molekuly, protože solvatovaná makromolekula společně s nimi vytváří jednoduše dělitelnou krystalickou strukturu jen zčásti. Významný podíl struktury termoplastů tvoří zapletené řetězce. I v dobrých rozpouštědlech proto probíhá rozpouštění termoplastických polymerů pomalu.

Protože makromolekuly obecně nejsou uloženy tak těsně jako molekuly v pravidelně uspořádaném krystalu nízkomolekulární sloučeniny, pronikají molekuly rozpouštědla mezerami také do hlubších vrstev polymeru. Dochází k parciální solvataci hlouběji uložených úseků řetězců.

Vzhledem k pomalosti povrchového rozpouštění mohou molekuly rozpouštědla postupně proniknout celou hmotou polymeru, takže polymer značně nabobtná.

Difuse molekul rozpouštědla do polymeru probíhá rychleji než jeho rozpouštění. Typický průběh rozpouštění termoplastu v dobrém rozpouštědle tedy probíhá přes stadium nabotnalého gelu.

Pokud je hnací silou rozpouštěcího děje pouze přírůstek entropie, pak postupný pokles hodnoty tohoto přírůstku s rostoucí koncentrací solvatovaného podílu vede k tomu, že rozpouštědlo sice pronikne do celého vzorku, ale vždy zůstane na jednotlivých makromolekulách tolik nesolvatovaných úseků, že nemůže dojít k jejich úplnému oddělení. Na této skutečnosti nemění nic ani fakt, že nesolvatované úseky jsou nestabilní, protože jejich úbytek v polymeru je nahrazován vznikem nových nesolvatovaných úseků na jiných místech (ustaví se dynamická rovnováha). Termoplastický polymer pak pouze nabobtná, aniž by, byť jen zčásti, přecházel do roztoku.

V případě reaktoplastů nebo zesíťovaných termoplastů není přechod solvatovaných úseků do roztoku možný. V hustě zesíťovaném systému, typickém pro tyto látky dochází pouze k bobtnání.

Pro úplnost je třeba dodat, že v některých případech může korozní medium procházet polymerním materiálem bez výraznějšího bobtnacího efektu. Tento fenomén se může prakticky korozně uplatnit, zejména v případě relativně tenkých nátěrových vrstev vystavených působení vodného prostředí.

Pokud k pohybu vody skrze nátěr přispívá osmotická nerovnováha. na obou stranách nátěru, funguje nátěrová vrstva jako semipermeabilní membrána a dochází ke vzniku puchýřů vyvolaných tlakem vody prošlé nátěrem k podkladu.

Pokud prostředí proniká plastem, aniž dochází ke výraznější interakci jeho molekul s makromolekulami plastu, vlastnosti samotného plastu se příliš nemění. Je-li plast použit jako samostatný konstrukční materiál (takže odpadá problém osmotických puchýřů), není takováto difúze prostředí většinou na závadu.

Pokud dochází k bobtnání, při kterém se zvětšuje objem hmoty, mění se vlastnosti plastu. Korozní medium odtlačující od sebe polymerní segmenty působí jako změkčovadlo a vyvolává pokles pevnostních charakteristik. Po odstranění agresivního prostředí může plast získat opět své původní vlastnosti, často však může být poškozen trhlinami, vzniklými v důsledku objemových změn.

Nasákavost plastu v korozním mediu, respektive bobtnání, je poměrně univerzálním ukazatelem míry chemického napadení. V korozních testech plastů se proto obvykle sleduje relativní hmotnostní přírůstek plastu při dlouhodobé expozici v korozním prostředí. Tento přírůstek se někdy navíc ještě vztahuje na jednotkovou plochu plastu, která je s mediem v kontaktu. Kromě toho je možné sledovat změny vzhledové a změny mechanických vlastností (ČSN ISO 175).

K nejvážnějšímu znehodnocení dochází v případech, kdy pronikající prostředí s plastem reaguje, a dochází tak ke změně jeho chemického složení. Pro makromolekulární látky je charakteristické, že již nepatrné změny chemického složení způsobují podstatné změny jejich mechanických vlastností.

O tom, zda bude plast reagovat s prostředím, kterému je vystaven, rozhoduje jeho složení i složení korozního prostředí. Rychlost koroze je většinou ovlivněna rychlostí difúze prostředí do plastu.

Vedle reakce s makromolekulárními látkami může docházet k reakci prostředí s plnivy, změkčovadly nebo jinými příměsemi obsaženými v plastu. I v takových případech pak dochází ke značným nežádoucím změnám vlastností.

Plasty bývají méně odolné vůči některým organickým látkám jako jsou rozpouštědla, čistící prostředky apod. Obecně se jedná o látky s podobnou chemickou strukturou (podobný v podobném se rozpouští). Platí tedy, že nepolární polymery, ale neodolávají nepolárním látkám (bobtnají v nich nebo se v nich rozpouštějí). Polární polymery naproti tomu odolávají působení nepolárních sloučenin a jsou napadány látkami polárními.

Exaktněji je možné vyjádřit míru interakce mezi polymerem a rozpouštědlem pomocí parametru rozpustnosti. Tato charakteristika se používá zejména při formulaci nátěrových hmot a lepidel.

Odolnost polymerů proti působení vodního prostředí velmi závisí na jejich chemickém složení. Polymery, jejichž makromolekuly tvoří nasycený uhlovodíkový řetězec (např. polyetylen, polyisobutylen), jsou málo reaktivní, a proto velmi stálé např. v kyselinách, zásadách, ve vodných roztocích anorganických solí i při působení slabých oxidačních činidel. Substituce části vodíku halogenem, jako tomu je např. u polyvinylchloridu, zvyšuje odolnost proti oxidačním činidlům. Zavedení kyslíkových polárních substituentů vede k prudkému zhoršení chemické odolnosti.

Polyvinylalkohol nebo polyvinylacetát, jejichž strukturu můžeme odvodit nahrazením vodíku v polyethylenovém řetězci hydroxylovými nebo acetátovými funkčními skupinami, jsou napadány kyselinami i zásadami. Dvojná vazba v makromolekule polymeru rovněž zmenšuje odolnost, zejména proti působení oxidačních činidel. Pokud jsou jednotlivé strukturní jednotky spojeny atomem kyslíku, dusíku nebo síry, podléhají ve vodných roztocích snadno hydrolytickému štěpení vlivem kyselin a zásad. Hydrolyticky nestálé jsou polyamidy, polyuretany i polyestery. V důsledku hydrolýzy dochází u těchto polymerů k prudkému snížení í molekulové hmotnosti, což je provázeno výraznými změnami mechanických vlastností.

## 3.17 Hygienické vlastnosti

Problematika narůstajícího chemické zatížení našich obydlí souvisí jen zčásti se zvýšeným používáním nových stavebních materiálů. Ve značné míře se na růstu chemického zatížení obývaných interiérů podílejí zařizovací předměty a pak také skutečnost, že zvýšené nároky na energeticky úsporný provoz obydlí omezují výměnu vzduchu v místnostech.

Růst analyticky prokázaných škodlivin je však v největší míře způsoben zlepšenými možnostmi stanovení velmi nízkých látkových koncentracích a přísnějším pohledem na to, co je, či co není škodlivina.

Pomocí moderních analytických metod nacházíme v běžně používaných materiálech látky, o jejichž přítomnosti jsme dříve nevěděli. Vysoce citlivé testy na mutagenitu nás současně varují před možným karcinogenním účinkem látek, které byly ještě nedávno používány jako lék. Nároky na hygienické vlastnosti stavebních hmot se proto stále zvyšují.

Hygienická problematika zabudovaných stavebních materiálů je převážně problematikou hygieny interiérového ovzduší.

V některých speciálních případech (přípravky pro ochranu dřeva, nátěrové hmoty) je třeba přihlížet i ke kontaktnímu působení při přímém styku s pokožkou.

Z hlediska použití stavebních výrobků ve stavbách je možné jejich rozčlenění na:

- výrobky používané výhradně v exteriérech staveb
- výrobky používané výhradně v interiérech staveb
- výrobky používané pro oba účely (posuzují se jako výrobky do interiérů)
- výrobky přicházející do přímého styku s pitnou vodou
- výrobky přicházející do přímého styku s poživatinami
- výrobky přicházející do nepřímého styku s poživatinami
- výrobky, které mohou uvolňovat nebezpečné a nežádoucí látky do životního prostředí (voda, půda)
- výrobky, ve kterých jsou některé složky nahrazeny odpady nebo jsou vyrobeny přímo z odpadů
- výrobky používané ve zdravotnických zařízeních (s požadavkem na odolnost vůči dezinfekčním prostředkům)
- výrobky s obsahem biocidů
- výrobky přicházející do přímého kontaktu s lidmi
- výrobky, u kterých je přímý kontakt vyloučen

Základem hodnocení zdravotní nezávadnosti stavebních výrobků je „Seznam výrobků s vyznačením postupů posuzování shody“, který je uveden v Příloze č. 2 k Nařízení vlády č. 163/2002 Sb.

Vychází se přitom z účelu a rozsahu použití stavebních výrobků ve stavbách a z

obecného vymezení jejich posuzovaných vlastností. U výrobků se zabudovaným odpadem navíc z informací o původu odpadu, jeho složení a technologii vzniku, technologii zapracování odpadu do stavebních výrobků a účelu použití ve stavbě, v některých případech i o specifikaci umístění výrobku.

### 3.17.1 Koncentrace škodlivin

Koncentrace nečistot a škodlivin v ovzduší se tradičně vyjadřuje ve zlomcích typu hmotnost příslušné látky na objem vzduchu.

Zatímco přípustné koncentrace škodlivin v pracovním ovzduší se obvykle vyjadřují pomocí $mg.m^{-3}$, přípustné koncentrace škodlivin ve volném ovzduší a v obytných interiérech se obvykle vyjadřují v $\mu g.m^{-3}$.

Přestože mikrogram je jednotka tisíckrát menší než miligram, řada lidí si tyto jednotky při zběžném čtení textu splete. Při posuzování přípustného použití některých látek tak v minulosti došlo k velmi nepříjemných omylům (z nichž některé měly i soudní dohru).

Ve starší literatuře lze nalézt koncentrační údaje také v jednotkách $\gamma.l^{-1}$ (gama na litr). Tyto údaje v podstatě odpovídají údajům v $\mu g.dm^{-3}$ (což je jednotka číselně rovná $mg.m^{-3}$).

Při relativně nízkém tlaku panujícím v ovzduší (atmosférickém tlaku) je možné celkový objem vzduchu vyjadřovat jako součet objemů jeho složek. Běžně se proto setkáváme s vyjádřením různým nečistot v ovzduší pomocí objemových procent.

Protože při atmosférickém tlaku zaujímají plynné částice (bez ohledu na svou molekulovou hmotnost) téměř stejný objem, používá se k vyjádření obsahu nečistot v ovzduší často také jednotka 1 *ppm* (part per milion parts).

Koncentrace vyjádřená v ppm (která vyjadřuje počet molekul sledované látky na milion molekul ostatních látek) má u atmosférických plynů význam koncentrace uváděné v miliontinách objemového zlomku.

Koncentrace v ppm tedy odpovídá koncentraci vyjádřené v desetitisícinách objemového procenta:

$1\ ppm = 1.10^{-4}$ obj. % .

Pro vyjadřování velmi nízkých koncentrací se (zejména v americké literatuře) používá jednotka 1 *ppb* (part per bilion parts), která je tisíckrát menší než ppm:

1 ppb = 0,001 ppm.

Mnohokráte již bylo napsáno, že českým ekvivalentem anglického „bilion" je česká miliarda. Se špatným překladem se však setkáváme znovu a znovu, a to i u profesionálních překladů.

Pokud je v jednotkách ppm udána koncentrace atmosférické škodliviny známého

chemického složení, je možný přibližný přepočet této koncentrace na $mg.m^{-3}$ pomocí vztahu:

$1\ ppm \approx 0{,}04\ .M\ mg.m^{-3}$,

kde *M* je molekulová hmotnost příslušné látky. Vztah je použitelný pouze pro škodliviny v ovzduší, za běžných atmosférických (teplotních a tlakových) podmínek.

Zvláště v americké literatuře se setkáme s používáním ppm i v případě kapalných a pevných směsí. Pak samozřejmě výše uvedený převod na objemová procenta neplatí. Jednotka ppm je v těchto případech prostě nahrazuje milionkrát zvětšený molární zlomek (mol. $mol^{-1}$).

### 3.17.1.1 Škodliviny v interiéru

Zatímco vlastní makromolekulární látky přítomné v plastických hmotách jsou nejčastěji hygienicky indiferentní, nelze totéž tvrdit o nízkomolekulárních složkách, které plasty zpravidla také obsahují.

Kromě zbytkových monomerů, k jejichž zabudování do polymerní struktury z těch či oněch důvodů nedošlo, obsahují plasty zejména změkčovadla, ovlivňující jejich elasticitu.

V řadě nátěrových filmů nebo v lepicích vrstvách nacházíme navíc zbytky ředidel, které původně upravovaly aplikační vlastnosti příslušných výrobků a při aplikaci nestačily odtěkat. Tyto látky, jejichž společnou charakteristikou je bod varu nižší než 200 ºC, se označují jako těkavé organické sloučeniny nebo též VOC (Volatile Organic Compounds).

Kromě nich mohou být v plastech přítomné ještě stabilizátory, zabraňující oxidaci nebo snižující citlivost ke světlu, popřípadě látky s další funkcí (sušidla, pigmenty). Některé nízkomolekulární látky jsou v plastech obsaženy jako pozůstatky po použitém výrobním procesu (zbytky po rozpadu iniciátoru, emulgátory). Vedle naprosto neškodných látek zde mohou být zastoupeny i sloučeniny těžkých kovů a látky, které mohou působit jako kontaktní alergeny.

K nejběžnějším VOC dlouhodobě kontaminujícím ovzduší v obytných či pobytových místnostech patří aromatické uhlovodíky, zejména toluen (bod varu 110 ºC, limitní koncentrace $300\ .\ 10^{-3}\ mg.m^{-3}$), xyleny (bod varu 138 – 144 ºC, celkový limitní obsah všech isomerů $200.\ 10^{-3}\ mg.m^{-3}$), etylbenzen (bod varu 136 ºC, limitní obsah $200\ .\ 10^{-3}\ mg.m^{-3}$). Tyto látky jsou běžnou součástí podlahových lepidel, lepidel na dřevo či korek a některých nátěrových hmot.

Zvláštní postavení mezi aromatickými uhlovodíky má styren. Čistý styren (vinylbenzen) je bezbarvá kapalina, hustoty $0{,}907\ g.cm^{-3}$ vroucí při 146 ºC. Má charakteristický zápach, který některým lidem připomíná odorizovaný zemní plyn.

Mez postřehu styrenu je udávána různě. Nejčastěji se uvádí hodnota $20\ mg.m^{-3}$. Zkušený pozorovatel však může postřehnout koncentraci o řád nižší.

Pro přepočet obsahu styrenu v ovzduší na objemové jednotky platí vztah, že koncentraci 1 ppm odpovídá obsah styrenu 4,26 $mg.m^{-3}$.

Pohled na hygienické vlastnosti styrenu se během let dramaticky měnil. Ještě v šedesátých letech byly konány pokusy, při kterých pokusné osoby dobře snášely 800 $mg.m^{-3}$ styrenu. V pracovním ovzduší se jako krátkodobá (nárazová) přípustná koncentrace povolovalo až 1000 $mg.m^{-3}$ styrenu.

V osmdesátých letech rozvoj měřicí techniky umožnil stanovení mikrogramových koncentrací styrenu a koncentrace 15. $10^{-3}$ $mg.m^{-3}$, stanovená tehdy jako limit pro obytné a veřejné prostory, se stala vážným problémem při všech větších aplikacích materiálů, obsahujících zbytkový styren.

V současné době je limitní koncentrace styrenu ve vnitřním prostředí staveb na méně přísné hodnotě 40. $10^{-3}$ $mg.m^{-3}$.

Zdrojem styrenu v ovzduší místnosti může být pěnový polystyren, množství styrenu emitovaného do ovzduší tímto materiálem však poměrně rychle klesá.

Po celoplošnému obložení stěn a stropu místnosti čerstvě vyrobenými 10 cm deskami z expandovaného polystyrenu činila druhý den koncentrace styrenu v ovzduší 0,8 $mg.m^{-3}$ . Po deseti týdnech tato koncentrace klesla na 0,16 $mg.m^{-3}$ styrenu.

Z hlediska dlouhodobých styrenových emisí se jako nejproblematičtější jeví reaktoplastické hmoty, obsahují po vytvrzení zbytkový styren. To jsou prakticky všechny reaktoplastické materiály ředěné styrenem, které neprošly tepelným dotvrzováním.

Zvláště úporné styrenové emise pocházely z bezespárých podlahových hmot, které byly velmi oblíbené v sedmdesátých letech minulého století. Díky změnám v materiálové základně už není tato problematika tak aktuální. Stále však platí, že provádění licích polyesterových či vinylesterových vrstev v interiérech nelze doporučit.

Rovněž tepelně nedotvrzované styrenové nátěry nejsou vhodné do interiéru. Při jejich provádění musíme dbát na nepřekračování maximální tloušťky jedné vrstvy i celkové tloušťky nátěru a hygienicky přijatelný výsledek lze jen těžko zaručit.

Naopak, s ohledem na techniku vytvrzování používanou v nábytkářském průmyslu, nepředstavuje nábytek opatřený polyesterovým lakem žádné významné zatížení interiérového ovzduší. Za emisně neškodné lze považovat i další výrobky, které jsou zhotoveny z tepelně dotvrzovaných hmot (dlaždice z konglomerovaného kamene, laminátové prefabrikáty).

K těkavým aromatickým látkám patří fenol (bod varu 181 ºC, limitní koncentrace 10. $10^{-3}$ $mg.m^{-3}$), i když je za normální teploty tuhý.

Zdrojem fenolové emise mohou být fenolformaldehydová pojiva a lepidla, spíše než fenol však z těchto materiálů těká zbytkový formaldehyd.

Formaldehyd v interiéru pochází hlavně ze zařizovacích předmětů (dřevotřískový nábytek) a případně i z povrchových úprav stěn (interiérové malířské hmoty běžně obsahují protiplísňový přípravek uvolňující formaldehyd).

Svého času dlouhodobě emitoval formaldehyd i jeden typ parketového laku určeného do tělocvičen.

Zvláště masivně se formaldehyd uvolňoval z močovinoformaldehydových tepelně izolačních pěn,které kvůli tomu ze stavební používání téměř zmizely. Močovinoformaldehydové pryskyřice jsou hydrolyticky nestálé a formaldehyd tedy vznikal vždy, když MF tepelná izolace zvlhla.

Formaldehyd (HCHO) je bezbarvý plyn ostrého zápachu, rozpoznatelný čichem, pokud jeho koncentrace v ovzduší překročí prahovou hranici 0,6 – 1,4 $mg.m^{-3}$.

Formaldehyd vzniká při spalování fosilních paliv, při pečení a smažení a je obsažen i ve výfukových plynech automobilů. Běžný obsah ve volné přírodě je 0,06 $mg.m^{-3}$, v městech s velkým automobilovým provozem naměříme v ulicích hodnoty šestkrát vyšší.

Limitní koncentrace formaldehydu v pobytových místnostech je dnes stanovena na $60.10^{-3}$ $mg.m^{-3}$.

Část populace je pravděpodobně alergická i na stopová množství formaldehydu, tuto skutečnost však stanovená limitní koncentrace nemůže zohledňovat.

K často nacházeným polutantům interiérového prostředí patří trichloretylen (bod varu 87 ºC, limitní koncentrace $150.10^{-3}$ $mg.m^{-3}$) a tetrachloretylen (bod varu 121 ºC, limitní koncentrace $150.10^{-3}$ $mg.m^{-3}$). S ohledem na příznivé požární vlastnosti jsou oblíbenou složkou rozpouštědlových lepidel.

Pokud je k vypěňování poluyretanové pěny nebo extrudovaného polystyrenu použit fluorovaný nebo chlorfluorovaný uhlovodík, dochází k jeho dlouhodobému těkání. S ohledem na vlastnosti freonů je to však chápáno spíše jako ekologická chyba, a ne jako hygienická závada.

Řada těkavých látek se vytváří biologickým rozkladem ve vlhkém kryptoklimatu, případně alkalickou hydrolýzou na kontaktu s vlhkým betonem. K hydrolýze jsou náchylná změkčovadla, která se vypocují zejména z polyvinylchloridových podlahovin, polyvinylacetátová pojiva a některé aminoplasty. Do ovzduší se takto dostávají fenylcyklohexen, ethylhexanol, pentanal, hexanal, ftaláty, ethylhexylakrylát, butanoly, kyselina octová, čpavek a mnohé další.

VOC přítomné alespoň ve stopovém množství se v běžném interiéru počítají na desítky. K překročení limitní koncentrace některé z těchto látek dochází v důsledku výrobních, montážních nebo projekčních chyb.

Za kontaktní alergeny a za látky s rizikem karcinogenity jsou považovány sloučeniny obsahující šestimocný chróm. Podle nařízení 2003/53/ES jsou výrobci cementu a výrobků obsahujících cement povinni zajistit u dodávek v pytlované formě obsah $Cr^{6+}$ pod 0,0002 %.

K dosažení této hodnoty se pro redukci šestimocného chrómu používá síran železnatý. Dávkování tohoto redukčního činidla činí 0,1 - 0,5% z množství cementového slinku. Nastavení konkrétní úrovně dávkování se provádí na základě laboratorních a provozních testů.

Cement volně ložený (z vagónů a automobilních přepravníků) limity obsahu chromu nemusí splňovat, pokud je určený pro uzavřené procesy, kde nepřijde do styku s pokožkou. Zpracovávat takový cement ručně není přípustné.

Prokázaný fakt, že vdechnutí azbestového vlákenka může vyvolat rakovinné bujení vedl postupně k úplnému zákazu výroby a používání stavebních hmot obsahujících azbest.

Stávající předpisy na manipulaci s azbestem jsou neobyčejně přísné a bourání objektů obsahujících azbestové materiály je technicky náročné a velmi nákladné. Problematice azbestových materiálů je věnována samostatná kapitola 4.1.5.

Pravdou ovšem je, že stejnému omezení (max. 1000 vláken na 1 $m^3$ ovzduší) podléhají všechny respirabilní minerální vlákna, jejichž průměr je menší než 3µm, při délce vlákna větší než 5 µm a poměru délky a průměru vlákna je větším než 3 : 1.

Otázka karcinogenity takovýchto neazbestových vláken není v současnosti zcela dořešena.

Za vysoce riskantní se považují vlákna obsahující méně než 18 % $Na_2O + K_2O + CaO + MgO + BaO$, ale v podstatě se dnes (pravděpodobně pro jistotu) mezi jednotlivými typy umělých minerálních vláken nerozlišuje.

Pokus o bližší klasifikaci nebezpečnosti respirabilních umělých vláken s pomocí tak zvaného indexu karcinogenity $K_i$ (za méně nebezpečná měla být považována vlákna s $K_i \geq 40$) se neukázal jako přínosný a bylo od něj upuštěno.

Následující definice indexu karcinogenity je zde uváděna jen pro úplnost.

$$K_i = (\Sigma Na_2O + K_2O + CaO + MgO + BaO + B_2O_3) - 2.Al_2O_3$$

Zdravotní nezávadnost patří mezi ty klíčové legislativní požadavky, které musí každý používaný materiál splnit. Zvláštní pozornost je třeba věnovat materiálům určeným k použití v potravinářských, zdravotnických a školních objektech, kde platí náročnější požadavky .

U přípravků, jejichž biologická aktivita je nedílnou součástí jejich funkce (biocidy na ochranu dřeva), se při výběru přípravku musí přihlížet k tomu, zda při jejich používání jde o potravinářský kontakt (nádrž na pitnou vodu), pravidelný kontakt (stěna pokoje), občasný kontakt (plotová branka), výjimečný kontakt (střešní šindele), a nebo se kontakt nepředpokládá (železniční pražce).

Při práci s lepidly, nátěrovými hmotami, inhibitory koroze, biocidy, deratizačními přípravky a dalšími speciálními výrobky je třeba dbát na to, že tyto výrobky mohou patřit (a zpravidla patří) mezi chemické látky a chemické přípravky ve smyslu „jedového zákona“ .

Při manipulaci s chemickými výrobky musí být dodržována příslušná zákonná ustanovení (např. označení obalů, instrukce obsahující R a S věty, ochrana zdraví při práci, prokazatelná kvalifikace pracovníků).

Zatímco R věty (risk sentences) stručně popisují nebezpečné vlastnosti látky, S věty (safety sentences) jsou bezpečnostní instrukce, charakterizující správné chování jak při běžné manipulaci s látkou, tak při nějaké nehodě.

Jako doklad toho, že ustanovení o chemických výrobcích se mohou týkat i běžných stavebních hmot mohou posloužit následující R a S věty, které jsou povinné pro suchou omítkovou směs na bázi vápna.

R 36/38 Dráždí oči a kůži.

R 41 Nebezpečí vážného poškození očí.

S 22 Nevdechujte prach!

S 24/25 Zamezte styku s kůží a očima!

S 26 Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc!

S 28 Při styku s kůží okamžitě omyjte velkým množstvím vody!

S 37 Používejte vhodné ochranné rukavice!

Do roku 2015 budou R věty nahrazeny H větami, které jsou koncipovány podobně:

H315 Dráždí kůži.

H317 Může vyvolat alergickou kožní reakci.

H318 Způsobuje vážné poškození očí.

H319 Způsobuje vážné podráždění očí.

Analogicky pak jsou S věty nahrazovány P větami. Například:

P202 Nepoužívejte, dokud jste si nepřečetli všechny bezpečnostní pokyny a neporozuměli jim.

P262 Zabraňte styku s očima, kůží nebo oděvem.

P305+351+338 PŘI ZASAŽENÍ OČÍ: Několik minut opatrně vyplachujte vodou. Vyjměte kontaktní čočky, jsou-li nasazeny a pokud je lze vyjmout snadno. Pokračujte ve vyplachování.

## 3.18 Ekologické vlastnosti

Označení určitého materiálu jako ekologicky příznivého má mnohdy jen reklamní charakter. Přesto jistě existuje několik hledisek, podle kterých je možné „ekologickou vlídnost“ materiálů stanovit.

Prvním kritériem může být energetická náročnost výroby materiálu a nároky na neobnovitelné zdroje pro jeho výrobě. Po provedení takové analýzy se kupříkladu zjistí, že plastové potrubí klade menší nároky na fosilní paliva než potrubí litinové (i když se plast přímo z ropy vyrábí, je jeho výroba energeticky méně náročná než výroba litiny).

Druhým kritériem je možnost recyklace materiálu po skončení jeho životnosti. Otázka recyklace stavebních materiálů je dnes velmi živá a týká se celého spektra používaných materiálů. Velká pozornost je věnována zejména problematice dalšího využití rozdrcených anorganických staviv (cihelný recyklát, betonový recyklát).

K příznivému ekologickému hodnocení může pochopitelně přispět fakt, že materiál sám pochází z části z nějakého recyklátu nebo odpadní suroviny. Je ovšem třeba upozornit na to, že problematika odpadů, včetně problematiky recyklační, podléhá relativně přísné legislativě .

Třetím kritériem jsou náklady spojené s likvidací zbytků materiálů nebo materiálu samotného po uplynutí jeho životnosti. Pokud se obaly od nějakého materiálu musí skladovat na zvláštních skládkách jde o ekologicky problematický materiál.

Materiál, který při zpracovávání, nebo po skončení životnosti vytváří nebezpečný odpad může být v používání omezen i zákonem.

Velmi kriticky je z ekologického hlediska hodnocen zejména polyvinylchlorid, kterému je vyčítána jak obtížná recyklovatelnost, tak skutečnost, že jeho spalováním (které lze sice zakázat, nikoliv však vyloučit) vznikají toxické produkty. Z tohoto důvodu už je v některých zemích produkce PVC výrobků omezována. Týká se to především podlahovin a plastových oken.

## 3.19 Biologická odolnost

Nežádoucí změna vlastností materiálů podmíněná životní činností organizmů (biokoroze) může být vyvolána působením mikroorganismů, hub, hmyzu, rostlin, hlodavců, ptáků a živočichů vůbec.

Kromě dřeva, jehož nízká biologická odolnost je nejznámější, mohou být účinkem biokoroze poškozeny i silikáty, plasty, pryže, kovy, nátěry. Biokoroze přitom může probíhat ve volném prostředí, pod vodou i pod zemí.

Biodegradace stavebních materiálů způsobená mikroorganizmy *Tab. 3.35*

| Mikroorganismy ovlivňují | Mikroorganismy způsobují |
|---|---|
| korozi pískovců, vápenců, mramoru, cementového kamene, opuky a cihel | ztrátu pevnosti dřevěných konstrukcí |
| deskovou korozi omítek | ztrátu elasticity asfaltových krytin a hydroizolačních fólií |
| tvorbu krusty a práškové zóny na stavebním kameni | ztrátu průhlednosti historických skel |
| rozpad malty ve spárách zdiva | plesnivění malířských hlinek |
| zvyšování vlhkosti zdiva | estetické závady |

Podle odpovědi na biologické napadení můžeme stavební materiály rozdělit do tří skupin.

Materiály vykazující bioreceptivitu se účinkem živých organismů výrazně nezhoršují.

Materiály podléhající biodeterioraci jsou biologicky znehodnocovány a mnohdy vyžadují zvláštní ochranu prodlužující jejich životnost.

Biodegradace materiálů znamená jejich úplný rozpad a biodegradabilní materiály proto nejsou v určitých podmínkách vůbec použitelné.

Biodegradabilita však nemusí být vždy jen nežádoucí. Cílenými úpravami se snažíme o její zvýšení u materiálů určených pro dočasné použití (transportní obaly). Cílem je dosáhnout u dosloužívších materiálů jejich urychleného rozkladu. Ideální je, pokud se takový materiál na skládce rozpadá až na jednoduché složky využitelné rostlinami.

K poškození stavebních materiálů zdaleka nedochází jen tím, že by jejich hmota sloužila při biologickém napadení jako potrava. Velmi často dochází k poškození stavebních materiálů účinkem metabolitů. Mnohé mikroorganismy produkují velmi agresivní kyselé metabolity schopné poškodit i kámen.

V tomto směru jsou zvláště aktivní sirné a nitrifikační bakterie produkující minerální kyseliny schopné rozpouštět i křemičitany a hlinitany vápenaté.

Byl kupříkladu pozorován úplný rozpad azbestocementové krytiny na jednoplášťových střechách zemědělských objektů (kravínů) vyvolaný činností nitrifikačních bakterií. Tyto bakterie metabolicky zpracovávají dusitany nebo amoniak a amonné soli. V ovzduší se zvýšeným obsahem amoniaku se nitrifikačním bakteriím zvláště daří a atmosféra v kravíně je pro ně tedy ideální. V důsledku jejich činnosti vzniká z amoniaku kyselina dusičná.

$$NH_3 + 2\ O_2 \rightarrow HNO_3 + H_2O$$

Sirné bakterie zpracovávají sirníkovou i elementární síru, popřípadě i oxid siřičitý. Konečným produktem jejich metabolismu je kyselina sírová.

Plísňové napadení lepenkových vložek ve starších typech asfaltových izolačních pásů výrazně snižovalo jejich životnost. Pro izolační účely se proto dnes připouštějí jen pásy s vložkou biologicky stálou.

K poškození povrchových silikátových úprav a betonových střešních krytin může dojít účinkem lišejníků a mechů.

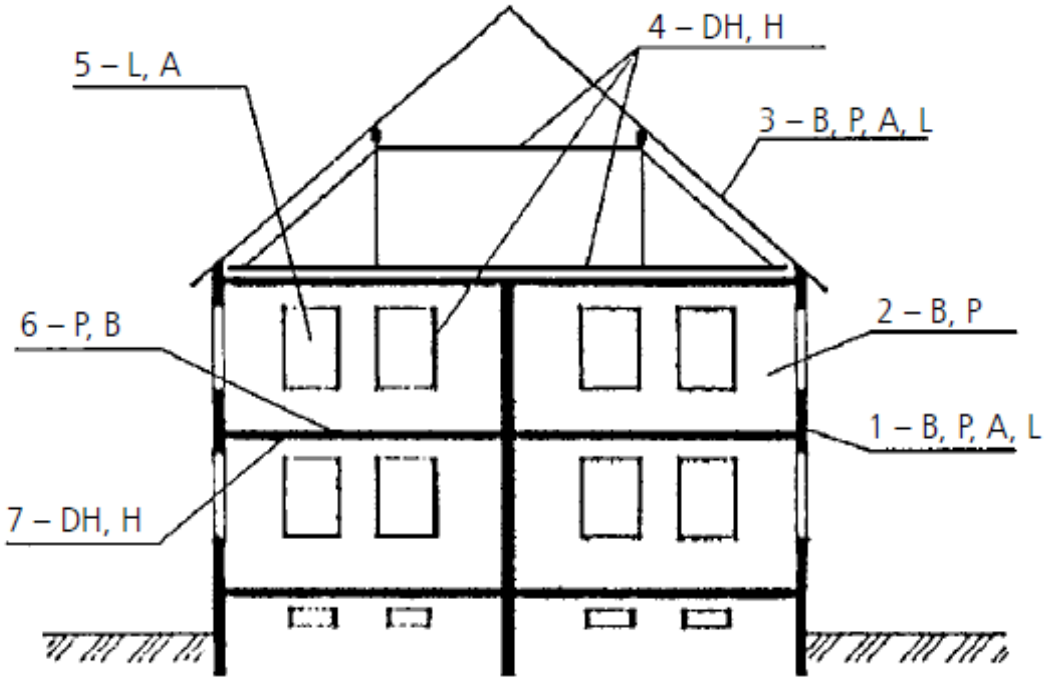
Z hlediska životnosti stavby má největší význam činnost dřevokazného hmyzu a dřevokazných hub. Podrobněji je otázka biologické odolnosti dřeva probírána v kapitole 4.11.

I vyšší rostliny mohou vyvolat výrazné poškození stavby. Růstové tlaky na konci rostoucích kořenových vláken dosahují hodnot až 35 MPa a navíc na hranici buněčné membrány probíhají iontové výměnné reakce, které přispívají k narušení struktury i pevných minerálních hmot.

Stromy vysazené v blízkosti objektu mohou svým kořenovým systémem poškodit hydroizolaci objektu proti zemní vodě. K závažnému poškození izolačního souvrství účinkem kořenů může dojít i v případě plochých střech v důsledku náletové vegetace.

Střešní plášť úmyslně zatravněných (zelených) střech musí obsahovat vrstvu zabraňující prorůstání kořenů.

Zelený plášť stavby tvořený popínavými rostlinami (přísavník trojlistý) nepředstavuje pro omítku žádné nebezpečí, protože tyto rostliny se zachytávají pouze na nerovnostech na jejím povrchu a nepůsobí na ni žádným kořenovým systémem.




*Obr. 3.40* Místa největší aktivity biologických degradačních činitelů

P – plísně, B – bakterie, A – řasy, L – lišejníky, H – dřevokazné houby, DH – dřevokazný hmyz

1 – vnější líc – fasáda, 2 – vnitřní omítky, 3 – střešní krytiny, 4 – konstrukce krovů, okenní rámy, 5 – okenní skla, 6 – podlahoviny, 7 – dřevěné podlahy, stropy

K výraznému poškození stavebního díla však může dojít i činností ptáků. Škody mohou způsobovat přímým mechanickým atakem nebo prostřednictvím metabolitů.

S poškozením fasád a půdních prostor trusem přemnožených holubů se neúspěšně bojuje ve všech evropských městech a nezdá se, že by tento problém měl jednoduché řešení. Holubi navíc neničí fasády jen znečišťováním trusem, ale přímo vyklováváním drobných kaménků z omítky. Ty jim údajně slouží v žaludku k rozmělňování potravy.

Tak jak se ve zvýšené míře používají izolační materiály oddělené od vnějšího prostředí jen tenkou ochrannou vrstvou, se objevuje další problém, způsobený tím, že tyto materiály vydávají při poklepu dutý zvuk. Tím se příslušné izolované plochy stávají velmi atraktivní pro datlovité ptáky živící se dřevokazným hmyzem.

Závažná poškození byla nejprve pozorována na dutých plastových sloupech chránících vysílací antény převaděčů signálu umístěných v lese, ale nyní se stále častěji objevuje i poškození zateplených zdí, a to i na obydlích v městských aglomeracích.

Kuriózní destruktivní činnost ptáků zaznamenali v Moskvě. Tamní vrány si náhle oblíbily jakési surfování na pozlacených kupolích místních chrámů a způsobují svými drápy rozsáhlá poškození zlaté povrchové úpravy.

Překvapivá poškození stavebních materiálů mohou mít na svědomí také hlodavci. Krysám, které si chtějí vystlat své obydlí, neodolá ani skleněná či minerální plsť, o pěnovém polystyrenu ani nemluvě. Potkan prokouše hliníkový plech a nezastaví ho ani cementový potěr nebo cihla. Ve stěnách montovaných staveb se můžeme setkat s myší domácí.

Nepříjemné škody na tepelných izolacích dokáže napáchat kuna, naštěstí tyto případy nejsou časté.

K nepříjemným škodám způsobených na materiálech hlodavci patří i škody vzniklé v důsledku kontaminace materiálů močí nebo výkaly. Většinou jde především problém zápachu a problém hygienický, může však dojít i ke koroznímu poškození.

Dokladem toho jak korozně účinná je moč savců je stav úpatí ocelových sloupů nesoucích kovovou tribunu stadionu v Praze na Letné. Okolo těchto sloupů vede oblíbená procházková trasa do blízkých sadů.

Poškození vyvolaná močí venčených psů byla natolik rozsáhlá, že bylo nutné přikročit k výměně zkorodovaných částí a k zesilování spodku sloupů.

## 3.20 Požární vlastnosti stavebních materiálů

Požární vlastnosti materiálů (EN ISO 13943) charakterizují reakce materiálů a konstrukcí vystavených definovanému požáru.

V současné době, kdy končí platnost původní české technické normy a nové české verze evropských norem jsou již platné, je mnohdy nutné stanovit převod mezi jejich požadavky, což vzhledem k jejich rozdílné koncepci požární bezpečnosti není jednoduchý úkol.

Podle ČSN 73 0862 je stavební hmota určena k trvalému zabudování ve stavebních konstrukcích. Za stavební hmotu se pro účely hodnocení hořlavosti nepovažuje výrobek (např. deska) složený z vrstev různorodých hmot, přičemž za samostatnou vrstvu se nepovažují nátěrové hmoty a lepidla.

Podle nové ČSN EN 13501-1+A1 je:

výrobek definován jako materiál, prvek nebo složka, o nichž jsou požadovány informace,

materiál definován jako jednotlivá základní látka nebo rovnoměrné rozložená směs látek, např. kov, kámen, dřevo, beton, minerální vlna s rovnoměrně rozloženým pojivem, polymery,

podlahová krytina definována jako vrchní vrstva/vrstvy podlah, která zahrnuje jakoukoliv povrchovou vrstvu společně s případným podkladem, podložkou, mezivrstvami a lepidly.

Obě základní normy, původní a novelizované řady, se tedy liší už v definici základních pojmů výrobek, hmota nebo materiál.

### 3.20.1 Hořlavost stavebních hmot

Hořlavost stavebních hmot je definována jako schopnost vznítit se, hořet nebo žhnout účinkem zdroje vznícení.

Podle ČSN 73 0823 se třídily stavební hmoty z hlediska hořlavosti na:

A – nehořlavé,

B – nesnadno hořlavé,

C1 - těžce hořlavé,

C2 – středně hořlavé,

C3 – lehce hořlavé.

Stará koncepce požární bezpečnosti staveb v ČR vycházela z toho, že z hlediska hořlavosti jsou stavební hmoty rozděleny do výše uvedených pěti stupňů hořlavosti, bez ohledu na to, zda stavební hmoty tvoří výrobek, nebo jsou jen součástí výrobku.

Zároveň platilo ustanovení, že stavební hmoty lze zařazovat do uvedených stupňů hořlavosti pouze na základě provedených zkoušek.

V rámci přechodných opatření uvedených v ČSN EN 13501-1+A1 platily výsledky zkoušek stanovení stupně hořlavosti stavebních hmot podle ČSN 73 0862 do 31.12.2007, samotná norma ČSN 730862 zrušena již v roce 2004.

Ve starší literatuře a v nedostatečně novelizované výrobkové dokumentaci se však se starými údaji o hořlavosti můžeme ještě setkat.

### 3.20.1.1 Klasifikace stavebních výrobků z hlediska reakce na oheň

Základním dokumentem je evropská norma EN 13501 – 1:2002 „Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň“, která podrobně rozvádí postup klasifikace stavebních výrobků z hlediska jejich jednotlivých tříd (A1, A2, B, C, D, E, F).

Seznam výrobků patřících do třídy A (A1 a $A1_{FL}$) „bez příspěvku k požáru“ je uveden v rozhodnutí Komise 96/603/ES (s dodatky: 2000/605/ES a 2003/424/ES), třída F představuje, že žádný ukazatel není stanoven, tudíž hořlavost výrobku není určena.

Charakteristiky, kterými se reakce na oheň určuje a které jsou definovány s přihlédnutím k příslušné normalizované zkušební metodě, jsou uvedeny včetně jejich značek v tabulce 3.38.

Charakteristiky reakce na oheň Tab. 3.38

| Značka | Charakteristika |
|---|---|
| $\Delta T$ | vzrůst teploty |
| $\Delta m$ | úbytek hmotnosti |
| $t_f$ | plamenné období |
| *PCS* | spalné teplo |
| *FIGRA* | index rychlosti rozvoje požáru využívaný pro účely klasifikace |
| $THR_{600s}$ | celkové uvolňování tepla |
| *LFS* | postranní šíření plamene |
| *SMOGRA* | rychlost vývinu kouře |
| $TSP_{600}$ | celková tvorba kouře |
| $F_s$ | šíření plamene |

Klasifikační systém z hlediska reakce na oheň je založen na kritériích představovaných mezními hodnotami ukazatelů charakteristik pro jednotlivé třídy.

U některých tříd se vedle toho uvádí doplňková klasifikace (tvorba kouře a plamenně hořící kapky/částice).

Rozlišují se třídy A1, A2 až F samostatně pro stavební výrobky kromě podlahových krytin (viz tabulka 1 rozhodnutí Komise 2000/147/ES).

Pro podlahové krytiny s indexem „FL“ (viz tabulka 2 rozhodnutí Komise 2000/147/ES) a pro lineární trubní tepelně izolační výrobky s indexem „L“ platí tabulka 1 uvedená v dodatku k tomuto rozhodnutí Komise (viz 2003/632/ES).

Systém klasifikace popsaný v EN 13501-1:2002 je založen na zkouškách prováděných podle evropských norem.

### 3.20.1.2 Klasifikace stavebních výrobků z hlediska požární odolnosti

Základním dokumentem je rozhodnutí Komise 2000/367/ES (oprava 2000/367/ES opr., změna 2003/629/ES), kterým se provádí směrnice Rady 89/106/EHS, pokud jde o klasifikaci z hlediska požární odolnosti stavebních výrobků, staveb a jejich částí.

Pro klasifikaci stavebních výrobků podle požární odolnosti byla vydána ČSN EN 13501-2+A1:2010 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení (zavedena do ČSN EN 13501-2:2004 (73 0860)). Nyní je připravována revize této normy.

Ověřování požární odolnosti se provádí buď na základě zkoušek nebo výpočtu, extrapolace a porovnání podle norem citovaných v ČSN EN 13501-2:2010 zpracovaných nebo připravovaných v CEN/TC 127. Vydaných EN a jim odpovídající ČSN pro zkoušení požární odolnosti je velké množství (ČSN 73 0851-8).

### 3.20.1.3 Převod požadavků požárních projektových norem

Koncepce ČSN EN 13501-1+A1 (klasifikující požární bezpečnost podle výsledků zkoušek reakce na oheň) se liší od stávající koncepce požární bezpečnosti staveb (založené na hořlavosti a šíření plamene). Proto byla zpracována národní příloha ČSN EN 13501-1, která obsahuje převod požadavků požárních projektových norem řady ČSN 7308xx na třídy stavebních výrobků v reakci na oheň dle ČSN EN 13501-1+A1.

Požadavky stanovené v uvedených normách řady ČSN 73 08xx a navazujících dokumentech se považují za splněné, pokud se užije výrobků, které jsou klasifikovány do tříd podle ČSN EN 13501-1+A1, uvedených v této národní příloze.

Požadované stupně hořlavosti stavebních hmot A až C3 v normách řady ČSN 73 08xx a v dalších navazujících dokumentech jsou splněny, pokud výrobky jsou klasifikovány třídami reakce na oheň podle tab. 3.37. Převod požadavků a celá národní příloha byla zrušena změnou Z1 z června 2005.

Převod požadavků stupňů hořlavosti na třídy reakce na oheň pro stavební výrobky kromě podlahových krytin (ČSN EN 13501-1+A1) *Tab. 3.39*

| Stupeň hořlavosti | Třída reakce na oheň |
|---|---|
| A | A1 |
| B | A2 |
| C1 | B |
| C2 | C nebo D |
| C3 | E nebo F |

### 3.20.1.4 Požadavky na vlastnosti nehořlavých výrobků

Za nehořlavé výrobky třídy A1 se bez dalších průkazů považují anorganické stavební hmoty a výrobky z nich provedené, uvedené v tab. 3.37, a to bez ohledu na užití ve stavebním objektu, pokud splňují následující podmínky:

pokud mají být výrobky zařazeny do tříd A1 bez zkoušení, musí být zhotoveny pouze z jednoho nebo několika materiálů uvedených v tab. 3.37. Výrobky zhotovené lepením jednoho nebo několika materiálů dohromady budou zařazeny do třídy A1 za předpokladu, že lepidlo organického původu nepřesahuje 0,1 % hmotnosti nebo objemu výrobku (podle vyšší hodnoty).

deskové výrobky (např. izolační výrobky) s jednou nebo více organickými vrstvami nebo výrobky obsahující hmoty, které nejsou homogenně rozloženy (s výjimkou lepidla), jsou z tab. 3.37 vyjmuty

výrobky zhotovené potažením jednoho z výrobků uvedených v tab. 3.37 anorganickou vrstvou (např. pokovené výrobky) mohou být rovněž zařazeny bez zkoušení do třídy A1

žádná stavební hmota uvedená v tab. 3.37 nesmí obsahovat více než 1,0 % hmotnosti nebo objemu (podle vyšší hodnoty) homogenně rozložené organické hmoty.

Materiály zařazované bez zkoušení do třídy A1 reakce na oheň (ČSN EN 13501-1+A1 )*Tab. 3.40*

| Stavební hmoty a výrobky | Poznámky |
|---|---|
| Expandovaná pálená hlína | |
| Expandovaný perlit | |
| Expandovaný vermiculit | |
| Minerální vlna | |
| Pěnové sklo | |
| Beton | Zahrnuje hotové betonové směsi a prefabrikované železobetonové a předepjaté výrobky. |
| Beton s kamenivem (hutné a pórovité přírodní nebo umělé kamenivo kromě zabudované tepelné izolace) | Může obsahovat příměsi a přísady (např. popílek), barviva a jiné materiály. Včetně prefabrikovaných dílců. |
| Dílce z autoklávovaného pórobetonu | Dílce vyrobené z hydraulických pojiv, např. cementu a/nebo vápna, kombinované s jemnozrnnými materiály (křemičité materiály, popílek, vysokopecní struska) a pórovitými hmotami. Včetně prefabrikovaných dílců. |
| Vláknocement | |
| Cement | |
| Vápno | |
| Vysokopecní struska/fluidní popel a fluidní popílek (PFA*) | |
| Přírodní kamenivo | |
| Železo, ocel a korozivzdorná ocel | Nikoli v jemně členité formě. |
| Hliník a slitiny hliníku | Nikoli v jemně členité formě. |
| Sádra a omítky na bázi sádry | Mohou obsahovat přísady (retardéry, plniva, vlákna, barviva, vápenný hydrát, provzdušňovací a hydratační činidla a plastifikátory), hutné kamenivo (např. přírodní nebo drcený písek) nebo pórovité kamenivo (např. perlit nebo vermiculit). |
| Malty s anorganickými pojivy | Omítkoviny a podlahové stěrky založené na jednom nebo více anorganických pojivech, např. cementu, vápnu, cementu pro zdění a sádře. |
| Pálené prvky | Prvky z pálených hlín nebo jiných hlinitých hmot s pískem, vypalovacími nebo jinými přísadami nebo bez nich. Zahrnují cihly, obkladové prvky, dlažbu a žárovzdorné prvky (např. komínové vložky). |
| Vápenokřemičité prvky | Prvky vyrobené ze směsi vápna a přírodních křemičitých materiálů (písek, křemenný štěrk nebo kamenivo nebo jejich směsi). Mohou zahrnovat práškova barviva. |
| Výrobky z přírodního kamene a břidlice | Opracované nebo neopracované prvky vyrobené z přírodního kamene (vyvřelých, usazených nebo přeměněných hornin) nebo břidlice. |
| Prvky ze sádry | Zahrnují tvárnice a jiné prvky ze síranu vápenatého a vody, které mohou obsahovat vlákna, plniva, kamenivo a jiné přísady a mohou být barveny práškovými barvivy. |
| Teraco | Zahrnuje teracové dlaždice a na místě zhotovované podlahy. |
| Sklo | Zahrnuje tepelně tvrzené, chemicky zpevněné, vrstvené a sklo s drátěnou vložkou. |
| Sklokeramika | Sklokeramika sestávající z krystalické a zbytkové skleněné fáze. |
| Keramika | Zahrnuje lisované a protlačované výrobky, glazované nebo neglazované. |

### 3.20.2 Požární zatřídění konstrukčních částí

Konstrukční části (dílce a prvky) se podle hořlavosti použitých hmot a jejich vlivu na intenzitu požáru a na stabilitu a únosnost konstrukčních částí třídí na druhy

D1, resp. konstrukční části druhu D1, nezvyšují v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru a obsahují

pouze nehořlavé hmoty,

nesnadno hořlavé hmoty, pokud obsahují hmotnostně nejvýše 5 % organických látek (např. izolace z minerálních vláken),

hořlavé hmoty, na nichž však není závislá stabilita a únosnost konstrukce (např. tepelné, zvukové a jiné izolace); tyto hořlavé hmoty jsou zcela uzavřeny uvnitř konstrukce (dílce) tak, že v požadované době požární odolnosti nedojde k jejich hoření a neuvolňuje se z nich teplo.

D2, resp. konstrukční části druhu D2, nezvyšují v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru, ale obsahují i hořlavé hmoty, na nichž je závislá stabilita a únosnost konstrukce (dílce). Hořlavé hmoty jsou zcela uzavřeny uvnitř konstrukce (dílce) nehořlavými nebo nesnadno hořlavými hmotami obsahujícími hmotnostně nejvýše 5 % organických látek a v požadované době požární odolnosti nedojde k jejich hoření a neuvolňuje se z nich teplo. Pokud je požadována požární odolnost konstrukce pouze z jedné strany, musí být hořlavé hmoty, na nichž je závislá stabilita a únosnost konstrukce, uzavřeny alespoň ze strany požadované požární odolnosti.

D3, resp. konstrukční části druhu D3, zvyšují v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru; zahrnují konstrukční dílce a prvky, které nesplňují požadavky na konstrukce druhu D1 a D2 (např. sestavené pouze z hořlavých hmot).

V ČSN EN 13501-1+A1 je uvedeno, že při zatřídění konstrukčních částí se postupuje dle ČSN 73 0802:2000 nebo dle ČSN 73 0804:2002 s tímto upřesněním:

za konstrukční části druhu D1 se považují stavební výrobky třídy A1, jakož i stejnorodé výrobky třídy A2, které obsahují hmotnostně nejvýše 5 % organických látek (např. izolace z minerálních vláken).

Konstrukce druhu D1 nezvyšují v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru (resp. dílčí zvýšení intenzity požáru je tak malé, že ho lze v rámci rozptylu hodnot zanedbat).

za konstrukční části druhu D2 se považují stavební výrobky třídy A1, jakož i stejnorodé výrobky třídy A2, popř. B, které obsahují hmotnostně nejvýše 5 % organických látek.

Konstrukce druhu D2 nezvyšují v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru (resp. dílčí zvýšení intenzity požáru je tak malé, že ho lze v rámci rozptylu hodnot zanedbat), avšak stabilita a únosnost může být závislá i na výrobcích třídy B až E.

výrobky, které zvyšují v požadované době požární odolnosti intenzitu požáru, resp. nesplňují požadavky na konstrukce druhu D1 či D2, jsou konstrukcemi druhu D3,

při zatřídění stavebních výrobků do konstrukčních částí (D1, D2, D3) se nepřihlíží k povrchovým úpravám o tloušťce do 2 mm, i když nejsou z materiálů třídy A1.

Pokud je v celé tloušťce výrobku hmota stejných vlastností (stejného chemického složení, stejné objemové hmotnosti apod.), nedochází při interpretaci dalších požadavků (podle ČSN 73 0802, ČSN 73 0804 a navazujících norem pro projektování), vycházejících z hořlavosti stavebních hmot, k žádným rozdílům v klasifikaci třídou reakce na oheň.

### 3.20.3 Hořlavé kapaliny

Za hořlavé kapaliny se považují chemické látky (chemické sloučeniny) a přípravky (směsi nebo roztoky dvou a více sloučenin) s definovaným bodem vzplanutí, které jsou při teplotách výskytu kapalné a lze u nich stanovit bod hoření. Jsou za předvídatelných podmínek schopné hořet nebo vytvářet produkty schopné hoření.

Pro hořlavé kapaliny jsou stanoveny:

*bod (teplota) vzplanutí*, tj. nejnižší teplota hořlavé kapaliny, při které vnější zápalný zdroj vyvolá vzplanutí par nad hladinou kapaliny

*bod (teplota) hoření*, tj. nejnižší teplota hořlavé kapaliny, při které vnější zápalný zdroj vyvolá hoření par nad hladinou kapaliny po dobu nejméně 5 s.

*bod (teplota) vznícení*, tj. nejnižší teplota horkého povrchu (baňky), při níž se hořlavý plyn nebo pára ve směsi se vzduchem vznítí následkem styku s tímto horkým povrchem.

Hořlavé kapaliny se třídí podle bodu vzplanutí do následujících tříd nebezpečnosti *Tab. 3.41*

| Třída nebezpečnosti | Bod vzplanutí ve °C |
|---|---|
| I | do 21 včetně |
| II | od 21 do 55 včetně |
| III | od 55 do 100 včetně |
| IV | více než 100 |

Hořlavé kapaliny, u kterých nebyl prokazatelně stanoven bod vzplanutí, se považují za hořlavé kapaliny I. třídy nebezpečnosti.

Hořlavé kapaliny II. a III. třídy nebezpečnosti, které jsou při výrobě, zpracování a skladování zahřívány na teplotu bodu vzplanutí nebo vyšší, se posuzují jako hořlavé kapaliny I. třídy nebezpečnosti.

### 3.20.4 Požární odolnost stavebních konstrukcí

Požární odolnost stavebních konstrukcí se, jak z názvu vyplývá, nevztahuje přímo ke stavebním hmotám, ale je zde zmíněna, neboť ji podstatně ovlivňují vlastnosti stavebních hmot.

Stavební konstrukce se podle požární odolnosti (dle ČSN EN 13503-2:2008) zařazují do stupnice požární odolnosti: 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 nebo 360 minut.

Jednotlivé charakteristiky vlastností požární odolnosti (dle ČSN EN 13503-2:2008) jsou vyjádřeny pomocí písmenných značek charakterizujících dosažené mezní stavy požární bezpečnosti:

R – nosnost.

E – celistvost,

I – izolaci,

W – radiaci,

M – mechanickou odolnost,

C – samozavírání,

S – kouřotěsnost,

G – odolnost proti „požáru sazí“,

K – účinnost požárních ochrany.

*Nosnost* (R) je schopnost prvku konstrukce odolávat po určitou dobu působení požáru na jednu nebo více stran při specifikovaném mechanickém zatížení, bez jakékoliv ztráty konstrukční stability.

*Celistvost* (E) je schopnost prvku s dělicí funkcí odolávat působení požáru pouze z jedné strany, bez přenosu požáru na neexponovanou stranu v důsledku průniku plamenů nebo horkých plynů. Mohou způsobit vznícení neexponovaného povrchu nebo jakéhokoliv materiálu ležícího v jeho blízkosti.

*Izolace* (I) je schopnost konstrukčního prvku odolávat působení požáru pouze z jedné strany, bez přenosu požáru v důsledku významného přestupu tepla z exponované strany na neexponovanou stranu. Přestup má být omezen tak, aby se nevznítila ani neexponovaná strana, ani jakýkoliv materiál v její blízkosti. Prvek má rovněž vytvářet tepelnou bariéru, schopnou bránit osoby v její blízkosti.

*Radiace* (W) je schopnost konstrukčního prvku odolávat expozici pouze z jedné strany tak, aby se snížila pravděpodobnost přenosu požáru následkem prostupu významného sálavého tepla jak prvkem, tak i z neexponovaného povrchu prvku na sousední materiály. Prvek má také chránit osoby v jeho blízkosti.

*Mechanická odolnost* (M) je schopnost prvku odolat rázu, představujícímu případ, kdy konstrukční porušení jiného dílu při požáru způsobí náraz na posuzovaný prvek. Prvek se vystaví rázu předem stanovené síly krátce po skončení požadované klasifikační doby R, E a nebo I. Prvek musí odolat rázu bez narušení vlastností R, E a nebo I, aby měl klasifikaci doplněnou M.

*Samozavírání* (C) je schopnost dveřní nebo uzávěrové sestavy se automaticky zavírat, a tak uzavřít otvor. Uplatňuje se u prvků, které jsou běžně uzavřeny a které se musí zavřít automaticky po každém otevření. Lze je rovněž uplatnit u prvků běžně otevřených, které se musí zavřít v případě požáru, a k mechanicky ovládaným prvkům, které se rovněž musí v případě požáru zavřít. Samozavírání musí být funkční ve všech případech bez ohledu na stav primárního elektrického zdroje.

*Kouřotěsnost* (S) je schopnost prvku snížit nebo vyloučit pronikání plynů nebo kouře z jedné strany prvku na druhou.

*Odolnost proti požáru sazí* (G) u komínů a jim podobných výrobků označuje schopnost odolávat hoření sazí. Zahrnuje hlediska těsnosti a tepelné izolace.

*Účinnost požární ochrany* (K) je schopnost stěnových nebo stropních obkladů chránit po stanovenou dobu obložené materiály proti vznícení, uhelnatění a ostatním poškozením.

### 3.20.5 Teplotní změny materiálových vlastností

Teplotní odolnost lze použít k vzájemnému porovnání materiálů vystavených zvýšeným teplotám. *Teplotní odolnost* se udává ve °C a určuje se teplotou, při níž dojde k dohodnuté změně některé z mechanických vlastností materiálu. Tou bývá například pokles pevnosti nebo modulu pružnosti pod dohodnutou mez.

*Žárovzdornost* je v podstatě totožná s teplotní odolností, jedná se však o odolnost zvlášť vysokým teplotám nad +1000 °C. Žárovzdornost se udává opět ve stupních °C nebo se užívají zvláštní jednotky, např. při výrobě keramiky tzv. stupně žárovzdornosti.

Teplotní odolnost tradičních materiálů (cihly, beton, kovy) dosahuje několika set stupňů, a proto ji není nutné pro běžné stavební aplikace zjišťovat. Naopak polymerní materiály jsou na zvýšené teploty velmi citlivé a jejich odolnost teplu se pohybuje mnohdy pouze kolem 100 °C. Proto již v oblasti běžně se vyskytujících podmínek teplotní odolnost mnohdy omezuje možnosti jejich použití.

Uvádí se [Valenta, O., 1965], že zřetelný pokles pevnosti betonu nastává po jeho vystavení teplotě 250 °C, a pokud je beton vystaven teplotě 600 °C, klesá jeho pevnost pod polovinu své původní hodnoty.

Je vcelku obtížné dodatečně určit, jaké teplotě bylo vystaveno určité místo betonové konstrukce při požáru, a tak má svůj význam skutečnost, že beton, připravený s použitím běžného kameniva, získává po vystavení teplotě 300 až 600 °C růžovou barvu, která se mezi 600 až 900 °C mění na žlutavou a po expozici teplotou 1200 °C přechází v zřetelně žlutou. Již betony zrůžovělé požárem je třeba považovat za nespolehlivé.

Nepřítomnost barevné změny není ovšem zárukou bezvadného stavu betonu. Betony připravené z kameniva z vyvřelých hornin barevné změny nevykazují.

Z hlediska další použitelnosti konstrukcí napadených požárem jsou zvláště problematické konstrukce z předpjatého betonu, protože nelze vyloučit, že v důsledku tepelné expozice došlo ke ztrátě předpětí ocelové výztuže. Při ohřevu na 500 °C klesá tahová pevnost běžné oceli asi na polovinu.

Ocelové prvky jsou požárně problematické také z toho důvodu, že díky vysoké tepelné vodivosti (cca 60 $W.m^{-1}.K^{-1}$) snadno přenášejí požár dále. V praxi se proto ocelové prvky často chrání tepelně izolujícím obkladem.

Hliníkové slitiny, jejichž tepelná vodivost je ještě vyšší (až 210 $W.m^{-1}.K^{-1}$), mohou tepelný impulz přenášet dál ještě snadněji a zrovna tak mohou působit i měděné prvky.

Hliníkové slitiny (zejména svařitelné typy obsahující zinek nebo lehké slitiny s hořčíkem) navíc mohou v případě intenzivního požáru i samy vzplanout.

## 3.21 Elektrické a magnetické vlastnosti

U stavebních materiálů je nutné se zabývat elektrickými a magnetickými vlastnostmi jen v ojedinělých případech. Tyto vlastnosti jsou důležité u materiálů pro konstrukce objektů energetických a telekomunikačních vysílacích anténních systémů, tratí s elektrickou trakcí a konkrétně jsou jimi především:

- měrný elektrický odpor,
- měrná vodivost (konduktivita),
- permitivita a útlum elektromagnetických vln.

V objektech s nebezpečím výbuchu hořlavých par a plynů je třeba zabránit vzniku elektrostatického náboje, který by se mohl vybít jiskrou. Největší nebezpečí vzniku takovéhoto náboje představuje chůze po špatně vodivé podlaze.

V rizikových prostorech proto bývají předepisovány podlahy odvádějící elektrostatické náboje - celou problematiku řeší ČSN 33 2030.

Z hlediska elektrizovatelnosti rozdělujeme látky podle hodnot povrchového odporu $R_o$ na:

- antistatické - $R_o < 10^9$ Ohm,
- omezeně elektrizovatelné - $10^9$ Ohm $< R_o < 10^{11}$ Ohm,
- elektrizovatelné - $R_o > 10^{11}$ Ohm.

Z hlediska možnosti uzemnění lze látky rozdělit podle hodnoty povrchového odporu $R_o$ na:

elektricky vodivé - $R_o < 5 \times 10^4$ Ohm,

elektrostaticky vodivé - $5 \times 10^4$ Ohm $< R_o < 10^6$ Ohm,

neuzemnitelné + $R_o > 10^6$ Ohm.

Rozsah opatření před nežádoucími účinky elektrických nábojů závisí na pravděpodobnosti jejich výskytu a na pravděpodobnosti výskytu nebezpečného prostředí.

Anitstatické dlažby se provádějí z dlaždic kladených do vodivých tmelů v kombinaci se sítí uzemňovacích měděných pásků kladených do průběžných spár dlažby. Tyto pásky se kladou ve vzdálenosti max. 50 cm od sebe a po obvodu místnosti nebo dilatačního celku. Pásky jsou vzájemně propojeny a napojeny na spolehlivé uzemnění.

Pro pokládání dlažby se používá několik typů vodivých tmelů podle chemického namáhání, kterému je podlaha v uvažovaných prostorech vystavena. Rozměry speciální dlažby musí být takové, aby při jakémkoliv nakročení na podlahu se chodidlo vždy dotýkalo spáry. Šířka průběžných spár je cca 12 - 15 mm.

Nášlapné vrstvy litých elektrostaticky vodivých podlah se vytvářejí ze speciálně upravených epoxidových pryskyřic. Při kladení těchto podlah se provede nejprve kotvicí nátěr podkladu s následným vodivým nátěrem. Poté se nalepí v předepsaných plochách uzemňovací měděné pásky. V konečné fázi se podlaha pokryje litou vrstvou, opět s příměsí vodivých částic. Lité antistatické podlahy dnes převládají. Jejich výhodou je bezesparé provedení, usnadňující údržbu.

Elektrostaticky bezpečné podlahy jsou dnes požadovány i v provozech vybavených ve větším rozsahu elektrostaticky citlivou elektronikou (integrované výrobní úseky, operační sály, spojové centrály).

## 3.22 Trvanlivost stavebních materiálů

Vlastnosti probrané v předcházejících kapitolách se promítají také do trvanlivosti materiálů.

Trvanlivost stavebních materiálů je jejich schopnost odolávat prostředí, ve kterém jsou uloženy, bez porušení nebo bez podstatného snížení mechanických vlastností po celou dobu předpokládané funkce. Čím je tato doba delší a čím nepříznivějším škodlivým vlivům hmota v dané konstrukci odolává, tím je materiál trvanlivější.

Narušování materiálů může být způsobeno vnějšími činiteli chemické povahy nebo činiteli fyzikálními. Jestliže vnější chemické účinky převládají, hovoříme o korozi materiálu, probírané v kapitole 3.9.

Jde-li o působení účinků fyzikální povahy, zejména vyšších teplot, ultrafialového záření, případně tvrdého záření, mluví se zpravidla o stárnutí materiálu. Pod tento pojem se často zahrnují i některé změny v mikrostruktuře materiálů, vznikající mechanickými napětími, způsobující zejména zkřehnutí materiálů.

Pod pojem stárnutí se ale zařazují i změny chemicky nestabilních látek, které probíhají více méně samovolně bez vnějších zásahů a vedou ke zhoršování většiny užitných vlastností materiálu s rostoucím časem a případně i k úplnému rozpadu (např. betony z hlinitanového cementu).

U pórovitých, nasákavých a křehkých hmot s nízkou pevností v tahu může být narušení způsobeno vlivem fyzikálních účinků povětrnosti (tj. změnami vlhkosti, teploty a účinkem pórových tlaků od mrznoucí vody). V těchto případech se jedná o větrání (eroze) hmot a o jejich *mrazuvzdornost***.** Souhrnný název pro narušování materiálů chemickými, fyzikálními nebo i vnitřními pochody (tj. pro korozi, stárnutí a větrání) je *degradace***.**

Stavební hmoty jsou většinou látkami složenými, a proto podmínkou jejich odolnosti vůči vnějšímu prostředí je odolnost jednotlivých součástí. Protože obecně je odolnost každé součásti jiná, může dojít k znehodnocení celé stavební hmoty už po napadení některé její součásti.

Správný odhad trvanlivosti je důležitý při volbě materiálu a pro stanovení životnosti jednotlivých částí konstrukce. Spolu s předpokládanými cykly údržby tak ovlivňuje volbu materiálu pro optimální návrh konstrukce.

### 3.22.1 Mrazuvzdornost

Nepříznivé působení mrazu na vlhké stavební materiály je známé po staletí. Účinkem mrznoucí vody dochází k porušování a rozpadu zdiva, deformacím základů a podloží staveb, ke vzniku trhlin a dalším škodám. Kromě běžných deformací a křehnutí materiálů při nízkých teplotách dochází u pórovitých materiálů změnami skupenství vody v pórech k mechanickému rozrušování struktury a rozpadu materiálu. To nastává především u křehkých materiálů s otevřenými póry (nasákavých) jako jsou malty, betony, cihelné zdivo, kámen a další.

Rozsah a způsob porušení je především závislý na množství, velikosti a charakteru

pórů. Například k úplné hydrataci cementového tmele je třeba asi 40 % vody. Z tohoto množství se téměř 25 % chemicky váže při tvorbě hydratačních produktů, zbylých 15 % je vázáno fyzikálně jako voda kapilární a adsorbovaná. Ta vyplňuje i nejmenší tzv. gelové póry.

Při změně skupenství vody v led dochází k zvětšování objemu asi o 9 %, což vede ke vzniku vnitřních napětí a porušování struktury. Každý druh zmíněné vody v pórech však mrzne při jiné teplotě v závislosti na velikosti pórů, jak znázorňuje tab. 3.42.

Závislost bodu mrazu na velikosti pórů *Tab. 3.42*

| Druh vody | Velikost poloměru pórů | Bod mrazu (°C) |
|---|---|---|
| volná | $r > 0{,}1$ mm | 0 až –4 |
| kapilární | $r < 0{,}01$ mm | –20 až –30 |
| adsorbovaná | 3 nm $< r <$ 10 nm | –30 až –80 |
| adsorbovaná gelová | $r <$ 3 nm | méně než –80 |
| chemicky vázaná | – | – |

Poznámka: 1 nm = $10^{-9}$ m

Při jednom zmrazovacím cyklu, tj. poklesu teploty do záporných hodnot a zpětnému nárůstu k normální teplotě, proběhnou např. v nasáklém betonu délkové změny dle obr. 3.41.

Při chladnutí:

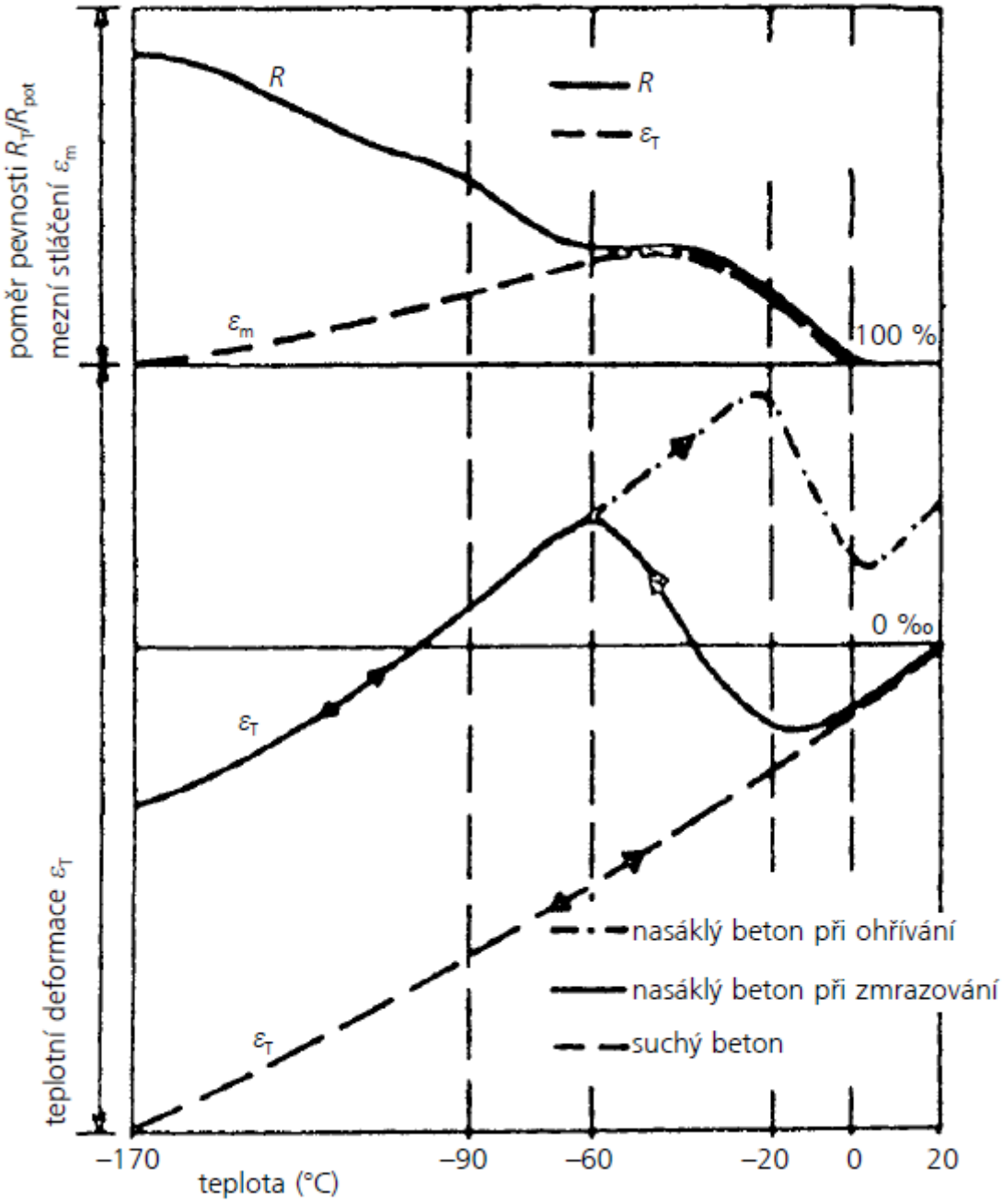
z +20 ℃ na 0 ℃ v materiálu probíhají procesy odpo vídající normální teplotní roztažnosti,

z 0 ℃ na –20 ℃ voda ve v ětších pórech mrzne a větším objemem vznikajícího ledu se zbývající kapalná fáze vytlačuje do malých pórů,

z –20 ℃ na –60 ℃ velké póry jsou vypln ěny ledem, tlak mrznoucí vody v malých pórech narušuje strukturu a působí vznik trhlin. Vlivem vyplnění dutin ledem roste technická pevnost materiálu v tlaku,

z –60 ℃ na –90 ℃ led v pórech se smrš ťuje více než cementový tmel a tak vnitřní tlaky na stěny pórů klesají. Zamrzá voda i v nejmenších pórech,

z –90℃ na –70 ℃ vlivem teplotního smrš ťování jsou póry ledem vyplněny jen částečně.




*Obr. 3.41* Průběh teplotní deformace vlhkého materiálu při změnách teploty

Při ohřevu :

z –70 ℃ na –60 ℃ nasycený beton se roztahuje podo bně jako suchý, póry se postupně zcela vyplňují ledem,

z –60 ℃ na –20 ℃ voda vypl ňující velké póry se roztahuje více než cementový tmel, a tak vznikají opět vnitřní napětí,

z –20 ℃ na 0 ℃ led se postupn ě mění ve vodu, zmenšuje svůj objem, a tak klesají vnitřní tlaky a látka se navenek smršťuje,

z 0 ℃ na +20 ℃ beton se chová stejn ě jako suchý.

Při změně teploty dochází nejen k uvedeným vnitřním napětím, ale i ke změně mechanických vlastností materiálu. Například tlaková pevnost až do cca –120 ℃ vzrůstá v závislosti na poklesu teploty a obsahu vlhkosti, při zmrznutí vody i v nejmenších pórech pod –120 ℃ se pak pevnost již ne mění. Podobně při poklesu teplot dochází ke změnám mezního přetvoření (u betonu roste), změnám modulu pružnosti, změnám pracovního diagramu apod.

Vliv záporných teplot na vlastnosti materiálů se zkouší ve speciálních případech při zadaných teplotách. V běžných případech se ověřuje zkouškou mrazuvzdornosti na 10, 20, 100, případně více zmrazovacích cyklů. Zjišťuje se především pokles pevnosti, případně rozpad struktury. Jeden zmrazovací cyklus spočívá v nasycení vzorku materiálu vodou, jeho vystavení mrazu po dobu několika hodin a opětném roztátí ve vodě. Obyčejně se vystačí se změnami teploty z +20 ℃ do –20 ℃ a opětným ohřevem.

Mrazuvzdornost se zjišťuje u pórovitých materiálů, které mohou být ve vlhkém stavu vystaveny účinku střídavého mrazu, jako jsou obyčejný beton, lehké betony, cihly apod. Materiály, které nebudou po zabudování vystaveny v mokrém stavu zmrznutí, např. pórobeton, a nevykazují dostatečnou mrazuvzdornost, zkoušíme na teplotní cykly jen při částečném navlhnutí – pak ale hovoříme spíše o zkoušce trvanlivosti za určitých podmínek.

V poslední době se také místo pojmu mrazuvzdornost zavádí termín používaný v evropských normách "*odolnost proti zmrazování a rozmrazování*"

### 3.22.2 Odolnost vůči slunečnímu záření

Sluneční záření patři k nejagresivnějším faktorům ovlivňujícím životnost stavebních materiálů.

Teplotní diference vyvolané osluněním (po kterém vždy následuje noc bez slunečního svitu) vyvolávají významné objemové změny (dilatace) a napětí, které v důsledku toho vznikají ve hmotě stavebních konstrukcí mohou vést ke vzniku trhlin a degradaci materiálů.

U plastů vystavených atmosférickým účinkům je jednou z hlavních příčin koroze světelné záření, zejména ultrafialové. Znehodnocení (fotodestrukce) se projevuje změnou barvy, ztrátou lesku, vznikem trhlinek a zhoršením mechanických a elektrických vlastností. Stupeň znehodnocení je závislý na složení plastu, na intenzitě záření a jeho vlnové délce, dále na vnějších vlivech, jimž jsou plasty vystaveny (tj. na teplotě a vlhkosti prostředí, na délce doby záření apod.). Odolnost plastů proti atmosférickým vlivům (povětrnostní odolnost) lze zvýšit, např. přimísením látek se schopností absorbovat ultrafialové záření nebo látek s antioxidačními vlastnostmi.

## 3.23 Estetické vlastnosti

Nepominutelnou vlastností řady stavebních materiálů je jejich vzhled. Je samozřejmé, že pohled na estetický účinek materiálu může být individuální záležitostí a i většinový estetický názor se může v čase měnit.

Přesto je možné najít materiály, které jsou dlouhodobě považovány za hezké. I když výsledný efekt závisí i na kvalitě zpracování a na celkovém kontextu ve kterém je materiál použit, zdá se, že esteticky účinné jsou často materiály ve kterých zachována nebo zdůrazněna jejich přírodní podoba. Právě kvůli vzhledu jsou v architektuře vysoce ceněné kamenné prvky a rovněž dřevěné stavby mají díky podobě použité materiálu nepominutelný půvab.

Některé materiály jsou právě především kvůli vzhledu používány k povrchové úpravě staveb a stavebních konstrukcí a estetický efekt je jejich hlavní funkcí. Kvalitní povrchové úpravy mají být dostatečně trvanlivé, aby si svůj vzhled v čase uchovávaly bez větších změn. Pak zpravidla mohou plnit i funkci povrchové ochrany konstrukce jejíž vzhled vylepšují.

Při volbě povrchové vrstvy je samozřejmě možný i opačný přístup vycházející z toho, že vrstva použitá primárně pro povrchovou ochranu stavby či konstrukce je současně vrstvou pohledovou a proto je třeba dbát o to, aby působila esteticky.

Na základě obojí přístupu však v optimálním případě dospíváme ke stejnému výsledku - estetická i ochranná funkce povrchové úpravy jsou v rovnováze.

U materiálů používaných k povrchové ochraně a u materiálů trvale viditelných se musí sledovat i některé další specifické vlastnosti související se vzhledem. Důležité může být obtížné zašpinění a snadné čištění takovýchto materiálů.

U obkladové keramiky, se proto sleduje kupříkladu odolnost proti tvorbě skvrn (ČSN EN ISO 10545-14). Na povrch zkoušených prvků se nanášejí skvrnotvorné látky (barevné kovové kysličníky v oleji, alkoholický roztok jódu) a nechávají se působit 24 hodin. Zařazení do tříd odolnosti proti tvorbě skvrn se pak provádí na základě snadnosti čištění (tab. 3.43).

Odolnost proti tvorbě skvrn u obkladové keramiky *Tab. 3.43*

| Třída | Odolnost skvrny |
|---|---|
| 5 | Skvrna zmizí po 5 minutách pod tekoucí horkou vodou. |
| 4 | Skvrna zmizí po působení čisticího prostředku se slabým účinkem. |
| 3 | Skvrna zmizí po působení čisticího prostředku se silným účinkem. |
| 2 | Skvrna znizí po jednodenním působení 3% roztoku HCl nebo KOH. |
| 1 | Skvrna se nedá odstranit. |

Podobné vlastnosti se zkoušejí i v případě lakovaných kovových pásů (ČSN EN 13523-18) nebo u pružných podlahových krytin (ČSN EN 423).

Speciální materiály (antigraffiti přípravky) se používají k ochraně konstrukcí před úmyslným znečištěním a k usnadnění čistění esteticky poškozených ploch.

Pro úplnost je třeba uvést, že faktor snadné čistitelnosti není jen záležitostí estetickou, ale samozřejmě má i nepominutelný funkční význam.

Snadná čistitelnost je zvláště důležitá v hygienicky náročných prostředích (operační sály), nebo v prostorách s rizikem radiační kontaminace.

Vzhled může zřejmě hrát svou roli i v případě materiálů, které se zabudovávají dovnitř stavebních konstrukcí a během vlastního využívání nejsou přímo přístupné pohledu.

Je pravděpodobné, že preference bílého pórobetonu některými stavebníky souvisí s jejich podvědomým přáním mít zářivě bílý, esteticky výrazný objekt již ve fázi výstavby.

O důležitosti vzhledu zabudovávaného materiálu jsou zřejmě přesvědčeni i výrobci extrudovaných tepelně izolačních pěn, kteří své produkty často barví na příjemné pastelové odstíny, aniž by tomu byl nějaký technický důvod.

U výrobků s trvalou pohledovou funkcí (obklad, omítka) je barva, textura a celkový vzhled vlastností zcela klíčovou.

Je pravděpodobné, že současných rozmach dodatečného zateplování panelových objektů zdaleka není vyvolán jen snahou o snížení otopných nákladů.

Kromě státní podpory (která je pro provádění dodatečného zateplení klíčová) se na k úspěchu zateplovacích technologií jistě podílí i fakt, že současně zajišťují estetickou úpravu objektu.

V poslední době zaznamenávají zvýšený nárůst povrchové úpravy se samočisticí schopností. Jsou založeny na fotokatalytickém účinku oxidu titaničitého.

Je vhodné připomenout, že ke správné funkci potřebují dostatečný přísun světla obsahující UV složku (např. sluneční světlo).

Při správné formulaci vykazují fotokatalyticky účinné materiály i výrazný antibakteriální účinek. Lze proto předpokládat, že nátěry (respektive malby) využívající fotokatalytický čistící efekt budou časem standardním řešením povrchové úpravy v interiérech zdravotnických zařízení.

# 4 POPIS VYBRANÝCH STAVEBNÍCH HMOT A VÝROBKŮ

Životnost stavebního díla a jeho užitná hodnota jsou podstatnou měrou určeny materiály, ze kterých je toto dílo vytvořeno. Výběr správných materiálů a materiálů dobré kvality má proto ve stavebnictví zásadní význam.

V textu následující části jsou jednotlivé stavební hmoty probírány jak z hlediska projektanta a realizátora stavby, tak z hlediska jejího budoucího uživatele. Pozornost je tedy věnována jak aplikačním, tak uživatelským vlastnostem stavebních hmot.

S ohledem na to, že mnohé vlastnosti stavebních hmot jsou svázány se způsobem jejich vzniku, je účelné dát určitý prostor i pasážím z oblasti výroby stavebních hmot. Výklad v tomto směru ovšem má především informativní charakter a nezabíhá do úplných technologických detailů.

Při třídění jednotlivých hmot do skupin bylo přednostně používané hledisko strukturní. Hmoty jsou tedy rozdělovány do skupin podle chemické podstaty hlavní složky a nikoliv podle použití nebo tvarové úpravy.

## 4.1 Horniny a výrobky z kamene

Horniny jsou jedním z nejstarších anorganických stavebních materiálů a z důvodu snadné dostupnosti a výhodných vlastností se používají dodnes. V porovnání s minulými desetiletími však klesá přímé použití přírodního kamene jako zdicího materiálu, ale své důležité postavení si horniny zachovávají jako suroviny (složky) pro výrobu jiných stavebních materiálů.

Výhodné a nevýhodné vlastnosti přírodního kamene (vyvřelých hornin) *Tab. 4.1.*

| Výhodné vlastnosti | Nevýhodné vlastnosti |
|---|---|
| vysoká pevnost v tlaku | technologicky náročná rozpojitelnost (těžitelnost, opracovatelnost) |
| nízká pórovitost | vysoká objemová hmotnost |
| nízká nasákavost | špatné tepelně-fyzikální vlastnosti |
| dobrá mrazuvzdornost | rozdílné vlastnosti v závislosti na místě těžby |
| dlouhá životnost (trvanlivost) | vytěžitelnost zdrojů |

Poznámka: Výjimkou v porovnání s vlastnostmi uvedenými v tabulce jsou pórovité horniny (např. pemza, perlit), které nemají vysokou pevnost v tlaku, nízkou pórovitost apod., ale naopak mají nízkou objemovou hmotnost, dobré tepelně-fyzikální vlastnosti a snadnou opracovatelnost.

Suroviny na výrobu stavebních materiálů je možno rozdělit na:
- nerostné suroviny (silikátové, nesilikátové),
- ostatní suroviny.

Nerostné silikátové suroviny jsou charakteristické obsahem sloučenin křemíku (silicium). Dělí se na neplastické a plastické.

Mezi neplastické silikátové suroviny patří různé horniny a minerály s obsahem křemíku (např. křemičitý písek).

Slouží jako plnivo do malt a betonů, surovina pro keramické výroby a při výrobě vápenopískových hmot.

Mezi plastické silikátové suroviny se řadí hlíny, jíly a spraše, které se používají při výrobu cementu, hydraulického vápna a keramiky.

Mezi nesilikátové nerostné suroviny patří:
- uhličitanové horniny (vápenec, dolomit, magnezit),
- horečnaté horniny (mastek, serpentin),
- síranové horniny (sádrovec, anhydrit).

Používají se na výrobu maltovin, skla, žárovzdorných výrobků. Vápenec se často používá i jako plnivo.

Mezi ostatní přírodní suroviny se řadí:
- železné rudy, bauxit, galenit, chalkopyrit,
- uhlí, ropa, zemní plyn, přírodní asfalt.

Používají se jednak na výrobu kovů a jednak na výrobu organických látek, asfaltových a plastických hmot.

Základní vlastnosti hornin *Tab. 4.2*

| Vlastnosti fyzikální | Vlastnosti mechanické |
|---|---|
| hustota (specifická hmotnost) | pevnost v tlaku, v tahu a ve smyku |
| objemová hmotnost | pevnost vtlačná |
| pórovitost | modul pružnosti (v tlaku, tahu, smyku) |
| propustnost | deformace |
| vlhkost (nasákavost) | Poissonovo číslo |
| mrazuvzdornost | tvrdost |
| měrná tepelná vodivost | rozpojitelnost |

### 4.1.1 Rozdělení hornin

V přírodě se horniny vyskytují v různých formách, od sypkých (např. písky, štěrky) až po pevné celistvé horniny. Základními elementy, ze kterých se horniny skládají, jsou minerály. Horninu může tvořit buď jeden minerál (monominerální horniny), nebo častěji směs různých minerálů (polyminerální horniny).

Na vlastnosti hornin a jejich klasifikaci má největší vliv jejich:

- mineralogické složení,
- původ,
- způsob vzniku,
- stavba (textura a struktura),
- geologické stáří,
- výskyt.

Podle obsahu minerálů (mineralogického složení) v hornině se rozeznávají minerály:

- hlavní, které tvoří podstatu horniny a určují její základní vlastnosti,
- vedlejší, které se vyskytují v menším množství a charakterizují jednotlivé odrůdy hornin,
- přídatné (akcesorické), které zpravidla nemají vliv na vlastnosti hornin vzhledem ke svému malému množství a náhodnému výskytu.

Podle původu se horniny dělí na

- vyvřelé (magmatické), které vznikly krystalizací žhavotekuté taveniny nazývané magma,
- usazené (sedimentární), které vznikly především zvětráváním již existujících hornin a jejich následným transportem, usazením a změnou vlastností zvětralého materiálu jako celku, případně krystalizací z přírodních roztoků nebo činností organismů,
- přeměněné (metamorfované), které vznikly strukturní či minerální přestavbou již existujících hornin pod vlivem změněných teplotních nebo tlakových podmínek.

Vlastnosti přírodního stavebního kamene pro kamenické účely (ČSN 72 1800) *Tab. 4.3*

| Skupina | Označení | Hornina (příklad) | Objemová hmotnost minimální (g.cm$^{-3}$) | Nasákavost maximální (% hmotnosti) | Pevnost v tlaku (vysušený kámen) (MPa) | Pevnost v tahu za ohybu (vysušený kámen) (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ČSN 72 1154 | ČSN 72 1155 | ČSN 72 1163 | ČSN 72 1164 |
| Magmatické horniny | hlubinné světlé | granit<br>granodiorit<br>syenit | 2,5 | 0,7 | 90 | 6 |
| | hlubinné tmavé | diorit<br>gabro | 2,8 | | | |
| | výlevné hutné | andezit | 2,5 | 5,5 | 80 | 6 |
| | výlevné pórovité | trachyt<br>ryolit | 2,0<br>1,6 | 3,0<br>9,0 | 80<br>60 | 6<br>7 |
| Sedimentární horniny | klastické hutné | hutný pískovec | 2,5 | 5,0 | 40 | 5 |
| | klastické pórovité | pórovitý pískovec<br>opuka | 1,8 | 15,0 | 15 | 2 |
| | klastické břidličnaté | jílovitá břidlice | 2,5 | 2,0 | – | 25 |
| | karbonátové pórovité | pórovitý vápenec<br>travertin | 2,3 | 4,0 | 30 | 5 |
| | karbonátové hutné | hutný vápenec | 2,6 | 0,8 | 40 | 4 |
| Metamorfní horniny | karbonátové | krystalický vápenec | 2,6 | 0,8 | 40 | 4 |
| | silikátové | serpentinit<br>ruly | 2,5 | 1,0 | 60 | 6 |
| | břidlice | granulit<br>fylit | 2,6 | 1,5 | – | 30 |

### 4.1.1.1 Horniny vyvřelé

Vyvřelé horniny vznikly chladnutím, tuhnutím a krystalizací silikátové taveniny. Původní žhavotekutá silikátová tavenina (magma) obsahovala kromě křemičitanů i jiné složky, jako např. sloučeniny síry a halogenů. V magmatu byly přítomné i různé plyny, zejména vodní páry, CO, $CO_2$, kyslík, dusík a vodík. Vyvřelé horniny jsou pro stavebnictví velmi důležité a v široké míře se využívají (tab. 4.4).

Vyvřelé horniny se vyznačují:

- vysokou pevností,
- velkou objemovou hmotností od 2600 do 2800 kg .$m^{-3}$,
- nízkou nasákavostí od 0,5 do 1,0 % hmotnosti,
- nízkými tepelně fyzikální vlastnosti (součinitel tepelné vodivosti) od 3,0 do 3,5 $W.m^{-1}.K^{-1}$,
- výbornou mrazuvzdorností specifikovanou 100 až 200 zmrazovacími a rozmrazovacími cykly,
- obtížnou opracovatelností,
- vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebování,
- vysokou odolností vůči působení atmosférických vlivů.

Výjimku z uvedených charakteristických vlastností vyvřelých hornin tvoří pórovité horniny (pemza a perlit), které se svými vlastnostmi podstatně liší od vlastností ostatních vyvřelých hornin.

Podle podmínek tuhnutí magmatu se dělí vyvřelé horniny na:

- vyvřeliny hlubinné, u kterých krystalizace probíhala pomalu (makroskopicky lze v těchto horninách rozeznat všechny hlavní minerály),
- vyvřeliny žilné, magma proniklo do puklin v zemské kůře, kde proběhla poměrně pomalá krystalizace,
- vyvřeliny výlevné, vznikly velmi rychlou krystalizací magmatu (lávy) na povrchu (jsou velmi jemnozrnné až sklovité).

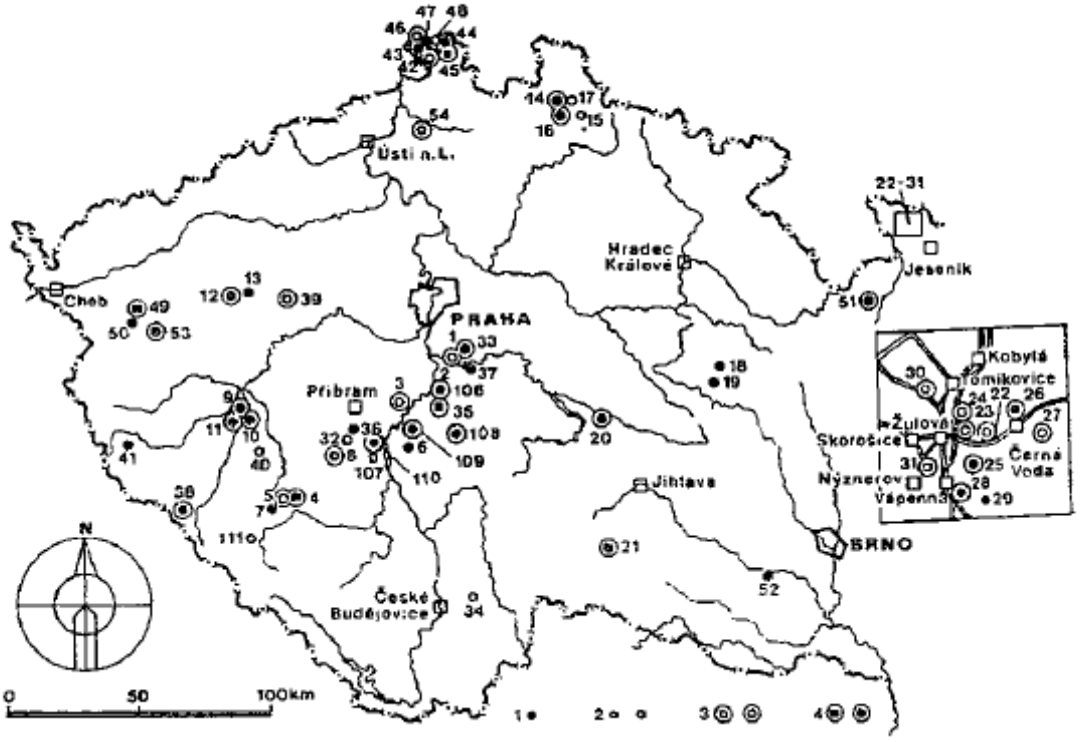
#### 4.1.1.1.1 Hlubinné vyvřelé horniny

Z hlubinných vyvřelých hornin jsou pro stavebnictví nejdůležitější žula (granit), granodiorit, křemenný diorit a syenit.

V ČR hlubinné vyvřeliny tvoří masivní tělesa - např. středočeský pluton o rozloze cca 3300 $km^2$, moldanubický pluton o rozloze cca 3000 $km^2$ a další menší. Zvětráním žuly vzniká písčité eluvium (písčitá zvětralina s velkým obsahem zrn křemene).

Specifické vlastnosti hlubinných vyvřelých hornin jsou:

- dobrá štípatelnost, lze je brousit a leštit (lesk neztrácí ani po dlouhé době),
- kvádrovitá nebo tlustě lavicovitá odlučnost umožňující vylomení objemných bloků a kvádrů.




*Obr. 4.1* Lokality s výskytem vyvřelin vhodných pro výrobu dekoračních obkladů [Čtyřoký, V. aj., 1983]

#### 4.1.1.1.2 Žilné vyvřelé horniny

Žilné vyvřeliny důležité pro stavebnictví jsou zejména:

- *porfyry* (neodštěpené žilné vyvřeliny), mají stejné minerální složení jako horniny hlubinné (žulové porfyry, syenitové porfyry apod.),
- *pegmatit* (odštěpená žilná vyvřelina) obsahující živce a křemen s velikostí krystalů od 3 do 15 cm,
- *aplit* (odštěpená žilná vyvřelina) obsahující křemen a živce v jemnozrnné podobě.

Výlevné vyvřeliny

Výlevné vyvřeliny odvozené od žuly jsou především:

- křemenný porfyr (starší),
- ryolit - liparit (mladší).

Zvláštní druhem výlevné vyvřeliny je *pemza* (velmi pórovité vulkanické sklo), která má nízkou objemová hmotnost (600 až 1200 $kg.m^{-3}$) a nízkou měrnou tepelnou vodivost (0,06 až 0,12 $W.m^{-1}.K^{-1}$).

Samostatnou zmínku se zasluhuje i *perlit*, který se skládá ze sklovitých kuliček (perliček). Perlit s vyšším obsahem vody (okolo 9 %) je schopen při ohřevu zvětšovat desetinásobně až dvacetinásobně svůj objem.

Vybrané druhy vyvřelých hornin, jejich hlavní minerály a použití ve stavebnictví
*Tab. 4.4*

| Název horniny | Hlavní minerály | Použití |
|---|---|---|
| Vyvřelé horniny | | |
| Hlubinné vyvřelé horniny | | |
| žula (granit), granodiorit, křemenný diorit | křemen, živec draselný, plagioklas | stavební kámen, kamenické výrobky (leštěné obkladní desky aj.), drcené kamenivo (plnivo do betonu, kamenivo násypů a zásypů) |
| syenit | živec draselný | stavební kámen, kamenické výrobky, drcené kamenivo (plnivo do betonu, kamenivo násypů a zásypů) |
| diorit (gabrodiorit) | plagioklas | stavební kámen, kamenické výrobky (dekorační desky), drcené kamenivo |
| gabro | plagioklas | kamenické výrobky (dekorační leštěné desky), drcené kamenivo |
| Žilné vyvřeliny neodštěpené | | |
| žulový porfyr (granodioritový porfyrit) | křemen, živec draselný, plagioklas – složení obdobné jako původní hornina (žula) | drcené kamenivo |
| syenitový porfyr | živec draselný – složení obdobné jako původní hornina (syenit) | drcené kamenivo |
| dioritový porfyrit | plagioklas, amfibol, biotit, pyroxen – složení obdobné jako původní hornina (diorit) | drcené kamenivo |
| gabrový porfyrit | plagioklas – složení obdobné jako původní hornina (gabro) | drcené kamenivo |
| Žilné vyvřeliny odštěpené | | |
| pegmatit | křemen, živec | v keramickém průmyslu se živec používá jako tavivo při výrobě keramických směsí, glazur a smaltů; křemen na výrobu skla |
| aplit | křemen, draselné živce | drcené kamenivo, při výrobě technického skla, když aplit neobsahuje turmalín a biotit |
| Výlevné vyvřeliny od žuly | | |
| křemenný porfyr a liparit (ryolit) | křemen, draselný živec | křemenný porfyr (lomový kámen, stavební kámen, drcené kamenivo), liparit (stavební kámen, kamenické výrobky – obkladové desky) |
| pemza | | lehké kamenivo (plnivo do lehkých betonů a k broušení a leštění dřeva a vápenců) |
| perlit | | pro výrobu umělého lehkého kameniva (plnivo do lehkých betonů a tepelněizolačních malt) |
| Výlevné vyvřeliny od syenitu | | |
| trachyt | živec draselný | stavební kámen, na kamenické výrobky (schody, chodníkové desky), na sochařské práce; z trachytových tufů (trasů) se v zahraničí vyráběla náhrada cementu (pojivo do sanačních omítkových směsí) |
| znělec | živec draselný, foidy | drcené kamenivo, lomový a stavební kámen, na kamenické práce (překlady, desky, dlažba), surovina pro výrobu tabulového skla; v zahraničí se ze znělce vyráběl cemolit (mletý znělec) používaný jako náhrada cementu. |
| Výlevné vyvřeliny od dioritu | | |
| porfyrit, andezit | plagioklas | stavební a lomový kámen, drcené kamenivo, na kamenické práce; z andezitových tufů se vyrábělo lehké kamenivo |
| Výlevné vyvřeliny od gabra | | |
| diabas | plagioklas, pyroxen | lomový a stavební kámen, drcené kamenivo |
| čedič | plagioklas, pyroxen, olivín | drcené kamenivo, na kamenické práce (dlažební kostky), minerální rohože (vláknité tepelné izolace); v zahraničí se používá na ochranu břehu vůči účinkům mořské vody; tavený čedič je surovinou pro výrobu čedičových vláken (tepelné izolace) a chemicky odolných dlaždic |

Voda se uvolňuje z krystalové mřížky perlitu a způsobuje expandaci při zahřívání na teploty kolem 1200 ℃. Dochází tím ke vzniku expand ované perlitové drtě, která je oblíbenou stavební surovinou.

Výlevné vyvřeliny od syenitu jsou:
- trachyt,
- znělec (fonolit).

Výlevné vyvřeliny od dioritu jsou:
- porfyrit,
- andezit.

Zvláště významnou výlevnou vyvřelinou (odvozenou od gabra) je *čedič*. Pokud není čedič napaden tzv. bobovým rozpadem, je horninou velmi pevnou (210 až 430 MPa) a houževnatou. Objemová hmotnost čediče se pohybuje od 2700 do 3300 kg .$m^{-3}$ a nasákavost od 0,1 až 0,9 % (hmotnosti).

#### 4.1.1.2 Horniny usazené

Horniny usazené (sedimenty) vznikly usazením, případně následným zpevněním částic zvětraných hornin, zbytků odumřelých živočichů nebo chemickým vysrážením z vodních roztoků. Na rozdíl od vyvřelých hornin je jejich původ sekundární. Podle soudržnosti se sedimenty rozdělují na zpevněné a nezpevněné (v inženýrské geologii se nazývají zeminy).

Usazené horniny se skládají:
- z původních nepřeměněných minerálů vyvřelých hornin (křemen, živce, muskovit),
- z překrystalizovaných novotvarů z bývalých magmatických minerálů,
- z nových sedimentárních minerálů - sedimentární křemen, kalcit, dolomit, siderit,
- jílových minerálů (kaolinit, montmorillonit, illit apod.),
- dalších jako jsou: glaukonit, pyrit, limonit, sádrovec, kamenná sůl, sedimentární zeolity, zbytky organizmů a jejich koster.

Podle vzniku se sedimenty rozdělují na:
- klastické,
- chemické,
- organogenní.

- *Sedimenty klastické* (úlomkovité, mechanické) pocházejí ze starších, zvětralých hornin vyvřelých, usazených i přeměněných.
- Vznikly mechanickým rozpadem hornin a následným nahromaděním těchto úlomků buď na místě, kde došlo k zvětrávání, nebo byl takto vzniklý materiál přemisťován proudící vodou, účinkem gravitace, větrem nebo ledem.
- Přenosem (transportem) byl materiál tříděn podle velikosti úlomků (zrn) a rovněž i delším transportem opracováván (zaoblován). Tam, kde přestala účinkovat transportační síla, materiál sedimentoval.
- Po sedimentaci došlo ke vzniku nové horniny tj. k diagenezi (zpevnění hornin).

- *Sedimenty chemické* vznikly vysrážením (vyloučením) nebo krystalizací látek obsažených většinou ve vodě. Z pohledu stavebních materiálů jsou důležitou surovinou pro výrobu stavebních materiálů, ale používají se také jako složky stavebních materiálů (kamenivo) i přímo jako stavební materiály.
- *Sedimenty organogenní nehořlavé* jsou složeny především z uhličitanu vápenatého (kalcitu, aragonitu), uhličitanu vápenatohořečnatého (dolomitu) nebo křemene (opálu, chalcedonu). Podle toho se dělí na organogenní sedimenty karbonátové (vápence, dolomity) a organogenní sedimenty křemité (silicity).
- *Sedimenty organogenní hořlavé* (kaustobioloty) obsahují vysoký obsah uhlíku vlivem prouhelňovacích procesů (rašelina, hnědé uhlí, černé uhlí, antracit).

Charakteristické vlastnosti usazených hornin:

- vrstevnatost, která vznikla v důsledku změn v rychlosti usazování a tlaku horních vrstev,
- pórovitost (usazené horniny jsou zpravidla pórovitější než horniny vyvřelé, a proto mají nižší objemovou hmotnost a pevnost v tlaku a vyšší nasákavost),
- nižší trvanlivost v porovnání s většinou vyvřelých hornin,
- pestrost vlastností (vlastnosti usazených hornin se mění v širokém rozmezí, protože usazené horniny jsou velmi různorodé ).




*Obr. 4.2* Lokality s výskytem sedimentů a mramorů vhodných pro výrobu dekoračních obkladů [Čtyřoký, V. aj., 1983]

#### 4.1.1.2.1 Klastické sedimenty

Klastické sedimenty se rozdělují podle velikostí částic, z nichž jsou složeny. Proto také mezi nezpevněné klastické sedimenty patří všechny sypké horniny s velikostí zrn větší než 0,002 mm, tj. písky, štěrky, spraše, prachové hlíny a jílovité horniny, které mají více než 50 % zrn větších než 0,002 mm (jíly).

Druhy klastických sedimentů podle velikosti zrn *Tab. 4.5*

| Velikost zrn (mm) | Název | Označení zrnitosti |
|---|---|---|
| menší než 0,002 | jíl | jílová (pelitická) |
| 0,002 – 0,063 | prach | prachová (aleuritická) |
| 0,063 – 0,25 | písek jemný | jemně psamitická |
| 0,25 – 1,0 | písek střední | středně psamitická |
| 1,0 – 2,0 | písek hrubý | hrubě psamitická |
| 2,0 – 8,9 | štěrk drobný | drobně psefitická |
| 8,9 – 32,0 | štěrk střední | středně psefitická |
| 32,0 – 128,0 | štěrk hrubý | hrubě psefitická |
| 128,0 – 256,0 | kameny | kamenitá |
| větší než 256,0 | balvany | balvanitá |

- Nezpevněné psefity mohou být zaoblené, pokud vznikaly působením tekoucí vody při transportu. K takovýmto psefitům patří štěrky, složené podle stupně zaoblení z valounů různých hornin obsahujících písčitou příměs (štěrkopísky).
- K ostrohranným nezpevněným psefitům patří kamenité sutě a skalní moře pokrývající skalní svahy. Při úpatí svahů přecházejí kamenité sutě v sutě kamenohlinité.
- Zpevněné psefity jsou různé slepence a brekcie.
- Mezi nezpevněné psamity patří písky, zpevněné psamity jsou pískovce, křemence, arkózy a droby.
- Reprezentantem aleuritů jsou spraše.

Pelity jsou horniny složené převážně z jílových minerálů. Podle míry jejich zpevnění se dělí na jíly (nezpevněné jílové sedimenty), jílovce (středně zpevněné pelitické sedimenty) a jílovité břidlice (silně zpevněné sedimenty).
Z výše uvedených sedimentárních hornin jsou pro stavebnictví nejdůležitější následující sypké horniny:

- *Štěrky (nezpevněné psefity)*
  - tvoří úlomky hornin velikosti 2 až 60 mm (v technologii betonu se pod pojmem štěrk označuje hrubé kamenivo s velkostí zrn 4 až 125 mm),
  - zrna štěrku jsou většinou zaoblená v důsledku dlouhého unášení vodou,
  - podle původu může být štěrk říční, jezerní, mořský,
  - kvalita štěrků závisí na složení a vlastnostech hornin, ze kterých vznikly.

  Obyčejně bývají štěrky složené z úlomků křemene, křemenců, krystalických břidlic, vápence, dolomitu a křemitých hornin. Jejich kvalita proto může značně kolísat. Objemová hmotnost štěrků se pohybuje v rozsahu 1900 až 2100 kg.m$^{-3}$.

- *Štěrkopísky (název dle technické terminologie)*
  - směs štěrku a písku,
  - nesmějí obsahovat jílovité, hlinité, organické a chemické příměsi, neboť mohou podstatně snížit kvalitu betonu, především jeho pevnost.

Štěrkopísky musí vyhovovat z hlediska zrnitosti, mezerovitosti, tvaru zrn, pevnosti, nasákavosti a mrazuvzdornosti. Zrnitost přírodních štěrkopísků často nevyhovuje, a proto se upravují tříděním a drcením.

- *Písky (nezpevněné psamity)*
  - písky tvoří úlomky hornin s velikostí od 0,06 až 2,00 mm (v technologii betonu se pod názvem písek rozumí drobné kamenivo s velikostí zrn 0,05 až 4 mm).
  - Složení písku je závislé na tom, ze kterých hornin písek vznikl a jak daleko byl transportován, v píscích obvykle převládají minerály (křemen, muskovit, živce). Podle velikosti zrn se dělí písky na jemnozrnné se zrny 0,05 až 0,25 mm, na střednězrnné 0,25 až 0,5 mm, hrubozrnné nad 0,5 mm.
  - Technické vlastnosti písků jsou závislé na velikosti zrn, na jejich petrografické povaze a na příměsích (jílovitá příměs není vhodná pro využití písků ve stavebnictví, stejně jako větší množství slídy).
  - Objemová hmotnost písku se pohybuje v závislosti na jeho původu od 1750 do 2000 kg $.m^{-3}$ a sypná hmotnost od 1300 do 1700 kg $.m^{-3}$.
  - Vlastnosti písku jsou podstatně ovlivněny jeho vlhkostí. Na vlhkosti písku je závislá i jeho objemová a sypná hmotnost.
  - Podle složení se rozeznávají písky:
    - *monominerální* (obsahují úlomky jediného minerálu),
    - *polyminerální* (obsahují zrna různých minerálů).

Podle původu se rozlišují písky:

- kopané, jsou ostrohranné, obvykle znečištěné příměsemi hlín a jílů,
- říční (jezerní), mají zaoblená zrna a jsou poměrně čisté.




*Obr. 4.3* Lokality s ložisky sklářských písků [Čtyřoký, V. aj., 1983]

Ve funkci stavebního kamene se uplatňují následující usazené horniny.

- *Pískovce (zpevněné psamity)*
  - skládají se nejčastěji z křemenných zrn spojených různým tmelem (křemitý, vápnitý, kaolinický, železitý, jílovitý atd.),
  - na stavební účely jsou vhodné pískovce s tmelem křemitým, vápnitým, případně kaolinitickým , které mají pevnost v tlaku od 30 do 70 MPa,
  - barva pískovců se řídí většinou podle povahy tmelu, $CaCO_3$ dává pískovcům bělavé zabarvení, při obsahu $Fe_2O_3$ mají pískovce barvu červenavou, hydroxid železa je zabarvuje do hněda.

- *Křemence (zpevněné psamity)*
  - jsou velmi kvalitní monominerální křemenné pískovce stmelené křemitým tmelem,
  - jsou velice odolné vůči zvětrávání,
  - jsou tvrdé, ale křehké,
  - jsou málo obrusné.

Objemová hmotnost křemenců se pohybuje od 1900 do 2600 kg . $m^{-3}$, pevnost v tlaku činí120 až 240 MPa, nasákavost 0,3 až 1,3 % hmotnostních.

- *Arkózy (zpevněné psamity)* jsou vlastně polyminerální pískovce:
  - na rozdíl od pískovců obsahují arkózy vedle zrn křemene podstatné množství živců (živec draselný),
  - s křemito-kaolinickým tmelem jsou pevné a poměrné dobře vzdorují povětrnostním vlivům.

- *Droby (zpevněné psamity):*
  - skládají se z křemene, živce (plagioklasů) a úlomků dalších hornin,
  - velikost zrn u drob způsobuje, že přecházejí při hrubší frakci do drobových slepenců a při jemnější frakci do drobových břidlic,
  - tmel mají křemitý, jílovitý, vápnitý (hodí se na dlažební kostky).

- *Opuky (patří mezi písčité slínovce):*
  - jsou pevné,
  - obvykle to jsou bělošedé nebo žlutavě šedé horniny (je z nich postavena bazilika sv. Jiří na Pražském Hradě a z části také Týnský chrám na Starém Městě).

Především jako cihlářské či keramické suroviny se uplatňují následující horniny:
- Spraše (nezpevněné aleurity) jsou surovinou pro cihlářský průmysl.
- Jíly (nezpevněné pelity)
  - obsahují více než 50 % částic menších než 0,002 mm,
  - nositelem charakteristických vlastností jílů a hlavní funkční složkou jsou jílové minerály (hydratované křemičitany hlinité).

Specifickou vlastností jílů je schopnost přijímat značné množství vody (schopnost sorpce) a s tím spojená plasticita a tvárnost, bobtnavost (při vysychání se jíly opět smršťují).

Dělení jílových minerálů:

- skupina kaolinitová (hlavní minerál kaolinit),
  - vyznačuje se žárovzdorností;
- skupina montmorillonitová (převládajícím minerálem je montmorillonit),
  - patří sem bentonit s obsahem montmorillonitu až 90 %,
  - vysoce plastické,
  - nízká žárovzdornost;
- skupina illitová
  - illity se blíží svým složením světlé slídě (muskovitu);

- Jílovec a jílovité břidlice (zpevněné jílovité sedimenty)
  - jílovce (v technické praxi se jílovce zpravidla označují jako lupky) mají stejné mineralogické složení jako jíly a hlíny, liší se od nich kompaktností a někdy i větší odolností proti vodě (nerozplavují se),
  - v jílovitých břidlicích je část jílových minerálů překrystalizovaná, proto jsou pevné a ve vodě se nerozplavují.

#### 4.1.1.2.2 Sedimenty chemické

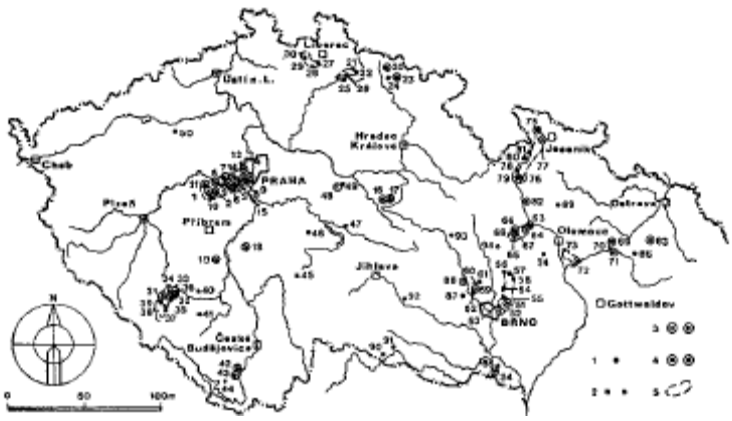
K chemickým sedimentům významným z hlediska výroby stavebních materiálů patří především sádrovec $CaSO_4 . 2H_2O$ a anhydrit $CaSO_4$ (solné sedimenty), které jsou surovinami pro výrobu pojiv. Sádrovec (vodnatý síran vápenatý $CaSO_4 . 2H_2O$) a anhydrit (bezvodý síran vápenatý $CaSO_4$) se vyskytují vždy společně. K chemickým (karbonátovým) sedimentů se řadí travertin ($CaCO_3$), ze kterého se vyrábějí exteriérové i interiérové obklady. Při exteriérovém použití je náchylný k zašpinění.

#### 4.1.1.2.3 Sedimenty organogenní nehořlavé

Sedimenty vzniklé v souvislosti s činností živých organismů jsou především vápence.

- Vápenec (typický)
  - obsahuje více než 50 % $CaCO_3$ a může obsahovat různé příměsi (písčité, jílovité, křemičité a dolomitické),
  - pevnost v tlaku od 60 do 160 MPa.
- Dolomit, uhličitan vápenatohořečnatý ($CaCO_3.MgCO_3$) má vyšší pevnost a odolnost proti zvětrávání než vápenec.

- Křemelina (diatomit)
  - práškovitá hmota (amorfní kyselina křemičitá),
  - pórovitost až 80 % (objem pórů je 5x až 6x větší než objem vlastní hmoty),
  - žárovzdorná a odolná proti povětrnostním vlivům.




*Obr. 4.4* Lokality ložisek vápence písků [Čtyřoký, V. aj., 1983]

Objemová hmotnost křemeliny se pohybuje od 300 do 500 $kg.m^{-3}$, s vysokou pórovitostí je spojen nízký součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ = 0,05 až 0,08 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Používala se k výrobě tepelně izolační prvků.

#### 4.1.1.2.4 Sedimenty organogenní hořlavé (kaustobiolity)

Kaustobiolity mají pro stavebnictví význam především jako chemické a energetické suroviny (přímé stavební použití přírodního asfaltu je dnes již omezené).

Hlavní skupinu tvoří živice (horniny organogenního původu, vzniklé rozkladem tuků a bílkovin mořských organismů za nedokonalého přístupu vzduchu). Mezi kapalné živice patří ropa (směs plynných, kapalných a tuhých uhlovodíků). Mezi pevné živice patří přírodní asfalt.

### 4.1.1.3 Horniny přeměněné (metamorfované)

Metamorfované horniny vznikly strukturní nebo minerální přeměnou vyvřelých, usazených i již dříve metamorfovaných hornin, a to pod vlivem působení teplotních, tlakových či chemických procesů.

Při přeměně vyvřelých hornin se jejich původní fyzikální a mechanické vlastnosti většinou zhoršily.

Naopak přeměnou usazených hornin se jejich fyzikální vlastnosti zlepšily, protože přeměnou se staly kompaktními horninami.

Přeměněné horniny se na stavební účely používají méně než ostatní druhy hornin. Značné množství těchto hornin se při drcení rozpadá na tenké ploché kusy. Jde o charakteristickou vlastnost přeměněných hornin (břidličnatost).

Dalším důvodem proti přímému používání přeměněných hornin pro stavební účely jsou jejich velmi proměnlivé vlastnosti. Závisejí nejen na tom, z jakých hornin vznikly, ale i na stupni přeměny. Některé z přeměněných hornin se však používají jako suroviny na výrobu stavebních materiálů.

Vybrané druhy usazených hornin a použití ve stavebnictví *Tab.4.6*

| Hornina | Použití |
|---|---|
| Klastické usazené horniny | |
| Písky | Plnivo do malt a betonů a surovina při výrobě pórobetonů. |
| | Monominerální křemenný písek je základní sklářská surovina, ostřivo do keramických výrobků a surovina pro výrobu vápenopískových cihel. |
| | Dolomitový písek je sklářskou surovinou. |
| Pískovce | Stavební, sochařský, dekorační kámen. |
| Křemence | Vyrábějí se z něho dlažební kostky (kočičí hlavy), obrubníky, drcené kamenivo (silniční a železniční štěrk). Některé druhy křemenců jsou důležitou surovinou pro výrobu žáruvzdorného dinasu. |
| Arkózy | Stavební a lomový kámen (Karlův most, Národní divadlo, chrám sv. Víta) a surovina pro kamenické práce (obklady). |
| Droby | Výroba silničního a železničního štěrku, výroba dlažebních kostek, obrubníků. |
| Štěrky | Kamenivem do násypů (silničních a železničních), spolu s pískem je plnivem do betonů. |
| Štěrkopísky | Kamenivo do betonů. |
| Jíly – skupina kaolinitová | Surovina pro keramický průmysl, při výrobě šamotu, kameniny, při výrobě barev, výrobě bílého cementu. Jíly vhodné k expandaci (výroba liaporu). |
| Jíly – skupina montmorillonitová | Těsnicí materiál podzemních staveb, který se používá se k injektování pórovitého materiálu (z důvodu své vysoké bobtnavosti – schopnosti sorbce) a vodotěsnosti. |
| | Dříve jako hydroizolace historických staveb, přísada do keramických hmot, jako náhrada pažení při betonáži milánských stěn. |
| Jíly – skupina illitová | Vermiculit je surovinou pro výrobu tepelněizolačních materiálů vylehčených stavebních hmot a používá se jako tepelná i zvuková izolace. |
| Jílovec a jílovité břidlice | Jílovce jsou surovinou při výrobě keramických výrobků, šamotu a expanditu a v kombinaci s vápenci jsou jednou ze základních surovin na výrobu cementu. |
| | Jílovité břidlice slouží i jako surovina na výrobu cihlářského zboží a jako přísada do vápenců při výrobě cementu. |
| Opuka | Kamenické výrobky (hlazené dlaždice určené k rekonstrukcím historických budov) a stavební kámen. |
| Pokrývačské břidlice | Surovina pro výrobu střešní krytiny (Karlštejn) a pro výrobu lehkého kameniva (expanditu). |
| Chemické usazené horniny | |
| Travertin | Dekorační kámen na vnitřní obklady (trvalý lesk a vzhled). Při použití na venkovní části budov ztrácí rychle barvu i lesk a špiní se. |
| Sádrovec a anhydrit | Sádrovec je surovina pro výrobu sádry, při výrobě skla, keramických výrobků a barev a jako přísada do cementů. Čistý bílý sádrovec se používá jako dekorační kámen. Anhydrit se používá na výrobu anhydritové sádry. |
| Vápenec | K výrobě cementu a vápna, stavební, štěrkový a lomový kámen a k výrobě dlažební chodníkové mozaiky, v hutnictví a při výrobě kysličníku uhličitého a ve sklářství. |
| Bauxit | K výrobě hliníku, hlinitanového cementu, žáruvzdorných výrobků a brusných materiálů. |
| Dolomity | Surovina pro výrobu dolomitického vápna, skla, žáruvzdorných výrobků a teracové drti. Štěrkový a lomový kámen. |
| Magnezit | Surovina pro výrobu žáruvzdorných výrobků a při výrobě porcelánu, kameniny a Sorelovy hořečnaté maltoviny. |
| Křemelina (diatomity) | K výrobě tepelně- a zvukověizolačních materiálů, přísada při výrobě pucolánových cementů. |
| Organogenní usazené horniny | |
| Živice | K výrobě plastů, umělých asfaltů, jako surovina pro chemický průmysl. |

Migmatity (smíšené horniny) patří mezi přeměněné horniny. Mají zčásti charakter horniny přeměněné i horniny vyvřelé.

Metamorfity se během přeměny přizpůsobily svým mineralogickým složením i celkovou strukturou. Metamorfity se tedy od migmatitů liší druhem a stupněm přeměn.

Charakteristické vlastnosti přeměněných hornin jsou:
- břidličnatost,
- pevnost v tlaku od 60 do 300 MPa v závislosti na druhu horniny, na směru zjišťování (pevnost v tlaku je vyšší ve směru kolmém na břidličnatost),
- hutnost (nízká pórovitost),
- mrazuvzdornost.

Druhy přeměny hornin:
- přeměna dislokační (mechanická),
- přeměna šoková,
- přeměna kontaktní (dotyková),
- přeměna regionální (oblastní).

#### 4.1.1.3.1 Přeměna dislokační

Při dislokační přeměně se uplatnil hlavně jednosměrný tlak (stress) působící při vrásnění a horotvorných pochodech ve svrchních částech zemské kůry. Docházelo při ní k mechanickému porušení horninových součástí, k jejich drcení a tím i k porušení celkové struktury horniny. Při silnějším působení stressu byly horniny postiženy drcením, velmi silné drcení se nazývá katakláza.

#### 4.1.1.3.2 Přeměna šoková

Šoková přeměna postihla většinou sedimenty (jíly, slíny, jílovce, slínovce, lupky). Při samovznícení uhelných slojí byly pelitické usazené horniny v okolí slojí metamorfovány na porcelanity.

#### 4.1.1.3.3 Přeměna kontaktní

Kontaktně metamorfované horniny se vyskytují v místech styku s horninami vyvřelými. Nejblíže ke kontaktu (styku) a na kontaktu vznikly kontaktní rohovce, které jsou velmi houževnaté a pevné. Ze slínitých hornin (slíny, slínité břidlice, slínovce) vznikají kontaktní přeměnou vápenatosilikátové erlány, které jsou velmi pevné a houževnaté horniny.

Kontaktní přeměnou mohly být postiženy i vápence, přeměnou získaly na zrnitosti a řadí se ke krystalickým vápencům neboli mramorům.

#### 4.1.1.3.4 Přeměna regionální

Regionální přeměna postihovala celé oblasti (regiony), vznikající horniny se souhrnně označují krystalickými břidlicemi (jsou výrazně břidličnaté).

Metamorfózou sedimentárních hornin vznikly parabřidlice, metamorfózou vyvřelin ortobřidlice.

Specifické vlastnosti a použití přeměněných hornin *Tab. 4.7*

| Hornina | Použití (specifické vlastnosti) |
|---|---|
| Přeměna šoková | |
| Porcelanity | Surovina pro keramický průmysl a pro výrobu omítkových směsí. (Vyznačují se rozpukaností a velkým množstvím mikropórů.) |
| Přeměna dotyková (kontaktní) | |
| Kontaktní rohovce a erlány | Surovina pro výrobu štěrku. (Jsou pevné a houževnaté). |
| Přeměna regionální (oblastní) | |
| Fylity | Surovina pro výrobu pokrývačské břidlice (tence štípatelné a rovnoploché fylity) a kamenické práce (obkladové a dlažební desky). Drcené fylity se přidávají do umělých omítek a používají se jako posyp na střešní lepenky. Jsou dokonale břidličnaté (některé se štípají na pokrývačské břidlice), mají typický stříbřitý nebo hedvábný lesk. |
| Ortoruly | Surovina pro výrobu stavebního kamene a štěrku. Kaolinizací rul vzniklý kaolin je surovinou pro výrobu hrubé keramiky. |
| Granulity | Surovina pro výrobu stavebního kamene, štěrku a pro kamenické práce (dlažební kostky, desky, patníky). |
| Amfibolity | Surovina pro výrobu štěrku a kamenivo do těžkých betonů, lokálně se používá na kamenické práce (dlažební mozaika). Jsou velmi pevné a houževnaté horniny. Břidličnatost u amfibolitů kolísá mezi nevýraznou a výraznou. |
| Serpentinity (hadce) | Surovina pro kamenické práce (dekorační kámen), pro výrobu suchých maltových směsí, teraca a štěrku. Dříve byl azbest surovinou pro výrobu azbestocementových krytin, tepelněizolačních vložek, nátěrových látek, ohnivzdorných tkanin. Je dobře řezatelný a leštitelný. Dnes je používání azbestu jako suroviny pro výrobu stavebních materiálů zakázáno pro jeho zdravotní škodlivost. |
| Mramor | Surovina pro výrobu suchých omítkových směsí a pro výrobu teraca (směs mramorové drti s drti z hadců). Surovina pro kamenické, sochařské a dekorační a práce. Jsou hutné, mají vysokou pevnost v tlaku (až 300 MPa) a jsou dobře opracovatelné, brousitelné a leštitelné. Jejich nevýhodou je, že ztrácejí na vzduchu lesk (slepnou). |

### 4.1.2 Stavební kámen

Stavebním kamenem rozumíme horninu vhodných fyzikálních, chemických a technologických vlastností, s přihlédnutím k vlastnostem estetickým, která byla cílevědomě člověkem vytěžena z přirozeného prostředí a v původní či opracované podobě použita jako konstrukční prvek různých druhů staveb.

Kámen se jako stavební materiál používá po řadu tisíciletí. Během času se mění jen jeho úloha a význam. Nejprve byl používán zejména jako konstrukční stavební hmota, později stále více jako prostředek k vyjádření závažnosti stavby.

V pravěku se stavělo z kamenů menších rozměrů, které byly kladeny nasucho na sebe a vedle sebe bez pojiva. U staveb megalitických (dolmeny, menhiry a kromlechy) se již projevuje snaha po znázornění společenské závažnosti stavby použitím kamenů značných rozměrů.

Ze starověkých kamenných staveb jsou nejznámější egyptské pyramidy. Tyto stavby se vyznačují značnými rozměry, důraz je kladen na ohromující velikost, přičemž vnitřní prostor je v porovnání s objemem stavebního kamene zanedbatelný.

Jednotlivé stavební kameny mají tvar kvádru přibližně krychlového tvaru o hraně 1 m. Jsou dobře opracovány a kladeny bez jakéhokoliv pojiva.

Na rozdíl od pyramid jsou v chrámech vytvářeny především vnitřní prostory. Veškeré konstrukce – zdi, sloupy i zastropení – jsou z přírodního kamene. Stropy jsou zde tvořeny kamennými deskami uloženými na architrávech.

Neméně známé jsou stavby Inků na jihoamerickém kontinentě soustředěné zejména v jižní oblasti Peruánských And kolem města Cusco. Nejslavnější památkou je pevnost Sacsayhuamán ležící nad Cuscem. Podle současných názorů byla chrámovým komplexem, který však sloužil i jako opevnění. Tajemstvím jsou opředené obří kamenné bloky precizně opracované do tvaru nepravidelných mnohohranů, dokonale do sebe zaklíněných bez jediné skulinky. Kyklopské zdivo je zajímavé především systémem, jak jsou do sebe kamenné bloky zaklíněny.

Některé velké kameny jsou tvarově až násilně upraveny tak, aby do nich přesně zapadaly vyčnívající hrany kamenů okolních. Spáry mají nepatrné rozměry, vše dokonale přiléhá, a to vše při rozměrech, kdy jednotlivé kameny váží více než 300 t.



*Obr. 4.5* Pevnost Saqsayhuamán v Peru, kamenné bloky tvořící opevnění

Mnoho nových stavebních technik začali používat Řekové a Římané. Zatímco architrávový systém je typický pro řecké stavitele, Římané již používali klenutí. V první fázi klenbu používali u mostů a akvaduktů, později i k zaklenutí obrovských vnitřních prostorů (např. Pantheon). K opracování kamene již používali železné nástroje, kámen byl ve zdivu provázán, případně spojen na rybinu, nebo kovovými skobami a hmoždíky. Používaly se obklady z kvádrů a desek, zdi a podlahy byly často pokryty kamennou mozaikou [Syrový, B., 1984].

Jak lze kámen tvarovat a konstrukčně využít ukázala v plném rozsahu gotika. Architrávové konstrukce byly v této době překonány. Z přírodního kamene byly budovány vysoké katedrály, zaklenuté kamenem a šikmé tlaky byly zachyceny v opěrných obloucích a pilířích stojících mimo stavbu. V gotické konstrukci je kámen namáhán výhradně tlakovými silami a tak využívána jeho typická přednost oproti ostatním, tehdy známým stavebním materiálům.

V novodobé architektuře se již přírodní kámen nepoužívá jako konstrukční materiál na kamenné konstrukce do té míry jako dříve. Jako konstrukční materiál nemůže konkurovat betonu a oceli, avšak je téměř nenahraditelný, pokud jde o vyjádření jedinečného výrazu vznešenosti a závažnosti stavby.

#### 4.1.2.1 Lomařské a kamenické výrobky

Dlouhodobým používáním a zkušenostmi získanými při opracování se u kamene dospělo k představě o tvarovatelnosti a tvarové únosnosti. Každé hmotě odpovídá určitý způsob tvarování, který je pro ni charakteristický. Není možné vytesat stejný tvar do kamene všech druhů, právě tak, jako nelze všechny kameny leštit. Při zpracování přírodního kamene by se mělo dbát na to, aby se výrazně uplatnily jeho charakteristické vlastnosti.

Využití kamene ve stavebnictví je založeno na jeho některých výhodných vlastnostech, především velké hutnosti a pevnosti v tlaku, odolnosti proti působení povětrnosti, mikroorganismů, ohni, na jeho velké trvanlivosti a na možnostech estetického působení různých tvarů a povrchových úprav.

Vytěžený kámen se upravuje a opracovává podle účelu, ke kterému má být použit. Lomařské výrobky jsou buď v původní formě – neopracované, nebo hrubě opracované. Kamenické výrobky se nejprve opracují hrubě a dále následuje opracování jemné, prováděné ručně nebo strojem.

Úprava povrchu kamene i jeho tvarování jsou do značné míry závislé na složení jeho hmoty a na její skladbě. Kameny složené z přibližně stejnorodých a stejně tvrdých částic se dají leštit. Tuto technologii má smysl použít pouze u materiálů, u nichž je předpoklad, že mají schopnost odolávat určitou dobu opotřebení a svůj lesk si udržet. Jsou to mramory, žuly, syenity, porfyry, diabasy, hadce, alabastry atd.

Technické vlastnosti některých hornin *Tab. 4.8*

| Hornina | Objemová hmotnost ($kg.m^{-3}$) | Tvrdost podle Mohse | Pevnost v tlaku (MPa) | Pevnost v ohybu (MPa) | Nasákavost (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Magmatické horniny | | | | | |
| Žula | 2 600 – 2 800 | 6 – 7 | 120 – 240 | 10 – 35 | 0,2 – 1,2 |
| Diorit | 2 700 – 3 000 | 6 – 7 | 135 – 215 | 20 – 40 | 0,2 – 07 |
| Gabro | 2 800 – 3 100 | 6 – 7 | 150 – 225 | 25 – 60 | 0,2 – 0,5 |
| Syenit | 2 500 – 2 900 | 6 – 7 | 150 – 200 | 10 – 20 | 0,2 – 0,5 |
| Čedič | 2 050 – 3 000 | 6 | 250 – 400 | 15 – 25 | 0,1 – 0,3 |
| Trachyt | 2 400 – 2 900 | 6 – 7 | 60 – 70 | | 1 – 2 |
| Diabas | 2 800 – 2 980 | 6 | 120 – 220 | 20 – 45 | 0,1 – 0,8 |
| Porfyr, porfyrit | 2 550 – 2 650 | 6 – 7 | 70 – 210 | 15 – 30 | 0,2 – 1,5 |
| Sedimentárne horniny | | | | | |
| Pískovec – $SiO_2$ | 2 000 – 2 400 | proměnlivá | 30 – 80 | 3,8 | 4,0 – 8,5 |
| Vápenec | 2 600 – 2 850 | 3 | 40 – 180 | 10 – 25 | 0,2 – 0,6 |
| Dolomit | 2 650 – 2 850 | 3,5 | 100 – 200 | 12 – 25 | 0,2 – 0,6 |
| Břidlice | 2 600 – 2 750 | 7 | 100 – 190 | 30 – 100 | 0,3 – 1,5 |
| Metamorfované horniny | | | | | |
| Rula | 2 650 – 2 750 | 6 – 7 | 120 – 250 | 24 – 50 | 0,1 – 1,2 |
| Křemenec | 2 500 – 2 700 | 7 | 300 | | 0,5 |
| Amfibolit | 2 700 – 3 100 | 6 | 170 – 280 | | 0,1 – 0,4 |
| Mramor | 2 700 – 2 800 | 3 | 75 – 145 | 12 – 26 | 0,2 – 1,0 |

Kameny složené z různorodých částic je možné upravit broušením (leštit se nedají). Sem patří např. droby, pískovce, opuky, trachyty, ryolity apod. Zpracování hladkých ploch a přesných hran je závislé na velikosti zrn a jakosti tmele mezi zrny. Při opracování a tvarování přírodního kamene je vždy důležité dodržovat omezení, která vyplývají z jeho skladby.

Z hlediska možnosti použití povrchových úprav se horniny v kamenické výrobě dělí podle ČSN 72 1800:

- skupina I – horniny magmatické (vyvřelé):

hlubinné světlé – hlubinné horniny převážně světlejšího zabarvení (granitoidy, syenitoidy) s objemovou hmotností menší než 2,8 $g.cm^{-3}$,

hlubinné tmavé – hlubinné horniny převážně tmavé barvy s objemovou hmotností větší než 2,8 $g.cm^{-3}$,

výlevné hutné – výlevné horniny s objemovou hmotností větší než 2,5 $g.cm^{-3}$,

výlevné pórovité – výlevné horniny s objemovou hmotností do 2,5 $g.cm^{-3}$,

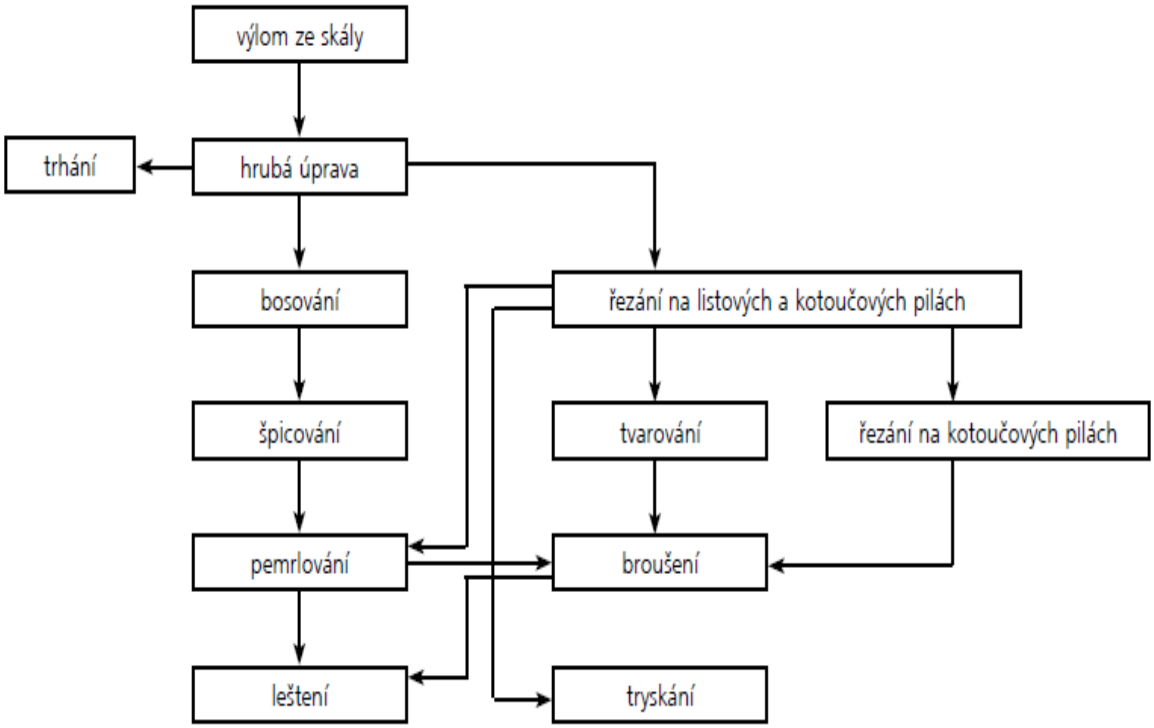
- skupina II – horniny sedimentární (usazené):

klastické hutné – s objemovou hmotností větší než 2,5 g.cm$^{-3}$,
klastické pórovité – s objemovou hmotností do 2,5 g.cm$^{-3}$,
klastické vrstevnaté odlučné podle souběžných ploch (štípatelné),
karbonátové horniny pórovité – s objemovou hmotností do 2,6 g.cm$^{-3}$,
karbonátové horniny hutné – s objemovou hmotností větší než 2,6 g.cm$^{-3}$,

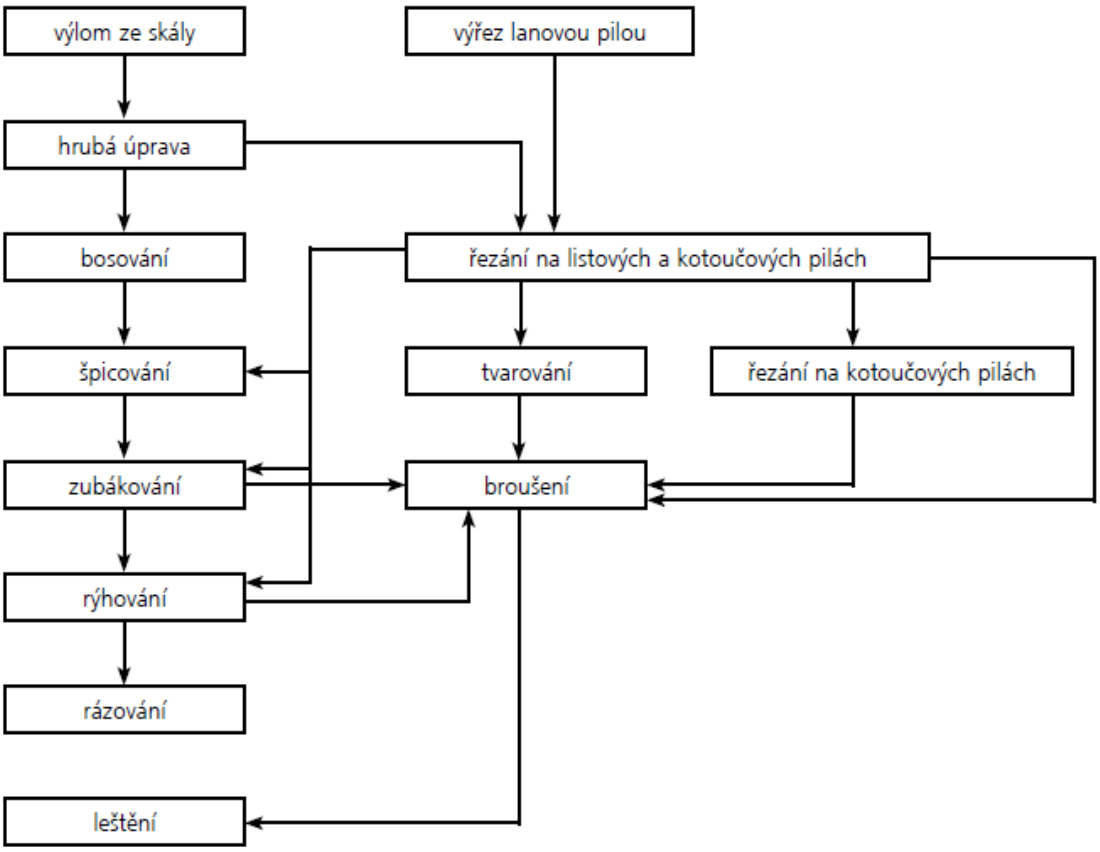
- skupina III – horniny metamorfované (přeměněné):

karbonátové horniny – krystalické vápence (mramory) a přeměněné horniny řady vápenec – dolomit,
silikátové – horniny vzniklé metamorfózou silikátových hornin
břidlice – metamorfované horniny odlučné podle souběžných ploch (štípatelné).

Přehled povrchových úprav výrobků z přírodních a konglomerovaných kamenů včetně nástrojů a technologických zařízení k provádění těchto úprav uvádí technická norma Svazu kameníků a kamenosochařů z roku 1992 [TNKS 01/1992].

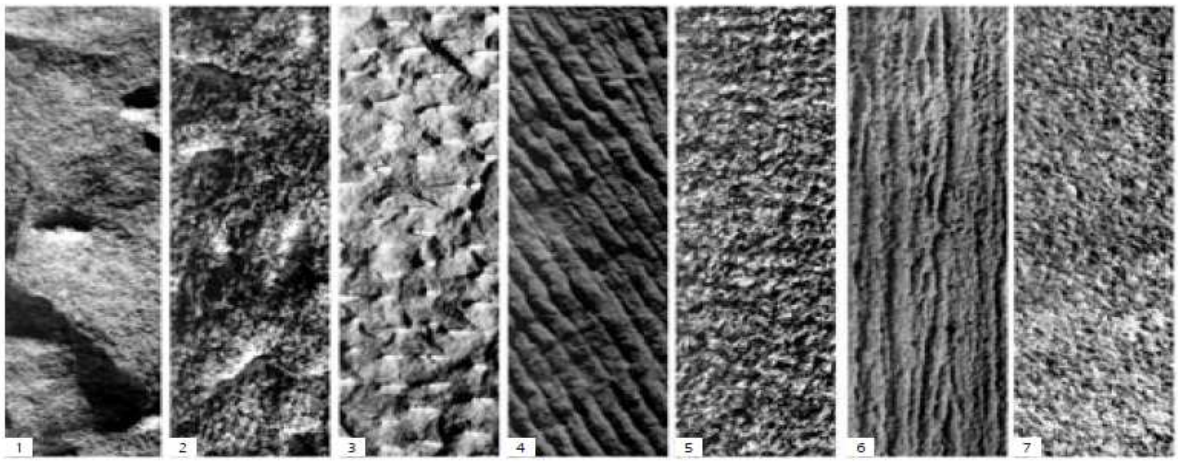



*Obr. 4.6* Schéma opracování tvrdých kamenů (vyvřeliny a tvrdé pískovce)




*Obr. 4.7* Schéma opracování měkkých kamenů (měkkých pískovců, opuky, mramoru, travertinu)

Kromě uvedených postupů se u hornin s vysokým obsahem křemene používají technologie využívající vysokých teplot – termické řezání (propalování) bloků účinkem plamene o vysoké teplotě a termické opracování povrchu plamenem.




*Obr. 4.8* Příklady povrchových úprav přírodního kamene

1 – hrubě trhaná, 2 – bosovaná, 3 – jemně špicovaná, 4 – zubovaná, 5 – pemrlovaná, 6 – řezaná, 7 – broušená

Kritéria pro pojmenování přírodního kamene od suroviny až po hotové výrobky jsou předmětem normy ČSN EN 12440.

V normě je uveden neúplný seznam tradičních názvů evropských přírodních kamenů a jejich petrografické zařazení. Přírodní kámen je specifikován: svým tradičním názvem, petrografickým zařazením, charakteristickou barvou a místem původu. Petrografický popis přírodního kamene má význam nejen pro petrografické zařazení, ale i pro zdůraznění jevů ovlivňujících jeho vlastnosti. Rovněž může být důležité stanovení zdrojové oblasti zejména v případě restaurování památek.

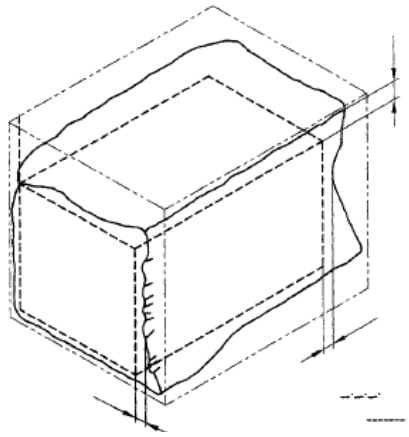
Petrografické zařazení se provádí na základě makroskopického a mikroskopického zkoumání, případně i chemického rozboru nebo rozboru RTG difrakcí. (ČSN EN 12407 a ČSN EN 12670).

#### 4.1.2.1.1 Kamenné bloky

Kamenné bloky vznikají přímo v lomu buď jako přímý produkt dobývání kamene z horninového masivu, nebo mají tvar hrubě upravený (zpravidla čtyřboký hranol) bez záměrné úpravy povrchu. Jejich rozměry jsou dány možnostmi ložiska a potřebami navazující výroby.

ČSN EN 12670 definuje hrubý neopracovaný blok jako základ využitelného kamene tvořený horninou z lomu nebo volně ležících balvanů. Rozeznává:

- hrubý blok určité velikosti (formátovaný blok kamene o určitých rozměrech),
- beztvarý neopracovaný blok (nemající pravidelný tvar a velikost),
- opracovaný hrubý blok (přibližně odpovídá rovnoběžnostěnu).
- Všechny strany pravoúhlého hrubého bloku musí být přibližně ploché, pravoúhlé a rovnoběžné. Místní odchylky od tvaru rovnoběžnostěnu jsou povoleny.



*Obr. 4.9 Hrubá a komerční velikost hrubého bloku (ČSN EN 1467)*

Při těžbě bloků z přírodního kamene je třeba dbát na vhodnou volbu technologie, při které nedochází ke vzniku trhlin v surovině. Proto se nepoužívají v tomto případě odstřely, ale šetrnější postupy, např. klínování, řezání lanovými pilami, odvrtávání atd.

Jako příklad lze uvést postup, kdy se do horniny navrtají otvory, které naznačují rozměr kamenného bloku, jaký se má ze skalního masivu oddělit. Dříve se otvory naplnily černým trhacím prachem, jehož výbuch kvádr odtrhl od masivu. Někdy se do vysekaných spár nebo vyvrtaných otvorů vrážely dřevěné klíny. Když se zalily vodou, nabobtnaly a vykonaly pozvolna stejnou práci jako energie prudkého hoření střelného prachu. V zimě bobtnající dřevo nahradila mrznoucí voda.

Dnes se používá expansivní hmota podobná sádře, která při tuhnutí zvětšuje svůj objem, a tím dokáže kámen rozpojit. Hrubý kamenný blok se od stěny odsune lanem nebo nafukovacím polštářem.

Surové bloky jsou určeny k dalšímu postupnému zpracování pro kamenickou ušlechtilou výrobu. Kotoučovými nebo rámovými pilami s diamantovými břity se bloky rozřežou na desky a kvádry menších rozměrů, které se používají pro další výrobu.

Postupným opracováním vznikají různé kamenické výrobky: kopáky, haklíky, kvádry, desky pro různé účely, obrubníky, krajníky, schodišťové stupně, dlažební kostky, masivní architektonické prvky, drobná architektura (kašny, fontány aj.), nejrůznější zařízení pro průmysl (mlecí kameny, válce, měřičské značky), náhrobky a drobné předměty.

#### 4.1.2.1.2 Hrubé desky

Z hrubých bloků se štípáním nebo řezáním připravuje zpola dokončený výrobek – hrubá deska.s plochým povrchem a neopracovanými bočnicemi. Z hrubých desek se zhotovují výrobky pro stavební účely, památníky nebo podobné účely.

Rozměry hrubé desky jsou dány délkou, šířkou a tloušťkou, přičemž se délka šířka udává v metrech a tloušťka v mm. Čistá velikost hrubé desky odpovídá největšímu vepsanému čtyřúhelníku. Komerční velikost hrubé desky se získá zmenšením čisté délky a šířky o 0,03m.

Tloušťka desky se nesmí odchýlit od nominální tloušťky o více, než udává tab. (4.9)

Povolené odchylky od nominální tloušťky desky (ČSN EN 1468) *Tab. 4.9*

| Nominální tloušťka (mm) | Odchylka |
|---|---|
| do 15 | ± 1,5 mm |
| více než 15 a do (včetně) 30 | ± 10% |
| více než 30 a do (včetně) 80 | ± 3 mm |
| více než 80 | ± 5 mm |

Konečná úprava povrchu musí být prokázána nejméně v ohraničení komerční velikosti hrubé desky. Povrch má vzhled odpovídající použitému postupu opracování. Jednotlivé povrchové úpravy jsou specifikovány převážně v ČSN EN 12670)



*Obr. 4.10* Blok a hranoly z přírodního kamene

Povrch se upravuje:

broušením kotouči o různých hrubostech

leštěním leštícím kotoučem nebo plstí

otloukáním (pemrlovaný povrch, přetloukaný nebo rýhovaný zubákem nebo strojně)

povrch získaný jinými postupy např. opalovaná povrchová úprava, tryskaná, povrchová úprava získaná vysokotlakým vodním paprskem, strojně opracovaná úprava a lomová povrchová úprava, kdy vzniká drsný povrch získaný rozpojením pomocí dláta nebo štípačky.

#### 4.1.2.1.3 Kámen pro stavební účely

V Evropské unii přírodní kámen nemá svoji kompletní řadu norem. Souhrnná norma komplexně řešící problematiku kamene vůbec neexistuje. Příznivější situace je v oblasti zkušebnictví kamene.

Po bývalém Čs. kamenoprůmyslu zůstal systém oborových norem; dále existovaly normy ČSN, které mají dodnes vysokou úroveň a v nejednom případě jim v Evropě chybějí plnohodnotné protějšky. To je i případ v roce 2012 revidované normy ČSN 73 3251 pro navrhování konstrukcí z kamene.

Svaz kameníků a kamenosochařů některé normy přejal a vydal jako tzv. TNSK. Tyto normy platí pro ty, kteří se zaváží, že budou podle těchto norem pracovat.

Kámen pro stavební účely se používá jako nosný konstrukční nebo obkladový stavební materiál pro stavby vodní, železniční, báňské, pozemní, pro práce meliorační apod. Dělí se podle dosud platné ČSN 72 1860 na tyto druhy:

- lomový kámen
  - netříděný,
  - tříděný (základový, štětový apod.),
  - záhozový,
  - pro dlažbu svahů, rigolů a břehů,
  - pro zdivo soklové,
  - pro zdivo kyklopské;

- kopáky
  - neupravené,
  - hrubé,
  - čisté;

- haklíky
  - neupravené,
  - hrubé,
  - čisté;

- kvádry
  - hrubé,
  - čisté,
  - s bosáží (rustikové),
  - jemné,
  - broušené,
  - leštěné.

Lomový kámen je kusový stavební materiál. Je to kus přírodního kamene jakéhokoliv tvaru, různé velikosti, s hrubou nebo opracovanou lícovou stranou pro použití do zdiva (ČSN EN 12670). Dodává se v jakostních třídách podle pevnosti v tlaku a nasákavosti. Běžně se vyrábí:

- neupravený lomový kámen (netříděný, tříděný, pro těžký zához a materiál pro opěrné zdi),
- upravený lomový kámen (pro dlažbu svahů, rigolů a břehů).

Kámen se dvěma rovnými plochami se používá na podezdívky, kámen s lícní plochou ve tvaru mnohoúhelníku se používá na kyklopské zdivo podezdívek a opěrných stěn.

Soklový kámen se používá na budování opěrných zdí a soklů budov, regulační kámen se používá na zpevňování terénu a regulování břehů vodních toků.



*Obr. 4.11* Zdivo kyklopské a řádkové

Kopáky jsou výrobky určité velikosti a tvaru přibližného rovnoběžnostěnu, pro klenby přiměřeně klínovitého tvaru, vyrobené lámáním, štípáním a hrubým kamenickým opracováním. Svůj název získaly odvozením od početní jednotky kopy, z toho se soudí, že se původně dodávaly na kopy.

Kopáky se třídí podle tvaru na běhouny a vazáky. Běhoun má výšku 200 až 400 mm, délku 1,5 násobek výšky (max. 800 mm) a hloubku 300 mm až rovnou výšce. Vazák má výšku 200 mm až 400 mm, délka je rovná minimálně výšce (max. 1,5 x výška). Hloubka má být rovna výšce zvětšené o 150 mm.

Neupravené kopáky mají plochy hrubé lomové, případně se stopami po klínech, vrtech nebo jiných nástrojích. Hrubé kopáky jsou na lícní ploše zpravidla špicované s pravidelnými stopami po nástrojích bez ohledu na jejich směr a délku, případně čistě lámané, tj. bez stop po klínech nebo jiném nářadí. Ložné plochy mají lomové. U čistých kopáků je lícní plocha pravoúhlá, čistě špicovaná, po obvodě zaprýsknutá nebo lemovaná. Ložné plochy mají hrubě špicované, zadní plocha je lámaná.

Haklíky mají čtvercovou nebo obdélníkovou lícní plochu a jsou určeny jen pro obkladové zdivo. Vyrábějí se lámáním, štípáním a hrubým kamenickým opracováním. Ložné a styčné plochy mají být zhruba kolmé k lícní ploše. Používají se jako obkladový materiál pro podezdívky správních budov a rodinných domů, plotů, opěrných zdí, krbů, kde zdivo není určeno pro stavební účely jako nosné.



*Obr. 4.12* Zdivo z haklíků

Rozměry haklíků se řídí přáním zákazníka a možnostmi výroby. Haklíky mohou mít lícovou plochu upravenou lámáním, špicováním, bosáží, řezáním. Ložné plochy jsou u hrubých haklíků běžně špicované, třístranně lemované. U čistých haklíků bývají ložné a styčné plochy špicované se stejnoměrně rozloženými stopami po nářadí, plocha je třístranně lemovaná. Haklíky je třeba při dopravě a skladování chránit před znečištěním a poškozením.

Kvádry jsou výrobky z přírodního kamene různých tvarů a rozměrů a s různou povrchovou úpravou podle potřeby a použití.

Třídí se podle jakosti výroby, tvaru (pravoúhlé, pravoúhlé se skloněnými líci, klenákové a šablonové) a počtu lícních hran (jednolícní, dvoulícní, třílícní, čtyřlícní a pětilícní).

Vyrábějí se z hornin vyvřelých, usazených i přeměněných, zpravidla podle přesných výkresů. Mají široké uplatnění jako konstrukční a architektonické prvky na vodních, železničních i pozemních stavbách.

Kvádry se dodávají s různým stupněm úpravy povrchu. Hrubé kvádry mají plochy špicované, zadní plocha může být lámaná. U čistých kvádrů bývá lícní plocha pemrlovaná, lemovaná, ložné plochy špicované a zadní plocha, stejně jako u hrubých kvádrů, lámaná. Jemné kvádry mají stejnou povrchovou úpravu jako kvádry čisté, s tím rozdílem, že lícní plocha je jemně pemrlovaná. Broušené a leštěné kvádry mají lícní plochu broušenou a leštěnou, ložné a styčné plochy jsou pemrlované.

Vlastnosti a funkční požadavky na zdící prvky z přírodního kamene jsou shrnuty v ČSN EN 771-6

Tato norma se vztahuje na prvky jejichž šířka je rovna nebo větší než 80 mm, které jsou určeny hlavně pro použití jako běžné, obkladové nebo exponované lícové zdící prvky do nosných a nenosných budov a inženýrských staveb.

Tyto prvky jsou určeny pro všechny formy řádkového i nepravidelného zdiva, stěn jednovrstvých i dutinových, příček, opěrných stěn a vnějšího zdiva komínů.



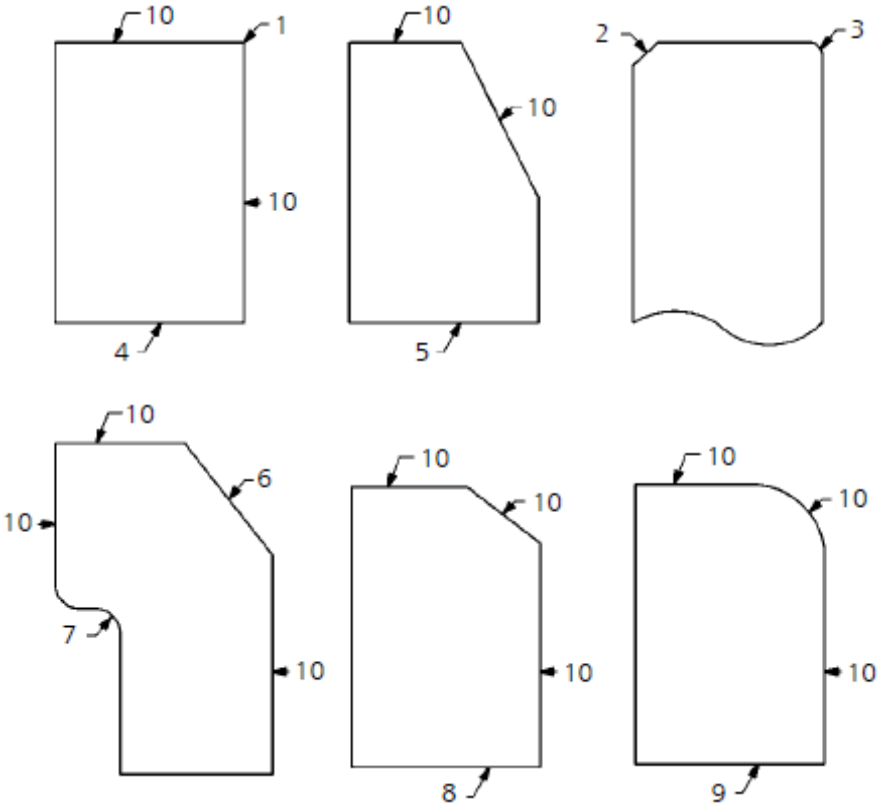
*Obr. 4.13* Kamenné zdivo z různě opracovaných kvádrů

Obrubníky jsou ČSN EN 1343 definovány jako dílce delší než 300 mm, všeobecně užívané k lemování pozemní komunikace, vozovky, dopravní plochy, chodníku apod. Zpevňují okraje chodníků a nástupišť a vyrovnávají výškový rozdíl mezi vozovkou a chodníkem. Obrubníky se používají rovné nebo obloukové – vyduté či vypuklé. Mají obyčejně kamenicky opracovaný povrch a zpravidla jsou opatřeny zářezy, jimiž do sebe navzájem zapadají.

Nejmenší délka obloukových obrubníků musí být 500 mm. Pokud není stanoveno jinak, musí být obrubníky dodávány v běžných délkách. Celková délka obrubníku se měří na viditelném líci.

Obloukové obrubníky se musí určit poloměrem svislého líce, za celkovou délku se považuje rozměr měřený po obvodu ve větším průměru. Konce musí být radiální.

Kritérii pro posouzení kvality obrubníků jsou rozměry, rovinnost, odolnost proti zmrazování a rozmrazování a pevnost v tahu za ohybu.




*Obr.4.14* Obrubníky – příklady typických příčných řezů

1 – na tomto rohu může být zkosení nebo zakřivení, 2 – zkosení, 3 – zakřivení, 4 – obdélníkový, 5 – s náběhem, 6 – zkosený nebo zešikmený, 7 – podříznutí, 8 – zkosení nebo zešikmení, 9 – zakřivený, 10 – lícní plocha

Krajníky jsou prvky podobného charakteru jako obrubníky. Silniční krajníky jsou určeny pro podélné zpevnění okrajů vozovky a oddělení od nevyvýšené krajnice nebo jiné přilehlé plochy ve stejné výškové úrovni. Má viditelnou pouze stupnici, obě podélné svislé plochy jsou rubové.

Perónní krajníky tvoří oporu ke zpevnění okrajů zvýšených nástupišť nákladních ramp apod. od níže položené přilehlé komunikace.

Obrubníky a krajníky se dodávají s viditelnými plochami čistě lemovanými, řezanými, velmi jemně špicovanými, bosovanými nebo rovně lámanými. Ložná plocha má být rovnoběžná se stupnicí, většinou rovně lámaná.

K výrobě obrubníků a krajníků má být použita zdravá hornina, bez stop navětrání nebo poškození. Použitý materiál by se neměl provozem nadměrně uhlazovat ani odštěpovat. Vhodné jsou žuly, grandiority, diority, gabrodiority, syenity, andezity apod.

Dlažební kostky jsou malé dlažební kvádry z přírodního kamene se jmenovitými rozměry mezi 50 mm a 300 mm a půdorysnými rozměry nepřesahujícími obecně dvojnásobek tloušťky (ČSN EN 1342). Nejmenší jmenovitá tloušťka je 50 mm. Vyrábějí se ručně nebo strojně ve tvaru hranolu či krychle.

Opracovaná kostka má upravený vzhled, který je výsledkem jedné nebo několika úprav povrchu, ať mechanických, nebo tepelných. Hrubě opracovaný povrch je upravený např. pemrlicí, obrobením, pískováním, nebo je upravený plamenem, přičemž rozdíl mezi prohlubněmi a výstupky je větší než 2 mm.

Jemně opracované povrchy jsou např. leštěné, broušené nebo řezané diamantovým kotoučem nebo břitem s největším rozdílem 0,5 mm mezi výstupky a prohlubněmi. Dlažební kostky slouží k dláždění vozovek a chodníků.

U těchto výrobků se dle zamýšleného účelu použití hodnotí zejména rozměry, rovinnost povrchu, odolnost proti zmrazování a rozmrazování, pevnost v tlaku, odolnost proti obrusu, odolnost proti skluzu, nasákavost, chemická úprava povrchu a další hlediska, např. vizuální vzhled apod. Povolené odchylky jmenovitých půdorysných rozměrů a tloušťky musí vyhovovat hodnotám uvedeným v ČSN EN 1342. Přípustná maximální odchylka závisí na úpravě povrchu. Pro půdorysné rozměry se pohybuje v rozmezí od 0,5 mm pro opracované povrchy, do 15 mm pro povrchy štípané. Odchylka jmenovité tloušťky pro třídu 1 činí max. 30 mm, pro třídu 2 (podle úpravy povrchu) leží v rozmezí 5 mm až 15 mm.

Jsou-li dlažební kostky ukládány do vějířovitého tvaru, nestačí jen krychlové dlažební kostky, ale také je nutný určitý počet lichoběžníkových a podlouhlých dlažebních kostek. Pro takové uspořádání smí být zahrnuto do dodávky nejvýše 10 % dlažebních kostek, jejichž rozměry leží mimo mezní odchylku do 10 mm. Ve všech případech se sleduje výška dlažební kostky. Nejsou-li kostky určeny k uložení ve tvaru vějířů, musí to být uvedeno v objednávce.

Nejčastěji se používají kostky štípané. Vyrábí se ve velikostech 40/60 mm (mozaika na chodníky a pochozí plochy), 80/110 mm (pojezdové plochy), 150/170 mm (vysoce zatěžované pojezdové plochy).

Z kostek se sestavuje dlažba do různých tvarů – kroužková, řádková, úhlopříčná nebo při použití na pochozí plochy dlažba mozaiková s možností vytvoření vzorů kombinací materiálů různých barev a kostek různé velikosti.

*Obkladové a dlažební desky* vznikají rozřezáním bloků přírodního kamene v tloušťce 8 až 80 mm. Rozměry desek mohou být libovolné podle přání investora a technologických možností suroviny.

Desky se třídí podle tvaru na čtvercové, obdélníkové a šablonové (jiných tvarů). Podle tloušťky rozeznáváme desky tenké (8 až 12 mm), běžné (12 až 50 mm) a masivní (více než 50 mm do 80 mm). Pro jejich výrobu je vhodný pevný a vzhledově vyhovující materiál.

Povrchová úprava lícní plochy je závislá na druhu horniny. Většinou se provádí řezáním, broušením, leštěním, pemrlováním, trháním, špicováním, zrnováním, zubováním, rýhováním, termickým opracováním a tryskáním.

Styčné, ložné a rubové plochy bývají nejčastěji řezané. Kontroluje se zejména rozměrová přesnost, kolmost lícních hran, rovinnost a jakost lícového povrchu desek.

Dříve platná ČSN 721820 byla nahrazena novými evropskými normami. Technické požadavky na desky z přírodního kamene určené pro konečné úpravy stěn a stropů uvádí ČSN EN 1469 – Výrobky z přírodního kamene – obkladové desky – Požadavky. Norma ČSN EN 1341 stanovuje požadavky a příslušné zkušební metody pro všechny desky z přírodního kamene určené pro venkovní dlažby.

Obkladové desky jsou používány pro vnější a vnitřní obklady konstrukcí staveb nebo jejich částí. Používají se především na obklady fasád, reprezentačních místností, vestibulů, umýváren, koupelen apod. Dále se vyrábějí parapetní desky, ostění oken a dveří, obklady sloupů a pilířů.



*Obr. 4.15* Dlažební kostky v různých typech dlažby

Obklad stěn se montuje na ocelové kotvy (mezi stěnou a zadní stranou obkladu zůstává vzduchová mezera, která umožňuje odvětrávání a odvádění vlhkosti ze stěn objektu), nebo se lepí do lepicího tmelu.

Řemínkové obklady vznikají štípáním větší základní desky na hranolky o rozměrech 100 až 150 mm, tloušťky 15 až 40 mm. Většinou se tímto způsobem zpracovává odpad z výroby desek větších rozměrů.

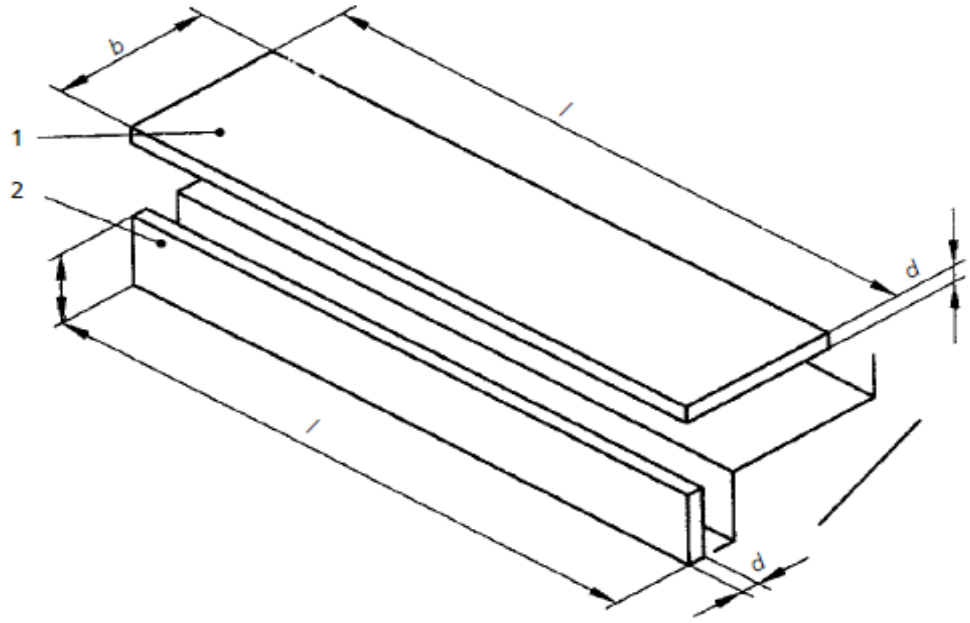
Dlažební desky jsou určeny k dláždění prostranství, komunikací, vnějších i vnitřních ploch stavebních konstrukcí nebo jejich částí určených převážně pro pěší provoz, např. nádvoří, náměstí, chodníky apod. Požadavky pro ploché desky z přírodního kamene vyrobené pro krytí podlah a schodů shrnuje ČSN EN 12058. Podlahové desky mají tloušťku větší než 12 mm a pokládají se pomocí malty, lepidel nebo jiných upevňovacích prvků. Přechod mezi podlahou a přiléhající svislou konstrukcí se obvykle řeší obkladem z pásků.

Jednotlivé dlažební desky se skládají různými způsoby, např.:

- typizovaná dlažba má pravidelné rozměry např. 300 x 300, 400 x 400, 500 x 500, 600 x 400, 600 x 600 mm,
- anglická dlažba je sestavena z úlomků různého tvaru a rozměrů,
- románská dlažba je charakteristická opakováním několika formátů (umožňuje sesadit dlažbu do vzoru),
- pásová dlažba vzniká sestavením desek různých délek, šíře např. 150, 200 a 250 mm.
- benátská dlažba je sestavena z úlomků různobarevných hornin, stmelených cementovou maltou a následně broušených.
- V poslední době se stále častěji pro konečné úpravy stěn, stropů, podlahových ploch a schodů používá přírodní kámen ve tvaru tenkých desek. V ČSN EN 12057 jsou tenké desky definovány jako desky s tloušťkou do 12 mm. Tvar desek bývá čtvercový nebo obdélníkový standardizovaných rozměrů obvykle do 610 mm.

Schodišťové stupně se vyrábějí buď obkládané deskami, nebo masivní. Schodišťové desky se kladou buď v horizontální poloze na schodišťové stupně (stupnice) nebo ve vertikální poloze na podstupnice.

Rozměry schodišťových desek se udávají v mm v pořadí: délka l, šířka b, tloušťka d s rozlišením stupnice a podstupnice.




*Obr. 4.16 Rozměry schodišťových desek [ČSN EN 12058 ]*

*1 – stupnice, 2- podstupnice*

Schodiště z kompaktních masivních stupňů se používá pro svoji odolnost především u venkovních schodišť.

Třídí se podle různých hledisek na samonosné nebo nesené, rovné, kosé a zvláštní, nástupní, běžné, výstupní, jalové.

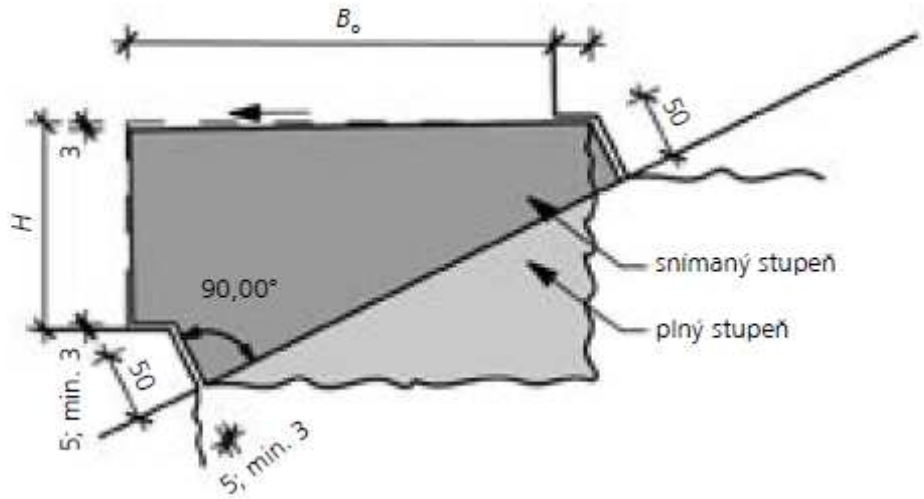
Podle příčného průřezu schodišťového stupně se rozeznává stupeň plný, snímaný a deskový, případně s drážkou a sedlem. Čelo schodišťového stupně je možné profilovat.

Druh přírodního kamene pro výrobu schodišťových stupňů a jeho povrchová úprava musí být zvolena s ohledem na zajištění bezpečnosti, provozních a hygienických požadavků.

Při montáži stupňů venkovních schodišť se nakloněním schodových stupňů zajistí spád potřebný k tomu, aby voda stékala a v zimním období nenamrzala.

U venkovních schodišť se používá protiskluzná povrchová úprava nástupnice, tj. tryskaný nebo pemrlovaný povrch. U vnitřních schodišť je možné použít jemnější opracování stupnic – broušení, případně leštění. Protiskluznost leštěného nebo smirkovaného povrchu nástupnice se často zvyšuje vytryskanou protiskluznou drážkou, eventuálně karborundovým páskem.

Drobná zahradní architektura zahrnuje fontány, kašny, pítka, stolky, šlapáky, květináče a koryta, mlýnské kameny, zahradní sezení, krby, japonské lampy a různé jiné doplňky. Výrobky se používají jak pro interiéry, tak pro exteriéry.




*Obr. 4.17* Poloha stupně ve schodišťovém rameni



*Obr. 4.18* Schodišťové stupně masivní

#### 4.1.2.1.4 Krytiny z přírodního kamene

Použití jílovitých břidlic má dlouhou tradici. U nás se tato krytina používala zejména v oblasti Moravoslezského kulmu, okolí Rabštejna nad Střelou, okolí Železného Brodu a Podkrušnohoří.

Po období, kdy se břidlicová krytina u nás obnovovala jen na významných památkových objektech se v současné době díky svým estetickým i technickým kvalitám začíná znovu objevovat i na střechách novostaveb. Je vhodná jak pro rodinné domy a chalupy, tak pro veřejné a obytné budovy.

Výrobky z břidlice a přírodního kamene pro skládanou střešní krytinu a vnější obklady specifikuje ČSN EN 12326-1. Břidlice je touto normou definována jako hornina, která je snadno dělitelná na tenké kameny podél ploch filiace, vzniklá při velmi nízkém nebo nízkém stupni metamorfózy vyvolané tektonickým stlačením.

K výrobě *krytinových desek* jsou vhodné sedimentární nebo metamorfované břidličnaté horniny, které jsou snadno a víceméně rovnoploše štípatelné. Podmínkou je, aby se tyto materiály nechaly štípat na tenké desky v rozmezí 4 až 15 mm a měly vlastnosti požadované pro daný účel použití – dostatečnou odolnost proti vlivům povětrnosti, pevnost v tahu a ohybu a většinou i náležitý vzhled.

Vhodné jsou podle svého původu buď jílovité břidlice, tj. pelitické sedimenty, nebo jejich metamorfované ekvivalenty, tj. fylitické břidlice nebo fylity . Pro tuzemské klimatické podmínky je třeba vybírat břidlici s co největším obsahem křemene i za cenu horší štípatelnosti.

Vlastnosti břidlice s různým obsahem křemene a slídy [Káně, L., Zdeněk, L., Strohalm, P., Mařík, R., Zwiener, V.,] *Tab. 4.10*

| Vlastnost | Hodně slídy, méně křemene | Hodně křemene, méně slídy |
|---|---|---|
| Pevnost | velká počáteční pevnost (slída působí jako výztuž) | menší počáteční pevnost |
| Štípatelnost | dobrá štípatelnost s hladkým povrchem | horší štípatelnost, větší pravděpodobnost výskytu nerovného povrchu (křemen zpevňuje propojení minerálů) |
| Životnost v ČR | nízká životnost cca 15 let, zvětrávání se většinou projeví již po první zimě | vysoká životnost až 110 let (krytina se pak mění většinou v důsledku vyčerpání životnosti hřebíků nebo bednění) |
| Podstata změn | slída rychle zvětrává | křemen je velmi odolný proti zvětrávání |

Pokrývačské břidlice mají různé barvy v závislosti na obsahu minerálních příměsí. Většinou se vyskytují v odstínech od tmavě šedých až po černé, ale výjimkou není ani zabarvení zelené, méně často i červené. U různobarevných pokrývačských břidlic je třeba počítat s tím, že mohou mít navzájem odlišné vlastnosti a že u některých druhů může dojít k druhotnému zabarvení dohněda vlivem oxidace některých sloučenin železa.

Při těžbě břidlice je třeba je třeba postupovat šetrně, aby nedocházelo k jejímu poškození. Proto se hornina většinou nařezává diamantovými kotouči, nebo lanovými pilami a odlamuje se namísto odstřelů.

Vylomené kamenné bloky se ve zpracovatelských závodech řežou na kvádry různých rozměrů a ty se kolmo na směr řezání štípou na deskové surové kameny. Tyto surové kameny se dále osekávají podle plechové šablony na požadovaný tvar – tzv. formátovaný kámen, buď ručně, nebo v moderních provozech strojně.

Osekáním všech viditelných hran získají jednotlivé prvky charakteristický vzhled s měkkými liniemi a zároveň se výrazně sníží možnost vzlínání vody v krytině.

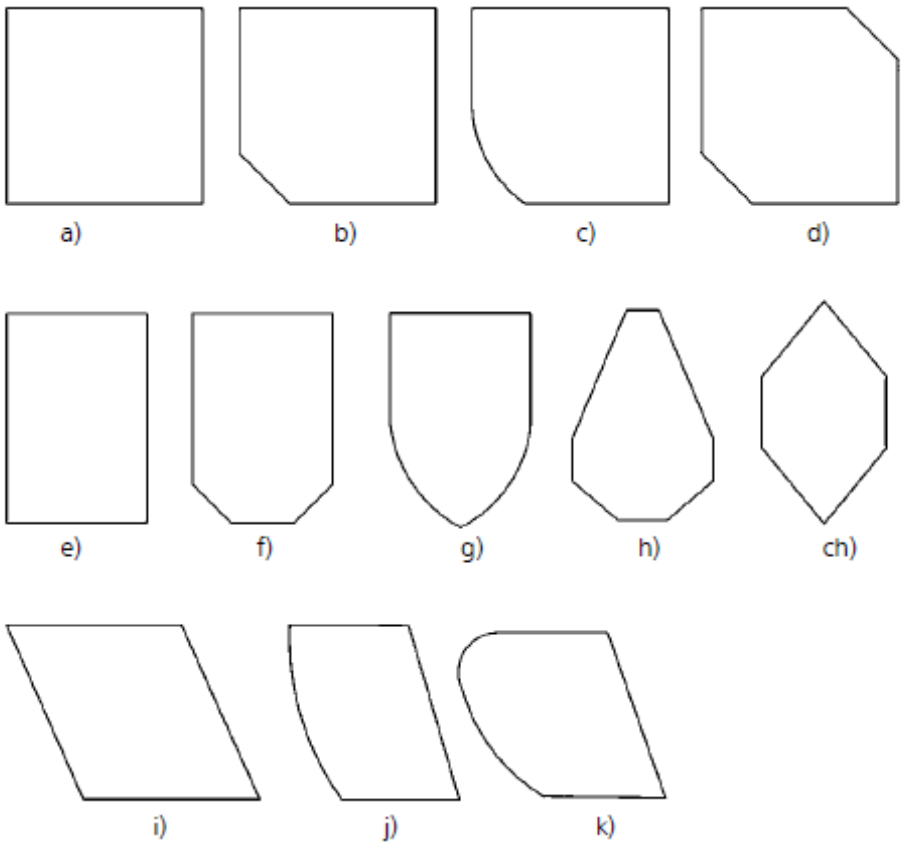
Krycí prvky se vyrábějí v mnoha různých tvarech a řadě velikostí od rozměrů 250 x 250 mm až po desky o velikosti přibližně 300 x 600 mm.

Používané břidlice se podle ČSN EN 12326-1 dělí na břidlice pro střešní krytinu nebo vnější obklady nebo břidlice pro střešní krytinu a vnější obklady obsahující uhličitany.

Výrobce uvádí jmenovitou tloušťku pro každý typ břidlice v mm a odchylku samostatné tloušťky od jmenovité tloušťky. V popisu výrobku

Tloušťka zabalených břidlicových kamenů se kontroluje s četností jednou na paletu , přičemž odchylka tloušťky 100 zabalených břidlicových kamenů nesmí být větší než ± 15% jmenovité tloušťky.

Samostatná tloušťka břidlicových kamenů nesmí být menší než 2,0 mm. Nejmenší samostatná tloušťka se stanovuje na základě pevnosti v ohybu, na klimatických podmínkách nebo podle tradičního způsobu pokládání v zemi použití a zvětší se s ohledem na obsah uhličitanů v břidlicových kamenech.




*Obr. 4.19* Příklady formátů břidlicové střešní krytiny

a) čtverec, b) čtverec se zkoseným rohem, c) čtverec s obloukovým řezem, d) čtverec se dvěma zkosenými rohy, e) obdélník, f) obdélník se zkosenými rohy, g) obdélník gotický, h) osmiúhelník, ch) kosočtverec se zkosenými rohy, i) kosodélník, j), k) šupiny

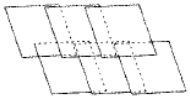
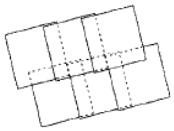
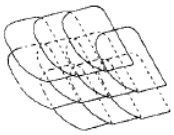
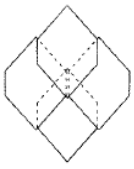
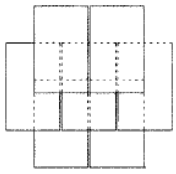
K ukončení krytiny z formátovaných kamenů na okrajích střech u hřebenů, okapů, úžlabí, štítů apod. se používají doplňkové kameny. Ty se osekávají ze surových kamenů na potřebný tvar přímo na staveništi.

K připevnění břidlice se používají speciální hřebíky s kónickou nebo plochou hlavou nebo vruty z žárově pozinkované oceli, z ušlechtilé oceli, měděné či hliníkové. Použití hřebíků bez ochrany proti korozi je nepřípustné. Otvory pro hřebíky se do jednotlivých prvků prorážejí hrotem kladívka ve vzdálenosti min. 15 mm od kraje kamene. Některé formátované kameny se dodávají s předem vyraženými otvory.

Střešní krytinu z přírodní břidlice lze pokládat na bednění i latě dostatečného průřezu. Krytí se provádí jednoduché nebo dvojité v stoupajících nebo vodorovných řadách. Každý z těchto způsobů krytí vytváří jinou strukturu plochy, a tedy i odlišný architektonický výraz střechy.

U krytí ve stoupajících řadách se řídí úhel, který svírá řada s okapem, sklonem střechy. Při jednoduchém krytí každý vyšší kámen překrývá kámen nižší a zároveň natočením ve stoupající řadě je zajištěno, že stékající voda směřuje k nejnižšímu rohu každého kamene.

Při správné volbě úhlu stoupání řady v závislosti na sklonu střechy odtéká převážná část vody přes okapový roh horního kamene na kámen spodní, a omezí se tak možnost vzlínání vody v překrytí. Zároveň je možné použít relativně malé překrytí kamenů. Při jednoduchém krytí ve vodorovných řadách se tento efekt rychlého odtoku vody zajišťuje vhodnou volbou tvaru formátovaného kamene.

| | jednoduché krytí | | dvojité krytí | |
|---|---|---|---|---|
| | vodorovné | stoupající | vodorovné | stoupající |
| překrývající se kameny v řadě |  |  | x |  |
| přikládané kameny v řadě |  | x |  | x |

*Obr. 4.20* Břidlicová krytina – základní způsoby krytí břidlicí



*Obr. 4.21* Břidlicová krytina – detaily zakončení a jednoduché krytí ve stoupajících řadách

Dříve se v některých lokalitách používalo i tzv. *divoké krytí*, kdy se surové kameny bez opracování krajů přímo osekávaly do nepravidelných tvarů. Taková krytina střechy potom měla velmi nepravidelnou strukturu.

Dvojité krytí ve vodorovných řadách může při nevhodné volbě tvaru formátovaných kamenů způsobovat zvýšení míry vzlínání vody podél vodorovné dolní hrany, a tím vyvolat neúměrné nároky na větší překrytí. [Kutnar, Z., 2007)]

Pokrývačskou břidlici je možné použít i pro obklady fasád. Zde je možné použít menší formáty kamenů a používají se v tomto případě i některé speciální tvary kamenů a druhy krytí, které nelze použít ke krytí střech z důvodů nedostatečné hydroizolační schopnosti.

Kvalita skládané střešní krytiny a vnějších obkladů zdí z přírodní břidlice se hodnotí zkušebními postupy podle ČSN EN 12326-2.

### 4.1.2.2 Ochrana a údržba výrobků z kamene

I když kamenné výrobky patří k nejtrvanlivějším stavebním materiálům, vede současné značně znečištěné životní prostředí k vážným poruchám současných i historických kamenných staveb. Trvanlivost a odolnost závisí především na složení horniny – vyvřelé horniny jsou obecně odolnější než horniny usazené.

Působením atmosférických vlivů a zvláště oxidu siřičitého dochází u leštěných kamenů ke ztrátě lesku (slepnutí) a na povrchu se vytvářejí různé barevné skvrny. Oxidací barviv se mění původní barevnost – černé mramory blednou, naopak oxidací železa kámen tmavne.

Znečištěný povrch kamene se čistí kartáči a neutrálními mýdlovými roztoky, případně novým broušením a leštěním. Kyseliny a louhy není vhodné používat, protože mohou narušit některé minerály a navíc pronikají do hloubky a časem vytvářejí na povrchu výkvěty solí.

Znehodnocení kamene zvláště kyselými složkami ovzduší je možné částečně omezit natřením vápennou vodou.

Konzervace povrchu vodním sklem, olejovým napouštědlem nebo nerozpustnými laky se ukázala chybná.

Jednou ze základních zásad je vyvarovat se nátěrů, které uzavírají povrch kamene a nedovolují materiálu „dýchat“. Povrchová vrstva penetrovaná hmotami s těsnicím účinkem působí jako parotěsná zábrana bránící pohybu vlhkosti směrem ven.

Kondenzovaná voda pod parotěsnou zábranou v zimě mrzne, což vede k odlupování povrchových vrstev a narušování kamene do větší hloubky.

Jako nejšetrnější a nejúčinnější ochranné opatření se dnes ukazuje hydrofobizace kamenného povrchu organickými křemičitany, v množství, které snižuje nasákavost kamene, ale nebrání difúzi vodních par.

V poslední době vystupuje do popředí problematika čištění a ochrana povrchů z přírodního kamene před sprejovými nástřiky. K čištění graffiti jsou na trhu dostupné gelové přípravky, které se nanesou na barvu a nechají se působit po dobu několika minut až několika hodin, podle účinnosti.

Obecně platí , že pokud nebyl nános spreje nejprve odstraňován ředidly, kdy se barva vsákne hluboko do mikropórů kamene, trvá uvolnění barev kratší dobu.

Vyčištěné, či nové fasády lze opatřit ochrannou bariérou před sprejery. K tomuto účelu se používají přípravky na bázi vodní emulze esterických a mikrokrystalických vosků s obsahem teflonu. Přípravek se nanese ve dvou až třech vrstvách, na suchý podklad, čímž se vytvoří ochranná bariéra, která navíc vytváří paropropustnopu hydrofobní ochranu.

.

### 4.1.2.3 Výrobky z umělého kamene

Normou ČSN EN 14618 jsou jako umělý kámen označovány průmyslové výrobky, vyrobené ze směsi kameniva pocházejícího zpravidla z přírodního kamene, přísad a pojiv. Pojivem může být pryskyřice, hydraulický cement nebo směs obou v různých poměrech, jako kamenivo se využívají úlomky z nesoudržných i soudržných hornin uhličitanových (mramory a vápence) nebo křemičitanových (granit, kvarcit atd.). Maximální velikost těchto úlomků může být až 150 mm i více.

Na trh jsou dodávány v podobě hrubých bloků, hrubých desek, desek, dlaždic, rozměrných kamenných výrobků a jiných na rozměr řezaných výrobků, z nichž se vyrábějí finální výrobky jako např. desky, dlaždice, koupelnové desky nebo podobné prvky.

Termín umělý kámen ve smyslu ČSN EN 14618 zahrnuje architektonické prvky, odpovídající výrobkům pro podlahové plochy a obklady stěn, získané lisováním, které mohou, ale nemusí být následně řezány na konečnou velikost.

Výrobky zhotovené technologií umělého kamene mohou být impregnovány vhodnými chemikáliemi, aby se zamezilo propustnosti v otevřených pórech.

Výrobky z umělého kamene se klasifikují podle typu pojiva:

pojené nesaturovanou polyesterovou pryskyřicí nebo jinou síťující pryskyřicí,

pojené bílým nebo šedým cementem,

pojené směsí pryskyřice a cementu.

Podle mineralogického složení úlomků přírodního kamene se dělí na výrobky:

obsahující úlomky přírodního kamene , tvořeného uhličitany,

obsahující úlomky přírodního kamene , tvořeného křemičitany,

obsahující úlomky přírodního kamene , tvořeného uhličitany i křemičitany.

Všechny ostatní výrobky, zhotovené z betonu pojeného pryskyřicí s použitím běžného kameniva a nefinalizované pro podlahové plochy, obklady stěn a podobná použití, jako např. kanalizační kanály, stavební prvky atd. do působnosti normy ČSN EN 14618 zahrnuty nejsou.

#### 4.1.2.3.1 Konglomerovaný kámen

Spojením barevně a tvarově vybraných kamenných zrn pomocí vhodného pojiva lze vytvořit umělý kámen, který je po kamenické úpravě vzhledově podobný přírodnímu kameni.

Konglomerovaný kámen se nejčastěji připravuje s použitím polymerních pojiv (polymerbetonová technologie), daleko méně časté je použití anorganických pojiv cementového typu (cementová a polymercementová technologie). Materiál připravený polymerbetonovou technologií se někdy označuje jako syntetický kámen, materiál s anorganickým pojivem se na trhu objevoval také pod označením aglomerovaný kámen. Výrobky na bázi mramorové drti a bílého cementu se prodávají, také pod názvem *ztužený mramor*.

Konglomerovaný kámen zpravidla obsahuje cca 90 % drceného přírodního kamene (žuly, křemene, vápence, diabasu atd.) a cca 10 % polymerního pojiva (nenasyceného polyesteru, polymethylmetakrylátu, epoxidové pryskyřice atd.). Výběr jednotlivých granulometrických frakcí kameniva se provádí tak, aby výsledný kompozit měl esteticky uspokojivou „přírodní“ texturu.

Konglomerovaný kámen se využívá především při výrobě kusových staviv deskového charakteru. Výrobní cyklus je možné rozdělit do fáze formování, kdy se vytvoří surový blok (hrubá deska), a fáze dokončování, jejímž výsledkem je dokončený výrobek ve formě desek, dlaždic a obkladových prvků. Při dokončování a konečném formátování se používají podobná techniky jako při zpracování přírodního kamene.

Během výroby se nejprve připraví dokonale promíchaná směs kameniva, aktivovaného tekutého pojiva a přísad. K dosažení textury potřebné pro vzhledově náročnější výrobky se používají 2 až 3 různé směsi střídavě dávkované do formy opatřené separační vrstvou.

Výsledná hmota o konzistenci vlhkého betonu je ve formě vibračně zhutněna (s výhodou za současného vakuování) a následnou vytvrzovací reakcí přeměněna do tuhého stavu. Vytvrzovací reakce probíhá již za normální teploty, je však možné provést i tepelné dotvrzení.

Materiál, který takto vzniká má fyzikálně-mechanické i chemické vlastnosti polymerbetonu (kap. 4.10.2.8). Jeho vlastnosti lze podle použitého pojiva v širokých mezích měnit, a tím přizpůsobit potřebným požadavkům. Pro dlaždice a obrubníky se používá pojivo polyesterové, desky určené jako nábytkové pracovní plochy se zhotovují z pojiva methylmetakrylátového.

Skutečnost, že je takto možno efektivně zužitkovat i odpadní kamenivo z lomové těžby, patří k výrazným výhodám výše uvedené technologie.

Přebroušením, vyleštěním a případně rozřezáním konglomerovaných desek, vyrobených s použitím různých minerálů, vznikají interiérové dlaždice a stolové pracovní desky s vysokou estetickou hodnotou.

S ohledem na nepatrnou nasákavost je konglomerovaný kámen odolný mrazu a fyzikálně-chemickému působení agresivních činidel. Vyleštěné plochy jsou dobře čistitelné. Jeho pevnosti jsou vyšší než pevnosti výrobků z cementového betonu. To platí zejména o tahové pevnosti, kde je rozdíl ve prospěch konglomerovaného kamene řádový.

Polymerní pojivo předává materiálu i některé nevýhodné vlastnosti, se kterými je třeba počítat. K nim patří spalitelnost (nikoliv hořlavost), daná organickou povahou hmoty, nižší modul pružnosti a větší dotvarování pod dlouhodobým zatížením. Relativní nevýhodou může být i vyšší součinitel teplotní roztažnosti.

Konglomerovaný kámen lze použít prakticky všude tam, kde by se uplatnil přírodní kámen. Možnosti širokého použití jsou dány jeho stavebně-fyzikálními parametry a zejména možností tvarovat a barvit konglomerovaný kámen při výrobě. Výrobky lze snadno štípat, řezat a leštit kamenickým způsobem, a tím dát povrchu vzhled typický pro přírodní kámen.

Výtečná je odolnost konglomerovaného kamene v obrusu. V tomto směru je výrazně lepší než beton a překoná i mnohé přírodní kameny (např. mramor). Pokud je proveden s nekluzným povrchem, je nekluzký i po dlouhé době exploatace.

Obsahem polymerní složky je dána nižší teplotní vodivost tohoto materiálu na rozdíl od klasického kamene, což je pozitivně vnímáno při dotykovém kontaktu zejména v interiérech.

Nejčastějšími oblastmi použití jsou venkovní i vnitřní dlažby, obklady, schodišťové stupně a součásti zařízení v interiérech (kuchyňské a koupelnové desky, parapety apod.).

Desky v obvyklé tloušťce 10, 20, 30, 50 a 70 mm je možné vyrábět i ve velkých formátech (např. 3000 x 1200 mm).

To má velký význam pro výrobu interiérových pracovních ploch a stolových desek, které by se z celistvého přírodního kamene realizovaly jen obtížně.

#### 4.1.2.3.2 Chodníková mozaika a silniční dlažba

U výrobků se spíše technickou funkcí bývá potlačena dekorativní struktura konglomerovaného kamene.

Namísto barevně sladěné směsi složené z úlomků různých hornin se při jejich výrobě používá jednodruhové kamenivo vhodné granulometrie a jde tedy spíše o kusové polymerbetonové výrobky bez zvláštní textury.

Lomové plochy vzniklé štípáním a plochy vhodně mechanicky opracované přesto mohou vzhled kamene uspokojivě imitovat. K dosažení požadované barevnosti se používá pigmentování pojiva.

Polymerbetonové dlažební kostky se nejčastěji se vyrábějí v barvě bílé, černé a hnědočervené. Tyto dlažební prvky opatřené jednou (lícovou) štípanou plochou mají vysokou pevnost (v tlaku cca 100 MPa, v tahu za ohybu cca 20 MPa) a lze je ukládat jak „na tvrdo", tj. do betonového nebo cementového lože, tak do poddajného, štěrkopískového nebo pískového lože.

Klasické uložení do poddajného lože se považuje za výhodnější v případě chodníků. Deštěm smočená dlažba rychleji vysychá, protože se přebytečná vlhkost může do lože vsáknout. Tvrdé uložení zase zajišťuje vysokou životnost dlažby i při častém přejezdu vozidel a je preferováno u dlažeb silničních.

Polymerbetonové dlažby se vyznačují vysokou odolností proti obrusu, stejně jako odolností proti atmosférickým vlivům, včetně různých civilizačních prostředí, jako jsou posypové soli, kyselé deště či různé ropné produkty.



*Obr. 4.22* Dlažební kostky z konglomerovaného kamene

#### 4.1.2.3.3 Silniční a mostové obrubníky

Konglomerované obrubníky poskytují řadu možností, které jsou u tradičních obrubníků žulových dosažitelné buď těžko, nebo jsou zcela nedosažitelné. Lze vyrobit obrubníky obloukové s širokým a libovolným rozmezím vnitřního poloměru, obrubníky v libovolné barvě probarvené ve hmotě.

To umožňuje osazovat barevné obrubníky, např. koncová část nástupních tramvajových ostrůvků, barevné vyznačení zákazu stání či zastavení, parkovací zóny. Obrubníky s reflexní úpravou se používají k řešení problému viditelnosti okrajů silnice v noci.

Obrubníky z konglomerovaného kamene se vyrábějí s libovolným strukturním povrchem pro místa se zvláštním nebezpečím uklouznutí (příčně nebo podélně drážkované, mozaikové či nepravidelně drážkované). Takové typy mohou mít zvláštní význam např. pro železniční nástupiště apod. Konglomerované obrubníky lze kombinovat např. s kabelovými kanálky pro různá vedení, lze vyrobit I speciální profily, umožňující odtok dešťových vod pod obrubníky.

#### 4.1.2.3.4 Vyrovnávací kanálové prstence

Silniční kanálové vpustě jsou vystaveny extrémnímu namáhání, zejména v oblasti uložení litinových nebo ocelových poklopů. V důsledku malé vzdálenosti od povrchu a trvale vysoké vlhkosti trpí podklad, obvykle cihelný nebo betonový, opakovaným působením mrazu a tání. Chemicky je vystaven působení účinků posypových solí a kyselých dešťů. Zároveň na podklad působí mechanické namáhání převážně dynamického charakteru.

Estetické požadavky na prstence ukončující kanálový otvor jsou minimální, a proto se s výhodou provádějí z jednoduchého polymerbetonu. Polymerbetonové vyrovnávací prstence ukládané do polymermalty umožňují dosáhnout jakéhokoli výškového vyrovnání buď volbou vhodného prstence, nebo kombinací několika prstenců. Spojení prstenců navzájem nebo s okolím se provádí polymermaltou s vysokou tahovou pevností a vysokou soudržností.

#### 4.1.2.3.5 Signální pruhy a bezbariérové přechody

K výrobě signálních a varovných pruhů se rovněž používá spíše polymerbetonová hmota bez výraznější textury. Pásy z polymerbetonových dlaždic lze vyrobit v barvě bílé, nebo v úpravě bílá-černá, případně v jakékoli jiné barvě v souladu s bezpečnostními předpisy.

Používají se na nástupištích kolejových dopravních prostředků a jako naváděcí či omezující pruhy na parkovištích, na letištních plochách a u benzinových čerpadel.

Z polymerbetonu lze vyrobit v podstatě jakýkoli prvek; jeho tvar závisí pouze na použité formě. Lze proto bez problémů vyrobit prvky, které plynule sledují okraj chodníku a současně plynule přechází ze stupně daného výškou obrubníku do nivelety vozovky.

Pro nevidomé se vyrábějí prvky pro signální a varovné pruhy, v nichž je vodicí linie vytvořena jednosměrnými drážkami.

#### 4.1.2.3.6 Kamenný koberec (oblázková dlažba)

Vzrůstající oblibě se těší epoxidový polymerbeton formulovaný z téměř monofrakčního plniva tvořeného zaoblenými zrny (oblázky). Plnivo je tvořeno úzkou frací kameniva (2 – 4 mm, 3 – 6 mm, 4 – 8 mm, 8 -12 mm) nebo téměř úzkou frakcí (1 – 4 mm, 2 – 5 mm, 2 – 8 mm).

Pro exteriérové aplikace se používá pouze 6 % epoxidového pojiva, které v tomto množství nedokáže vyplnit mezizrnné prostory a výsledný produkt je tvořen navzájem slepennými zrny a otevřenými póry, které procházejí přes celou tloušťku na podklad nanesené vrstvy. Obvyklá tloušťka je cca 1,5 cm je však možné vytvořit vzhledově uspokojivý *kamenný koberec* o tloušťce 1 – 3 cm.

Polymerbetonovou vrstvu označovanou též jako *oblázková dlažba* je možné klást na podkladní beton obvyklé kvality nebo i na zhutněné štěrkové lože či starou betonovou dlažbu.

Díky spojité soustavě oteřených pórů je oblázková dlažba mrazuvzdorná a netvoří se na ní kaluže.

Pro interiérové aplikace používá zhruba dvojnásobné množství pojiva což přispíva k lesklému esteticky uspokojivému vzhledu.

### 4.1.2.4 Kusové výrobky z taveného čediče

Čedič, ve světě známý jako basalt, je hornina, která se řadí k materiálům, jejichž životnost překonala nejen staletí, ale i tisíciletí. Jeho tvrdost a obtížná obrobitelnost však omezovala jeho větší rozšíření ve stavebnictví. Teprve rozvoj petrurgie, tj. zpracování nekovových rud tavením a odléváním, ve 20. století umožnil širší uplatnění tohoto materiálu v průmyslu a ve stavebnictví.

Tavený čedič se vyrábí z čistého nezvětralého čediče o vhodném chemickém a mineralogickém složení tavením při teplotě 1300 ℃. Tavenina se odlévá do kovových nebo pískových forem. Po odlití se výrobky vkládají do chladicí pece, kde se po dobu 16 až 21 hodin pomalu ochlazují až na teplotu 40 ℃. Pomalým ochlazováním je zaručena absence pórů v zatuhlé struktuře.

Mezi hlavní přednosti taveného čediče patří vysoká pevnost, chemická odolnost, nulová nasákavost, mrazuvzdornost, ekologická a hygienická nezávadnost, dlouhodobá životnost i v nejnáročnějších podmínkách.

Prvořadou vlastností výrobků z taveného čediče je jejich vysoká otěruvzdornost, kterou několikanásobně předčí i speciální otěruvzdorné kovové slitiny. Tvrdost podle Mohse je rovna stupni 8 (je o stupeň menší než tvrdost korundu).

Pevnost v tlaku taveného čediče je srovnatelná s přírodním kamenem, činí 300 MPa, pevnost v ohybu je 40 MPa .

V České republice se z taveného čediče vyrábí široký sortiment dlaždic, vložek a nejrůznějších typů speciálních odlitků.

Pro své vlastnosti má sortiment čedičových výrobků mnohostranné použití. Vzhled přírodního materiálu se uplatňuje u čedičových dlažeb. Čedičové vložky (trouby) jsou vhodné pro plavenou a foukanou zakládku v dolech, dopravu různých abrasivních materiálů apod.

Speciální čedičové odlitky – oblouky, odbočky, T-kusy, Y-kusy, roštové válce, trysky, cyklony a podobně, nahradily díly z vysoce legovaných ocelí a zvýšily životnost zařízení na pěti až dvacetinásobek.

Základní vlastnosti taveného čediče *Tab. 4.11*

| Parametr | Jednotka | Hodnota | DIN 280062 |
|---|---|---|---|
| Tvrdost dle Mohse | – | 8 | |
| Objemová hmotnost | $kg.m^{-3}$ | 2 900 – 3 000 | 2 800 – 2 900 |
| Pevnost v tlaku | MPa | 450 | 450 – 500 |
| Obrusnost | $cm^3/50\ cm^2$ | max. 5 | 4 – 6 |
| Odolnost proti opotřebení | $mm^3$ | 110 | |
| Nasákavost | % hmot. | 0 | 0 |
| Tepelná vodivost | $W.m^{-1}.K^{-1}$ | 1,9 – 2,2 | 1 – 1,2 |
| Odolnost proti tepelným šokům | °C | 100 | |
| Rozpustnost v kyselině sírové | % hmot. | 9 | |
| Izolační odpor | Ohm | 1 010 | |

#### 4.1.2.4.1 Otěruvzdorná potrubí

Čedičové roury se nedají použít přímo jako potrubí. Proto se taveným čedičem vložkují svařované nebo bezešvé ocelové roury. Čedičem vložkovaná potrubí se používají nejčastěji pro pneumatickou dopravu práškových a jemnozrnných substrátů do max. rychlosti 30 m/sec. a maximálních pracovních přetlaků 4 MPa. Vyráběna jsou rovněž otěruvzdorná obložení dalších zařízení jako jsou řetězové žlabové dopravníky, míchačky betonů a sléváreńskych směsí, vyložení mlecích bubnů, zásobníků uhlí, rud, písků, obložení spirálových skluzů a podobně.

Kromě těchto odlitků jsou dodávány i odbočky, rozbočky, Y-kusy, přechodové tvarovky z kulatých na hranaté profily, vyložení velkých hranatých potrubí nebo kuželových odlučovačů prachu a popílku.

Výrobky z taveného čediče jsou prakticky neomezeně trvanlivé, odolné proti vlhkosti, různým kyselinám a louhům všech koncentrací. Bez problémů jsou použitelné při teplotách do 500 ºC. Nerezaví, není nutné nanášet ochranné nátěry, nedochází ani ke snižování jejich užitné hodnoty díky povětrnostním vlivům.

#### 4.1.2.4.2 Kanalizační prvky

Stokové žlaby z taveného čediče vynikají vysokou odolností proti abrasivním účinkům suspendovaných a po dně sunutých anorganických materiálů a praktickou netečností taveného čediče proti agresivnímu působení látek obsažených v odpadní vodě.

Radiální a ploché tvarovky (dlaždice) jsou obkladové dílce pro vnitřní profily stok, které navazují na žlaby nebo radiální kusy. Vyrábějí se v různých druzích, rozměrech a tloušťkách.

Sortiment kanalizačních prvků doplňují chemicky odolné kanalizační cihly a klíny.

#### 4.1.2.4.3 Čedičová dlažba

Atraktivní kovový vzhled předurčuje tavený čedič pro výrobu dlaždic na podlahy interiérů, zvláště pak historických budov. Rovněž se stal nepostradatelným pro velmi namáhané podlahy průmyslových objektů.

Dlažba z taveného čediče se vyrábí v klasických čtvercových formátech 200 x 200 mm a 250 x 250 mm v tloušťkách 20, 30, 40, a 50 mm. Kromě pravoúhlých dlaždic jsou vyráběny i šestiúhelníkové formáty a mnoho dalších tvarů, které umožňují použití jak v moderních stavbách, tak v památkových objektech.



*Obr. 4.23* Příklady kanalizačních prvků

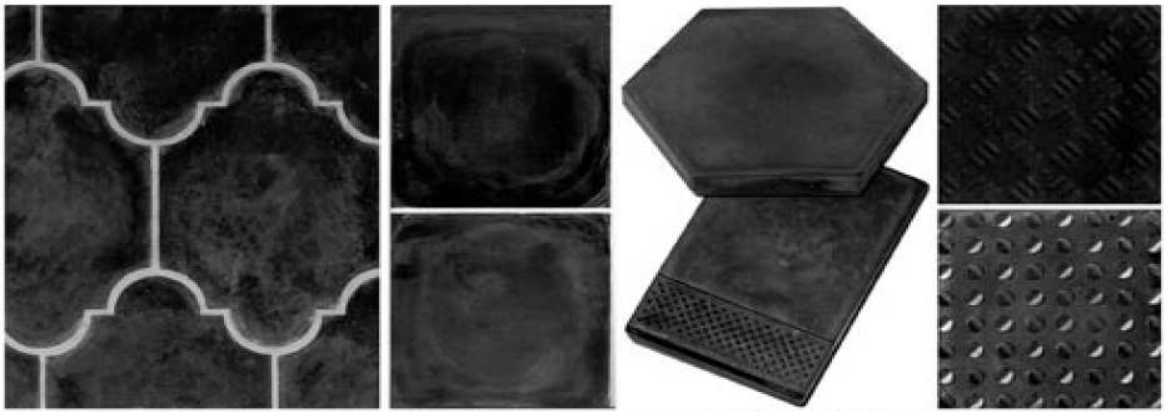
Novinkou jsou variabilní čedičové dlaždice, které se svými neobvyklými tvary nepravidelných čtyřúhelníků hodí do exkluzivních interiérů a ve větších tloušťkách pro zahradní architekturu.

V prostorách restaurací, vináren, obchodů, ve výstavních síních, v atriích, památkových objektech, pasážích a chodnících se kromě technických parametrů taveného čediče uplatňuje i jeho atraktivní vzhled.

V průmyslu je pro svoje technické parametry vhodný např. do chemických provozů, skladů a expedičních hal, pivovarů, potravinářských provozů, hutních provozů aj.

Kromě standardního sortimentu jsou vyráběny dlaždice s protiskluzovou úpravou pro mokré, kluzké provozy a na strmé chodníky. Zámkové dlažby s výstupky se používají jako signální pruhy v komunikacích sloužících k orientaci nevidomých a slabozrakých.

Sklovitý charakter taveného čediče klade zvýšené nároky na pokládku. Proto jsou dlaždice na rubové straně opatřeny rýhováním pro zvýšení adheze a ke kladení čedičových dlažeb se doporučuje používat polymercementové malty nebo epoxidové tmely.



Obr. 4.24 Dlažby z taveného čediče

### 4.1.2.5 Výrobky z korundo-baddeleyitové taveniny

Pod názvem Eucor přichází na trh žáruodolný a otěruvzdorný materiál vhodný pro použití v podmínkách extrémního zatížení s vysokou abrazí v kombinaci s teplotním namáháním, kde již výrobky z taveného čediče nevyhoví.

Vyrábí se tavením elektrokorundu a zirkonového minerálu (baddeleyitu) v elektrické peci při teplotě 2000 ℃. Tavenina se odlévá do kovových nebo písko vých forem běžným slévárenským způsobem. Následnou krystalizací taveniny $Al_2O_3$ – $ZrO_2$ (korundo-baddeleyitová tavenina) vzniká konečný produkt, jehož hlavními přednostmi jsou především tvrdost, odolnost proti vysokým teplotám a chemické korozi.

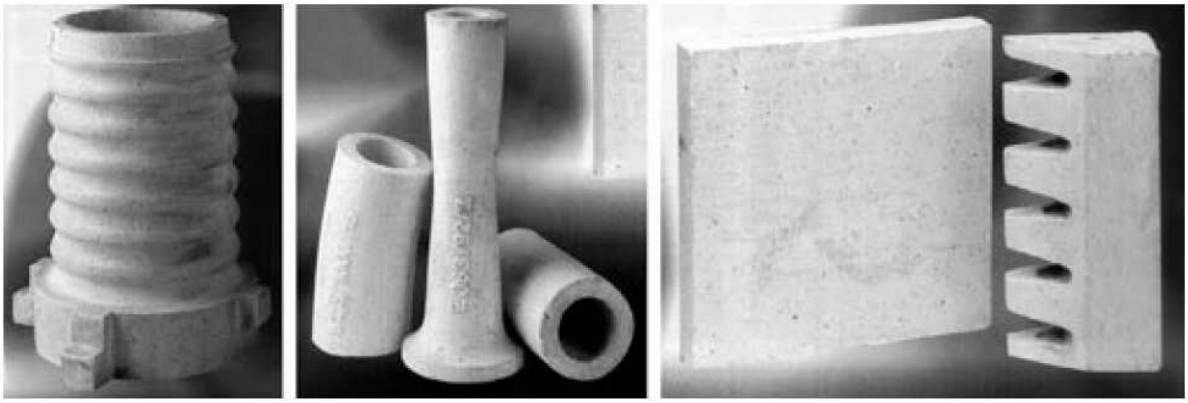
Základní fyzikální vlastnosti kompozitu $Al_2O_3$ – $ZrO_2$ [Eutit, s. r.o., 2004] *Tab. 4.12*

| Parametr | Jednotka | Hodnota |
|---|---|---|
| Hustota | $(kg.m^{-3})$ | 3 850 – 3 900 |
| Objemová hmotnost | $(kg.m^{-3})$ | min. 3500 |
| Trvalá teplota použití | °C | 1 000 – 1 100 |
| Odolnost proti deformaci v žáru při 0,2 Mpa | °C | 1 700 |
| Odolnost proti teplotním šokům | cykl. | min. 20 (950/20) |
| Obrusnost | $cm^3/50\ cm^2$ | max. 0,75 |
| Odolnost proti otěru | $mm^3$ | max. 30 |
| Tvrdost podle Mohse | – | stupeň 9 |
| Tvrdost podle Vickerse | MPa | min. 950 |
| Pevnost v tlaku | MPa | min. 300 |
| Pevnost v ohybu | MPa | min. 50 |

Vlastnosti $Al_2O_3$ – $ZrO_2$ kompozitů jsou programovatelné, v závislosti na účelu užití, a to změnou poměrného zastoupení jednotlivých fází.

Chemické složení běžně dodávaného materiálu je následující: $Al_2O_3$ – 50 %, $ZrO_2$ – 32 %, $SiO_2$ – 16 %, $Na_2O$ – 1 %. Zbytek tvoří další kovové oxidy v zanedbatelných koncentracích.

Z taveniny $Al_2O_3$ – $ZrO_2$ je dostupný prakticky stejný výrobkový sortiment jako v případě taveného čediče. Pro svou tvrdost odpovídající korundu jsou tyto výrobky vhodné do míst extrémně namáhaných erozí, např. pro ohyby potrubí pro pneumatickou dopravu křemičitého písku, k vyložení odlučovačů, spirálových skluzů apod. Vzhledem k odolnosti proti vysokým teplotám z nich lze vyrábět vyzdívky sklářských pecí nad úrovní taveniny, speciální tvarovky hořákových stěn a hořáků, tvarovky regeneračních komor, koksárenské rampy a další žárovzdorné zboží. Barva výrobků je světlá.



*Obr. 4.25* Příklady výrobků z taveniny $Al_2O_3$ – $ZrO_2$ [Eutit, s.r.o., 2004]

### 4.1.3 Kamenivo

Kamenivem rozumíme zrnitý anorganický materiál, přírodního nebo umělého původu, určený pro stavební účely. Ve stavební praxi se kamenivo používá především jako plnivo, které v kombinaci s vhodnými pojivy slouží pro přípravu malt a betonů. V silničním a železničním stavitelství se kamenivo používá k tvorbě uměle zhutněných vrstev.

Hlavní funkcí kameniva je vytvoření relativně pevné a tlakově odolné kostry, která vzniká vzájemným opřením a zaklíněním zrn.

Požadavky na kamenivo jsou specifikovány v následujících evropských normách:

- ČSN EN 12620 + A1 Kamenivo do betonu,
- ČSN EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové úpravy silnic, letišť a jiných dopravních ploch,
- ČSN EN 13055-1 Pórovité kamenivo – Část 1: Pórovité kamenivo pro betony, malty a injektážní malty,
- ČSN EN13055-2 Pórovité kamenivo – Část 2: Pórovité kamenivo pro nestmelené a stmelené aplikace,
- ČSN EN 13139 Kamenivo pro malty,
- ČSN EN 13242 +A1 Kamenivo nestmelené a stmelené hydraulickým pojivem pro inženýrské stavby a pozemní komunikace,

- ČSN EN 13383-1 Kámen pro vodní stavby – Část 1: Specifikace,
- ČSN EN 13450 Kamenivo pro kolejové lože.

Jednotlivé normy specifikují vlastnosti kameniva získaného úpravou přírodního, umělého nebo recyklovaného materiálu a směsí těchto kameniv určených pro konkrétní použití.

Požadavky v těchto evropských normách jsou založeny na zkušenostech se zavedenými a používanými druhy kameniva. Jestliže se má použít k určitému účelu kamenivo ze zdrojů, kde není tolik zkušeností, musí se postupovat opatrně, např. u recyklovaného kameniva a kameniva z některých průmyslových vedlejších produktů. Takové kamenivo, které musí vyhovovat všem požadavkům příslušné evropské normy, může mít i jiné charakteristiky, které nejsou uvedeny. Proto, je-li to vyžadováno, použijí se předpisy platné v místě jejich použití, aby se posoudila vhodnost.

Kamenivo je uvedeným souborem norem definováno jako zrnitý materiál používaný ve stavebnictví. Kamenivo může být přírodní, umělé nebo recyklované.

Přírodní kamenivo je kamenivo anorganického původu, které bylo vystaveno jen mechanickému procesu. Je to jeden z nejrozšířenějších stavebních materiálů tvořený přírodními horninami.

Podle způsobu těžby a další úpravy se přírodní kamenivo dělí na těžené a drcené. Těžené kamenivo je původu ledovcového nebo pochází z říčních naplavenin. Vzniká přirozeným rozpadem horniny, těží se z vodních toků a náplavů. Vyznačuje se převážně zaoblenými tvary zrn s povrchem ohlazeným přirozenou cestou při transportu zvětralé horniny.

Vytěžená surovina se třídí, případně ještě zdrobňuje. Podíl předrcených zrn s nejméně jednou lomovou plochou by neměl přesáhnout 40 %.

Drcené kamenivo je charakteristické nepravidelným tvarem zrn, ostrými hranami a drsným lomovým povrchem. Získává umělým drcením velkých kusů přírodních hornin a následným tříděním.

Umělé kamenivo je definováno jako kamenivo anorganického původu, které bylo vystaveno tepelnému nebo jinému procesu (vyrábí se z průmyslových odpadů (popílek, struska, popílkové sbalky), nebo z upravených hornin (keramzit, expandovaný perlit, siopor).

K umělým kamenivům patří v poslední době stále častěji využívané recyklované kamenivo. Specifikace normy uvádí, že se jedná o kamenivo anorganického původu, které bylo dříve použito v konstrukci. Nejčastěji to bývají drcené cihly a beton.

#### 4.1.3.1 Požadavky na vlastnosti kameniva

Pro jednotlivé vlastnosti jsou stanoveny kategorie, které označují charakteristickou úroveň příslušné vlastnosti, vyjádřené buď rozsahem hodnot, nebo hodnotou limitující.

#### 4.1.3.1.1 Zrnitost

Každé kamenivo (kromě fileru) musí být označeno frakcí s použitím výrazu d/D.

*Frakce* je určena dvojicí kontrolních sít (např. 4/16), mezi kterými se pohybují rozměry všech zrn příslušného kameniva.

*Dolní kontrolní síto* (dolní mez frakce), které vymezuje minimální rozměry zrn ve frakci obsažených, se označuje "d".

*Horní kontrolní síto* (horní mez frakce) vymezuje maximální rozměry zrn, přítomných ve frakci a značí se "D".

Velikostní rozmezí frakce se zapisuje ve formě d/D. Pokud je poměr otvorů sít D/d větší než 2, potom je těmito síty definována tak zvaná *široká frakce* (např. 0/4, 4/16, 8/22, 0/32). *Úzká frakce* je vymezena síty s poměrem velikosti otvorů D/d menším nebo rovným 2 (např. 2/4, 4/8, 16/22).

Kamenivo dodávané jako určitá frakce je vytříděno pouze přibližně v daném frakčním rozmezí. Označení frakce připouští přítomnost některých zrn, která zůstanou na horním sítu, a některých zrn, která propadnou dolním sítem frakce. To znamená, že každá frakce obsahuje určitý podíl zrn menších nebo větších, než je uvedené frakční rozmezí.

Podíl zrn, která propadnou dolním kontrolním sítem frakce (jsou menší než d), označujeme jako *podsítné*. Podíl zrn, která zůstanou na horním kontrolním sítu frakce (jsou větší než D), považujeme za *nadsítné*.

Velikost zrn kameniva se stanovuje podle velikosti nejmenšího kontrolního síta, jímž zrno ještě projde. *Zrnitost* (granulometrie) poskytuje informaci o poměrné skladbě zrn kameniva jednotlivých velikostí. Nejčastější metodou stanovení zrnitosti je sítový rozbor spočívající v postupném určení propadů, tj. podílů zrn menších, než je velikost ok jednotlivých kontrolních sít sady. Zrnitost zjištěná sítovým rozborem se vyjadřuje tabulkou, nebo se znázorňuje graficky jako *čára zrnitosti*.

Čára zrnitosti je spojnicový diagram, kde je na vodorovné ose vynesena velikost ok použité sítové řady a na svislé ose jsou znázorněny příslušné propady na jednotlivých sítech. (Podrobně viz kapitola 5.3).

Pokud jsou v množině zrn kameniva zastoupeny všechny velikosti, označujeme zrnitost jako plynulou. Pokud zrna určité velikosti chybí, je zrnitost označována jako přetržitá.

Dokud stupeň vývoje techniky neumožňoval účinné způsoby hutnění betonové směsi, bylo do betonu požadováno výlučně kamenivo s plynulou zrnitostí. Taková směs byla nejsnáze zpracovatelná a poskytovala relativně hutné betony. V současné době je možno vibrací, případně jinými intenzivními metodami hutnění, dosáhnout stejně hutných betonů i z kameniv přetržité zrnitosti.

Podle velikosti zrn rozdělujeme kamenivo na:

- hrubé kamenivo, jehož zrna (D) jsou větší nebo rovná 4 mm a zrna (d) jsou větší nebo rovná 2 mm,
- drobné kamenivo, jehož zrna (D) jsou menší nebo rovná 4 mm,
- jemné částice - frakce kameniva, která propadne sítem 0,063 mm,

- směs kameniva (štěrkopísek, štěrkodrť) – kamenivo, které je směsí hrubého a drobného kameniva (může být získáno bez oddělování hrubé a drobné frakce nebo může být připraveno smícháním hrubého a drobného kameniva).

Frakce kameniva musí být označena dvojicí sít vybraných ze základní řady sít nebo základní řady a řady 1, nebo řady základní a řady 2. Kombinace sít řady 1 a řady 2 není přípustná. Frakce kameniva nesmějí mít D/d menší než 1,4.

Velikost sít pro specifikaci frakcí kameniva (ČSN EN 12620+A1) *Tab. 4.13*

| Základní řada (mm) | Základní řada plus 1 (mm) | Základní řada plus 2 (mm) |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 2 |
| 4 | 4 | 4 |
| – | 5,6 (5) | - |
| – | – | 6,3 (6) |
| 8 | 8 | 8 |
| – | – | 10 |
| – | 11,2 (11) | – |
| – | – | 12,5 (12) |
| – | – | 14 |
| 16 | 16 | 16 |
| – | – | 20 |
| – | 22,4 (22) | – |
| 31,3 (32) | 31,5 (32) | 31,5 (32) |
| – | – | 40 |
| – | 45 | – |
| 63 | 63 | 63 |

Poznámka: Zaokrouhlené velikosti uvedené v závorkách se mohou použít jako zjednodušené označení frakce kameniva.

Všeobecné požadavky na zrnitost kameniva do betonu (ČSN EN 12620+A1) *Tab. 4.14*

| Kamenivo | Velikost | Propad v procentech hmotnosti | | | | | Kategorie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2D | 1,4 D | D | d | d/2 | $G^d$ |
| Hrubé | D/d ≤ 2 nebo D ≤ 11,2 mm | 100<br>100 | 98 – 100<br>98 – 100 | 85 – 99<br>80 – 99 | 0 – 20<br>0 – 20 | 0 – 5<br>0 – 5 | $G_C$ 85/20<br>$G_C$ 80/20 |
| Hrubé | D/d > 2 nebo D > 11,2 mm | 100 | 98 – 100 | 90 – 99 | 0 – 15 | 0 – 5 | $G_C$ 90/15 |
| Drobné | D ≤ 4 mm a d = 0 | 100 | 95 – 100 | 85 – 99 | - | - | $G_F$ 85 |
| Těžené přírodní 0/8 | D = 8 mm a d = 0 | 100 | 98 – 100 | 90 – 99 | - | - | $G_{NG}$ 90 |
| Směs kameniva | D ≤ 45 mm a d = 0 | 100<br>100 | 98 – 100<br>98 – 100 | 90 – 99<br>85 – 99 | - | - | $G_A$ 90<br>$G_A$ 85 |

Požadavky na zrnitost pro filer jako kamenivo (ČSN EN 12620+A1) *Tab. 4.15*

| Velikost síta (mm) | Propad v procentech hmotnosti Celkový rozsah pro jednotlivé výsledky | Propad v procentech hmotnosti Maximální rozsah deklarovaný výrobcem |
|---|---|---|
| 2 | 100 | – |
| 0,125 | 85 až 100 | 10 |
| 0,063 | 70 až 100 | 10 |

Modul zrnitosti je dalším způsobem vyjádření zrnitosti kameniva, který hodnotí v rámci dané frakce zrnitost kameniva jediným číslem charakterizujícím jeho celkovou jemnost či hrubost.

Modul zrnitosti je definován jako setina součtu všech celkových zbytků v procentech nalezených na určité sadě sít.

Pro hodnotu modulu zrnitosti má zvolená sada sít zásadní význam a všude, kde by mohlo dojít k omylu, je třeba s hodnotou modulu zároveň uvádět i použitou sestavu sít. Dnes se pro výpočet modulu zrnitosti nejčastěji používají celkové zbytky určené na sítové sestavě 0,25 – 0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 - 16 – 32 – 64.

V literatuře je modul zrnitosti označován také jako Abramsův modul, často se však pod tímto názvem skrývá modul zrnitosti stanovený na odlišné sadě sít, odpovídající americkým zvyklostem.

Synonymickým označením modulu zrnitosti byl původně také *modul jemnosti.* V posledních letech se však s tímto pojmem setkáváme spíše při popisu drobného kameniva podle ČSN EN 12620+A1. Podle této normy se k určení modulu jemnosti drobného kameniva používá pouze šestičlenná sada sít ve složení: 0,125 – 0,25 – 0,5 – 1 –2 – 4.

V literatuře vycházející z německých pramenů se modul zrnitosti nazývá také k-hodnota (značí se k) a kromě toho se zde objevují ještě další dvě charakteristiky (zpravidla značené D a F).

*Součet propadů D* (označovaný někdy jako *Rothfuchsovo číslo*) je definován vztahem:

$D = \Sigma( p_i)$,

kde $p_i$ je celkový propad na i-tém sítě v procentech. Protože modul zrnitosti *k* stanovený na stejné sadě sít je definován vztahem:

$k = (\Sigma(100 - p_i)) / 100$,

platí také:

$D = (x – k) . 100$,

kde *x* je počet sít vybraných ke stanovení $p_i$.

*Hummelovo číslo F* je zavedeno poněkud komplikovanějším způsobem jako součet ze součinů získaných násobením jednotlivých podílů úzkých frakcí kameniva příslušnou střední velikostí zrna.

Hodnota Hummelova čísla je úměrná ploše vymezené čárou zrnitosti. Někdy se proto setkáváme s tím, že Humelovo číslo je vyjadřováno v plošných jednotkách ($cm^2$). Takový rozměr je však pravdivý jen při dodržení určitých absolutních rozměrů grafického zobrazení a jeho uvádění tedy nemá valného smyslu.

Mezi Rothfuchsovým či Hummelovým číslem a k-hodnotou existuje lineární vztah, a proto jsou tyto tři veličiny z hlediska hodnocení zrnitosti prakticky rovnocenné.

Jejich společnou nevýhodou je nedostatečný důraz na nestejný význam různě jemných zrn.

V současné době se za veličinu, která daleko lépe zohledňuje vliv velikosti jednotlivých zrn, považuje *specifický povrch* (specific surface).

Výhodou specifického povrchu je zejména přímý vztah k spotřebě cementové kaše nezbytné k dokonalému obalení zrn kameniva, nevýhodou pak špatný experimentální dostup přímým měřením.

Z fyzikálního hlediska představuje specifický povrch hodnotu celkového povrchu jednoho kilogramu kameniva. Pro obtíže s jeho přímým stanovením se v praxi často uchylujeme ke stanovení přibližné hodnoty specifického povrchu (*S*) z čáry zrnitosti. Zpravidla se používá výpočet podle vzorce [Pytlík, P., 1997]:

$$S = \sum\left(\frac{Si.Q.yi}{Vi.h.100}\right),$$

kde *yi* je propad kameniva na sítě s okem *di*, *Si* je povrch koule o průměru 0,67. *di, Vi* - objem koule stejného průměru,*h*- označena hustota kameniva, *Q* - empirický koeficient vyjadřující odchylku zrn od kulatého tvaru (*Q těženého kameniva* = 1,1, *Q drceného kameniva* = 1,4 – 1,9).

Hodnota modulu zrnitosti (k-hodnota) a velikost specifického povrchu jsou do určité míry protikladné. Zatímco specifický povrch je zvyšován především přítomností jemných částic, vyšší hodnoty modulu zrnitosti poskytuje hrubší kamenivo.

Žádná jednočíselná charakteristika nemůže popsat distribuci zrn kameniva stejně podrobně a jednoznačně jako čára zrnitosti.

Stejná hodnota jednočíselného kriteria může být složena z různě velkých dílčích příspěvků daných příslušných podílem zrn určité velikosti a stejnou hodnotu mohou případně vykázat i kameniva s výrazně odlišnou čárou zrnitosti.

Pro hodnotu kteréhokoliv z výše uvedených kritérií má zásadní význam použitý soubor sít. Důsledné uvádění sítového souboru použitého k výpočtu by mělo být pravidlem.

Nejjemnější částice v kamenivu byly podle dříve platné ČSN 72 1510 označovány jako *odplavitelné částice* a definovány jako částice vymezené horním sítem 0,05 mm zjištěné plavením.

Nové evropské normy pro kamenivo již pojem odplavitelné částice nepoužívají. Namísto toho jsou zavedeny *jemné částice*, definované jako frakce kameniva, které propadne sítem 0,063 mm.

Pro kamenivo do betonu je přípustný obsah jemných částic limitován v závislosti na kategorii kameniva. Maximální hmotnostní procento propadu sítem 0,063 mm se pohybuje v rozmezí od 1,5 % u hrubého kameniva až po 22 % pro kamenivo drobné. Pro kategorii $f_{NR}$ u těžené přírodní frakce 0/8 a drobného kameniva (písku) maximální propad sítem 0,063 mm není limitován.

Jemné částice se mohou považovat za neškodné, pokud je jejich celkový obsah menší než 3 %. Vyšší obsah se připouští, jestliže hodnota ekvivalentu písku (ČSN EN 933-8) či hodnota methylenové modře (ČSN EN 933-9) je menší než specifikovaná spodní mez podle ČSN EN 12620+A1.

Vyšší obsah jemných částic je rovněž přípustný, pokud je potvrzeno, že s příslušným kamenivem jsou dobré zkušenosti a že je používáno bez problémů.

#### 4.1.3.1.2 Tvar zrn kameniva

U hrubého kameniva se kromě zrnitosti hodnotí i tvar a povrch jednotlivých zrn. Tvar zrn má zásadní vliv na zpracovatelnost betonových směsí a v případě hutněných vrstev nebo asfaltobetonu má vliv na pevnost výsledného kompozitu.

Posuzuje se především povrch zrn. Zrna mohou být oblá a hladká nebo ostrohranná s hrubým lomovým povrchem. Při použití do betonu poskytuje těžené kamenivo s hladkým povrchem betonovou směs lépe zpracovatelnou, ale s poněkud nižší pevností betonu. Drcené kamenivo s povrchem drsným se lépe spojuje s cementovým tmelem, proto betony vyrobené z tohoto kameniva mají vyšší pevnost, ale směs je méně pohyblivá a vyžaduje intenzivnější hutnění.

Důležitý je i tvar jednotlivých zrn. Zrna mohou být kulovitá, krychlová, plochá, podlouhlá nebo jehlicovitá. Číselnou charakteristiku tvaru zrn hrubého kameniva reprezentuje tvarový index.

Tvarový index SI je definován jako hmotnostní podíl zrn, jejichž poměr největšího a nejmenšího rozměru *L/E* je větší než 3. Vyjadřuje se v procentech celkové hmotnosti zkoušených zrn.

Zrna, která mají rozměrový součinitel *L/E* >3 jsou klasifikována jako zrna nekubického formátu a jsou pro betonářské účely považována za tvarově nevhodná.

Pro kulovitá a krychlovitá zrna se rozměrový součinitel blíží 1. Taková zrna jsou pro použití do betonu nejvýhodnější, protože poskytují nejmenší specifický povrch a k jejich obalení je zapotřebí nejmenší množství cementového tmelu.

Plochá, podlouhlá a jehlicovitá zrna se při zpracování a zhutňování betonové směsi příčí, zakliňují, což zhoršuje zpracovatelnost. Tvarově nevhodná zrna mohou negativně ovlivnit i vlastnosti ztvrdlého betonu. Hmotnostní podíl těchto zrn se stanovuje podle ČSN EN 933 -4 u hrubého kameniva pomocí šablon nebo dvoučelisťovým posuvným měřidlem.

Problematika tvaru zrn je naléhavá i v případě drceného drobného kameniva. Protože klasické metody měření tvarového indexu nejsou pro drobné kamenivo použitelné, zavádějí se nové metody hodnocení tvaru tříděním na štěrbinových sítech nebo stanovením sypné hmotnosti nasypáním z určité výšky.

Pokud se drcené drobné kamenivo připravuje ze silikátových hornin, je třeba počítat s tím, že se do rozdrcené frakce koncentrují méně pevné částice horniny. Z tohoto hlediska je vhodnější použití drobného kameniva z dolomitových hornin. Drobné drcené dolomitové kamenivo je možné s výhodou kombinovat s hrubým kamenivem silikátovým.

Dosud se jako drobné kamenivo u nás používá převážně vytříděné, případně prané, těžené kamenivo. Použitelné zdroje jakostního těženého kameniva však mají omezenou kapacitu a hrozí jejich vyčerpání v reálném časovém horizontu.

#### 4.1.3.1.3 Obsah schránek živočichů

Podíl schránek živočichů nesmí v hrubém kamenivu přesáhnout 10 % hmotnostních. Zjišťuje se podle ČSN EN 933-7 pro hrubé kamenivo a směsi, které kamenivo hrubé obsahují.

#### 4.1.3.1.4 Požadavky na fyzikální vlastnosti

Nutnost zkoušení a deklarování fyzikálních vlastností se řídí zejména účelem použití kameniva.

Obecně se ověřuje zejména náchylnost kameniva k poškození vlivem zmrazování a rozmrazování v závislosti na frekvenci zmrazovacích cyklů a stupni nasáknutí zrn vodou. Riziko poškození se výrazně zvyšuje, je-li kamenivo vystaveno mořské vodě nebo účinkům rozmrazovacích prostředků, případně prokáže-li petrografický rozbor kameniva přítomnost málo pevných nebo vysoce nasákavých zrn.

Kamenivo se může považovat za odolné vůči zmrazování a rozmrazování, není-li jeho nasákavost vodou stanovená podle EN 1097-6 větší než 1 %. Existují však vyhovující kameniva, která vykazují vyšší hodnoty nasákavosti. Např. některé jurské vápence a pískovce mívají hodnoty nasákavosti větší než 4 %, nasákavost vysokopecní strusky, permského vápence, dolomitů a karbonských pískovců může být vyšší než 2 %, ale tyto materiály mohou stále mít přiměřenou odolnost vůči zmrazování a rozmrazování.

K posouzení odolnosti kameniva vůči zmrazování a rozmrazování se může použít buď hodnota mrazuvzdornosti stanovená podle EN 1367-1, nebo hodnota zkoušky síranem hořečnatým stanovená podle EN 1367-2.

Zkouška síranem hořečnatým se považuje za vhodnější pro situace, kdy je kamenivo vystaveno působení mořské vody nebo rozmrazovacích solí.

U kameniva pro betony se zvláštním určením, např. vystavené chemicky agresivnímu prostředí, se stanovují i další vlastnosti (koeficient hydrofilnosti drceného drobného kameniva, trvanlivost, nasákavost).

Kamenivo má obvykle větší pevnost než beton, avšak, je-li určeno pro výrobu vysokopevnostního betonu, doporučuje se vzít pevnost kameniva v úvahu. Mechanická odolnost (drtitelnost v rázu) je významná pro kamenivo kolejových svršků.

K výrobě kameniva se smí užívat jen takové suroviny, které neuvolňují radioaktivní záření v množství, které by mohlo být příčinou poškození zdraví (přípustná je hodnota 300 $Bq.kg^{-1}$, respektive 1000 $Bq.kg^{-1}$, pokud je kamenivo určeno jinam než do pobytových místností).

#### 4.1.3.1.5 Škodlivé látky v kamenivu

Vlastnosti kameniva jsou ovlivněny především jeho původem, tj. mineralogickým složením, a obsahem dalších látek. U kameniva určeného do betonu ovlivňuje mineralogické složení zrn kameniva a další obsažené látky chemické reakce probíhající mezi kamenivem a cementovým tmelem.

Z hlediska vlastností betonové směsi, vlastností a trvanlivosti betonu je důležité, aby kamenivo neobsahovalo škodlivé látky, které při styku s cementovým tmelem vedou k nepříznivému ovlivnění tuhnutí a tvrdnutí cementového tmele, způsobují vnitřní pnutí, a tím porušování struktury zatvrdlého betonu a snižují soudržnost u betonu s ocelí.

Škodlivé podíly v kamenivu určeném do betonu lze rozdělit do následujících skupin :

- - jemné částice menší než 0,063 mm (jak je uvedeno výše, jsou škodlivé jen tehdy, překročí-li jejich podíl v jednotlivých frakcích kameniva přípustné množství),
- - humusovité látky (jemně rozptýlené organické látky prokazatelné pomocí roztoku hydroxidu sodného),
- - bobtnající organické látky (zbytky dřeva),
- - látky ovlivňující tvrdnutí,
- - látky obsahující síru,
- - látky způsobující korozi výztuže (halogenidy),
- - látky podléhající alkalicko-křemičité reakci,
- - kamenivo ze zbytků čerstvého betonu a malt.

Humusovité látky a materiály obsahující cukr mohou nepříznivě ovlivnit rychlost hydratace cementu změnou doby tuhnutí a tvrdnutí. Některé jílovité příměsi snižují pevnost a trvanlivost betonu.

Sírany obsažené v kamenivu mohou způsobit porušení betonu rozpínáním. Větší podíl síranů se připouští pouze v krystalické vysokopecní strusce, kde je uzavřen v zrnech, a proto se neúčastní hydratačního procesu cementu.

Na zdroji kameniva závisí obsah chloridů, které se mohou v kamenivu vyskytovat ve formě sodných a draselných solí. Jejich množství je nutné omezit s ohledem na minimalizaci rizika koroze kovových vložek. V kamenivu z většiny tuzemských zdrojů je však obsah vodou rozpustných chloridových iontů obvykle velmi malý.

Určitá kameniva mohou reagovat za nepříznivých podmínek a vysoké vlhkosti s alkáliemi v betonu. To může způsobit rozpínání a vznik trhlinek, popř. i rozpad betonu.

K nejběžnějším formám patří reakce mezi alkáliemi a určitými formami křemíku (alkalicko-křemičitá reakce). Rovněž při použití vzduchem chlazené vysokopecní strusky jako kameniva do betonu může v některých případech docházet k negativním ovlivnění její objemové stálosti.

Méně běžná je reakce alkalicko-uhličitanová. Omezení těchto rizik lze dosáhnout omezením celkového obsahu alkálií v betonu, použitím směsi nereaktivního kameniva a snížením stupně nasycení vodou. Podrobnější informace uvádí technická zpráva CEN CR 1901 [CEN Report CR 1901, 1995]. Pokud je kamenivo dodáváno z jiného státu, doporučuje se vzít v úvahu zkušenosti ze země původu.

Některé složky kameniva mohou nepříznivě ovlivnit vzhled povrchu betonu skvrnami rzi, zbarvením, puchýři nebo odprýsknutím, jestliže jsou přítomny blízko povrchu betonové konstrukce. Jedná se např. o reaktivní pyrit a lignin.

Jestliže je kladen důraz na vzhled povrchu betonu, např. u pohledových betonů, měl by být podíl lehkých organických znečišťujících látek co nejnižší.

#### 4.1.3.1.6 Objemová hmotnost zrn

Objemová hmotnost je poměr hmotnosti zrn vzorku kameniva ku objemu, který vzorek zaujímá včetně dutin a pórů v jednotlivých zrnech, avšak bez mezer mezi zrny. Nezávisí na velikosti zrn.

Objemová hmotnost je charakterizována materiálem, ze kterého jednotlivá zrna vznikla. Úzce souvisí s chemickým složením kameniva a jeho mikrostrukturou. Proto je tato veličina vhodným třídicím znakem. Podle objemové hmotnosti zrn dělíme kamenivo do následujících skupin:

- - těžké kamenivo – s objemovou hmotností větší než 3000 $kg.m^{-3}$,
- - hutné kamenivo – o objemové hmotnosti v rozmezí od 2000 $kg.m^{-3}$ do 3000 $kg.m^{-3}$,
- - pórovité kamenivo – o objemové hmotnosti ne větší než 2000 $kg.m^{-3}$ , nebo sypné hmotnosti ne větší než 1 200 $kg.m^{-3}$.

### 4.1.3.2 Těžké kamenivo

Kamenivo s objemovou hmotností větší než 3000 kg.m$^{-3}$ označujeme jako kamenivo těžké.

Použití těžkého kameniva se uplatňuje zejména ve speciálních konstrukcích z těžkých betonů, které slouží jako ochrana před radioaktivním a rentgenovým zářením.

Jedná se hlavně o použití v jaderné energetice, při budování krytů proti radioaktivnímu záření, ve zdravotnictví k ochraně zdravotnického personálu a pacientů proti účinkům radiačního záření používaného k diagnostickým účelům.

Vzhledem ke způsobu určení jsou na kamenivo do těžkých betonů kladeny následující základní požadavky:

- musí být zaručeno složení zrnitosti, objemové hmotnosti, obsah krystalicky vázané vody a chemické složení,
- kamenivo svým charakterem nesmí ohrožovat pevnost a hutnost betonu,
- obrusnost při skladování a míchání musí být minimální,
- charakter povrchu kameniva nesmí snižovat jeho přídržnost v maltě a betonu,
- kamenivo nesmí obsahovat žádné složky škodlivé betonu nebo napadající ocel,
- minimální pevnost v tlaku musí činit nejméně 80 MPa.

Nejvhodnějšími druhy kameniva jsou magnetit, limonit, popřípadě i ocel (dobře brzdí rychlé neutrony), baryt a ferofosfor.

Podle konkrétních požadavků na speciální absorpci se používají i různé kombinace v závislosti na vlastnostech jednotlivých druhů kameniva.

Pro svoji ekonomickou výhodnost se v jaderné energetice na masivní ochranné betonové vrstvy nejčastěji používají železné rudy.

Jedná se o různé oxidy železa, případně s vázanou vodou, obsažené v přírodních materiálech, jako jsou krevel, magnetit, limonit, goethit apod. Zrna těchto materiálů mají objemovou hmotnost 4800 až 5300 kg.m$^{-3}$.

Dalším těžkým kamenivem je přírodní minerál baryt (těživec) tvořený síranem barnatým ($BaSO_4$). Poskytuje zrna o objemové hmotnosti 4300 až 4700 kg.m$^{-3}$.

S použitím síranu barnatého jako plniva se zhotovují ochranné barytové omítky používané v radiodiagnostických laboratořích a v místnostech s rentgeny.

Vzhledem k poměrně nízké ceně a dostatečnému stínicímu účinku je baryt používán i do betonů pro stavbu ochranných krytů, při stavbách vysoce radiačně aktivních prostor a ochranných zdí okolo urychlovačů a biologicky ochranných krytů v reaktorech.

Velmi dobrou stínicí schopnost proti $\gamma$-záření poskytuje i ilmenit. Tato železotitanová ruda o složení $FeO.TiO_2$ je přibližně o 12 až 15 % lehčí než jiné železné rudy, takže těžké betony z ní vyrobené dosahují nižší objemové hmotnosti, okolo 3500 kg.m$^{-3}$.

Jednotlivá těžká kameniva se používají do betonů jak samostatně, tak ve vzájemné kombinaci. Častá je i kombinace s ocelovými broky či odpadem získaným při obrábění železa.

Specifická absorpce záření některých kameniv [Nedbal, F. aj., 2001] *Tab.4.16*

| Hmota | Chemické složení | Objemová hmotnost ($kg.m^{-3}$) | Specifická absorpce ($cm^2.g^{-1}$) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | rychlé neutrony | γ-záření 3 MeV |
| korund | $Al_2O_3$ | 3 600 | 0,0330 | 0,0365 |
| baryt | $BaSO_4$ | 4 300 | 0,0236 | 0,0363 |
| ferofosfor | FenP | 6 400 | 0,0230 | 0,0359 |
| magnetit | $Fe_2O_3$ | 4 600 | 0,0258 | 0,0359 |
| limonit | $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ | 3 700 | 0,0372 | 0,0362 |
| železo | Fe | 7 800 | 0,0214 | 0,0359 |
| olovo | Pb | 11 300 | 0,0103 | 0,0413 |
| křemen | $SiO_2$ | 2 600 | 0,0328 | 0,0362 |
| voda | $H_2O$ | 1 000 | 0,1 – 0,1340 | 0,0396 |

K těžkým kamenivům patří také korund ($Al_2O_3$) získávaný jako přírodní minerál nebo připravovaný uměle. Má zrna objemové hmotnosti 3600 až 4300 $kg.m^{-3}$. Toto kamenivo je mimořádně tvrdé (stupeň 9 podle Mohse).

Korundové betony se používají především na mechanicky odolné podlahy nebo vozovky s nízkým obrusem.

Vzhledem k dobrým parametrům otlukovosti a ohladitelnosti je možné pro výrobu asfaltových vrstev vozovek využít i těžké kamenivo umělé (objemová hmotnost > 3000 $kg.m^{-3}$), které se vyrábí z vysokopecní strusky. Struskové těžké kamenivo se vyrábí chlazením, drcením, magnetickou separací a tříděním krystalické ocelářské strusky. Drcením a tříděním se získává řada frakcí kameniva, které nacházejí uplatnění v silničním stavitelství.

### 4.1.3.3 Hutné kamenivo

Hutné kamenivo je hmotnostně nejvýznamnější složkou běžných malt a betonů. V betonu tvoří 75 až 80 % jeho objemu a jeho hlavní funkcí je vytvoření pevné kostry při minimální mezerovitosti. Používá se i na zásypy a vozovkové vrstvy (asfaltobetony). Nejčastěji se získává těžením, popřípadě drcením přírodních hornin. Kvalitní hutné kamenivo poskytuje celá řada hornin běžně se vyskytujících na našem území.

Určitý mineralogický původ není normami výslovně požadován. Normy pro jednotlivé účely použití kameniva ve svých informativních částech pouze upozorňují na rizikové oblasti některých druhů kameniva a na vhodné postupy k ověření jejich použitelnosti.

Druhy hornin pro obyčejné betony [Pytlík, P., 1997] *Tab. 4.17*

| Hornina | Objemová hmotnost ($kg/m^{-3}$) | Tvrdost dle Mohse | Pevnost v tlaku (MPa) | Pevnost v ohybu (MPa) | Nasákavost (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Magmatické horniny | | | | | |
| žula | 2 600 – 2 800 | 6 – 7 | 120 – 240 | 10 – 35 | 0,2 – 1,2 |
| diorit | 2 700 – 3 000 | 6 – 7 | 135 – 215 | 20 – 40 | 0,2 – 07 |
| gabro | 2 800 – 3 100 | 6 – 7 | 150 – 225 | 25 – 60 | 0,2 – 0,5 |
| syenit | 2 500 – 2 900 | 6 – 7 | 150 – 200 | 10 – 20 | 0,2 – 0,5 |
| čedič | 2 050 – 3 000 | 6 | 250 – 400 | 15 – 25 | 0,1 – 0,3 |
| trachyt | 2 400 – 2 900 | 6 – 7 | 60 – 70 | | 1 – 2 |
| diabas | 2 800 – 2 980 | 6 | 120 – 220 | 20 – 45 | 0,1 – 0,8 |
| porfyr, porfyrit | 2 550 – 2 650 | 6 – 7 | 70 – 210 | 15 – 30 | 0,2 – 1,5 |
| Sedimentární horniny | | | | | |
| pískovec – $SiO_2$ | 2 000 – 2 400 | proměnlivá | 30 – 80 | 3,8 | 4,0 – 8,5 |
| vápenec | 2 600 – 2 850 | 3 | 40 – 180 | 10 – 25 | 0,2 – 0,6 |
| dolomit | 2 650 – 2 850 | 3,5 | 100 – 200 | 12 – 25 | 0,2 – 0,6 |
| břidlice | 2 600 – 2 750 | 7 | 100 – 190 | 30 – 100 | 0,3 – 1,5 |
| Metamorfované horniny | | | | | |
| rula | 2650 – 2750 | 6 – 7 | 120 – 250 | 24 – 50 | 0,1 – 1,2 |
| křemenec | 2500 – 2700 | 7 | 300 | | 0,5 |
| amfibolit | 2700 – 3100 | 6 | 170 – 280 | | 0,1 – 0,4 |
| mramor | 2700 – 2800 | 3 | 75 – 145 | 12 – 26 | 0,2 – 1,0 |

Z umělých hutných kameniv se uplatňuje zejména hutná vysokopecní struska. Struskové kamenivo se vyrábí chlazením, drcením a tříděním vysokopecní strusky. Proces ochlazování se provádí buď pomalu vzduchem nebo kontrolovanou aplikací vody.

Prudkým vodním zchlazením žhavé vysokopecní strusky vzniká písčitý materiál s velikostí zrna max. 5mm – granulovaná vysokopecní struska.

Objemová hmotnost strusky s pohybuje v rozmezí od 1900 do 2800 $kg.m^{-3}$, nasákavost je do 10 %. Struska musí být nerozpadavá, ověřuje se i její chemické složení.

Obsah veškeré síry přepočtený na $SO_3$ nesmí překročit 1% hmotnosti. Struskové kamenivo je možné použít do betonu, ke zhotovení nestmelených a stabilizovaných podkladních vrstev vozovky, do vrstev vozovky z obalovaných směsí apod.

Použití struskového kameniva *Tab. 4.18*

| Konstrukční vrstva vozovky | Frakce (mm) |
|---|---|
| asfaltové směsi | 4/8, 8/11, 11/22 |
| podkladní vrstvy | 0/8, 0/16, 0/22, 0/32, 0/45, 0/63 |
| zemní těleso | 0/250 |

Dalším použitelným materiálem z této kategorie je drcený betonový recyklát. Jeho využití je spojeno se zvýšenou kontrolou kvality. Betonový recyklát vykazuje značné nehomogenity, větší nasákavost a s ní spojenou nižší pevnost a mrazuvzdornost než přírodní horniny.

V použití recyklovaných materiálů dochází v poslední době ke značnému rozvoji. Tento trend souvisí jednak s omezenými zdroji materiálů nových a hlavně s tlakem na minimalizaci odpadů ukládaných na skládky a snížení nákladů na jejich likvidaci.

### 4.1.3.4 Pórovité kamenivo

Dříve platná ČSN 72 1510 Kamenivo pro stavební účely, názvosloví, klasifikace, definovala pórovité kamenivo jako kamenivo s objemovou hmotností do 2000 kg.m$^{-3}$.

Evropské normy (ČSN EN 13055-1 a další) používají označení lehké kamenivo pro kamenivo s pórovitou strukturou, sypnou hmotností do 1200 kg.m$^{-3}$ a objemovou hmotností zrna do 2000 kg.m$^{-3}$.

Pórovité kamenivo nachází hlavní uplatnění při výrobě lehkých malt a betonů s tepelně izolačními účinky. Používají se pórovitá kameniva jednak přírodní, jednak uměle vyrobená.

#### 4.1.3.4.1 Přírodní pórovitá kameniva

Přírodní pórovité kamenivo se získává z lehkých hornin vhodných vlastností. Mohou to být horniny vulkanického původu nebo pórovité sedimenty.

Z lehkých hornin, které lze použít pro výrobu pórovitého kameniva se u nás vyskytují tufy a tufity, křemelina, spongility, trasy a čedičové lávy. Přírodní pórovitá kameniva vykazují kolísání objemové hmotnosti a nestejnoměrnost vlastností. Vzhledem k tomu, že se většinou vyrábí drcením hornin, přistupují i další nevýhody – mohou obsahovat značné procento prachových podílů a jejich pórovitost je do značné míry otevřená.

Většina pórovitých hornin je silně nasákavá a náchylná k objemovým změnám působeným změnami vlhkosti. Tato kameniva mají místní význam.

#### 4.1.3.4.2 Pórovitá kameniva z průmyslových odpadů

Z průmyslových odpadů se jako pórovité kamenivo využívá škvára, zpěněná struska, popílek a recyklované cihelné zdivo.

*Škvára* vzniká jako odpad spalování pevných paliv v roštových topeništích. Její upotřebitelnost závisí na druhu paliva, ze kterého vznikla. U čerstvé škváry jsou nebezpečné nespálené zbytky, které se dosud nerozložily. Jejich množství je proto limitováno maximálním obsahem 10 %.

Sloučeniny síry, zejména sirníky, mohou ovlivňovat tuhnutí cementu. Objemovou nestálost škváry mohou způsobovat volné oxidy CaO a MgO, které se však delším odležením samovolně vyhasí. Škvára pro stavební využití se posuzuje i z hlediska obsahu radioaktivních izotopů.

*Zpěněná struska* vzniká při hutnickém zpracování kovových rud prudkým zchlazením žhavé tekuté strusky vodou. Jakost zpěněné strusky často kolísá, proto se od jejího použití upouští a struska se používá nezpěněná (chlazená vzduchem) jako hutné kamenivo.

Pro tento účel se třídí do frakcí a magnetickou separací se zbavuje kovových podílů. Oba typy struskového kameniva jsou u nás běžně dostupné.

*Popílkové sbalky* se vyrábí z popílku a vody postupným nabalováním na granulačních talířích. Hotové sbalky se suší a vypalují při teplotě 1100 až 1250 ℃. Povrch granulí je poměrně uzavřený, jejich nasákavost se pohybuje kolem 18 % hmotnosti. V současné době nejsou na našem trhu nabízeny.

*Cihelná drť* vzniká v malém množství jako odpad z cihlářské výroby, ale převážně drcením cihelné suti. Nevýhodou je nákladné třídění sutin, při kterém se oddělují ostatní hmoty (dřevo a další) a nerovnoměrná jakost. Dnes jsou k dispozici mobilní drtičky umožňující realizovat výrobu cihelné drtě přímo v místě budoucí spotřeby. To je výhodné tehdy, pokud je na místě zároveň zdroj cihelné suti.

Agloporit je druh objemově stálého pórovitého kameniva vyráběného z elektrárenského popílku. Je vhodný jak pro výrobu izolačních betonů, tak i pro betony konstrukční. V současné době se u nás nepoužívá.

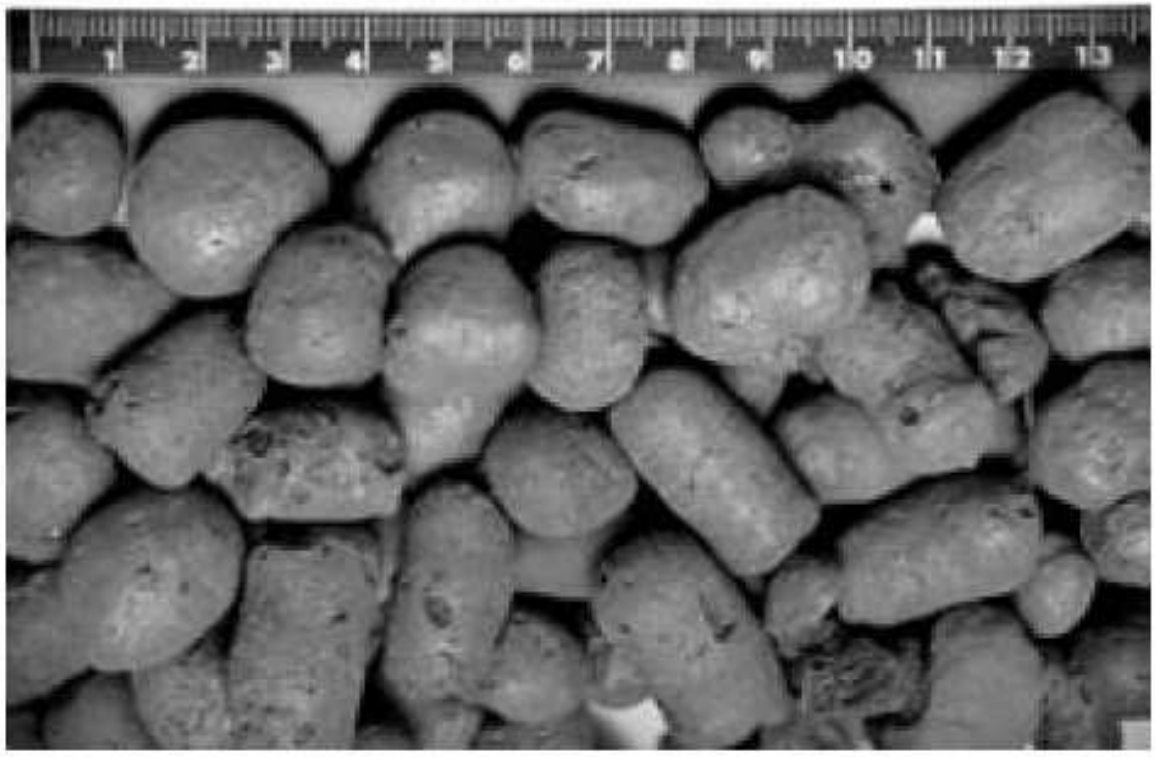
#### 4.1.3.4.3 Pórovitá kameniva z přírodních zdrojů

Kvalitní pórovité kamenivo lze vyrábět v rotačních pecích žíháním granulí jílových nebo písčito-hlinitých hornin (jílů, písčitých jílů, břidlic, argilitu, siltu), hornin obsahujících šungit, tripolity, popelostruskové směsi nebo popílky a úlety tepelných elektráren, které při žíhání současně expandují.

Jediná výrobna takovéhoto pórovitého kameniva byla u nás postavená ve Vintířově. Zahájila výrobu v roce 1962. Její výstavba byla inspirována výrobou pórovitého kameniva v SSSR nazývaného keramzit. Pórovité kamenivo se proto i u nás běžně jako *keramzit* označuje i když původně nejde o druhový název. Současný majitel výrobny pórovitého kameniva ve Vintířově pro svůj výrobek preferuje ochrannou známku LIAPOR.

Výroba ve Vintířově vychází z cyprisových jílů a jílovců z nadloží Sokolovské hnědouhelné pánve. Vytěžený jílovitý materiál je v několika stupních drcen, plastifikován a různými způsoby ztvarován do granulí potřebné velikosti a tvaru.

Granule procházejí rotační pecí, kde expandují při teplotě asi 1150 ℃. Poté expandovaný granulát prochází chladičem a vychlazený je tříděn na jednotlivé frakce. Část granulátu se ještě dále zpracovává drcením.



Obr. 4.26 Keramzit

Svou podstatou se keramzit řadí mezi keramické hmoty, které jsou jedním z nejstarších a nejosvědčenějších stavebních materiálů. Vyznačuje se kulovitými zrny s vnitřní stejnoměrnou pórovitou strukturou a uzavřeným slinutým povrchem. Jsou poměrně křehká. Na lomu jsou zrna šedočerná a zřetelně pórovitá. K základním vlastnostem keramzitu patří malá nasákavost, stálost, zdravotní nezávadnost, nízká hmotnost, je pevný, tepelně a zvukově izolující, odolává kyselinám a louhům.

Hlavními parametry jakosti lehkého kameniva jsou hmotnost a pevnost zrna. Objemová hmotnost zrna může být 550 až 1500 $kg.m^{-3}$, což při mezerovitosti 40 až 45 % představuje sypnou hmotnost od 250 do 800 $kg.m^{-3}$. Hustota keramzitového materiálu je 2300 až 2600 $kg.m^{-3}$.

Nasákavost keramzitu je díky jeho uzavřenému povrchu nízká. Převážnou část vody nasákne již v prvních 15 minutách, k čemuž je třeba přihlédnout při návrhu betonových směsí i postupu mícháni.

Keramzit není hygroskopický a nepřijímá vlhkost ze vzduchu. Přirozená ustálená vlhkost je 0,2 % objemu. Pokud je umístěn do konstrukce suchý a je chráněn proti přímému přístupu vody, zůstává dokonale suchý. Samotné zrno keramzitu, keramzitový zásyp ani keramzitové výrobky nemají kapilární strukturu, a voda v nich tudíž nevzlíná.

Základní parametry keramzitového kameniva [Kamenivo Liapor, 2004] *Tab. 4.19*

| Označení | Frakce | Sypná hmotnost ($kg.m^{-3}$) | Objemová hmotnost zrna ($kg.m^{-3}$) | Pevnost při stlačení ve válci (MPa) | Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ ($W.m^{-1}K^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 8-16/275 | 8/16 | 275 | 550 | 0,7 | 0,09 |
| 8-16/600 | 8/16 | 600 | 1100 | 4,5 | 0,14 |
| 4-8/350 | 4/8 | 350 | 625 | 1,1 | 0,1 |
| 4-8/450 | 4/8 | 450 | 850 | 2 | 0,11 |
| 4-8/650 | 4/8 | 650 | 1200 | 7 | 0,14 |
| 4-8/800 | 4/8 | 800 | 1500 | 10 | 0,19 |
| 4-8/950 | 4/8 | 950 | 1825 | 12 | 0,23 |
| 1-4/500 | 0/4 | 500 | 875 | 4 | 0,11 |
| 1-4/625 | 0/4 | 625 | 1050 | 6 | 0,14 |
| 2-4/450 | 2/4 | 450 | 800 | 3 | 0,11 |
| 0-2/575 | 0/2 | 575 | 1050 | 6 | 0,12 |

Granulovaná forma umožňuje aplikaci keramzitového kameniva v mnoha oblastech stavebnictví, ale i v řadě dalších oborů.

Základní aplikací je volně sypaný materiál pro výplňové a izolační zásypy a podkladní vrstvy. Pro dobré tepelně izolační vlastnosti se používá k zásypům ve stropech, nad klenbami a ve střešních konstrukcích, k podsypům podlah a izolačním zásypům energovodů.

Keramzit nachází vhodné použít i při rekonstrukcích historických budov, kde může vhodně nahradit chybějící nebo nevhodnou výplň např. trámových stropů. Původní výplň je často nevhodná ( škvára, piliny, písek, stavební suť), nebo i vlhká, neboť kapilární strukturou nasává vlhkost ze zdiva. V těchto případech náhradou starého zásypu keramzitem můžeme zlepšit tepelně a zvukově izolační schopnost, snížit hořlavost a mnohdy i odlehčit starou konstrukci.

Velkou aplikační skupinu tvoří lehké betony, které se používají pro monolitické vrstvy a konstrukce, pro výrobu dílců nebo tvarovek. Z lehké kermazitového betonu se začaly vyrábět i broušené (kalibrované) tvarovky pro přesné zdění.

Objevují se stále nové možnosti využití, např. substráty pro hydroponické pěstování rostlin, filtrační zásypy, výplně absorpčních zón, vrstvy a prvky pojené jinými pojivy než cementem. Významnou možností pro jeho využití je též oblast geotechniky.

Podobným výrobkem je drobné lehké kamenivo vyráběné z odpadního drceného skla. Při jeho výrobě se připravené rozdrcené odpadní sklo jemně rozemele a potom se granuluje. Skleněný granulát se v expandační peci při teplotě asi 900 ℃ spéká, slinuje a expanduje.

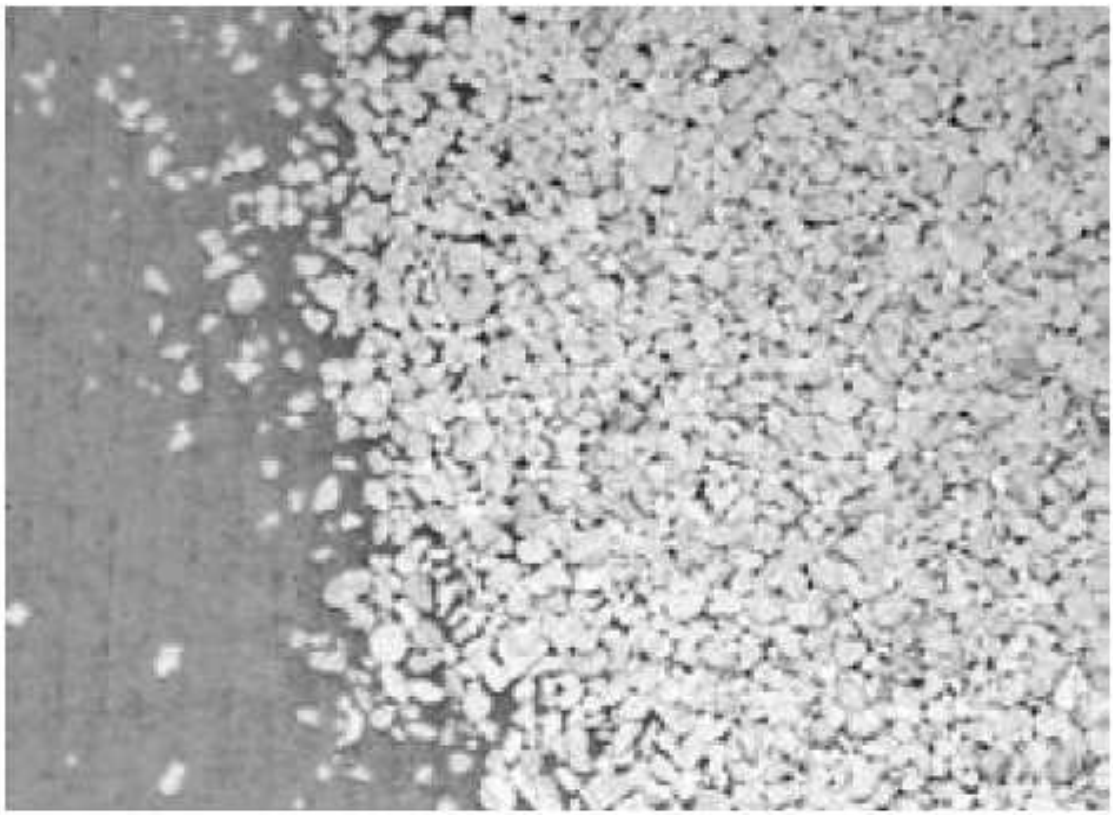
Vznikají zrna, která mají kulovitý, uzavřený tvar, rovnoměrnou velmi jemně porézní strukturu a dobře uzavřený povrch. Tato struktura dává expandovanému skleněnému granulátu při velmi nízké hmotnosti dobrou pevnost. Pevnost v tlaku se určuje stlačením ve válci a má hodnotu kolem 12 MPa.

Sypná hmotnost je v rozmezí od 190 do 300 $kg.m^{-3}$. Objemová hmotnost zrn je od 290 do 540 $kg.m^{-3}$. Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ má hodnotu od 0,07 $W.m^{-1}K^{-1}$. Zrna jsou tvarově stabilní do teploty 750 ℃.

Základní parametry expandovaného skleněného granulátu [Kamenivo Liapor, 2004] *Tab. 4.20*

| Označení | Frakce | Sypná hmotnost ($kg.m^{-3}$) | Objemová hmotnost zrna ($kg.m^{-3}$) | Pevnost (MPa) | Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ ($W.m^{-1}K^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Liaver 0,25 – 0,5 | 0,25/0,5 | 300 | 540 | - | - |
| Liaver 0,5 – 1,0 | 0,5/1,0 | 250 | 450 | 1,1 – 1,5 | - |
| Liaver 1 – 2 | 1/2 | 220 | 350 | 1,1 – 1,5 | - |
| Liaver 2 – 4 | 2/4 | 190 | 290 | 1,1 – 1,5 | 0,07 |

*Expandovaný perlit* je drobné pórovité kamenivo vyrobené žíháním zrn vulkanického skla obsahujícího vodu . Vyrábí se tepelným zpracováním horniny sopečného původu – perlitu.



Obr. 4.27 Expandovaný perlit

Perlit je v podstatě amorfní křemičitan hlinitý sopečného původu. Má poměrně vysoký obsah alkálií a nízký obsah oxidu železa a titanu. Jeho chemické složení a vlastnosti jsou podobné jako u skla, neboť patří ke kyselým vulkanickým sklům jako obsidián, nebo pemza. Hustota perlitu je 2350 $kg.m^{-3}$.

Tepelným zpracováním při teplotách 900 - 1300 ℃ tato hornina expanduje na produkt ve formě drobných dutých kuliček o maximální velikosti 4 mm, přičemž množství zrn o velikosti nad 1 mm se pohybuje v rozmezí 0 až 30 %. Při expandaci se objem perlitu zvětšuje 5 až 10 krát.

Expandovaný perlit je zdravotně nezávadný, biologicky i chemicky inertní, nehořlavý a odolný mrazu, objemově stálý a má sypnou hmotnost od 50 do 120 $kg.m^{-3}$. Má velmi nízký koeficient tepelné vodivosti ($\lambda$ = 0,045 - 0,10 $W \cdot m^{-1} K^{-1}$), a proto je jeho použití rozšířeno zejména v oboru stavebnictví jako tepelná a zvuková izolace. Jeho užití je možné v rozsahu teplot -200 až +900 ℃.

Velký podíl otevřených pórů zapříčiňuje vysokou nasákavost, která může přesáhnout i 400 % hmotnosti. Z výroby přichází expandovaný perlit (experlit) zpravidla jako suchý pytlovaný materiál s vlhkostí kolem 2 %.

Pro svou pórovitou strukturu nachází uplatnění i v zemědělství při provzdušnění zeminy, stabilizaci vlhkosti a hnojiv v půdě, při hydroponii, ale i ochraně plodin před mrazem. Jemné druhy experlitu s nízkou objemovou hmotností se používají jako plnivo.

Ve stavebnictví se expandovaný perlit používá zejména k výrobě lehčených izolačních omítek, zdicích malt, betonu a izolačních zásypů. Pro své vlastnosti je vhodný k dodatečnému zateplení budov a požární ochraně objektů.

*Expandovaný vermikulit* se získává ze surového vermikulitu prudkou změnou teploty. Vermikulit je mineralogický název – hydratovaného laminárního hořečnato-hlinito-železitého silikátu (phylosilikátu), který se svým vzhledem podobá slídě. Vznikal postupným zvětráváním a částečnou hydratací flogopytových a biotitových slíd.

Je-li vermikulit vystaven vysoké teplotě, dochází díky interlaminárnímu obsahu vody, která se mění v páru k expanzi. Zvětšení objemu je 8 až 20násobné, výjimečně i 30 násobné. Chemické složení se liší podle lokality. Maximální velikost zrna je 16 mm, sypná hmotnost se pohybuje v rozmezí 60 až 200 $kg.m^{-3}$.

Vermikulit se používá ve slévárnách a ocelárnách díky své nízké tepelné vodivosti, nízké specifické hmotnosti a žárovzdornosti jako izolační materiál pro ingoty či odlitky, např. mezi jednotlivými kroky výroby či zamezení pnutí materiálu způsobeném rychlým ochlazením. Vermikulit je používán i k protipožární ochraně konstrukcí. K tomuto účelu se vyrábějí desky, v nichž je vermikulit pojen anorganickým pojivem.



Obr. 4.28 Vermikulit

*Expandit* je lehčené kamenivo, které se získává expanzí břidlice. Výroba a vlastnosti jsou obdobné jako u keramzitu. Používá se ke zlepšování izolačních vlastností mezerovitých betonů a jako kamenivo pro konstrukční lehké betony.

*Siopor* je tepelně a zvukově izolační , napěněný keramický materiál, výlučně přírodního původu na bázi křemičitanů. Je zdravotně nezávadný, nehořlavý (tř. hořlavosti A) s vysokým teplotním rozsahem použitelnosti (od -250℃ do 700℃). SIOPOR je dodáván ve třech základních frakcích (0,1 - 1,0; 0,63 - 2,5; 2,5 - 6,0 [mm]), kde nejvhodnější pro běžné stavební práce je třetí, největší frakce.

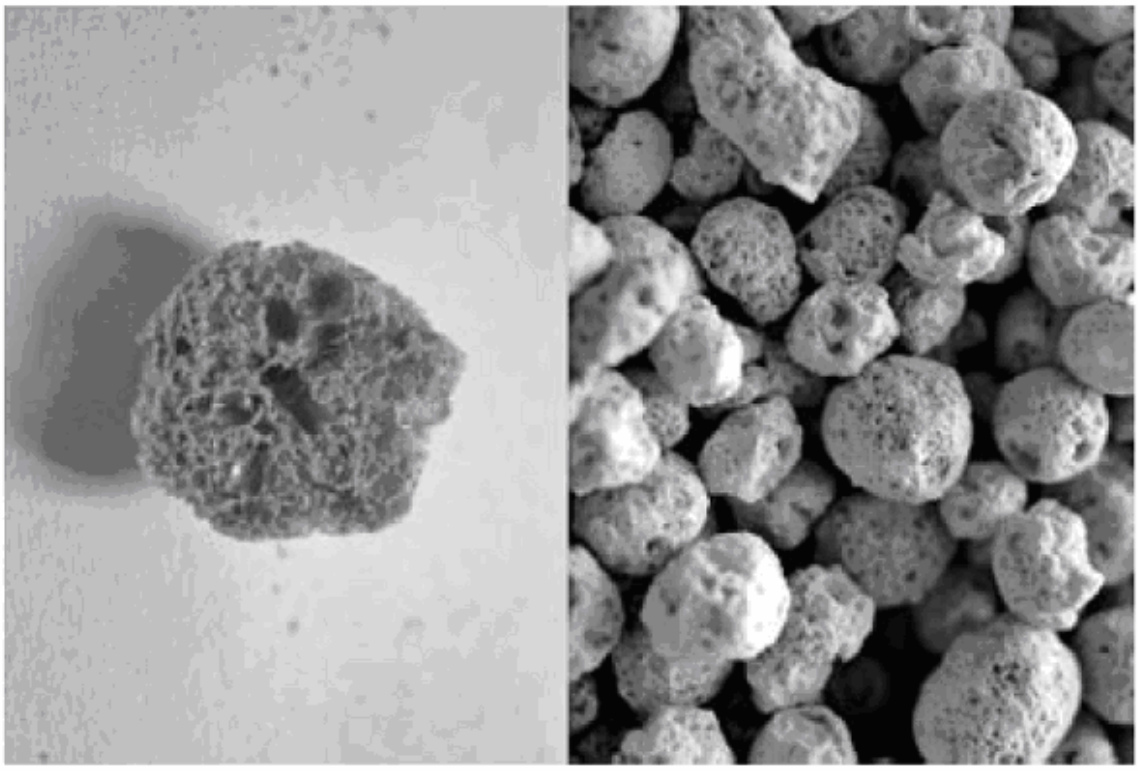
Lze jej využít jako zásypový prvek v sendvičových konstrukcích, jako výplňový materiál dutých a dutinových tvarovek z betonu. Dalším častým využitím je zateplení stropů nebo podlah a to i s podlahovým vytápěním.

V podobě Sioporbetonu se dá lehce formovat do tvarů různých ozdobných prvků a může nalézt významné místo v oblasti památkové péče budov. Tedy tam, kde je nutno tepelně chránit ať už historický objekt nebo jinak významnou a chráněnou budovu.

Základní vlastnosti Sioporu Tab. 4.21

| Vlastnost | Hodnota | | |
|---|---|---|---|
| Rozměr zrn – $d$ (mm) | 0,10 – 1,00 | 0,63 – 2,50 | 2,50 – 6,00 |
| Objemová hmotnost – ($\rho$) (kg.m$^{-3}$) | 120 – 160 | 60 – 100 | 60 – 80 |
| Stlačení ve válci – $p$ (MPa) | 0,08 | 0,03 | 0,01 |
| Koeficient tepelné vodivosti – $\lambda_0$ (W.m$^{-1}$.K$^{-1}$) | 0,058*) | 0,049*) | 0,039*) |
| Koeficient tepelné vodivosti – $\lambda_3$ (W.m$^{-1}$.K$^{-1}$) | 0,060**) | 0,052**) | 0,046***) |
| Teplotní rozsah použitelnosti – $t_1$ (°C) | od –250 do +700 | | |

*) Při 0% vlhkosti
**) Při 3% vlhkosti
***) Při 36% vlhkosti



Obr. 4.29 Siopor, struktura zrna sioporu

### 4.1.4 Minerální vlákna

Jako minerální vlákna se ve stavebnictví označují umělá anorganická vlákna vyráběná, především pro tepelně izolační účely, v podobě vláknité směsi, připomínající ovčí rouno, které se běžně říká minerální vlna.

Starší, ale stále platná ČSN 72 7308 definuje minerální vlnu jako materiál vyráběný rozvlákněním roztavených přírodních hornin, silikátových průmyslových odpadů nebo jejich směsí.

K použitelným silikátovým odpadům, jejichž jakost požadovanou pro výrobu minerálních vláken stanoví samostatné normy, patří popílek (ČSN 72 2072-9) a fluidní popel (ČSN P 72 2081-15) ve vlastní normě ČSN 72 7308. je za hlavní použitelný silikátový odpad označena struska.

V žádném případě pak silikátovým odpadem nebylo myšleno odpadní sklo. Ze stejného období totiž pochází zkušební norma ČSN 72 7302, která mezi minerální a skleněnou vlnou zřetelně rozlišuje. S rozlišováním mezi skleněnými a minerálními vlákny se zatím běžně setkáváme i v technické dokumentaci většiny současných tepelně izolačních výrobků.

Toto tradiční rozlišování možná časem zanikne, protože nová ČSN EN 13162 definuje minerální vlnu jako izolační materiál vyráběný z roztavené horniny, strusky nebo skla. Důvodem je zřejmě velká funkční podobnost tepelně izolačních výrobků získaných rozvlákňováním hornin a analogických výrobků z rozvlákněného skla. Roztavením výchozích surovin vzniká v obou případech skelná fáze a původní surovinové rozdíly se do značné míry stírají. Někteří výrobci navíc možná používají kombinovanou surovinou násadu horniny a skla.

#### 4.1.4.1 Výroba minerálních vláken

Nejobvykleji používanými minerálními vlákny (MV) jsou vlákna z čedičovo-struskové směsi, často nepřesně označovaná jako vlákna čedičová. Jejich výroba se uskutečňuje odstředivým rozvlákňováním minerální taveniny při teplotách 1350 až 1400 ℃.

Tavení samotného čediče je energeticky příliš náročné a samotná struska nedává vlákno kvalitní. V souladu s ČSN 72 7308 se volí složení násady (poměr čediče a strusky) tak, aby modul kyselosti měl hodnotu 1,4 pro vlákna typu A určená pro běžné použití a hodnotu 1,6 pro vlákna B, která jsou určena do vlhkostně a tepelně náročnějších podmínek.

$$Modul\ kyselosti = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO}$$

Objemová hmotnost strusko-čedičových vláken nepřesahuje 120 kg.m$^{-3}$, průměr vláken se pohybuje od 4 do 20 μm. Tloušťka, na kterou se vlákna ve výrobě vytahují, závisí jak na použitém výrobním zařízení, tak na složení násady. Podobně je ovlivňována i délka vláken, která se pohybuje mezi 10 – 70 mm, s typickou střední hodnotou 50 mm, pro běžné strusko-čedičové vlákno.

Při odstředivém rozvlákňování vznikají vlákna protažením kapiček taveniny minerální násady, odmrštěných odstředivou silou z rozvlákňovacích kotoučů do proudu kompresorem přiváděného ofukovacího vzduchu.

Chladnější kapičky se již nemohou protáhnout a odletují od kotoučů jako drobná zrnka (granálie).

Granálie z větší části padají do spodní části rozvlákňovacího stroje, odkud jsou (spolu s dalšími nerozvlákněnými podíly a určitým množstvím u propadlého vlákna) vraceny zpět do tavicí pece.

Menší část granálií je spolu s většinou rozvlákněné hmoty unášena ofukovacím vzduchem do další části výrobní linky, kterou je usazovací komora.

V usazovací komoře jsou letící vlákna ještě za vznosu skrápěna pojivem (respektive vodným roztokem pojiva) a smočená vlákna se pak v komoře usazují jako vrstva, která je s pomocí pásových dopravníků posouvána dále do vytvrzovací komory.

Pojivem je neutrální vodný roztok fenolformaldehydového rezolu a pro dosažení hydrofobity výsledného výrobků je v pojivu navíc dispergován silikonový olej s přísadou silanu. Přestože jsou tímto způsobem výrobky upraveny tak, aby byly nenasákavé (respektive obtížně nasákavé), jsou prodyšné vůči průchodu vodních Faktor difúzního odporu pro vodní páru se pohybuje v jednotkách (typická hodnota $\mu \cong 2$) .

Ve vytvrzovací komoře, vybavené rovněž dopravníky, dochází k odparu vody a k polykondensaci fenolformaldehydového pojiva. Teplota v této komoře se zpravidla pohybuje mezi 180 – 220 º C. Doba pobytu vlákna v komoře činí několik minut a během této doby musí stupeň polykondezace rezolu dosáhnout alespoň 95 %.

Obsah organických látek (vytvrzeného pojiva) v konečném výrobku závisí na požadované tuhosti výrobků a pohybuje se od 3 % do 8 % hmotnosti. Na obsahu organických látek závisí i hořlavost a nasákavost.

Příměs granálií ve konečném výrobku činí okolo 15 % hmotnosti a protože granálie nepříznivě ovlivňují tepelně izolační vlastnosti je snaha jejich obsah co nejvíce omezit.

V další části výrobní linky se vytvrzený pás formátuje (ořezem na danou šířku) a podélně dělí na desky. Ořezané okraje se vrací zpátky do tavicí pece.

### 4.1.4.2 Výrobky z minerálních vláken

Z minerálních vláken se takto vyrábějí tepelně izolační desky o objemových hmotnostech od 35 do 220 $kg.m^{-3}$ a součiniteli tepelné vodivosti 0,035 – 0,045 $W.m^{-1}.K^{-1}$, které se obvykle balí do PE fólie.

Tuhost izolačních desek je možné zvýšit pomocí lamelování. Na konci výrobní linky se desky rozřežou na pásy o šíři cca 100 mm (lamely), které se otočí o 90º a nalepí na společnou podložku. Tímto způsobem se sníží stlačitelnost výrobků o cca 30 % v porovnání s původním stavem.

Polepem fólií, impregnovaným papírem nebo tenkým hliníkovým plechem se někdy upravují i běžné (nelamelované) desky. K vytvoření povrchové úpravy s hydroizolační funkcí může být k povrchu desek přitaven asfaltový pás.

Dalším výrobkem z MV jsou měkké svinovatelné pásy obvykle určené k položení na vodorovné nebo zakřivené plochy (zvýšení tepelně izolačních vlastností konstrukcí) s objemovou hmotností cca 70 $kg.m^{-3}$ a součinitelem tepelné vodivosti cca 0,04 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Rohože z minerální plsti, které se používají jako tepelné izolace, jsou jednostranně nebo oboustranně našity na vlnitou lepenku, na drátěné pletivo či na hliníkovou fólii. Směr prošití je podélný ve směru délky pásu. Velikost jejich objemové hmotnosti je od cca 100 do 120 $kg.m^{-3}$ a součinitel tepelné vodivosti cca 0,04 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Transport poměrně objemných minerálně vláknitých výrobků si někteří výrobci usnadňují tím, že je balí do smršťovací fólie v komprimované podobě, Po rozříznutí fólie se stlačený výrobek rychle „rozvine“ do původního objemu a tvaru.

Minerální vlákna mohou být vyráběny i ve formě volné vlny. V takovém případě se nepoužívá pojivo a pro snížení prašnosti (při výrobě i zpracování) se MV pokrývají pouze tenkou vrstvou oleje (lubrikace). Takto upravená vlákna jsou použitelná rozmezí teplot od -270 do +700 ℃. Pro speciální případy (izolace nádrží se zkapalněným vzduchem nebo kyslíkem) se používají vlákna bez jakékoliv organické přísady (nelubrikovaná).

Volná vlna se používá i k zateplování nepřístupných míst (prázdné dutiny stropů, obtížně přístupné vazníkové konstrukce či dutiny ve stěnách) kam se dopravuje pneumaticky pomocí speciálního zařízení (tzv. „zafoukáním“).

Objemová hmotnost penumaticky uložené vrstvy je cca 32 kg. $m^{-3}$ a faktor difúzního odporu je menší než 2.

Podle ČSN EN 1094 se k minerálním vláknům řadí i vlákna keramická, používaná převážně pro speciální žárovzdorné izolace. Vyrábějí rovněž odstředivým rozvlákňováním, do finální podoby se však zpravidla zpracovávají mokrým způsobem (za použití anorganických pojiv). O těchto vláknech blíže pojednává kap. 4.2.5.1.

Obecně platí, že stavební výrobky uvolňující respirabilní vlákna (minerální, skelná, keramická atd.) musí být zabezpečeny vhodnou trvanlivou úpravou tak, aby po zabudování příslušných výrobků do stavby a při jejich běžném užívání nedošlo k samovolnému uvolňování respirabilních vláken do ovzduší.

#### 4.1.4.2.1 Tepelně izolační využití výrobků z minerálních vláken

Dosažení setinových hodnot součinitele tepelné vodivosti není možné bez výrazného zastoupení plynné fáze ve struktuře izolantu. Plynná fáze však musí v tomto materiálu být v relativním klidu, a proto nesmí v izolačním materiálu vytvářet velké dutiny, ve kterých by v důsledku tepelného spádu docházelo k výraznému proudění a přenosu tepla konvekčním mechanismem.

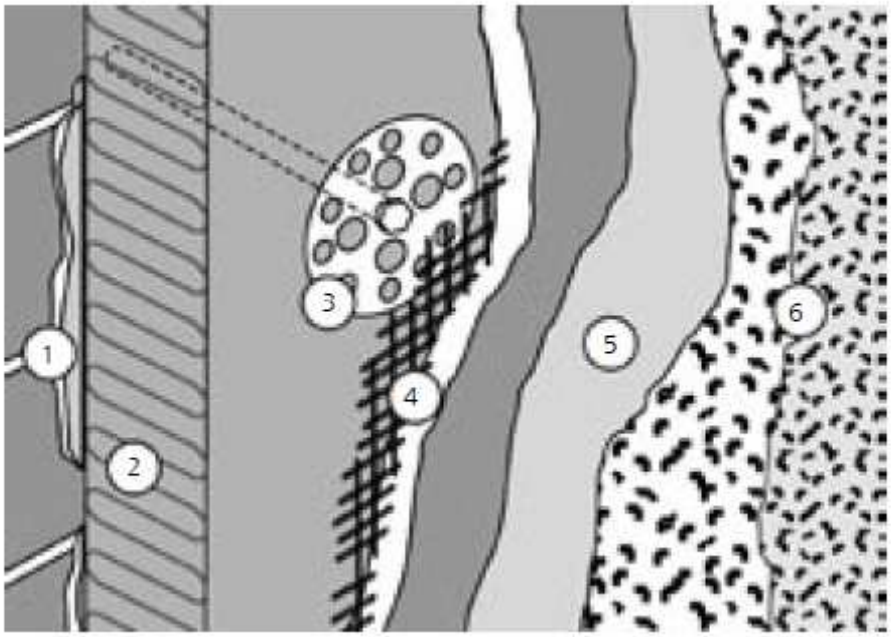
Zdrojem tepelně izolačního účinku MV jsou tedy mezivláknité mezery zaplněné vzduchem, který fakticky představuje vlastní tepelně izolační látku. Pevná vláknitá fáze zajišťuje především rozdělení plynné fáze na dostatečně malé oblasti, ve kterých se přenos tepla prouděním příliš neuplatňuje.

Podmínkou správné tepelně izolační funkce je zachování pokud možno suchého vzduchu v mezivláknitých prostorách. Promáčením minerální vláknité izolace dochází ke ztrátě jejích izolačních vlastností a často i k trvalému znehodnocení.

Výrobky z minerálních vláken se nejčastěji uplatňují při tepelné izolaci:

- šikmých a plochých střech,
- provětrávaných a kontaktních fasád,
- sendvičového obvodového zdiva,
- vnitřních konstrukcí,
- technických izolací (izolace energetických zařízení (kotle, pece),
- rozvodů tepelných médií, vytápěcí a klimatizační techniky apod.

Při provádění vnějšího kontaktního zateplení obvodového zdiva představují MV výrobky alternativu k deskám z expandovaného polystyrenu (EPS). I když jsou dražší než EPS desky, jsou přesto konkurence schopné.




*Obr. 4.23* Složení fasádního systému [Fasádní izolační systém Ecorock, 2003]

1 - lepicí hmota (tmel), 2 - fasádní deska s podélnými vlákny, 3 - hmoždinka s talířem, 4 - krycí hmota s výztužnou síťkou, 5 - penetrační mezivrstva, 6 - strukturovaná omítka s fasádním nátěrem

Minerální vlna má výrazně nižší tepelnou roztažnost, celý plášť tedy mnohem méně pracuje a hrozí menší riziko praskání fasády.

Okraje desek z minerální vlny jsou poddajné a desky lze přirazit dokonale k sobě bez jakékoliv mezery. U polystyrenu stačí mírně nerovný řez a mezi deskami zůstane vzduchová mezera.

Minerální vlna je požárně bezpečnější. To se stává zcela rozhodujícím faktorem při zateplování výškových budov. U obvodových stěn nad 22,5 m výšky nad zemí není možné EPS desky používat.

Minerální vlna má řádově menší faktor difúzního odporu. Díky lepším difúzním vlastnostem je vhodná pro zateplení starších objektů, kde obvodové zdivo má díky chybějící nebo narušené izolaci proti vodě větší vlhkost.

Ve srovnání EPS deskami jsou MV izolace mnohem citlivější na navlhnutí. Vlhkost v tomto případě způsobuje mnohem větší škody než u polystyrenu. Povrchovou úpravu MV zateplovacích systémů pomocí tenkovrstvých omítek je třeba provádět zvláště pečlivě a všechny detaily musí být řešeny tak, aby k provlhnutí izolace nemohlo dojít.

Za optimální zateplovací tloušťku vnějších kontaktních tepelně izolačních systémů (ETICS) se dnes považuje 80 – 120 mm minerální plsti, s růstem ceny energií se jako ekonomičtější budou jevit i silnější vrstvy.

Silnější vrstvy jsou však náročnější na kotvení k podkladu. Při vyhodnocování mechanického namáhání se kromě vlastní hmotnosti systému musí uvažovat i silový účinek větru (sání).

#### 4.1.4.2.2 Akustické použití výrobků z minerálních vláken

Kromě toho, že oddělují prostory s odlišnými teplotními parametry užívají se výrobky z minerálních vláken i ve funkci akustické izolace, zejména jako výplně příček a dělicích stěn a jako součást plovoucích podlah.

Výrobky z minerálních vláken s velkým rozsahem hodnot odporu proti proudění vzduchu (6 – 60 kPa.s.m$^{-2}$) a s rovnoměrně velkou pórovitostí (93 – 99 %) se používají jako zvukově absorpční materiály. Ve vhodných frekvenčních oblastech mohou pohlcovat až 95 % zvukové energie ($\alpha = 0{,}95$).

Minerální vláknité výrobky zvyšují také vzduchovou neprůzvučnost sendvičových dílců. Snížení hladiny hluku v konstrukci souvisí s elastickými vlastnostmi minerálně vláknitých materiálů a s jejich nízkým modulem pružnosti (ve srovnání s pěnovými plasty mají nízkou dynamickou tuhost a jsou pro akustické účely mnohem vhodnější).

V případě, kdy vrstvené sádrokartonové příčky mají vyplněn vnitřní prostor minerálními vlákny, se snižuje o cca 15 dB jejich vzduchová neprůzvučnost proti stavu, kdy vnitřní prostor příčky není vyplněn.

Minerálně vláknité výrobky zvyšují rovněž tlumení podélných zvukových vln (umisťují se proto na zavěšené podhledy). V pórech na povrchu vláken dochází ke kmitání vzduchu a zvuková energie se při dopadu na povrch vláken mění třením na energii tepelnou, čehož se využívá při snižování hladiny hluku a úpravě doby dozvuku v pohltivých obkladech stěn a stropů.

Obdobně se chovají desky z minerálních vláken v plovoucích podlahách. Oddělují zvuková pole (stropu a betonového potěru) od sebe a pak je vzduchová i kročejová neprůzvučnost tím větší, čím menší je dynamická tuhost izolantu.

#### 4.1.4.2.3 Protipožární použití výrobků z minerálních vláken

Samotné minerální vlákno je nehořlavé. S ohledem na obsah spalitelného pojiva se výrobky z minerálních vláken řadí mezi nesnadno hořlavé stavební hmoty (stupeň hořlavosti B dle ČSN 73 0862).

Výrobky z minerálních vláken se používají ke zvýšení požární odolnosti konstrukcí (stropů, stěn, střech, ventilačních šachet apod.). V případě požáru zabraňují šíření ohně a neprodukují dým ani jiné toxické spaliny.

### 4.1.5 Azbest

Azbest (osinek) je skupinové označení přírodních jemně vláknitých materiálů tvořených hydratovatovanými křemičitany železnato-hořečnatými nebo hydratovanými křemičitany vápeno-železnato-hořečnatými. Nejběžnějšími azbestovými minerály jsou: amfibol, amozit, krokydolit,. chrysotil (hadcový azbest), aktinolit, antofylit a tremolit.

S ohledem na rozšíření azbestu v již postavených objektech byla zařazena tato kapitola, přičemž hned v jejím úvodu je třeba konstatovat, že v současnosti nepadá při stavební činnosti používání azbestu v úvahu.

Po potvrzení zdravotní škodlivosti azbestu (je to jeden z mála opravdu prokázaných karcinogenů) je jakákoliv práce s azbestem podrobena zvláštnímu ochrannému režimu a jeho použití při nové výstavbě je prakticky vyloučené.

Práci s azbestem (s výjimkou výzkumné laboratorní práce, analytické práce a práce při likvidaci skladových zásob, zařízení a částí staveb obsahujících azbest) dnes výslovně zakazuje zákoník práce (Zák. 65/1965 Sb.).

Původně byl za zdravotně nebezpečný považován především chrysotil, dnes se striktní bezpečnostní předpisy týkají všech azbestových minerálů bez výjimky.

Nejzávažnějším škodlivým efektem, vyvolaným vdechováním azbestových vláken, je vznik pleurálního nebo peritonealního mesotheliomu pozorovaný po 15 – 30 letech po expozici azbestem.

Azbest se pro své výhodné protipožární a tepelně izolační vlastnosti uplatňoval ve velmi širokém spektru stavebních výrobků. Jako vláknitá výztuž odolná v cementovém prostředí byl s oblibou používán k výrobě rovné i vlnité azbestocementové krytiny, k výrobě azbestocementových desek a šablon a k výrobě azbestocementových rour a tvarovek. Široké uplatnění nacházel i při výrobě speciálních tmelů, omítek a nástřiků. Roční spotřeba azbestu v bývalé ČSSR činila cca 50 000 tun.

Ve stavbách zabudované materiály obsahující azbest dnes představují značný problém.

V cementovláknitých materiálech s objemovým obsahem asi 30 až 40 % azbestu překračuje koncentrace azbestu kritickou objemovou koncentraci a azbest je v nich relativně slabě vázán. Z takových materiálů se proto snadno uvolňují vlákna. Dochází k tomu otěrem, nárazem, strháváním tapet a podobně. Hygienicky velmi problematické jsou proto kupříkladu desky typu Dupronit obsahující 40 % azbestu .

U některých azbestových maltovin a nástřiků dochází při stárnutí pojiva i k samovolnému uvolňování vláken.

V klasickém střešním eternitu je jen asi 9 % azbestu, v důsledku povětrnostní eroze však eternitové střešní krytiny rovněž uvolňují azbestová vlákna. S ohledem na volné ovzduší obklopující střechu není tento fakt tak kritický.

V každém případě je však třeba se vyvarovat mechanického čištění eternitových střech (kartáčování mechu) a jejich neodborné demontáže.

Při rekonstrukci objektů, u kterých je podezření na možný výskyt azbestových

materiálů, je nutné zajistit odborné vyšetření. K jeho provedení musí být přizvána akreditovaná laboratoř disponující příslušnou výbavou.

Určování vláken jen na základě jejich morfologie pod optickým mikroskopem je nepřesné a tímto způsobem se navíc nezjistí respirabilní vlákna malých rozměrů. Spolehlivý průkaz azbestu vyžaduje nasazení elektronového mikroskopu, disperzního analyzátoru a speciální odběrné zařízení pro posouzení kvality ovzduší. Se zárukou prokáže přesný druh vlákna až chemická analýza.

Vlastní práce s materiálem obsahujícím azbest (i kdyby šlo jen vrtání nebo částečné bourání) musí provádět firma, která má k této práci oprávnění a vybavení.

Pracovní prostor se musí hermeticky uzavřít tak, aby se zabránilo šíření respirabilních vláken mimo tento prostor. K demontáži se používají speciální nástroje opatřené odsáváním s výstupem odsávaného vzduchu přes účinné HEPA filtry. Po skončení prací se celý musí dokonale vyčistit speciálními vysavači (opět s HEPA filtry).

Vybouraný materiál obsahující azbest se musí odborně upravit do formy vhodné pro uložení na speciální skládku.

Pracovníci, kteří jsou v kontaktu s azbestem, musí průběžně docházet na lékařské kontroly, musí mít speciální školení a musí používat přidělené ochranné pomůcky. Jejich příchod i odchod z místa práce podléhá zvláštnímu režimu osobní hygieny.

Nejméně 30 dnů před zahájením prací je třeba práce s expozicí azbestu (včetně prací při odstraňování částí staveb obsahujích azbest) hlásit krajské hygienické stanici (zák. č. 392/2005 Sb.).

Po skončení rekonstrukčních prací musí být provedena kontrola ovzduší opraveného objektu z hlediska přípustných hodnot azbestových vláken v ovzduší, tj. 500 (respektive 1000) vláken na krychlový metr vzduchu.

V některých případech se jako rozumnější jeví opatřit azbestové prvky ochranným potahem (který zabrání uvolňování vláken) a nepřistupovat k destruktivnímu odstraňování. Takové práce mohou být (na základě předchozích hygienických měření) označeny za práce s ojedinělou a krátkodobou expozicí podle vyhl. MZd ČR č. 394/2006 a prováděny za méně přísných podmínek.

Náhrada azbestu ve formulacích stavebních hmot není v žádném případě jednoduchá. Z hlediska výsledných mechanických vlastností se jako cenově dostupná náhrada nejvíce osvědčují dřevěná vlákna, nebo kombinace dřevěných vláken a vláken z plastické hmoty.

K nahrazení azbestu se uvažovalo i o možnosti využití brucitu (nemalitu ), což je vláknitý minerál tvořený převážně hydroxidem hořečnatým. Vyskytuje se především v Číně.

Brucitová vlákna jsou vodostálá, velmi pevná a údajně se nejeví jako zdravotně škodlivá. K nějakému širšímu použití však v praxi nedošlo.

## 4.2 Keramické výrobky

Základem výchozí surovinové směsi pro výrobu keramiky jsou plastické horniny obsahující jílovinu. Valná většina keramických výrobků vzniká z jílovité směsi vytvářením za studena.

Vytváření může probíhat za různých vlhkostí směsi. Některé technologické postupy pracují s tekutou břečkou (suspenzí), některé technologie využívají i suchou surovinu, která se lisuje.

Výrobky se pak podle potřeby suší a nakonec se zpevňují vypalováním. Vypálením výrobku vzniká vlastní keramická hmota běžně nazývaná *keramický střep*.

Keramické výrobky používané ve stavebnictví (stavební keramika) se dělí podle druhu keramického střepu na cihlářské výrobky, obkladovou keramiku, kameninové výrobky, zdravotnickou keramiku a žárovzdorné výrobky.

Jedním z dalších kritérií pro jejich rozlišení je nasákavost střepu, podle které rozeznáváme:

slinutou keramiku s hmotnostní nasákavostí $E < 1,5$ %,

poloslinutou keramiku s hmotnostní nasákavostí $E = 1,5$ až 3 %,

hutnou keramiku s hmotnostní nasákavostí $E = 3,0$ až 6,0 %,

polohutnou keramiku s hmotnostní nasákavostí $E = 6,0$ až 10,0 %,

pórovitou keramiku s hmotnostní nasákavostí $E > 10$ %.

### 4.2.1 Cihlářské výrobky

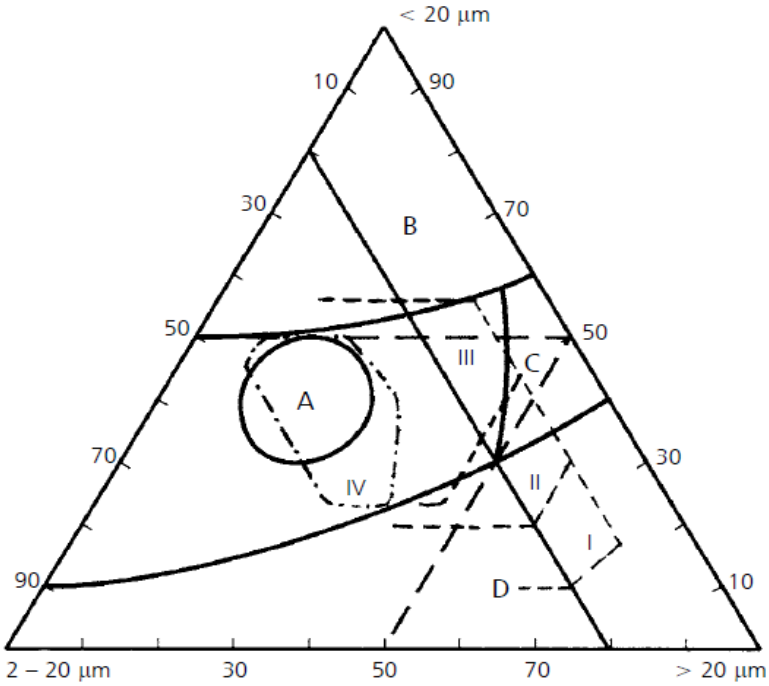
Cihlářská technologie zpracovává cihlářské jíly a hlíny zpravidla těžené v blízkosti cihlářských závodů.

V ČR jsou velmi rozšířené cihlářské suroviny obsahující relativně nízké a proměnlivé množství jílových minerálů (kaolinitu, illitu, montmorillonitu, chloritu a jejich smíšených struktur) s převládajícím podílem prachových zrn křemene, slídy a úlomků různých hornin včetně karbonátových. Obsahují také rozptýlený oxidický železný pigment.

Některé druhy cihlářských surovin jsou také doprovázeny velkými krystaly nebo zrny sádrovce ($CaSO_4 . 2H_2O$) a kalcitu ($CaCO_3$), tzv. cicváru.

Plastičnost cihlářských surovin roste se zvyšujícím se poměrem jílové složky ke složkám neplastickým, se zvyšováním měrného povrchu zeminy a iontové výměnné kapacity.

Rozhodujícím kritériem klasifikace cihlářských jílů a hlín pro jednotlivé cihlářské výrobky není jejich mineralogické složení, ale jejich složení granulometrické, které je zřejmé z Winklerova trojúhelníkového diagramu (obr. 4.24).




*Obr. 4.24* Klasifikační diagram cihlářských jílů a hlín podle Winklera

Vyznačené oblasti:

granulometrického složení suroviny vhodné k výrobě:

I – plných cihel, II - děrovaných cihel, III - krytiny, IV – tenkostěnných cihlářských výrobků (hurdisek, stropních vložek);

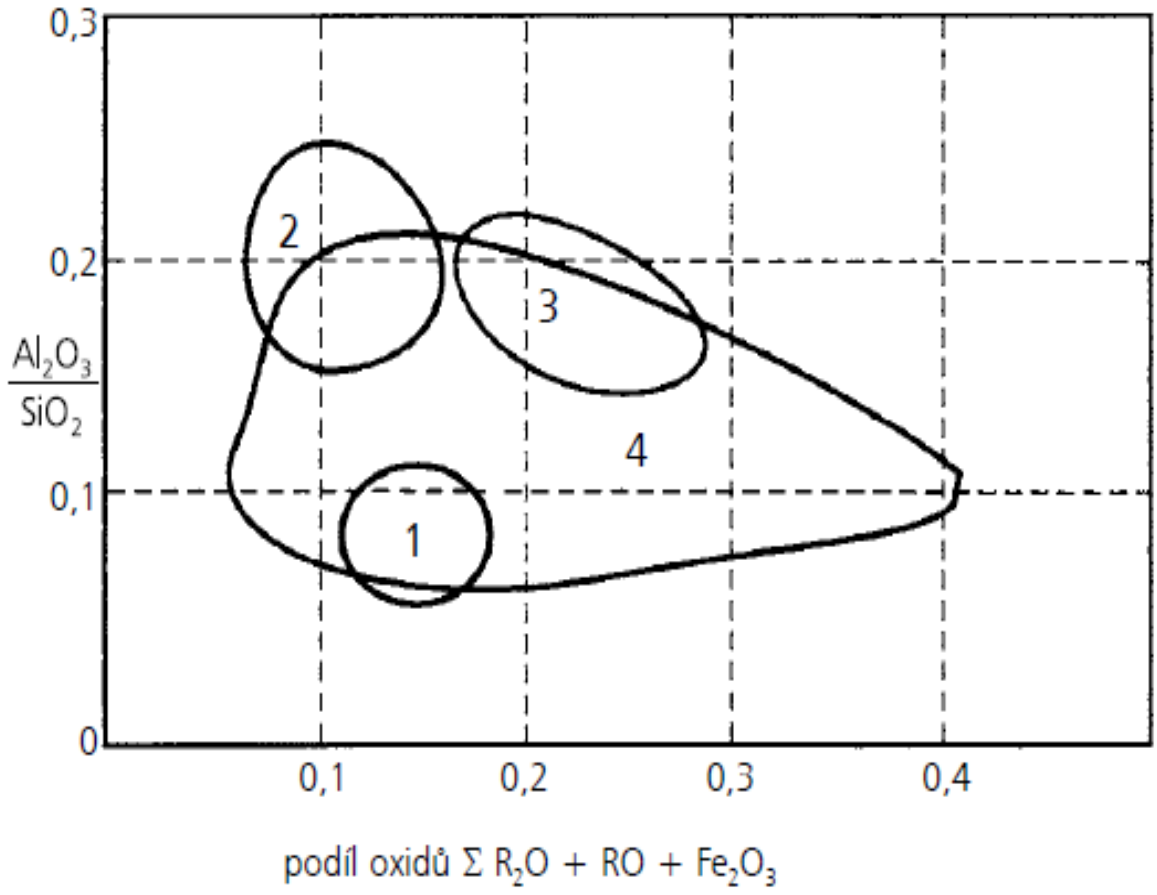
plastičnosti a pevnosti:

A– nejhutnější skladba zrn (dobrá zpracovatelnost suroviny, dobrá kvalita střepu), B – oblast vysokého smršťování sušením (>8 %, velká citlivost k sušení, vysoký obsah jíloviny, potřeba většího množství rozdělávací vody), C – oblast malé pevnosti střepu (chybějí střední frakce zrn), D – oblast nízké plastické pevnosti těsta (malá soudržnost těsta, nedostatek jíloviny < 2 µm k vazbě zrn)

Kromě plastické zeminy obsahující jíloviny patří k základním surovinám pro výrobu cihlářských výrobků též:

ostřivo k omezení nadměrného smrštění, snižující plastičnost výrobní směsi (např. písek, škvára, cihelná drť),

lehčivo pro zvýšení pórovitosti střepu z důvodu zvýšení tepelně izolačních vlastností zdicích prvků nebo snížení energetické náročnosti při jejich výpalu (uhelný prach nebo kal, piliny z tvrdého dřeva, křemelina, polystyrenové granule apod.).




*Obr. 4.25* Vhodnost suroviny po chemické stránce [Pytlík, P., 1995]

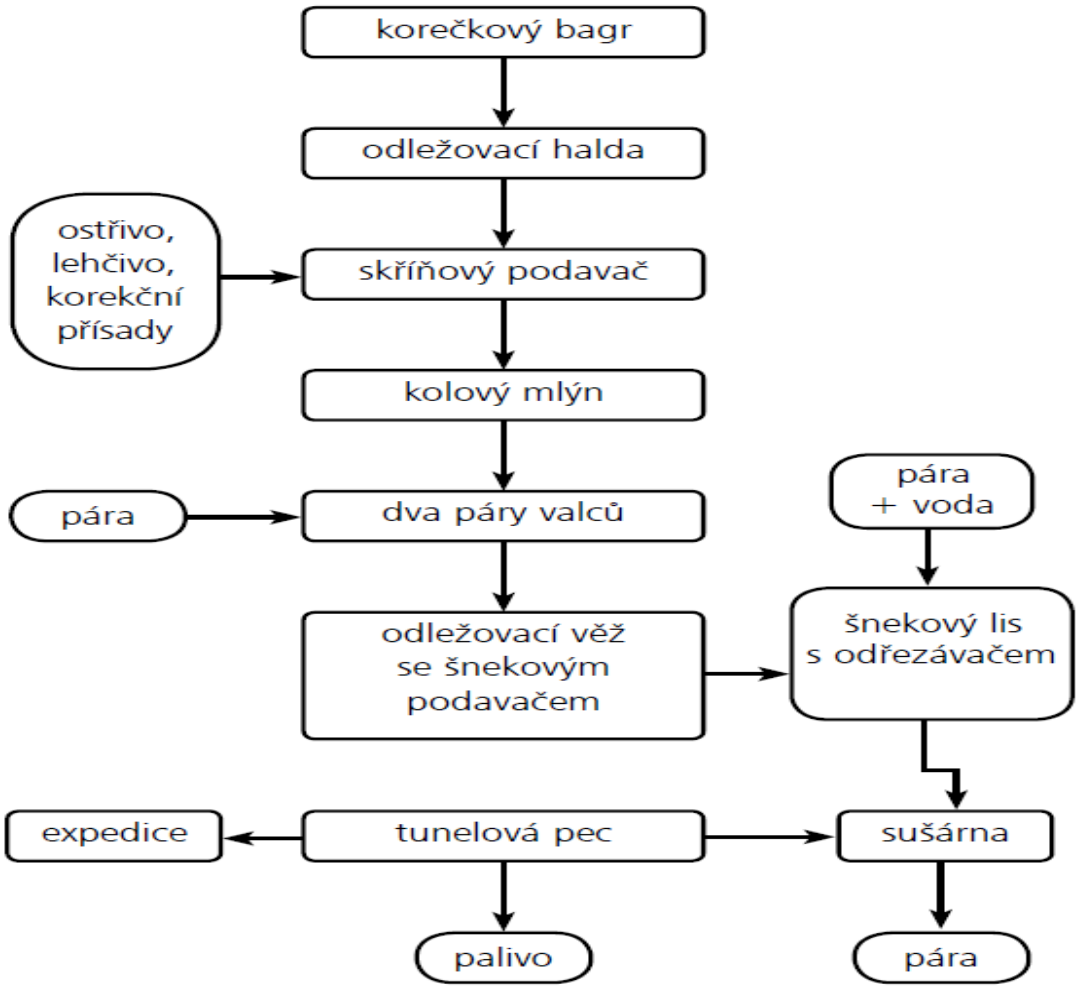
1 - oblast pro hutné až slinuté výrobky, 2 - oblast pro terakotu a hrnčiřinu, 3 - oblast pro pálenou krytinu, 4 - oblast pro zdicí prvky

Často se také projevuje snaha zpracovávat suroviny odpadní nebo druhotné, které se přidávají jako korekční přísady do výrobní směsi. Takovou surovinou je například elektrárenský nebo teplárenský popílek.

Soudobé cihlářské závody jsou již plně mechanizované a vysoce automatizované (např. v cihelně s produkcí 80 miliónů cihelných jednotek za rok pracuje na směně jen 7 až 9 pracovníků).

Pro zajištění bezporuchového provozu a stále kvality výrobků je věnována značná pozornost především přípravě cihlářské směsi a důsledné homogenizaci vytěžené suroviny.

Základní technologické schéma je na obrázku 4.26.




*Obr.4.26* Schéma uspořádání cihlářské linky výroby plných podélně nebo svisle děrovaných cihel

Velmi důležité je dostatečné odležení čerstvě připravené výrobní směsi v odležovacích věžích; tím se podstatně zvyšuje rovnoměrné rozdělení vlhkosti ve směsi a její plastičnost. Další úprava směsi často spočívá v jejím propaření a intenzivním zhomogenizování ve šnekovém protlačovacím mísiči. Bezprostředně po této operaci se směs protlačí sítem do vakuového šnekového lisu.

Vlhkost výrobní směsi (tzv. vytvářecí vlhkost těsta) je cca 19 až 22 % hmotnosti a jejím zahřátí párou na teplotu 40 až 45 ℃ se dále zlepší jej í plastičnost a současně usnadní sušení vytvarovaných těles (výlisků).

Na vakuových šnekových lisech se odstraňuje vzduch z těsta, které se tvaruje (protlačuje) v ústí lisu při tlaku asi 1,5 kPa.

Při tvarování děrovaných cihel je ústí šnekového lisu vybaveno množstvím trnů, které usměrňují tok těsta a vytvářejí požadované dutiny (zpravidla obdélného nebo kosočtvercového tvaru).

Vytvarovaný pás je za lisem odřezáván podle požadované velikosti cihel. Sušení probíhá podle předepsaného režimu z vytvářecí vlhkosti až do vlhkosti 1,0 až 1,5 % hmotnosti ve středu stěny děrované cihly.

Smrštění výlisků sušením činí cca 4 až 6 %. Běžně jsou používány jak komorové, tak tunelové sušárny vytápěné často odpadním teplem. Suší se při teplotě asi 80 ℃ po dobu 30 až 35 hodin.

Výpal výsušků se dnes uskutečňuje zpravidla v tunelových pecích, dříve byly běžnější pece kruhové (oválné). Běžným palivem je dnes zemní plyn (dříve práškové uhlí nebo mazut). Nakládání cihel na pecní vozy je plně automatizováno.

Výpal se provádí při teplotě 860 až 950 ℃, p ři které dochází ke slinování. Trvání výpalu je 30 až 35 hodin. Smrštění cihlářského střepu při výpalu dosahuje 0,5 až 1 %.

Moderní pecní agregáty jsou doplněny přídavným spalováním kouřových plynů, takže exhalace z takových provozů jsou pod stanovenými emisními limity. Odpadní teplo z chladicí zóny je využíváno, jak bylo uvedeno, v sušárnách.

Vypálené cihlářské výrobky se ukládají na dřevěné palety, zapáskují se a překrývají se tzv. smršťovací fólií.

Soudobé výrobky se vyznačují zvýšenou homogenitou střepu, vyšší mechanickou pevností a dostatečnou stabilitou. Mají zlepšené tepelné a akustické parametry a lépe odolávají dlouhodobému působení klimatických vlivů.

Podle použití je lze rozdělit na výrobky pro svislé konstrukce, výrobky pro vodorovné konstrukce, výrobky pro skládanou krytinu a výrobky pro zvláštní účely (trativodky plotovky, stájovky, půdovky, antuka apod.).

#### 4.2.1.1 Vlastnosti cihelného střepu

Typický cihelný střep běžných cihlářských výrobků je pórovitý, barevný (většinou načervenalý) s hmotnostní nasákavostí přes 20 %. Speciální cihlářské výrobky však mohou však mít i střep zcela či povrchově slinutý , pak jde o hutný střep tzv. *kabřinec*, který má oproti cihelnému střepu větší objemovou hmotnost, jeho nasákavost je naopak mnohem menší (do cca 7 % hmotnostních).

Z obecné struktury páleného cihelného střepu vyplývá jeho schopnost přijímat a uvolňovat vlhkost a akumulovat teplo. V závislosti na konkrétním provedení jsou cihlářské výrobky mrazuvzdorné a dobře tepelně i zvukově izolující. Běžný cihelný střep není radioaktivní, je nehořlavý a může být i žárovzdorný.

Díky příznivému chemickému složení cihelného střepu jsou pálené cihlářské výrobky po skončení své životnosti ekologicky neškodné a jsou recyklovatelné.

Fyzikální vlastnosti střepu cihlářských výrobků jsou proměnlivé v závislosti na složení suroviny, způsobu tváření a intenzitě výpalu. Orientační hodnoty fyzikálních vlastností cihelného střepu jsou v následující tabulce (4.19).

Orientační hodnoty fyzikálních vlastností cihelného střepu. *Tab. 4.19*

| Vlastnost | Měrná jednotka | Hodnota |
|---|---|---|
| hustota | $kg.m^{-3}$ | 2 600 – 2 700 |
| objemová hmotnost (suchý stav) | $kg.m^{-3}$ | 1 600 – 2 200 |
| hmotnostní nasákavost | % | 20 – 25 |
| objemová nasákavost | % | 36 – 55 |
| rovnovážná vlhkost | % | 2,0 |
| modul pružnosti | MPa | 8 000 – 12 000 |
| součinitel tepelné vodivosti | $W.m^{-1}.K^{-1}$ | 0,65 – 0,80 |
| měrná tepelná kapacita | $kJ.kg^{-1}.K^{-1}$ | 0,9 – 1,1 |
| součinitel délkové teplotní roztažnosti | $K^{-1}$ | $5,0.10^{-6}$ |
| součinitel difuze vodní páry | s | $0,023.10^{-9}$ |
| faktor difuzního odporu | – | 5 až 10 |
| součinitel hmotnostní vzduchové propustnosti | s | $9,2.10^{-9}$ |

K materiálovým vadám pálených cihlářských výrobků, způsobených nehomogenním střepem, patří rozrušování struktury nebo odprýskávání kousků povrchu (tvorba lasturek) v líci výrobků vlivem rozpínavých částic (cicvárů).

Povrchovou závadou, významnou zejména u výrobků používaných ke zhotovování režného i omítaného zdiva, je tvorba výkvětů solí. Jestliže příčinou výkvětu je složení střepu, jde o *primární výkvěty*.

Primární výkvěty se objevují výlučně po navlhnutí zdiva (např. vlivem srážkové vody, zemní nebo technologické vlhkosti), kdy dochází k pohybu solí do odpařovací zóny a k následné tvorbě výkvětů.

Pokud určené použití poskytuje úplnou ochranu proti vnikání vody (např. zdicí prvek je chráněn tlustou vrstvou omítky nebo obkladem, prvek se ukládá do vnitřní vrstvy dutinové stěny nebo do zdiva vnitřních stěn), nepožaduje se, aby byl v jejich střepu deklarován obsah aktivních rozpustných solí (kategorie S0).

Pokud určené použití poskytuje jenom omezenou ochranu (např. tenká vrstva omítky), musí výrobce deklarovat obsah aktivních solí rozpustných ve vodě.

Deklarovaný obsah solí musí být menší než mezní hodnoty obsahu solí, které jsou podle ČSN EN 771-1 stanoveny na:

0,17 % $Na^+$ + $Ka^+$ a 0,08 % $Mg^{2+}$ v kategorii S1,

0,06 % $Na^+$ + $K^+$ a 0,03 % $Mg^{2+}$ v kategorii S2.

Příčinou výkvětů nemusí být vždy obsah solí ve vlastních cihlářských výrobcích. Výkvěty mohou způsobit rovněž látky obsažené v pojivu nebo i látky zavlečené do zdiva z vnějšího prostředí.

Poruchy keramických stropů, ke kterým na počátku tohoto století u nás došlo, ukázaly, že je třeba věnovat náležitou pozornost i objemovým změnám prvků z pórovitého keramického střepu. Kromě objemových změn vyvolaných změnou teploty se u těchto prvků uplatňují i objemové změny vyvolané vlhkostí.

Vratnou délkovou vlhkostní roztažnost střepu keramického prvku je možné přibližně vyjádřit obdobně jako roztažnost teplotní, tj. lineárním vztahem popisujícím změnu délky prvku v závislosti na jeho vlhkosti. Hodnota vratné vlhkostní roztažnosti dosahuje zlomku nevratné vlhkostní roztažnosti.

Podle užívané klasifikace se nevratná vlhkostní roztažnost keramického střepu rozděluje na:

- nízkou, s hodnotou menší než 0,4 $mm.m^{-1}$,
- střední, s hodnotou od 0,4 do 0,8 $mm.m^{-1}$,
- vysokou, s hodnotou větší než 0,8 $mm.m^{-1}$.

Rozsah nevratné vlhkostní roztažnosti střepu závisí jak na složení surovinné směsi a na podmínkách výpalu, tak do jisté míry i na způsobu zacházení s cihelným výrobkem. Je projevem stárnutí, vyvolaného fyzikálně-chemickými reakcemi vlhkosti s pórovitým keramickým střepem.

Zatímco v případě cihelného zdiva nepředstavuje otázka vlhkostní roztažnosti problém, při montáži keramických stropních desek je třeba s touto roztažností uvažovat.

Ve stropních konstrukcích z keramických desek se při nevhodné technologii montáže mohou sečíst účinky sil od smršťování betonu, resp. cementového potěru (pevně spojeného se střepem pálených výrobků) s účinky sil vyvolaných nevratnými objemovými změnami cihelného střepu do té míry, že konstrukce selže.

### 4.2.1.2 Cihlářské výrobky pro svislé konstrukce

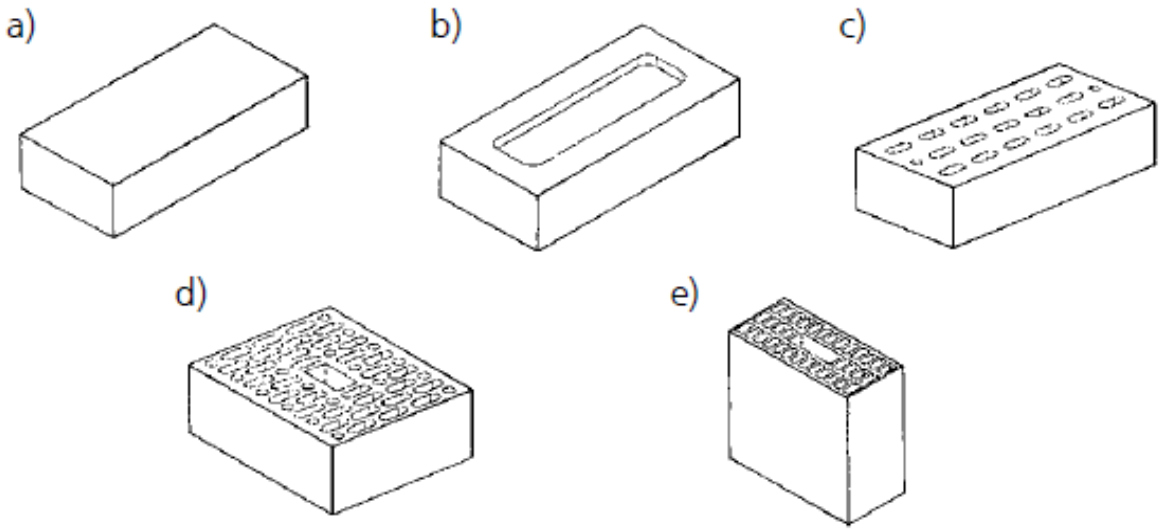
Cihlářské výrobky pro svislé konstrukce (zdicí prvky) patří mezi kusová staviva. K jejich hlavním charakteristikám proto patří bližší vymezení rozměru. S ohledem na použití ve zděných konstrukcích je účelné rozlišovat následující rozměry.

*Skladebný rozměr* je rozměr skladebného prostoru zdicího prvku, specifikovaný s přihlédnutím ke geometrickým parametrům přilehlých spár a mezním odchylkám rozměrů prvku.

*Jmenovitý rozměr* je rozměr zdicího prvku specifikovaný pro jeho výrobce, přičemž odchylky skutečných rozměrů od jmenovitých nesmí být větší než mezní odchylky.

*Skutečný rozměr* je rozměr zdicího prvku stanovený měřením.

Zděné konstrukce z pálených zdicích prvků se průběžně přizpůsobují požadavkům na jejich statické, tepelně a zvukově izolační parametry, na trvanlivost při samozřejmém zachování nároků na jejich vlastnosti estetické. Ve srovnání s tradičním přístupem k vlastnostem cihlářských výrobků přináší zcela nový pohled na pálené zdicí prvky ČSN EN 771-1 platná od roku 2003. Tato norma stanovuje vlastnosti těchto prvků, určených pro zhotovování zděných konstrukcí (např. režného a omítaného zdiva, nosných a nenosných zděných konstrukcí, včetně vnitřních obkladů a příček pozemních a inženýrských stavbách, vnějšího zdiva komínů).




*Obr. 4.27* Příklady pálených zdicích prvků HD

a - plná cihla, b - plná cihla s prolisem, c – svisle děrovaný prvek, d – svisle děrovaný prvek, e – svisle děrovaný prvek

Norma ČSN EN 771-1 rozeznává dvě skupiny pálených zdicích prvků:

prvky HD (high density), k nimž patří:

všechny pálené zdicí prvky určené pro použití v nechráněném zdivu,

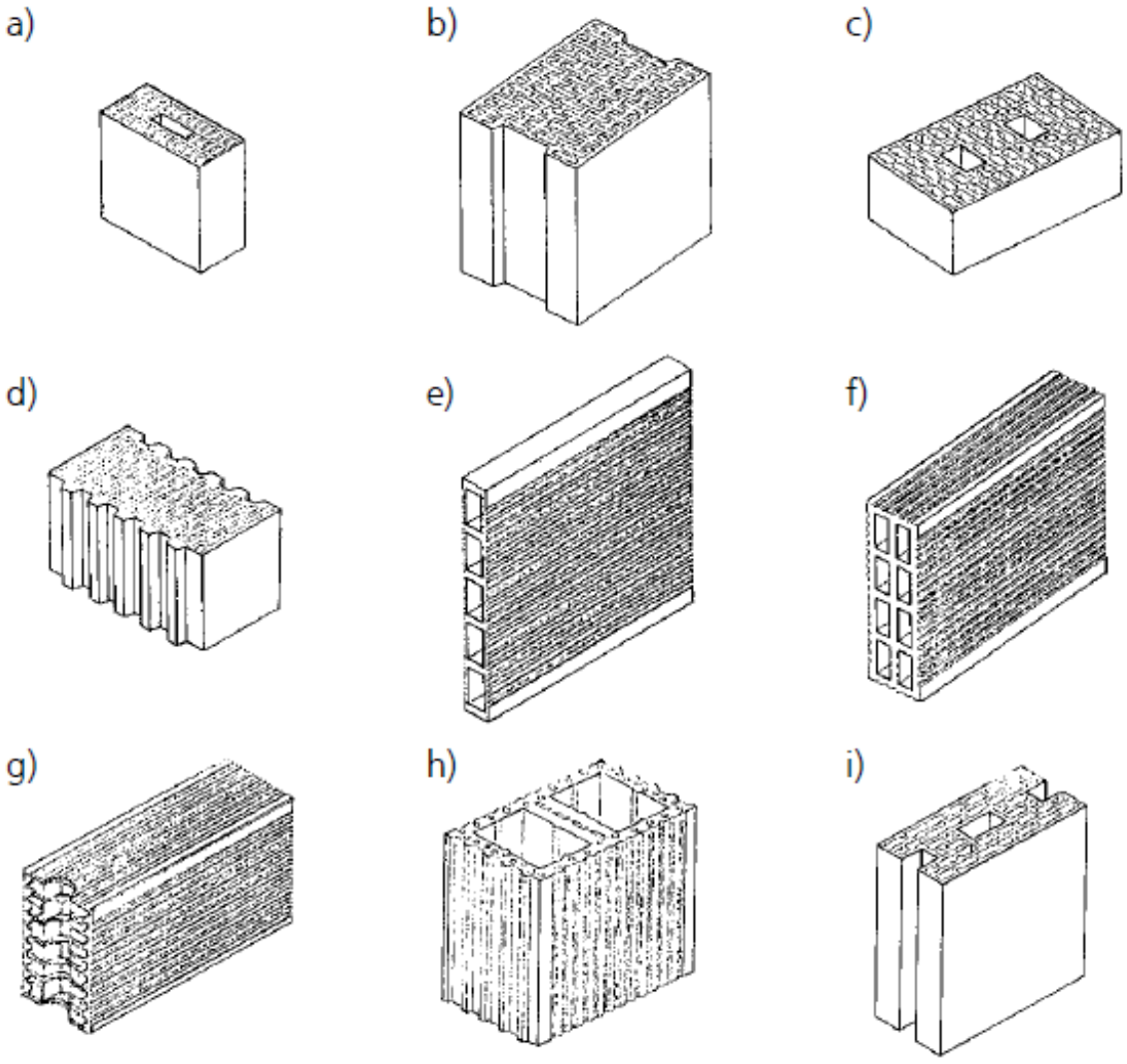
pálené zdicí prky s objemovou hmotností za sucha větší než 1000 kg.m$^{-3}$, určené pro použití v chráněném zdivu (obr. 4.27),

prvky LD (low density), k nimž patří pálené zdicí prvky s objemovou hmotností za sucha nejvýše 1000 kg.m$^{-3}$, určené pro použití v omítaném zdivu (obr. 4.28).

V ČSN EN 771-1 jsou zmíněny i zdicí prvky, které mají tvar nepravidelného hranolu a norma uvádí i vícevrstvé zdicí prvky (prvky složené z více než jednoho materiálu).

V ČSN EN 771-1 jsou dále definovány funkční vlastnosti, které souvisejí např. s rozměrovými tolerancemi, pevností a objemovou hmotností a které se stanoví podle příslušných zkušebních metod, uvedených ve zkušebních evropských normách řady EN 772-1 až 19.

ČSN EN 771-1 rovněž obsahuje ustanovení pro hodnocení shody výrobků s touto normou a deklaruje požadavky, které musí splnit výrobky značené CE. Nestanovuje však skladebné ani jmenovité rozměry pálených zdicích prvků, rovněž nestanovuje úhly zešikmení pálených zdicích prvků zvláštních tvarů (tzn. že jejich tvar není pravoúhlým hranolem). Zavádí však nový termín „velmi přesný pálený zdicí prvek“, tj. prvek s velmi malými odchylkami rozměrů, zejména šířky.



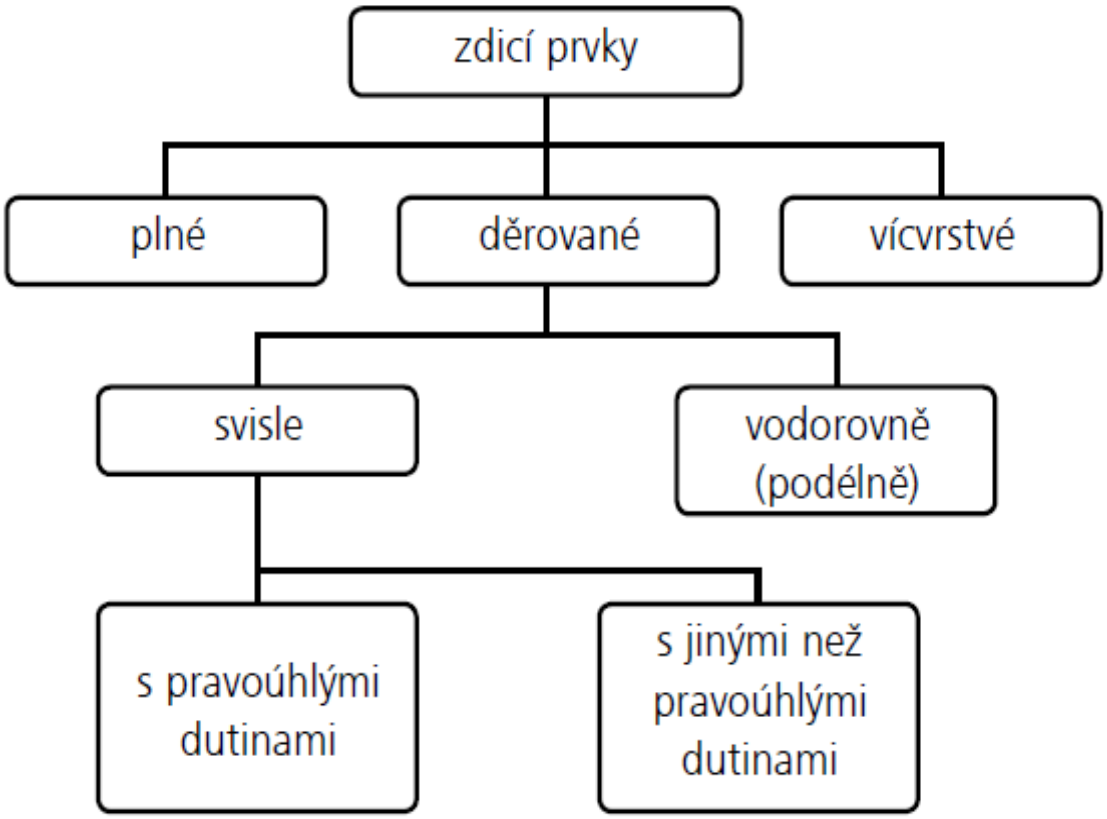

*Obr. 4.28* Tvar a uspořádání pálených zdicích prvků LD

a – svisle děrovaný prvek, b – svisle děrovaný prvek se svislou drážkou, která se vyplňuje maltou (tj. s kapsou na maltu), c - svisle děrovaný prvek s úchytnými otvory, d - svisle děrovaný prvek se systémem per a drážek, e – vodorovně (podélně) děrovaný prvek (pro zděné příčky), f - vodorovně (podélně) děrovaný prvek s rýhováním pro zvýšení přídržnosti omítky, g - vodorovně (podélně) děrovaný prvek se svislou drážkou, která se vyplňuje maltou (tj. s kapsou na maltu), h – prvek s kanálky pro výplňový beton nebo výplňovou maltu, i – prvek pro zděné stěnové panely

ČSN EN 771-1 dále rozeznává zdicí prvky kategorie I (u nichž pravděpodobnost, že se nedosáhne deklarovaná pevnost v tlaku uváděná výrobcem je menší než 5 %) a zdicí prvky kategorie II (kterých se předpokládá, že nesplní podmínku požadovanou u prvků kategorie I).

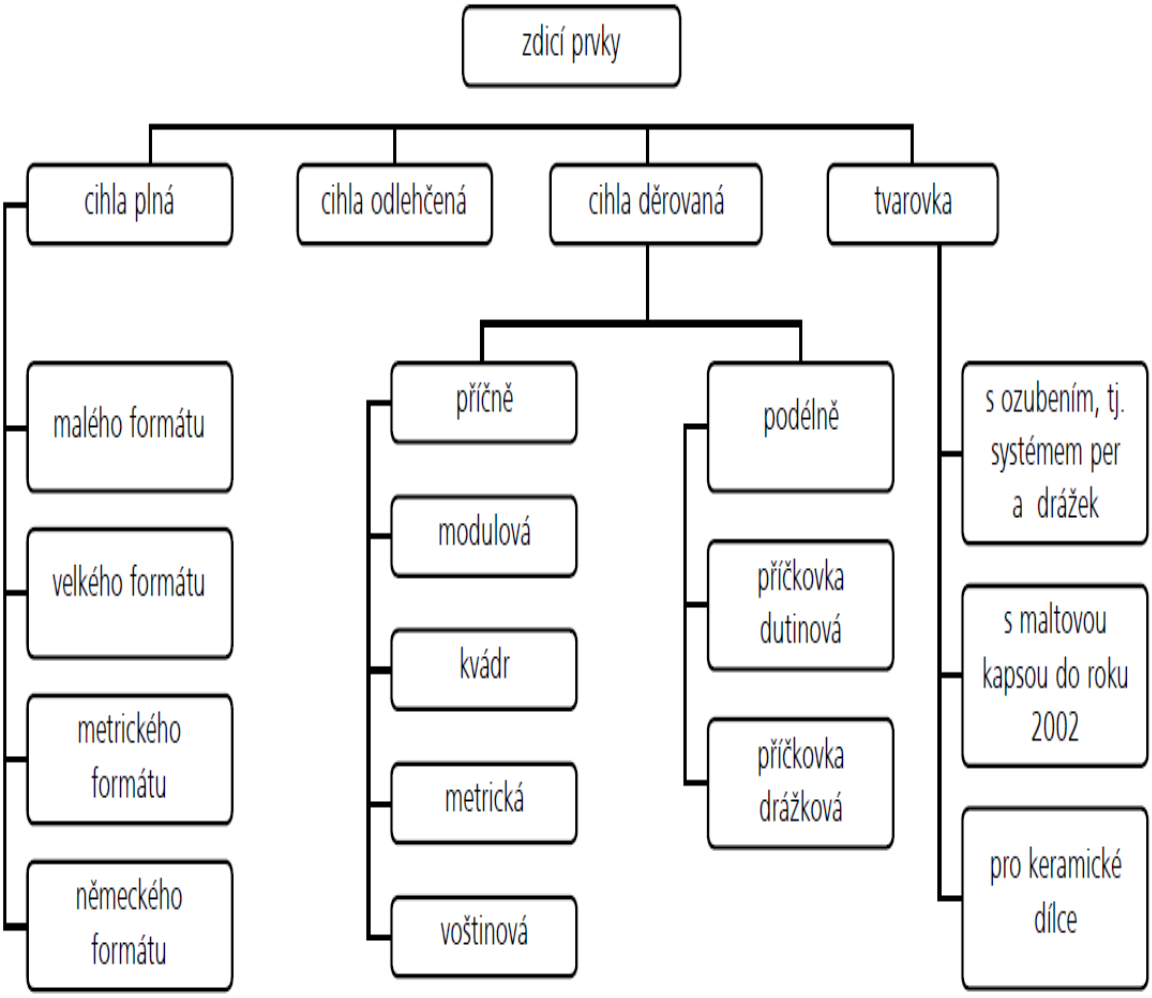
U zdicích prvků obsahujících ≤ 1,0 % hmotnosti nebo objemu (podle nejvyšší hodnoty) homogenně rozložených organických materiálů může být bez zhoršení deklarována požární třída A1 (nehořlavé materiály, které nevykazují celkové vzplanutí).

Ve smyslu nových evropských norem je možné dále rozdělit pálené zdicí prvky podle schématu na obrázku 4.29.

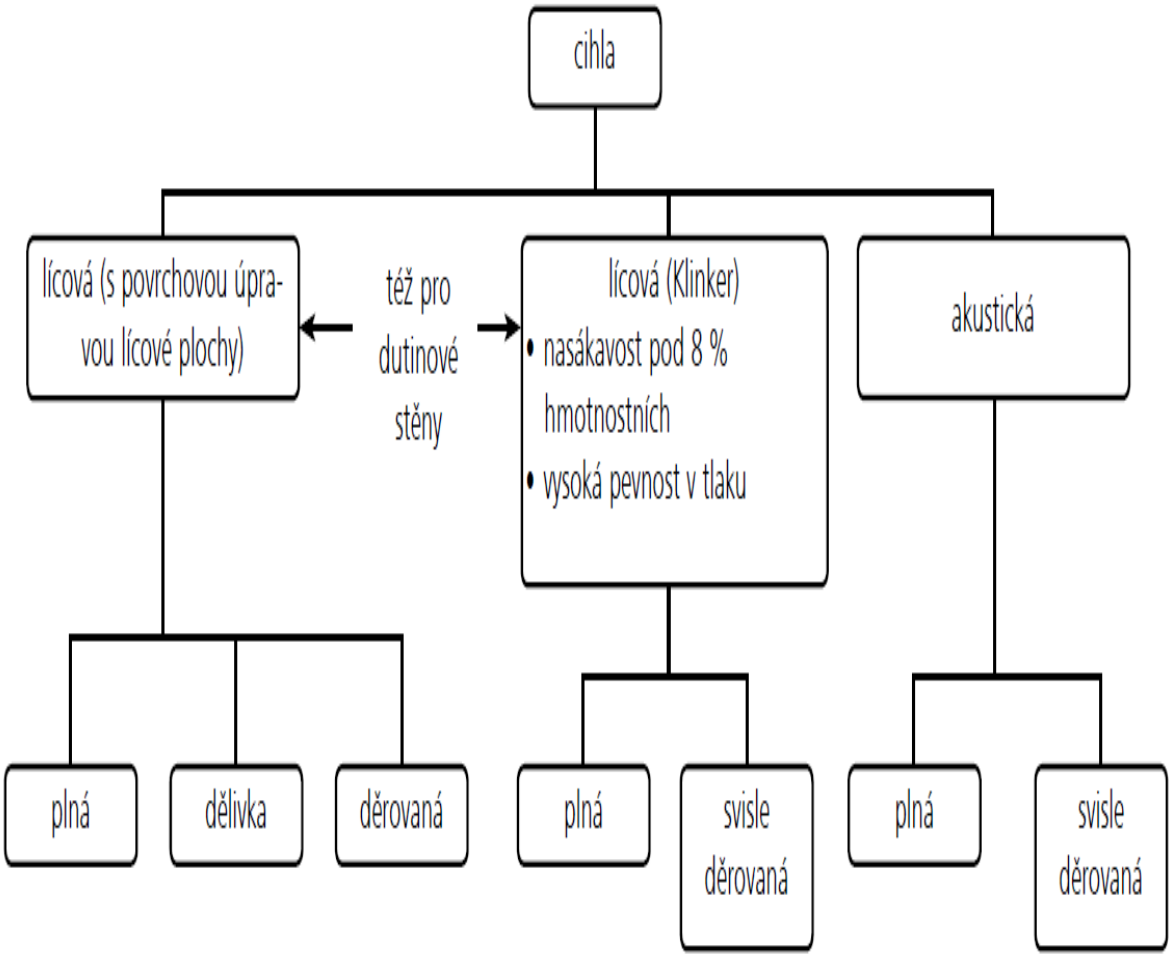



*Obr. 4.29* Rozdělení pálených zdicích prvků podle nových evropských norem

Schéma rozdělení zdicích prvků pro svislé konstrukce platné do 31. 3. 2006 je na obrázku 4.30. Na dalším obrázku (4.31) je uvedeno rozdělení cihel podle speciálních vlastností.




*Obr. 4.30* Dřívější rozdělení pálených zdicích prvků




*Obr. 4.31* Rozdělení cihel podle speciálních vlastností

#### 4.2.1.2.1 Zděné konstrukce

Zděné konstrukce z pálených cihel (zdicích prvků) jsou konstrukcemi, které se musí průběžně přizpůsobovat rostoucím požadavkům, a to nejen na jejich statické parametry či trvanlivost, ale i na tvorbu tepelných a zvukových bariér. To vše při zachování nároků na jejich vlastnosti estetické.

Stavební řád z roku 1886 uváděl, že minimální tloušťka obvodové stěny v nejvyšším, tj. pátém nadzemním podlaží s hloubkou traktu do 6,5 m činí 450 mm. Ve své době měl tento požadavek vliv především na rozměry vyráběných cihel. Skladebná tloušťka stěny i skladebné rozměry plné cihly (300 x 150 x 75 mm) byly odvozeny z násobky nebo zlomku základního modulu 150 mm. Jmenovité (výrobní nebo také konstrukční) rozměry cihel byly o 10 mm menší.

Požadavky na tepelný odpor nebo akustickou neprůzvučnost se tehdy nepředepisovaly, dnes víme, že při tloušťce 450 mm dosahuje obvodová stěna z plných cihel tepelného odporu 0,55 $m^2.K.W^{-1}$ a její index vzduchové neprůzvučnosti $R'_w$ činí 48dB.

Současná ČSN 73 0532 požaduje váženou stavební neprůzvučnost ($R'_w$) pro stěny všech místností druhých bytů, chodeb, schodišť minimálně 52 dB. Pro stěny místností v sousedním domě (dvojdomy, řadové domy) je požadována $R'_w$ minimálně 57 dB. Těmto požadavkům už tedy výše uvedené stěna nemůže vyhovět.

Koncem roku 2002 byla revidována ČSN 73 0540-2,doplněna o Změnu Z1 v roce 2005 a posléze nově vydána v roce 2007, která hodnotí energetické parametry konstrukcí pomocí součinitele prostupu tepla.

V tab. 4.20 jsou porovnány hodnoty normou zavedeného součinitele prostupu tepla $U_N$ s hodnotami tepelného odporu $R_N$ pro obvodové nosné stěny.

Obecně platí, že $U \leq U_N$ (resp. $R \geq R_N$) obvodové stěny ze stavebních prvků,

matematicky $U = 1/(R+0{,}168)$

Hodnoty součinitele prostupu tepla $U_N$ a tepelného odporu $R_N$ pro budovy s převažující návrhovou teplotou 20 ℃ a t ěžkými venkovními stěnami (ze zdiva s 1% hmotnostní vlhkostí) *Tab. 4.20*

| Veličina | Požadované hodnoty | Doporučené hodnoty | Platilo do 31.12.2004 u jednovrstvých zděných vnějších stěn |
|---|---|---|---|
| Součinitel prostupu tepla $U_N$ $W.m^{-2}.K^{-1}$ | 0,38 | 0,25 | 0,46 |
| Tepelný odpor $R_N$ $m^2.K.W^{-1}$ | 2,46 | 3,83 | 2 |

Požadavky na hodnotu tepelného odporu tedy rovněž dramaticky vzrostly a jejich splnění by vyžadovalo nárůst tloušťky zdi z plných cihel na hodnotu 2 – 3 m.

Rostoucí požadavky na vlastnosti zdiva zákonitě vedou ke stále se zvyšujícím požadavkům na vlastnosti pálených zdicích prvků. Kromě mechanických a tepelných požadavků musí současné cihelné prvky splňovat také požadavky na rozměrovou přesnost a definovatelnou dlouhodobou rozměrovou stabilitu.

Skladebné rozměry děrovaných cihel uváděných do výroby v posledních letech jsou násobky základního modulu 100 mm, někdy též jeho poloviny nebo čtvrtiny. Jmenovité (výrobní) rozměry děrovaných cihel se odvozují od skladebných rozměrů s přihlédnutím k tloušťkám ložných a styčných spár. Jmenovité rozměry jsou menší než skladebné rozměry i tehdy, když se zdicí prvky lepí (tzv. nulové ložné spáry).

Nepominutelným požadavkem při hodnocení soudobých cihelných prvků jsou také jejich požární vlastnosti. Ty se zpravidla posuzují v rámci celé konstrukce. Cihelné vnější nosné stěny mají předepsanou požární odolnost nejméně 120 minut, příčky 45 minut.

Při použití technologie tzv. přesného zdění se u vysušených nebo vypálených cihelných tvarovek zabrušují jejich spodní a horní ložné plochy. Dělá se to proto, aby se snížila tloušťka pojiva.

Tradiční tloušťka ložných spár zděné konstrukce je 10 až 12 mm při použití obyčejné nebo lehké malty. Přesné prvky (cihly broušené CB nebo SB) dovolují použít maltu pro zdění tenké spáry tl. 1 až 3 mm. Výhodou přesného zdění je především minimalizace tepelného mostu v samotné ložné spáře.Tenká vrstva malty (lepidla) se nanáší buď na žebra vnitřní i obvodová v tl. 1mm nebo celoplošně v tl. 3mm (po stlačení 1mm) pomocí nanášecího válce. Nejnověji se lepení provádí pomocí polyuretanové pěny nanášené pouze ve dvou pruzích v ložné spáře.

Nepominutelné jsou i požadavky estetické. Neomítnuté zdivo z lícových cihel musí vykazovat dlouhodobou životnost a zachovávat si atraktivní vzhled. Musí proto vykazovat vysokou mrazuvzdornost a vysokou pevnost. Úprava maltových spár musí být v souladu s použitými zdicími prvky.

#### 4.2.1.2.2 Přehled zdicích prvků

Cihelné zdicí prvky je možné rozdělit též na cihly pro vnější tepelně izolační stěny, cihly pro nosné stěny i pilíře a cihly pro příčky.

Podle Národní přílohy ČR k ČSN EN 771-1 se cihly podle pevnosti v tlaku dělí na druhy označené pevnostními značkami P2, P4, P6, P8, P10, P15, P20. P25, P30, P35 a P40. Čísla v těchto značkách vyjadřují průměrnou pevnost uvedenou v MPa.

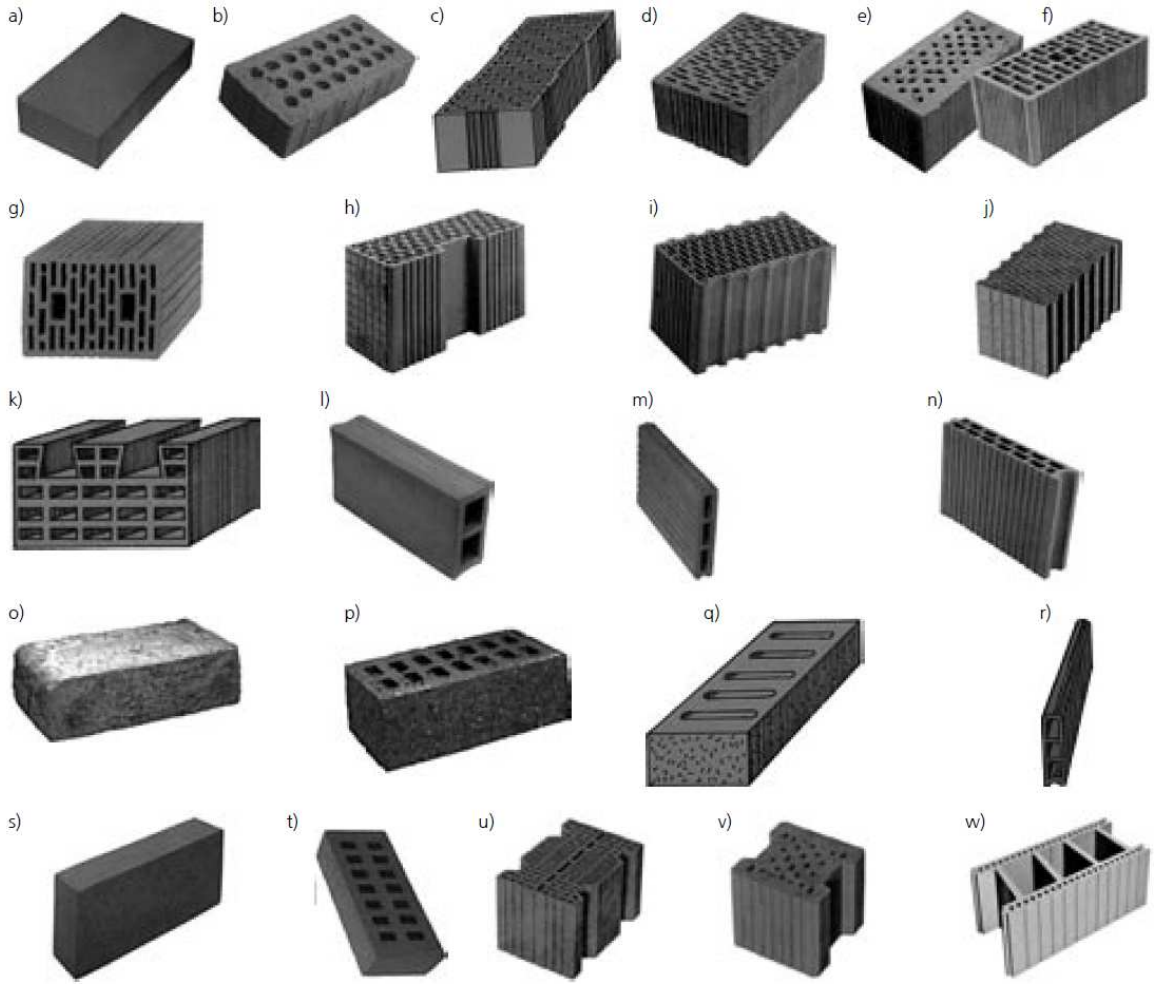
Podle mrazuvzdornosti se rozeznávaly cihly nemrazuvzdorné, mrazuvzdorné M15 (odolávající 15 zmrazovacím cyklům) a mrazuvzdorné M25 (odolávající 25 cyklům). Dále je uveden stručný přehled vyráběných cihel v ČR podle ČSN platných do 31.3.2006 s vybranými vlastnostmi.

Základním druhem cihel jsou *cihly plné* (označené CP) jmenovitých rozměrů 290 x 140 x 65 mm (velký formát) nebo 250 x 120 x 65 mm (malý formát), objemové hmotnosti max. 1800 $kg.m^{-3}$. Informativní hmotnosti jedné cihly činí (podle formátu) 4,7 kg, respektive 3,5 kg. Cihly plné jsou dodávány v pevnostních třídách P7, P10, P15, P20 a P25. S výjimkou nemrazuvzdorné třídy P7 mohou být nemrazuvzdorné nebo mrazuvzdorné (M15). Nasákavost (za varu) plných cihel je minimálně 12 % hmotnosti.

*Cihly odlehčené* CO se odhmotňují lehčením střepu nebo dírami (do 15 % ložné plochy) nebo kombinací obou způsobů. Informativní hmotnost jedné odlehčené cihly je 4,4 kg při jmenovitých rozměrech 290 x 140 x 65 mm a objemovou hmotností nejvýše 1700 $kg.m^{-3}$.

*Cihly děrované modulové* CD – INA - M jsou určeny pro jednovrstvé svislé obvodové zdivo o jmenovité tloušťce 390 mm (bez omítek s tepelným odporem R > 1,0 $m^2.K.W^{-1}$). Jejich jmenovité rozměry jsou 390 x 195 x 140 nebo 190 mm, objemová hmotnost 850 až 1150 $kg.m^{-3}$, pevnostní značky od P4 do P20.

*Cihly děrované* CD (dříve kvádr) se hromadně vyráběly od r. 1970 do roku 1985. Základem byla cihla děrovaná metrického formátu CDm s jmenovitými rozměry 240 x 115 x 113 mm a s objemovou hmotností 1450 $kg.m^{-3}$.




*Obr. 4.32* Přehled hlavních druhů pálených zdicích prvků

I. zdicí prvky pro nosné i nenosné chráněné – omítané vnější i vnitřní zdivo:

a – CP, b – CO, c – CD-INA-M, d – CD (kvádr, blok), e – CDm, f – CV 14, g – CD-TÝN,

II. zdicí prvky pro tepelně izolační jednovrstvé vnější zdivo nosné i nenosné:

h – tvarovka typu Therm rohová (s maltovou kapsou)

i – tvarovka typu Therm P+D (se systémem per a drážek)

j – tvarovka typu Porotherm Si (superizolační)

III. zdicí prvek pro keramické vrstvené obvodové dílce nosné i nenosné:

k – tvarovka CD-AK/A

IV. příčkovky:

l – Pk-CD, m – Pk-dr, n – svisle děrované typu Therm P+D

V. zdicí prvky pro lícové (nechráněné neomítané) zdivo:

o – cihla plná-CPR, p – cihla děrovaná-CDR, q – lícová cihla dělivka CIPd (cihla odlehčená pro režné zdivo), r - příčkovka-PkR, s – Klinker plná, t – Klinker svisle děrovaná,

VI. zdicí prvky pro zvukově izolační nosné omítané vnitřní zdivo:

u – Porotherm 36,5 AKU, v - Porotherm 25 AKU , w-akustická tvarovka šalovací

Jmenovité rozměry děrovaných cihel CD jsou 290 až 360 (nízká délka) x 240 x 113 až 238 (240) mm. Pevnostní značky jsou v intervalu P4 až P25.

V současné době se vyrábějí jen v omezeném množství, zejména pro rekonstrukce. Použitelné jsou i pro vnitřní (příčné) nosné stěny v novostavbách.

*Voštinové cihly* CV 6,5 a CV 14 (podle výšky) jmenovitých rozměrů 290 x 140 x 65 nebo 140 mm byly dodávány v pevnostních značkách P7, P10, P15 a P20 s objemovou hmotností 1300 $kg.m^{-3}$. Informativní hmotnost jedné cihly byla 3,4 resp. 7,3 kg. V současnosti nejsou nabízeny.

K tvarovkám lze přiřadit *cihly děrované Týn* – CD TÝN jmenovitých rozměrů 290 nebo 365 x 190 x 215 mm (tak zvané „týnky“). Pevnostní značky jsou v intervalu P4 až P20. Tyto cihly se dnes vyrábějí ve velmi omezeném rozsahu.

K novějším cihlářským výrobkům náleží zejména tepelně efektivní cihelné tvarovky typu *Therm* z lehčeného střepu (pórovitost 15 - 20 %, $\lambda$ = 0,4 $W.m^{-1}$, objemová hmotnost střepu 1450 $kg.m^{-3}$), v rozměrově přesném a tvarově náročném provedení.

Nejvíce vyráběné a nejvíce používané jsou svisle děrované cihly – tvarovky typu *Therm* (Term) se soustavou vhodně uspořádaných štěrbin (s průřezovou plochou jedné štěrbiny 6 až 8 $cm^2$).

Soustava vzduchových štěrbin spolu s pórovitým střepem podstatně zvyšuje jejich hodnotu tepelného odporu nad 2,0 $m^2.K.W^{-1}$ (resp. 2,46 $m^2.K.W^{-}$). Jejich jmenovité rozměry jsou 490, 440, 420, 400 nebo 365 x 247 x 238 mm (nebo 155 mm, tj. výška nízké cihly). Objemová hmotnost činí 800 až 1000 $kg.m^{-3}$ pro pevnostní značku P6, P8 a P10. Maximální hmotnost jedné tvarovky je 23 kg. Pro vnitřní nosné stěny se používají tvarovky s pevnostní značkou P10 až P20.

Vyrábějí se též tvarovky typu Therm s nízkou objemovou hmotností 700 $kg.m^{-3}$ (650 a 600 $kg.m^{-3}$) a pevnostní značkou P4, P6, P8.

Novějším typem jsou cihly – tvarovky typu *Therm superizola*ční (značené písmeny Si na konci názvu). Při jmenovitém rozměru 440 x 248 x 238 mm je hmotnost Si tvarovky 16,4 až 17,7 kg, pevnost v tlaku P6, nasákavost 23 ±2 % hmotn., podíl děrování 59 %. Objemová hmotnost činí 650 až 700 $kg.m^{-3}$.

Neomítnuté zkušební fragmenty z cihelných tvarovek 440 x 248 x 238 mm tohoto typu, vyzděných na tepelně izolační maltu, vykázaly (po přepočtu na ustálenou vlhkost zdi) hodnotu tepelného odporu R = 3,92 $m^2.K.W^{-1}$, což odpovídá hodnotě U = 0,24 $W.m^{-2}.K^{-1}$.

Při vyzdění na obyčejnou maltu (bez omítek) byla naměřena hodnota R = 3,21 $m^2.K.W^{-1}$, což odpovídá hodnotě U = 0,30 $W.m^{-2}.K^{-1}$.

Při zdění z tvarovek s takovými tepelnými parametry je nedílnou součástí racionální hrubé stavby současné použití doplňkových cihel.

Doplňkové cihly (poloviční, koncové a rohové) musí mít tvary řešené z pohledu maximální možné eliminace lineárních tepelných mostů a vazeb v kritických místech stěny (v rozích a na styku stěny s výplněmi otvorů, v ostění, nadpraží a parapetů).

K dosažení dostatečných tepelně izolačních hodnot se doplňkové cihly často vybavují vybráním, do kterého se vkládá tepelný izolant ( extrudovaný pěnový polystyren).

Vyšší tepelně izolační vlastnosti mají tvarovky délky (tloušťky zdi) 490 mm SUPERTHERM 49 STI s pevností v tlaku P6 a P8, které jsou vhodné pro těžké obvodové konstrukce energeticky úsporných domů ($U \leq 0{,}25\ W.m^{-2}.K^{-1}$).

U cihel HELUZ FAMILY jsou tepelně izolační parametry ještě o 20 % lepší, takže zdivo z těchto cihel dosahuje při tloušťce 500 mm (a současném použití tepelně izolační omítky) $U = 0{,}15 W.m^{-2}.K^{-1}$. Srovnatelné jsou tvarovky POROTHERM 42,5 T plněné minerální vatou, které mohou být (spolu s tepelně izolační omítkou) použity pro obvodové stěny nízkoenergetických domů i přes nižší tloušťku (425 mm).

K cihelným tvarovkám patří i *tvarovky pro keramické dílce* CD – AK/A jmenovitých rozměrů 300 nebo 225 x 175 x 225 mm. Keramický vrstvený dílec tl. 300 mm je tvořen třemi souvislými vrstvami: vnější betonovou moniérkou v tl. 50 mm, tepelně izolační vrstvou (z pěnového polystyrenu nebo minerálních vláken) v tl. též 50 mm a vnitřní nosnou keramobetonovou vrstvou z cihelných tvarovek CD – AK/A, betonářské oceli a betonu v celkové tl. 200 mm.

Ke zdicím prvkům pro nenosné vnitřní stěny patří *pálené příčkovky*, které se dělí na dutinové a drážkové. *Příčkovky dutinové* (Pk – CD), dříve označované jako podélně děrované cihly, se ukládají ve zdivu tak, aby podélné osy dutin byly vodorovně rovnoběžné s lícními plochami příčky.

Příčkovky se jmenovitými rozměry 290 x 140 x 40 nebo 65 mm mají dvě dutiny, příčkovky s rozměry 290 x 140 x 140 mm čtyři dutiny a rozměry 290 x 290 x 140 mm osm dutin. Jejich největší přípustná objemová hmotnost je 1100 $kg.m^{-3}$. *Příčkovky drážkované* (Pk – dr) jsou určeny buď pro ručně zděné příčky, nebo též pro výrobu příčkových dílců. Příčkovky se jmenovitými rozměry 390 x 190 x 65 mm mají drážku na dolní a podélný výstupek (péro) na horní ložné spáře.

Příčkovky s rozměry 390 x 190 x 40 mm mají drážku a péro jako předcházející, nebo drážku na horní i dolní ploše. Největší přípustná objemová hmotnost je opět 1100 $kg.m^{-3}$. Oba druhy příčkovek se vyrábějí v pevnostních značkách P2 a P4. Mrazuvzdornost se nepožaduje.

Pro neomítané (režné) zdivo jsou určeny *lícové cihly plné* – CPR, *lícové cihly – dělivky* (CIPd), *lícové cihly děrované* – CDR a *příčkovky* – PkR.

*Lícovky ostře pálené (klinker)* jsou zdicí prvky se slinutým povrchem, které jsou vysoce odolné proti vnějším vlivům a slouží především jako fasádní prvky. Hmotnostní nasákavost jejich střepu je pod hranicí 8 %, pevnost v tlaku 60 MPa a objemová hmotnost 1700 až 2200 $kg.m^{-3}$.

*Kanalizační cihly* mají hutný střep, obvyklý formát 290 x 140 x 65 mm nebo 240 x 115 x 71 mm, často jsou odlehčené děrováním. Jsou kyselinovzdorné (kyselinovzdornost min. 80 %), mrazuvzdorné (min. M25) a jejich pevnost v tlaku převyšuje 55 MPa.

V Národní příloze ČR k ČSN EN 771-1 je uvedeno zatřídění pálených zdicích prvků podle pevnosti v tlaku (tab. 4.21), podle objemové hmotnosti (tab. 4.22) a podle mrazuvzdornosti (tab. 4.23).

Uvedené zatřídění lze používat k dodatkové deklaraci pálených zdicích prvků jako informaci, do jaké míry je deklarovaná vlastnost v souladu s národním klasifikačním systémem. Výrobce je odpovědný za připojení označení CE.

Na obrázku 4.33 je uveden příklad informací doplňujících označení CE. Jde o pálený zdicí prvek HD kategorie I, který je určen pro všechna možná použití, včetně v izolačních vrstvách proti vlhkosti, a je uváděn na trhy, kde neexistují žádné předpisy pro obsah aktivních rozpustných solí ani pro vlhkostní přetvoření.

Pevnost v tlaku zdicích prvků *Tab. 4.21*

| Pevnostní značka | Pevnost v tlaku ($N.mm^{-2}$) | |
|---|---|---|
| | průměrná | jednotlivá |
| 2 | 2 | 1,6 |
| 4 | 4 | 3,2 |
| 6 | 6 | 4,8 |
| 8 | 8 | 6,4 |
| 10 | 10 | 8,0 |
| 15 | 15 | 12,0 |
| 20 | 20 | 16,0 |
| 25 | 25 | 20,0 |
| 30 | 30 | 24,0 |
| 35 | 35 | 28,0 |
| 40 | 40 | 32,0 |

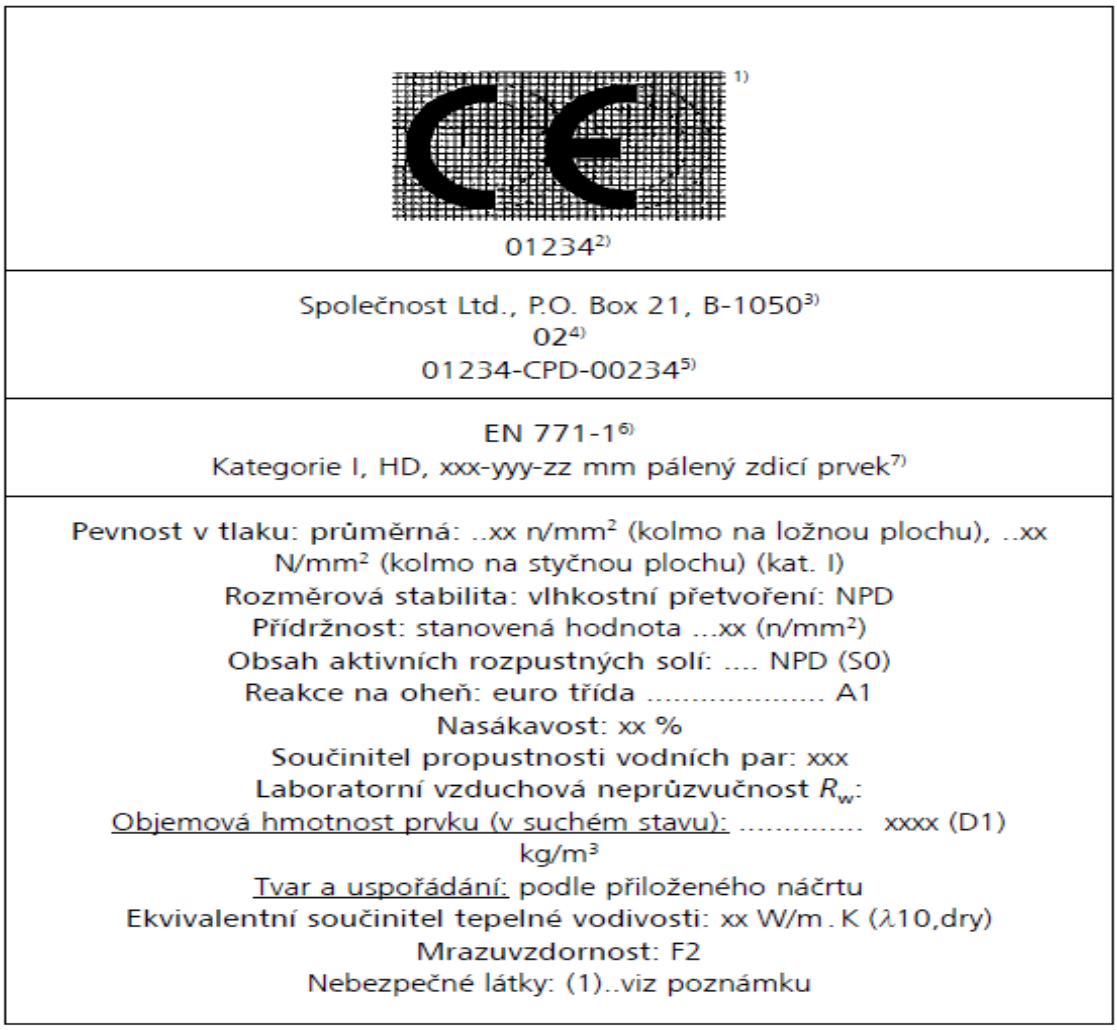
Objemová hmotnost zdicích prvků v suchém stavu *Tab. 4.22*

| Třída objemové hmotnosti | Průměrná hodnota objemové hmotnosti[1)] ($kg.m^{-3}$) |
|---|---|
| 550 | 501 až 550 |
| 600 | 551 až 600 |
| 650 | 601 až 650 |
| 700 | 651 až 700 |
| 750 | 701 až 750 |
| 800 | 751 až 800 |
| 900 | 801 až 900 |
| 1 000 | 901 až 1 000 |
| 1 200 | 1 001 až 1 200 |
| 1 400 | 1 201 až 1 400 |
| 1 600 | 1 401 až 1 600 |
| 1 800 | 1 601 až 1 800 |
| 2 000 | 1 801 až 2 000 |
| 2 200 | 2 001 až 2 200 |

1) Jednotlivé hodnoty nesmí překračovat, popř. být menší než mezní hodnoty třídy, a to u tříd objemové hmotnosti $< 800$ o více než 20 $kg.m^{-3}$, u tříd 900 a 1 000 o více než 40 $kg.m^{-3}$ a u tříd $> 1\,000$ o více než 80 $kg.m^{-3}$

Mrazuvzdornost zdicích prvků HD a LD *Tab. 4.23*

| Kategorie mrazuvzdornosti zdicích prvků HD a LD podle ČSN EN 771-1, čl. 5.3.6 | | Počet zmrazovacích cyklů podle ČSN 72 02601/Z3 |
|---|---|---|
| F0 | neagresivní prostředí (zdivo, které není v hotové konstrukci vystaveno působení vlhkosti a mrazu) | 0 |
| F1 | mírně agresivní prostředí (zdivo vystavené působení vlhkosti a střídavému zmrazování a rozmrazování) | 15<br>25 |
| F2 | silně agresivní prostředí (zdivo nasycené vodou a současně vystavené častému působení střídavého zmrazování a rozmrazování v důsledku klimatických podmínek | 50 |




*Obr. 4.33* Příklad informací doplňujících označení CE

### 4.2.1.3 Pálená střešní krytina

Keramická pálená střešní krytina náleží k nejstarším přírodním osvědčeným stavebním materiálům. Tvoří jí různě tvarované tašky o tloušťce cca 11 mm vyráběné cihlářskou technologií.

Přímým výpalem hlíny a jílů se získá přírodní cihlová červeň režné tašky, která není (na rozdíl od jiných druhů výrobků) ničím přibarvována.

U některých druhů tašek se provádí úprava líce vysušené tašky tzv. engobováním (nanášením jílových kalů s různým obsahem oxidů kovů a křemičitých přísad) nebo glazováním (nanášením směsi rozplavených jílů obarvených přírodními oxidy železa, které mají vyšší podíl sklovitých příměsí). Následným výpalem se na funkčním povrchu tašky vytvoří slinutá matná až pololesklá engoba (nástřepí) nebo vysoce lesklá glazura (skelná vrstva). .

Vzhledem k tomu, že engobovaná i glazovaná úprava je nedílnou součástí hmoty tašky, jsou obě tyto úpravy trvalé a odolné vůči UV záření a klimatickým vlivům.

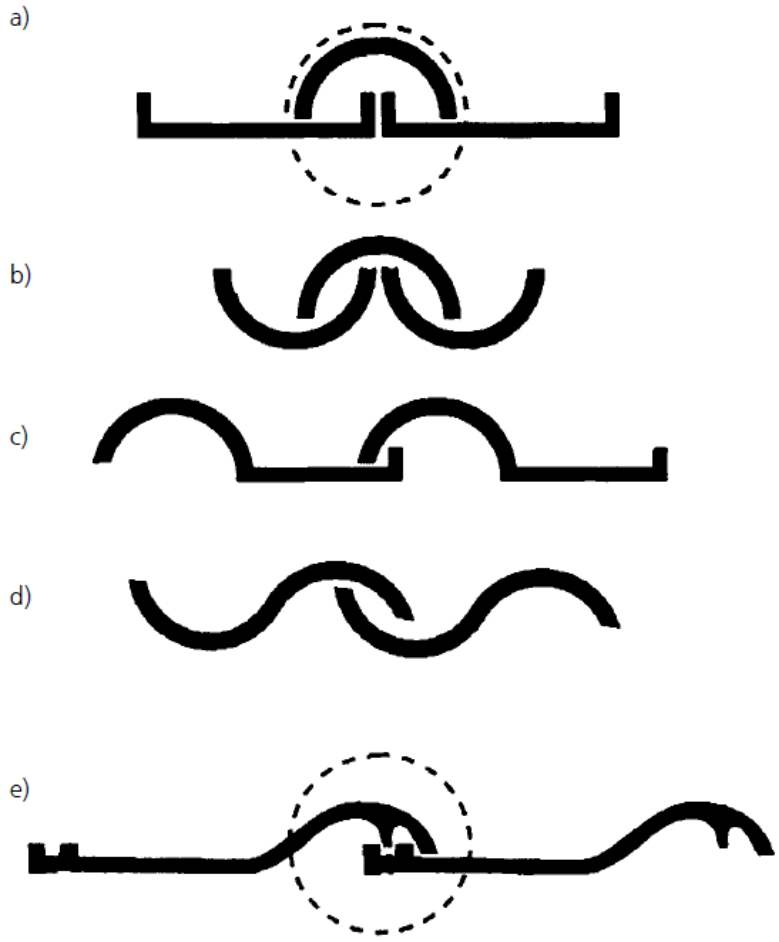
Vypálená taška odolává agresivnímu prostředí, kyselé deště ani ptačí trus (tzn. kyseliny a houby) nezanechávají defekty. Hladkost povrchu pálené tašky se současnou nízkou nasákavostí páleného střepu podstatně zvyšuje odolnost tašky proti usazování různých mechů a lišejníků.

Pálené tašky se vyrábějí v několika druzích a ve dvou technologiích jako tažené nebo ražené. Na rozdíl od tažených bobrovek, které si zachovávají svoji podobu, se ražená drážková taška tvarově vyvíjela od římských lištových tašek (např. Tegula) přes prejzovou krytinu, lemovou tašku (krempovku) a vlnovku (esovku) k „moderní“ drážkové tašce (z 19. století) (obr. 4.34).

Posledním vývojovým modelem je taška Románská 12 jednodrážková, u níž je krycí i vodní drážka hlubší než 10 mm, přičemž krycí profil plně překrývá vodní drážku a vytváří dokonalý spoj sousedních tašek.

Propojením drážek v hlavě, boku i patě tašky (na rubové i lícní straně) vzniká drážkový systém, který může být u různých modelů tašek různě propracovaný, často i spojitý – průběžný (ten umožňuje zmenšit sklon střechy) (obr. 4.35).

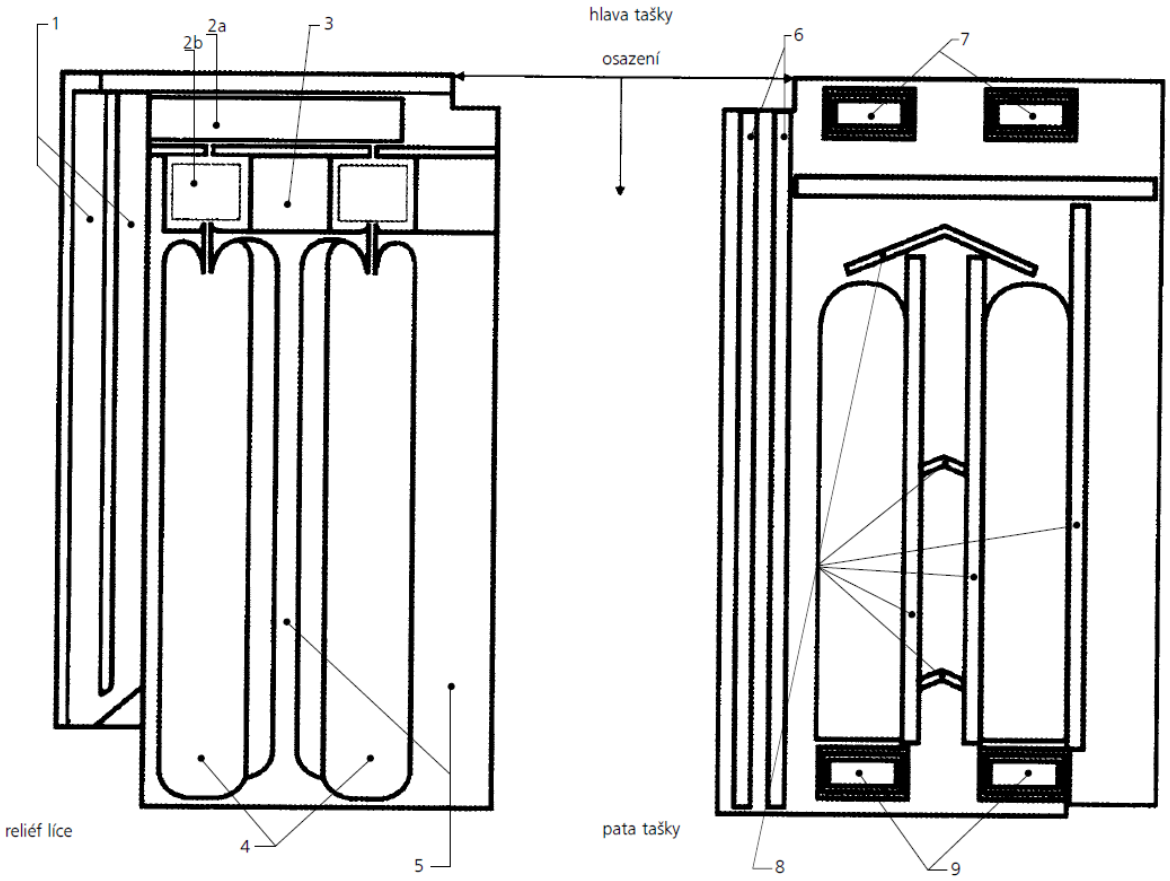
Třídění pálených tašek je uvedeno v tab. 4.24.




*Obr. 4.34* Vývoj drážkové tašky [Hellerová, E., 1999]

a – římské lištové tašky, b – prejzy (prejz - kůrka, hák – korýtko),

c – lemové tašky (krempovky), d – vlnovky (esovky), e – klasické drážkové tašky ( z 19. století)




*Obr. 4.35* Základní popis pálené tašky

1 – vrchní boční dvojité drážky; 2 – hlavová drážka: a) odvodňovací, b) sesazovací; 3 – předlisovaný otvor; 4 – žlábky; 5 – zesílení; 6 – spodní dvojité boční drážkování; 7 – závěsné ozuby; 8 – zpevňovací žebra; 9 – sesazovací ozuby

Podle tvaru tašky, drážek a způsobu krytí se následně určuje bezpečný sklon (při kterém je zajištěna nepropustnost pálené tvrdé krytiny vůči srážkové vodě bez doplňkových hydroizolačních opatření) daný normou ČSN 73 1901 (1999).

V původní ČSN 73 1901 z roku 1975 byla pro pálenou krytinu stanovena velká omezení v použití, a to v minimálních sklonech střešních ploch a v nadmořských výškách postavených budov.

Na základě zkušeností a realizace krytin tato velká omezení pozbyla opodstatnění v revidované normě z roku 1999. Byla tak dána možnost každému výrobci, aby použití krytiny upřesnil sám ve svých technických podkladech. Bezpečný sklon je definován jako doporučený nejmenší sklon zajišťující bezpečnou nepropustnost srážkové vody bez doplňkových konstrukcí.

Pokud se vyskytne potřeba nižšího sklonu střešních ploch, než je sklon bezpečný, je třeba zbudovat tzv. těsné podstřeší (např. plné bednění s izolační fólií nebo tepelně izolační systém s ochranou vrstvou odvádějící vodu).

V případě, kdy je nutné pokrýt menší plochu, např. vikýř, stejným druhem krytiny v ještě nižším sklonu, je možné zbudovat tzv. vodotěsné podstřeší (plné bednění s klasickými živičnými pásy či plastovým fóliovými hydroizolačními). Tyto doplňkové konstrukce v případě těsného či vodotěsného podstřeší vyžadují vždy funkční větrání pod pálenou krytinou.

Třídění pálených tašek *Tab.4.24*

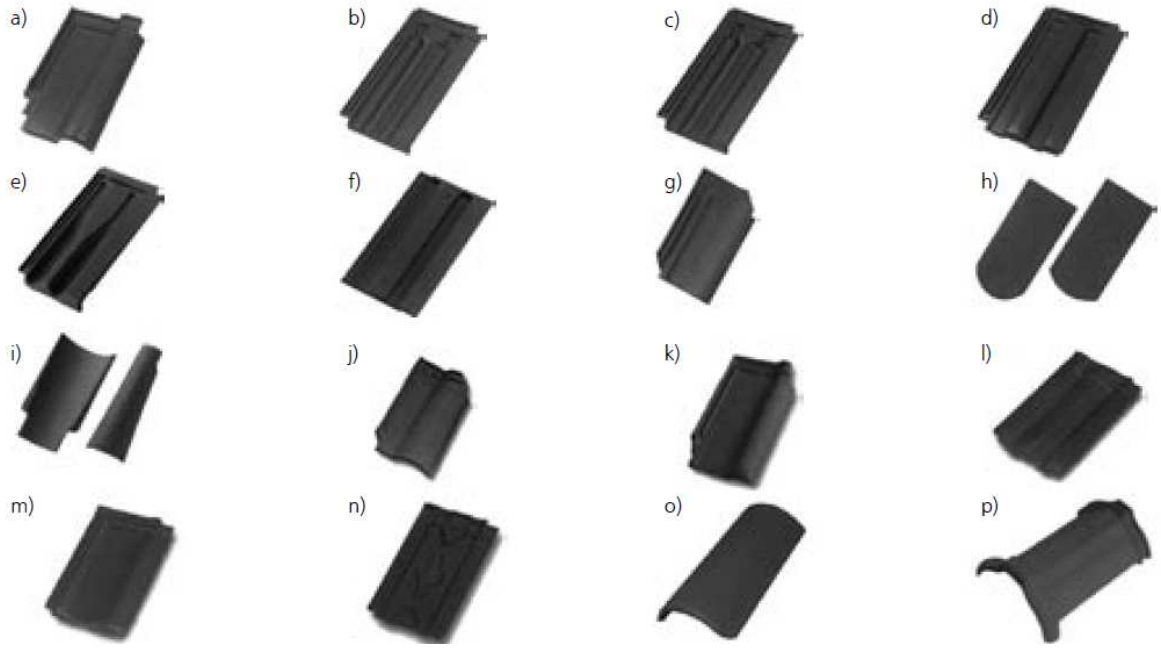
| Třídění | Druh |
|---|---|
| podle technologie | tažené |
| | ražené |
| podle tvaru drážek | drážkové (se spojitou nebo přerušovanou vodní drážkou) |
| | bez drážek |
| podle tvaru líce | s naválkou<br>• přímou<br>• kónickou |
| | se žlábky<br>• jedním<br>• dvěma |
| | rovné |
| podle rovinnosti povrchu líce | hladké |
| | rýhované |
| | profilované |
| podle barevnosti povrchu | režné |
| | engobované |
| | glazované |
| podle způsobu krytí | jednoduché |
| | dvojité |
| podle způdobu kladení | na střih |
| | na vazbu |
| podle rozměru | maloformátové (do 1000 $cm^2$) |
| | velkoformátové (nad 1000 $cm^2$) |

Typickým příkladem soudobé ražené krytiny je taška Brněnka 14 formátu 405 x 240 mm, s krycí délkou 280 až 340 mm, krycí šířkou 200mm, hmotnosti cca 3,0 kg, únosnosti více než 2,2 kN a spotřebou 14,5 až 17,8 $ks.m^{-2}$.

Materiálově zajímavou variantou tažené krytiny je Kadaňská bobrovka formátu 380 x 180 mm, hmotnosti 1,6 kg. Představuje kameninovou tašku s maximální nasákavostí 5 % hmotnostních. Na kameninové tašky pro skládanou krytinu s minimálním sklonem 25° poskytuje výrobce padesátiletou záruku na rozměry, únosnost, mrazuvzdornost a kyselinovzdornost.

Bezpečný sklon šikmých střech (5° < α ≤ 45°) z pálené skládané krytiny (v závorce je uveden minimální sklon v případě zbudovaného těsného či vodotěsného podstřeší) *Tab. 4.25*

| Pálená krytina | Tvar drážek, skládaná krytina | Druh krytiny | Způsob krytí | Bezpečný sklon podle norem | Bezpečný sklon podle výrobce | Poznámka |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Drážková | se spojitou vodní drážkou | taška pro malé sklony<br>• s přímou naválkou<br>• s kónickou naválkou | jednoduché | 22° | 22°<br>(16°; 12°) | Jirčanka 13 |
| | | | | | | Románská 12 |
| | s přerušovanou vodní drážkou | taška se žlábkem<br>• jedním<br>• dvěma | jednoduché | 30° | 30°<br>(24°; 20°) | Stodo 12<br>Polka 13 |
| | | | | | | Francouzská 12<br>Falcovka 11 |
| | posuvná | taška posuvná v drážce (s posuvem až 60 mm) | jednoduché | 30° | 30°<br>(24°; 20°) | Univerzál 12<br>Brněnka 14<br>Polka 13 |
| | | | | | | při rekonstrukci |
| | tažená s boční drážkou | taška s boční drážkou | jednoduché | 35° | 35° | drážková Bobrovka |
| Nedrážková (bez drážkování) | s boční lištou | taška krempovka | jednoduché | 35° | 35° | |
| | klenutá | esovka | s řezem překrytým | 35° | 35° | |
| | | | s řezem na sraz | 45° | 45° | |
| | | prejzová | jednoduché | 40° | 40°<br>(34°; 30°) | prejz – kůrka<br>hák – kůrka<br>historické budovy |
| | rovná | bobrovka | dvojité<br>• šupinové (husté laťování)<br>• korunové (řídké laťování) | 30° | 30°<br>(24°; 20°) | kulatý nebo segmentový řez |
| | | | jednoduché s podložením | 40° | 40° | |




*Obr. 4.36* Přehled hlavních druhů pálených tašek pro skládanou krytinu

a – Románská 12 (465 x 280 mm), b – Francouzská 12 (465 x 277 mm), c – Francouzská 14 (405 x 240 mm), d – Univerzál 12 (465 x 275 mm), e – Brněnka 14 (405 x 240 mm), f – Varia 14 (405 x 240 mm), g – Holland (420 x 250 mm), h – bobrovka (380 a 400 x 180 a 190 mm), i – prejz spodní (380 x cca 207 mm), prejz vrchní (380 x 58 až 100 mm), j – Portugal (420 x 250 mm), k – Jirčanka (425 x 263 mm), l – Falcovka 11 (427 x 270 mm), m – Stodo 12 (427 x 270 mm), n – Srdcovka 11 (427 x 270 mm) o – hřebenáč hladký (délka 380 mm), p – hřebenáč drážkový (délka 380 mm).

#### 4.2.1.3.1 Technické požadavky na pálenou krytinu

Technické požadavky na pálenou střešní tašku jsou dány dále uvedenými evropskými normami. Pálená skládaná krytina musí svými technickými vlastnostmi tvořit ochranu vnitřního prostředí proti klimatickým vlivům, proto musí být především pevná a vodotěsná.

K technickým vlastnostem (charakteristikám) pálené krytiny náleží:

geometrické charakteristiky,

fyzikální a mechanické charakteristiky (pevnost v tlaku za ohybu, prosákavost, mrazuvzdornost, reakce na oheň).

Geometrické charakteristiky (přesnost tvaru, prohnutí, rozměrové tolerance) jsou definovány v ČSN EN 1304 a posuzují se podle ČSN EN 1024.

Střešní tašky delší než 300 mm mohou být prohnuty (zakřiveny) max. 1,5 % délky a zkrouceny též max. 1,5 % součtu délky a šířky. Hodnoty délky a šířky tašek se mohou lišit o ±2 % od jmenovitých rozměrů deklarovaných výrobcem.

Fyzikální a mechanické charakteristiky jsou definovány v ČSN EN 1304 a posuzují se podle ČSN EN 538 a ČSN EN 539.

Pevnost v tlaku za ohybu se označuje jako únosnost. Jako vyhovující na únosnost jsou posouzeny tašky, které při zkoušce v tahu za ohybu podle ČSN EN 538 vydrží zatížení alespoň:

0,6 kN pro nedrážkové rovné tašky bobrovky,

0,9 kN pro drážkové ploché tašky,

1,0 kN pro prejzovou krytinu,

1,2 kN pro ostatní druhy tašek.

Prosákavost je podle ČSN EN 539-1 možné zkoušet dvojím způsobem. Obě zkušební metody lze použít k rozdělení pálených střešních tašek na výrobky kategorie 1 a výrobky kategorie 2. Při použití na střeše musí být pod výrobky kategorie 2 umístěna hydroizolační vrstva.

Při zkoušení podle první zkušební metody je povolený průměrný faktor prosákavosti max. 0,5 $cm^3.cm^{-2}.den^{-1}$ pro výrobky v kategorii 1, nebo 0,8 $cm^3.cm^{-2}.den^{-1}$ pro výrobky v kategorii 2. Jednotlivé výrobky kategorie 1 mohou vykázat prosákavost max. 0,6 $cm^3.cm^{-2}.den^{-1}$. U jednotlivých výrobků kategorie 2 se připouští 0,9 $cm^3.cm^{-2}.den^{-1}$.

Při postupu podle druhé metody se zjišťuje relativní rychlost prosáknutí vody celým průřezem tašky. Pro výrobky kategorie 1 se připouští průměrná nalezená hodnota prosákavosti nejvýše 0,8 s tím, že jednotlivé výrobky mohou vykázat hodnotu nejvýše 0,85. V kategorii 2 se jako průměrná hodnota připouští 0,925 s tím, že nejvyšší jednotlivou hodnotou může být 0,95.

Mrazuvzdornost tašek se zkouší podle ČSN EN 539-2 metodou odpovídající zeměpisné zóně místa použití. Česká republika byla zařazena do zóny B (spolu se SRN, Rakouskem, Švýcarskem atd.), ve které se aplikuje zkušební metoda B. Podle ní tašky musí vyhovět 150 zmrazovacím cyklům. Po provedené zkoušce se ještě následně vyhodnocuje vzhled tašky, tzn. trhlinky, odlupování, odprýskávání.

Reakce na oheň se nezkouší, protože všechny střešní pálené výrobky obsahují méně než 1 % (hmotnosti nebo objemu) uhlíku a v souladu s ČSN EN 1304, je možné je zařadit do třídy A1 bez zkoušení.

Jednotlivé výše uvedené fyzikální a mechanické charakteristiky jsou navzájem nezávislé. Z naměřené vysoké prosákavosti nelze jednoznačně odvodit sníženou mrazuvzdornost tašky a naopak.Přehled hlavních druhů pálených tašek je na obr. 4.36.

K nejčastějším chybám ve výběru druhu tašky patří:

• nevhodně zvolený druh tašky vzhledem k umístění stavby (např. taška s vysokou vlnou v náročných klimatických podmínkách větrových a sněhových) ,

• nevhodně zvolený druh tašky vzhledem ke tvaru střechy ( kdy je střecha s oblými tvary a zborcenými plochami kryta velkoformátovou zámkovou taškou namísto bobrovky) ,

• nevhodně zvolený druh tašky ke sklonu střešních ploch ( kdy je např. falcová taška s bezpečným sklonem 30° bez pojistné hydroizola ční vrstvy položena ve sklonu 12°).

### 4.2.1.4 Cihlářské výrobky pro vodorovné konstrukce

Cihlářské výrobky, které se používají na konstrukce namáhané převážné ohybem, tj. stropní a střešní konstrukce, se označují jako cihlářské prvky pro vodorovné konstrukce nebo stropní prvky.

Tyto výrobky jsou obvykle tenkostěnné a jsou opatřeny dutinami. Tvar, rozměry a mechanické vlastnosti stropních prvků závisí na konstrukčním řešení stropní nebo střešní konstrukce, pro niž jsou určeny.

Svými vlastnostmi zajišťují tyto výrobky dobrou tepelnou a zvukovou izolaci. Také montáž stropních prvků je snadná a nenáročná na stavební mechanizmy.

#### 4.2.1.4.1 Cihelné stropní desky

Základním prvkem hurdiskového stropu je hurdiska (dříve nazývaná deska Hurdis). Hurdisky se podle ČSN 72 2642:2003 vyrábějí ve dvojím provedení jako *hurdisky 1* (s kolmými čely) a *hurdisky 2* (se šikmými čely).

Podle tvaru bočních stěn se rozeznávají hurdisky s rovnými bočními stěnami, hurdisky P+D s jednou vypuklou boční stěnou (perem) a s jednou vydutou boční stěnou (drážkou) a hurdisky D+D, které mají obě boční stěny vyduté.

Všechny hurdisky jsou opatřeny třemi nebo čtyřmi podélnými dutinami (obr. 4.37). Jsou určeny hlavně pro stropy rodinných domů nebo přístaveb s celkovým plošným zatížením 5 $kN.m^{-2}$ na rozpon 2, 4 a 6 m.

Hurdisky 1 se vkládají se přímo na spodní příruby ocelových nosníků nadimenzované velikosti s osovou vzdáleností odpovídající délce hurdisek.

Hurdisky 2 se šikmými čely (velikost úhlu zešikmení je 60° ± 3°) byly původně určeny k ukládání na speciální cihelné patky, vkládané na ocelové nosníky. To se dnes už nepovažuje za nejvhodnější. Lepší je ukládat hurdisky 2 na keramobetonové nosníky se šikmými dosedacími plochami.

Striktnímu dodržování technologického postupu kladení hurdisek je třeba věnovat zvýšenou pozornost. Zejména je třeba dbát na to, že hurdisky 1 i 2 musí být separovány od případné mokré silikátové vrstvy (cementového potěru nebo betonu) např. plastovou fólií.

Příklady vlastností hurdisek jsou uvedeny v tab. 4.26. Nasákavost střepu hurdisek je 19 - 24 % hmotnosti.

Informativní vlastnosti cihelných stropních desek hurdis *Tab. 4.26*

| Název | Označení | Délka (mm) | Šířka (mm) | Výška (mm) | Únosnost (kN) | Hmotnost (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| hurdisky s kolmými čely | 1-1180 | 580, 680, 780, 880, 980, 1080, 1180 | 250 nebo 290 | 80 | 6,8 | 19,7 |
| hurdisky se šikmými čely | 2-1080<br>2-1180 | 580, 680, 780, 880, 980, 1080, 1180<br>(kratší délky jsou o 90 mm menší) | 250 nebo 290 | 80 | 6,8<br>6,2 | 17,1<br>18,8 |

Hurdisky s vhodnou povrchovou úpravou (dezénem, glazurou apod.) se používají také pro vnější i vnitřní obklady stěn (obklad stěn nástupiště ve stanici metra Dejvická).

#### 4.2.1.4.2 Stropní vložky a tvarovky

Cihelné stropní vložky CSV-Simplex jsou dutinové stropní prvky, které se používají pro nenosnou výplň žebrových monolitických železobetonových konstrukcí. Tyto vložky vytvářejí tzv. ztracené bednění žebrových stropů. Vyplňují prostor mezi sousedními železobetonovými žebry a vytvářejí rovný podhled z cihlářského střepu. Délka vložek je 360 mm, šířka 280 mm (osová vzdálenost železobetonových žeber je 300 mm), výška 120, 150 nebo 190 mm. Výška nástavce vložek je 80 mm.

Cihelné stropní vložky CSV-Miako a Miako PTH se vkládají mezi keramobetonové stropní nosníky. Na obr. 4.37 jsou též uvedeny hlavní rozměry vložek Miako, např. 23/62,5 PTH. Číslo před lomítkem udává výšku vložky (v cm) a číslo za ním udává osovou vzdálenost nosníků (rovněž v cm). Stropní vložky Miako PTH mají třídu objemové hmotnosti 800 $kg.m^{-3}$, minimální únosnost 2,3 kN a pevnost v tlaku odpovídající značce P12.

Cihelné stropní tvarovky CSt-Armo jsou dutinové tvarovky, které jsou určeny pro výrobu nepředpjatých i předpjatých stropních i střešních panelů, nosníků (povalů) apod. Část jejich průřezu může být součástí staticky účinného průřezu jako konstrukce. Lze je také použít jako stropní vložky.

Tvarovky CSt-Armo se dělí podle výšky, podle tvaru horní vodorovné stěny a podle pevnosti v tlaku. Výška tvarovek CSt-Armo je 120, 170 a 220 mm. Podle tvaru horní vodorovné stěny se tvarovky označují CSt-Armo-1 nebo CSt-Armo-2. Přesný tvar není předepsán, jenom obrys.

Pevnostní značky tvarovek CSt-Armo jsou P12, P17, P25 a P33. Průměrná nasákavost tvarovek má být nejméně 12 %. Na základě zvláštních ujednání se též dodávají tvarovky CSt Armo s jinými rozměry.

Dalšími cihelnými stropními tvarovkami jsou CSt HELUZ, které jsou určeny pro výrobu nepředpjatých stropních panelů.Základní tvarovky se vyrábí o výšce 190 mm a šířce 300mm. Pro vytvoření zámku na bocích panelu je určena poloviční tvarovka o stejné výšce, ale poloviční šířce.

Cihelné stropní tvarovky U jsou dutinové tvarovky, které jsou určeny pro výrobu stropních nosníků (povalů) a střešních panelů. Část jejich průřezu může být součástí staticky účinného průřezu konstrukce. Tvarovky mají uprostřed šířky velmi hluboký zářez ve tvaru písmene U, do něhož se vkládají pruty výztuže. Tvarovky se označují U15, U16 a U22,5. Čísla v těchto označeních značí skladebnou výšku prefabrikátů, v nichž jsou tvarovky použity. Jmenovitá výška tvarovek je 140, 160 a 205 mm, šířka 290 a 240 mm, délka je vždy 290 mm.

Požadovaná pevnost v tlaku určená zatěžováním silou působící rovnoběžné s osou podélných dutin je u tvarovek U průměrně 17 MPa a jednotlivě 13,6 MPa. Průměrná nasákavost tvarovek má být nejméně 12 %.

#### 4.2.1.4.3 Keramické stropní a střešní dílce

Keramické stropní a střešní dílce patří mezi stavební dílce, které jsou zhotoveny z výztuže, betonu a cihelných tvarovek. Používají se jednoúčelové cihelné tvarovky, vhodné vždy jen pro výrobu určitého druhu dílců.

Keramické stropní dílce se dělí na stropní nosníky a stropní desky. Stropní nosníky jsou určeny pro keramické polomontované stropní konstrukce. Příčný průřez nosníků má tvar umožňující ukládání stropních vložek Miako mezi nosníky, které jsou předem osazeny na předepsanou osovou vzdálenost.

Po uložení vložek se stropní konstrukce zmonolitní, tj. mezery mezi vložkami (nad nosníky) se zaplní betonovou směsí a nad vložkami se vybetonuje 40 až 60 mm tlustá vrstva z betonu pevnostní třídy min. C 16/20.

Trámečkové stropní konstrukce jsou na obrázku 4.38. Stropní nosníky mohou být typu KPZT (nosníky ze speciálních cihelných tvarovek ve tvaru obráceného T, ve kterých je ve třech žlábcích uložena nosná výztuž zalitá betonem třídy min. C 12/15) používané v osových vzdálenostech nosníků 450 nebo 600 mm. Šířka příruby je 140 mm, výška příruby je 65 mm, výška nosníku je 160 mm.

Dalším typem keramobetonového nosníku je typ nosníku s prostorovou výztuží typu FERT (cihelná nosníková pata se svislými boky 160 x 60 mm se svařovanou vyčnívající prostorovou výztuží zalitou betonem min. třídy pevnosti C16/20), používaný pro osovou vzdálenost nosníků 625 mm nebo 500 mm. Rozměry nosníku jsou 160 x 175 (výška s výztuží) x 1750 až 6250 mm nebo 160 x 230 x 6500 až 8250 mm, hmotnost 21,7 až 25,6 $kg.m^{-1}$.

Tvarově výhodným nosníkem pro hurdiskové stropy je, vedle betonového nosníku HAT-trick, často používaný typ HF (cihelná nosníková patka se šikmými boky, s vyčnívající svařovanou výztuží FERT zalitou betonem třídy min C 16/20).

Nosník HF je určen pro polomontovaný strop z hurdisek se šikmými čely nebo stropních vložek Miako-O pro oboustranné použití. Rozměry nosníku HF jsou např. 225 x 220 (výška měřená od spodního okraje průřezu) x 2100 až 6600 mm.

Výše uvedené tři typy trámečkových stropních konstrukcí vždy tvoří tuhou stropní desku pro běžné použití v závislosti na rozpětí a tloušťce stropu. Jejich výrobci také nabízejí podrobné návody k montáži, detaily použití, příp. programovou podporu pro statické výpočty.

Stropní desky úzké mají tradiční název *povaly*. Jsou to stropní dílce, zhotovené z jedné řady cihelných tvarovek Armo. Šířka dílce se proto rovná šířce tvarovek (290 mm). Výška dílců je 140 a 210 mm, délka 2080 až 5280 mm.

Povaly se ukládají vedle sebe. Mezery mezi povaly se zaplní betonovou směsí, která se rovněž použije pro vytvoření vyrovnávací horní betonové vrstvy tlusté 20 mm.

Stropní desky jsou stavební dílce zhotovené ze dvou, tří nebo čtyř řad cihelných tvarovek Armo, betonu a nepředpjaté výztuže.

Stropní desky předpjaté jsou dílce zhotovené ze dvou nebo čtyř cihelných tvarovek Armo, betonu a předpjaté výztuže. Tloušťka desek je 245 mm.

Novou generaci stropních desek představují stropní dílce z tvarovek CZ-JW, betonářské výztuže 10 505R a betonu C 20/25. Jsou určeny pro bytovou a občanskou výstavbu. Podle rozměrů se dílce dělí na dílce v délkách od 1500 mm do 1800 mm a dílce v šířkách 500; 750; 1000 mm. Výška dílců je ve všech případech 240 mm. Při této výšce dílců je tepelný odpor $R$ = 0,30 $m^2.K.W^{-1}$.

Keramické stropní panely HELUZ jsou vyrobené ze stropních tvarovek HELUZ, z betonu C20/25 a betonářské výztuže 10 505 R. Jsou na povrchu opatřeny betonovou vrstvou, na kterou je již možno navrhnout lehkou plovoucí podlahu a není potřeba přitěžovat stropní konstrukci další vrstvou betonu. Vyrábějí se v délkách od 1500 mm do 7250 mm,v šířkách 1200, 900, 600 mm, s min. únosností 3 $kN.m^{-2}$. Výška dílců je 230 mm, u délky 7250 mm je i výška 250 mm. Vážené laboratorní neprůzvučnost panelu je 48 dB. Tyto stropní panely stejně tak jako keramické balkónové panely jsou určeny pro bytovou a občanskou výstavbu.

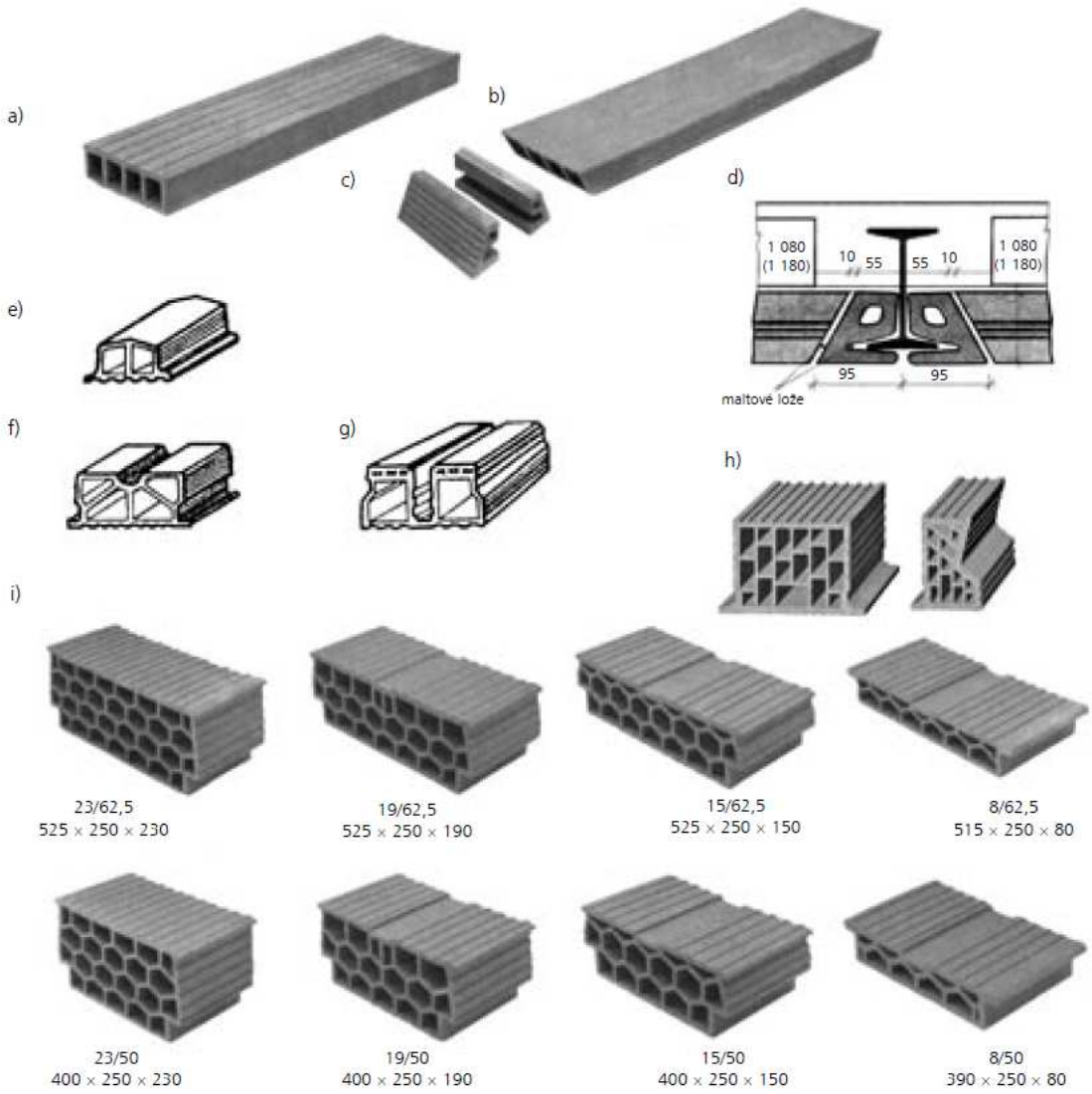
K cihlářským výrobkům pro vodorovné konstrukce patří i keramické překlady, které slouží pro přenesení zatížení nad otvory ve svislých zděných stěnách. Tyto překlady se zhotovují z cihelné obálky (zajišťuje dobrý podklad pro omítku), v jejíž prohlubni je nosná železobetonová část.

Keramické překlady se z hlediska použití dělí na klasické a roletové, ze statického hlediska na plně nosné a spřažené.

Klasické nosné překlady se vyrábějí v rozměrech (příčného řezu) 70 x 238 mm a v délkách od 1000 do 3250 mm odstupňovaných po 250 mm. Rozměry těchto překladů jsou prakticky u všech výrobců stejné. Minimální délka uložení překladu na cihelném zdivu je 125 až 250 mm podle šířky otvoru. Malá šířka těchto překladů ale umožňuje jejich různé kombinace pro všechny tloušťky vnitřních nosných (145, 175, 240, 300, příp. 365 mm) a za použití tepelného izolantu i vnějších stěn (365, 380, 400, 440 a 490 mm).

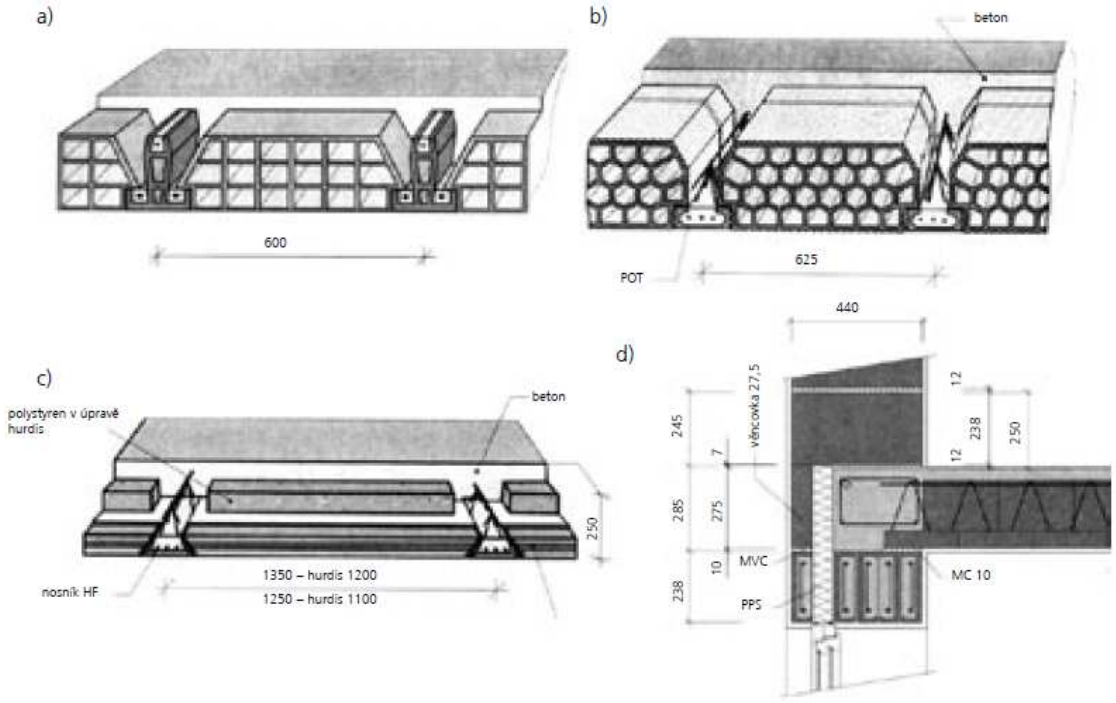
Speciální druhem překladu jsou překlady roletové. Vyrábějí se pro tloušťky vnějších stěn 365, 400, 440 a 490 mm a pro světlosti otvorů od 750 do 3850 mm. Výška překladů je stejná jako u cihelných tvarovek typu THERM, tzn. 238 mm. Překlady jsou opatřeny keramickým obkladem a vytvářejí tak vhodný podklad pro omítku. Montáž rolety do překladu lze provést kdykoliv po dokončení stavby, i když už je objekt užívám.

Způsob použití a únosnosti jednotlivých překladů i jejich kombinace uvádějí jednotliví výrobci ve svých firemních podkladech.




*Obr. 4.37* Přehled keramických stropních dílců

a – hurdiska 1 s kolmými čely, b – hurdiska 2 se šikmými čely, c – dříve vyráběná patka, d – původní detail uložení hurdisek 2 na patky, e – vložka Simplex, f – tvarovka Armo, g – tvarovka U, celá a poloviční stropní tvarovka HELUZ, i – sortiment stropních vložek Miako.




*Obr. 4.38* Trámečkové stropní konstrukce

a – z nosníků KPZT a vložek Miako, b – z nosníků POT a vložek Miako PTH, c – z hurdisek 2 a nosníků HF, d – příčný řez nadokenním nosným překladem ve stěně tl. 440 mm.

### 4.2.2 Obkladové materiály

Keramické obkladové prvky provázejí lidskou civilizaci již od raného středověku. Známé jsou glazované lícové cihly vyráběné v Orientu. Umění výroby glazovaných obkladaček se rozšířilo v době arabské nadvlády do Španělska, které lze označit za první evropskou zemi, v níž se obkládačky vyráběly.



*Obr. 4.46 Keramické obklady v islámské architektuře*

Maurské obkládačky a dlaždice se ze Španělska rozšířily do Itálie, kde se nazývaly *majolika* a tento název se zachoval až do dnes, kdy majolikou rozumíme pórovité obkladačky s barevnými glazurami.

Význačným středověkým střediskem výroby se stala italská Faenza a holandský Delft. Podle italského střediska se výrobkům s bílou glazurou začalo říkat *fajáns*.

Na našem území v 17. století vyráběli habánští džbánkaři fajánsové dlaždice a pravděpodobně i obkladačky. Významné rozšíření výroby obkladaček nastalo až v druhé polovině devatenáctého století, kdy v Českých Budějovicích se první soudobé obkladačky vyráběly v podobě kachlů.

Od roku 1883 jsou ve světě známé výrobky Rako a první glazované obkládačky pro průmyslové účely vyrobené v Rakovníku. Výroba obkládaček se rozšířila i do dalších míst, např. do Podbořan, Horní Břízy a později i do Chlumčan.

#### 4.2.2.1 Výroba obkladových prvků

Keramické obkladové prvky jsou ČSN EN 14411 definovány jako tenké prvky z jílů nebo jiných anorganických surovin, které se všeobecně používají pro dlažby a obklady stěn; zpravidla se vytvářejí při teplotě místnosti tažením (A) nebo lisováním (B), mohou se však vytvářet i jiným způsobem(C), poté se vysuší a vypalují při teplotách, při kterých se získávají požadované vlastnosti. Obkladové prvky mohou být glazované (GL) nebo neglazované (UGL), jsou nehořlavé a stálé na světle.

Základní složkou pro výrobu keramických obkladů jsou přírodní suroviny. Převážně se používají suroviny plastické – hlíny a jíly, především kaolinity, montmorillonity a illity.

Další suroviny – neplastické – ostřiva a taviva upravují vlastnosti základní suroviny. Jako ostřivo se používá např. křemičitý písek, případně vypálený keramický střep z odpadu vlastní výroby. Jako tavivo bývá přidáván většinou živec a znělec.

Konkrétní složení suroviny, poměr jednotlivých složek a postup zpracování závisí na druhu keramických prvků, pro které je určena.

Tažené prvky se vyrábějí ze směsi v podobě těsta ve vlhké jílovité konzistenci (obsah vody je vyšší než u lisovaných prvků).

K tvarování plastického těsta se používají různé techniky, od jednoduchých ručních, používaných hlavně pro umělecké výrobky nebo malé série, až po zcela mechanizované postupy.

Tvarování se provádí většinou protlačováním přes příslušně tvarované ústí pásmového lisu a jednotlivé prvky se odřezávají z pásu plastického těsta. Tento postup je podobný způsobu tvarování cihlářských výrobků popsanému výše v této kapitole.

Při výrobě prvků za sucha lisovaných se směs sestavená ve vhodném poměru mele na bubnových mlýnech mokrým způsobem na požadovanou jemnost a zároveň dochází k její dokonalé homogenizaci.

Vzniklá tekutá hmota se v rozprachových sušárnách zbavuje nadbytečné vlhkosti rozprašováním drobných kapiček do protiproudu spalin o teplotě cca 500 ℃.

Takto vznikne granulát s velikostí zrn 0,1 až 0,6 mm s 4 až 6 % vlhkosti o určité tekutosti pro dokonalejší vyplnění formy.

Při lisování suchých a polosuchých směsí se na formu navrší přibližně dvojnásobný objem volně sypaného granulátu a lisováním se pak jeho objem zmenší v závislosti na velikosti lisovacího tlaku.

Čím vyšší je zhutnění syrového výlisku, tím menší bude smrštění při výpalu.

Směsi z plastických jílů se lisují při vlhkosti 5 až 12 % vody, lisovací tlaky se pohybují mezi 20 až 60 MPa. Technická keramika se lisuje tlaky ještě vyššími, a tak se usnadní slinování a zvýší se rozměrová přesnost. Lisovací formy jsou většinou ocelové.

Výhodou lisování je rozměrová přesnost výrobků, úspora tepla při sušení a možnost automatizace výroby. Tento způsob je vhodný zejména pro výrobu plochých tvarů, jakými jsou právě obkladové prvky. Při větší vrstvě stlačovaného materiálu dochází k nerovnoměrnému rozložení tlaku ve výlisku [Hlaváč, J., 1981].

V další fázi se sušením odstraní z výlisků většina vlhkosti, aby jejím rychlým únikem při výpalu nedošlo k poškození výrobku. Při sušení dochází ke smrštění, ale tvar je zachován, přičemž pevnost v této fázi je podstatně nižší než u finálního výrobku.

U procesu jednoho výpalu, v případě, že není prvek glazován, následuje ihned po vysušení výpal. U glazovaných materiálů následuje po vysušení nejprve glazování, poté vypalování. Při procesu dvojího výpalu se nejprve vypálí střep, potom se nanese glazura a následuje druhé vypalování (glazurové vypalování).

U glazovaných obkladových prvků se na vysušený výlisek nanese vrstvička glazurové suspenze. Nanášení se provádí poléváním, nebo posuvem prvku skrze clonu engobové a následně glazurové suspenze.

Pokud je požadována dekorace povrchu, je možné ji provést ihned poté, co pórovitý střep odsaje vodu z tenké vrstvy glazury. K nanášení dekoru se používají různé techniky od barevných postřiků přes sítotisk až po nejnovější tzv. rototisk, kdy se dekor nanáší hlubotiskem z tiskového válce.

Pálení se provádí při teplotách v rozmezí od 1000 ℃ do 1250 ℃. V sou časné době se k výpalu používají téměř výhradně válečkové pece. Vypalované výrobky se na vstupu do pece umístí vedle sebe v jedné vrstvě na dopravníkový rošt tvořený systémem pomalu se otáčejících válečků ze speciální žárovzdorné keramiky. Mezery mezi válečky umožňují oboustranný výpal plošných prvků a zkrácení potřebné doby na cca 40 minut pro prvky pórovinové a 60 až 70 minut pro slinuté dlaždice.

Během výpalu dochází k nevratným reakcím a modifikacím složek směsi, které jsou rozhodující pro vlastnosti výsledného výrobku.

Neglazované prvky, zvláště slinuté, lze po vypálení strojově leštit, přesněji řečeno jemně vyhladit. Tímto postupem získají prvky vzhled, který se blíží charakteru leštěného přírodního kamene.

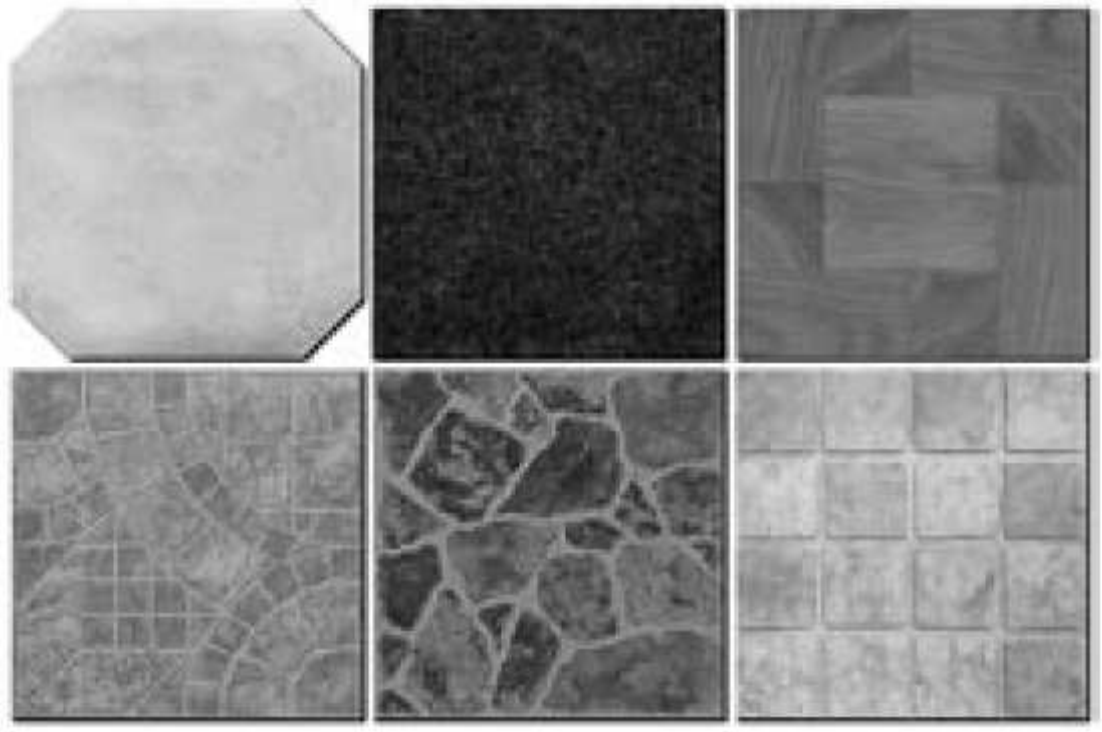
Proces výroby je zakončen tříděním. Po vypálení se prvky přezkušují částečně manuálně, částečně elektronicky. Hodnotí se kalibrace, rovnost povrchu, přesnost rozměrů apod. Podle rozměrů, barvy a jakosti jsou řazeny do skupin, automaticky baleny, označovány a ukládány na palety.

### 4.2.2.2 Funkce obkladových prvků

Obklady a dlažby jsou dokončovacími stavebními prvky, plní funkcí estetickou a zároveň technickou ve vztahu k danému prostředí. Kromě úpravy vzhledu chrání konstrukci proti působení negativních atmosférických vlivů a proti mechanickému opotřebení. Keramické obklady stěn a podlah se snadno udržují a umožňují splňovat náročné hygienické požadavky potravinářských a zdravotnických zařízení.

Hledisko estetické je subjektivní záležitostí a do značné míry podléhá módě. Obkladové a dlažební prvky svým tvarem, rozměry, povrchem, barvou, případně i odrazem světla dotvářejí prostor.

Náš trh nabízí jak materiály z dovozu, tak tuzemské novinky nejaktuálnějšího evropského trendu, který spočívá v dokonalém vystižení struktury a barevnosti přírodních stavebních materiálů.

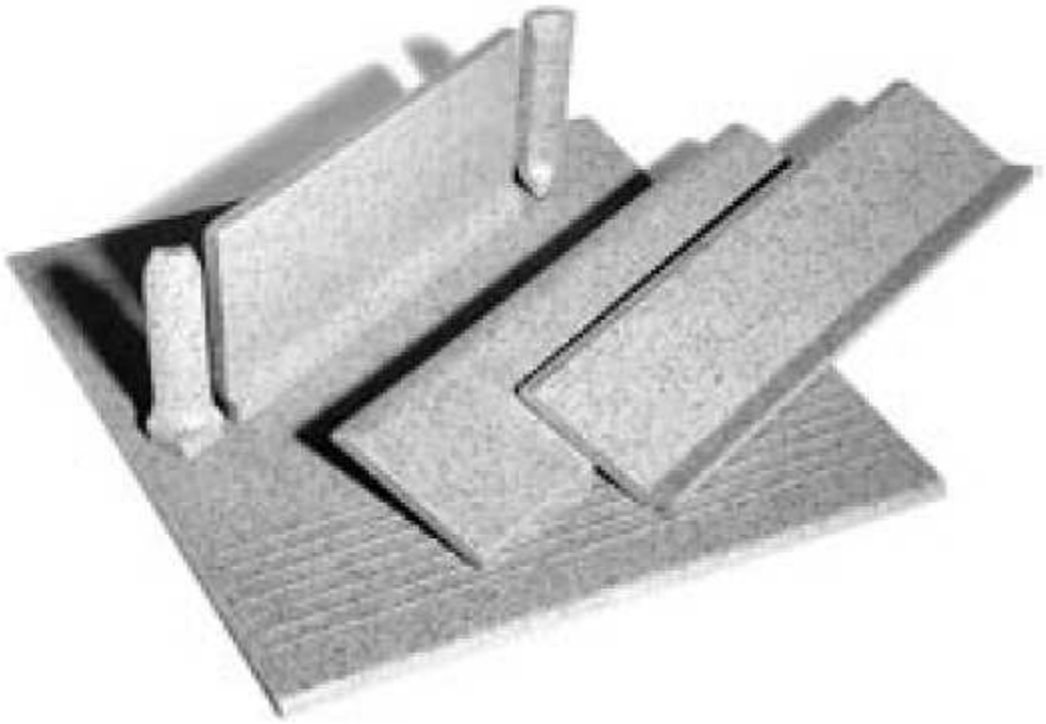


*Obr. 4.47 Příklady vzhledu keramických obkladových prvků*

Variabilita glazur spolu se strukturou povrchů, inspirovaných žulou, travertinem, břidlicí, opukou a dalšími tradičními stavebními materiály, poskytuje uživatelům široké výrazové možnosti.

Pro dlažby a obklady exkluzívních a reprezentativních prostor jsou určeny dlaždice v leštěném provedení, které umožňují realizaci vysoce atraktivních ploch jak ve veřejné, tak v soukromé výstavbě.

Základní formátové řady jsou doplňovány speciálními tvarovkami s doplňkovými tvary a formáty.



*Obr. 4.48* Příklady doplňkových tvarovek

Výjimkou nejsou ani na zakázku dodávané atypické tvary upravované řezáním dlaždic vodním paprskem. Možnosti dekorativního řešení podlah a obkladů rozšiřují mozaikové doplňky ve formě vzájemně propojitelných obdélníkových pásků a čtvercových rohových segmentů.

Technické hledisko se zakládá na znalosti materiálu a jeho technických parametrech ve vztahu k prostředí a druhu expozice. Zvolený materiál musí být schopen bez poruch odolávat působení vnějších vlivů – mechanickému, chemickému a tepelnému namáhání. Zároveň musí splňovat požadavky hygienické a bezpečnostní.

I když je u obkladových materiálů kladen značný důraz na estetické hledisko, nelze při optimalizaci výběru podcenit jeho vyváženost s hlediskem technicko-ekonomickým a s dalšími aspekty volby.

### 4.2.2.3 Základní dělení obkladových prvků

Vzhledem k potřebě sjednotit v rámci Evropy velmi různorodý sortiment keramických obkladových prvků, které se vzájemně liší nejen materiálem, výrobní technologií, úpravou povrchu, ale i technickými vlastnostmi, byl evropským výborem pro normování CEN vypracován a normalizačními institucemi členských států schválen soubor evropských norem.

Třídění podle těchto předpisů je založeno na pouhých dvou parametrech - nasákavosti a způsobu výroby. Tímto jednotným souborem norem se podařilo sjednotit dosud značně různorodý přístup k rozdělení výrobků. Předností tohoto řešení je možnost zatřídit jakýkoliv typ obkladových prvků vyráběný ve kterékoliv zemi.

Zároveň je nasákavost pro keramické obkladové prvky velmi významnou vlastností, neboť určuje mnoho dalších mechanických, fyzikálních a chemických vlastností - např. pevnost, odolnost proti mrazu a působení chemických činidel [Kotorová, H., 1995].

Starší třídění keramických obkladových prvků bylo založeno na celé řadě různých kritérií. Stále ještě platná ČSN 73 3450 dělí prvky následujícím způsobem:

obklady z keramických obkládaček pórovinových glazovaných jednobarevných, vícebarevných nebo reliéfovaných s nasákavostí do 23 %,

obklady z keramických obkládaček polohutných režných, solených nebo glazovaných s nasákavostí do 14 %,

obklady z keramických obkládaček hutných režných, solených nebo glazovaných s nasákavostí do 6 %,

obklady z keramických obkládaček slinutých glazovaných s nasákavostí do 1,5 %,

obklady z cihelných obkládaček režných nebo glazovaných,

obklady mozaikové režné nebo glazované sestavované do lepenců.

Dříve platná norma ČSN EN 87 byla od roku 2004 nahrazena ČSN EN 144 11 – Keramické obkladové prvky. Definice, klasifikace, charakteristiky a označování Podle této normy se keramické obkladové prvky rozdělují do skupin podle způsobu vytváření. Zařazením do skupin však nejsou určeny možnosti jejich použití.

Existují tři způsoby výroby:

postup A – tažené obkladové prvky,

postup B – za sucha lisované obkladové prvky,

postup C – jiným způsobem vyráběné obkladové prvky.

Každá z těchto skupin keramických obkladových prvků se dále dělí podle nasákavosti (E).

V současné době je používán pouze pojem „keramické obkladové prvky“ s tím, že mohou být použity jak pro zhotovení vertikálního obkladu (obklady), tak obkladu horizontálního (dlažby).

Požadavky na výrobky jsou doplňovány stanovením zkušebních metod, podle kterých jsou prvky zkoušeny. Zkušební metody jsou normovány a pro všechny výrobce stejné, čímž je zaručena srovnatelnost výsledků.

Evropské normy nedefinují kvalitativní požadavky na všechny normalizované charakteristiky. U některých jsou výslovně uvedena ustanovení umožňující dohodu mezi výrobcem a odběratelem o kvalitě obkladových prvků jako funkci prostředí, do něhož jsou určeny (např. odolnost proti působení mrazu). Na druhé straně splnění normových požadavků nevylučuje poruchy provozu v určitých konkrétních podmínkách, pokud nedošlo ke správné volbě materiálu.

Třídění keramických obkladových prvků podle skupin nasákavosti a způsobu vytváření [ČSN EN 14411] *Tab. 4.30*

| Způsob vytváření | Skupina I | Skupina IIa | Skupina IIb | Skupina III |
|---|---|---|---|---|
| | E ≤ 3% | 3% < E ≤ 6% | 6%< E ≤ 10% | E>10 % |
| A | Skupina $AI_a$ | Skupina AIIa-1[a] | Skupina AIIb-1[a] | Skupina AIII |
| Tažené obkladové prvky | E ≤ 0,5% | | | |
| | Skupina $BI_b$ | Skupina $AII_{a-2}$[a] | Skupina $AII_{b-2}$[a] | |
| | 0,5% < E ≤ 3% | | | |
| B | Skupina $BI_a$ | Skupina $BII_a$ | Skupina $BII_b$ | Skupina BIII[b] |
| Za sucha lisované obkladové prvky | E ≤ 0,5% | | | |
| | Skupina $BI_b$ | | | |
| | 0,5% < E ≤ 3% | | | |

[a] Skupiny $AII_a$ a $AII_b$ jsou rozděleny do dvou částí (část 1 a 2) s různými požadavky na výrobek

[b] Skupina BIII je vhodná výhradně pro glazované obkladové prvky. Existuje pouze malý počet za sucha lisovaných neglazovaných prvků, které jsou vyrobeny s nasákavostí větší než 10%, na ty se tato výrobková skupina nevztahuje

### 4.2.2.4 Značení keramických obkladových prvků

Keramické obkladové prvky nebo jejich obalové jednotky se označují takto:

výrobní nebo obchodní značkou a zemí původu,

označením první třídy,

typem obkladového prvku a odkazem na přílohu normy ČSN EN 14411,

jmenovitým a deklarovaným rozměrem, modulovým (M) nebo nemodulovým,

úpravou lícního povrchu, např. glazované (GL) nebo neglazované (UGL).

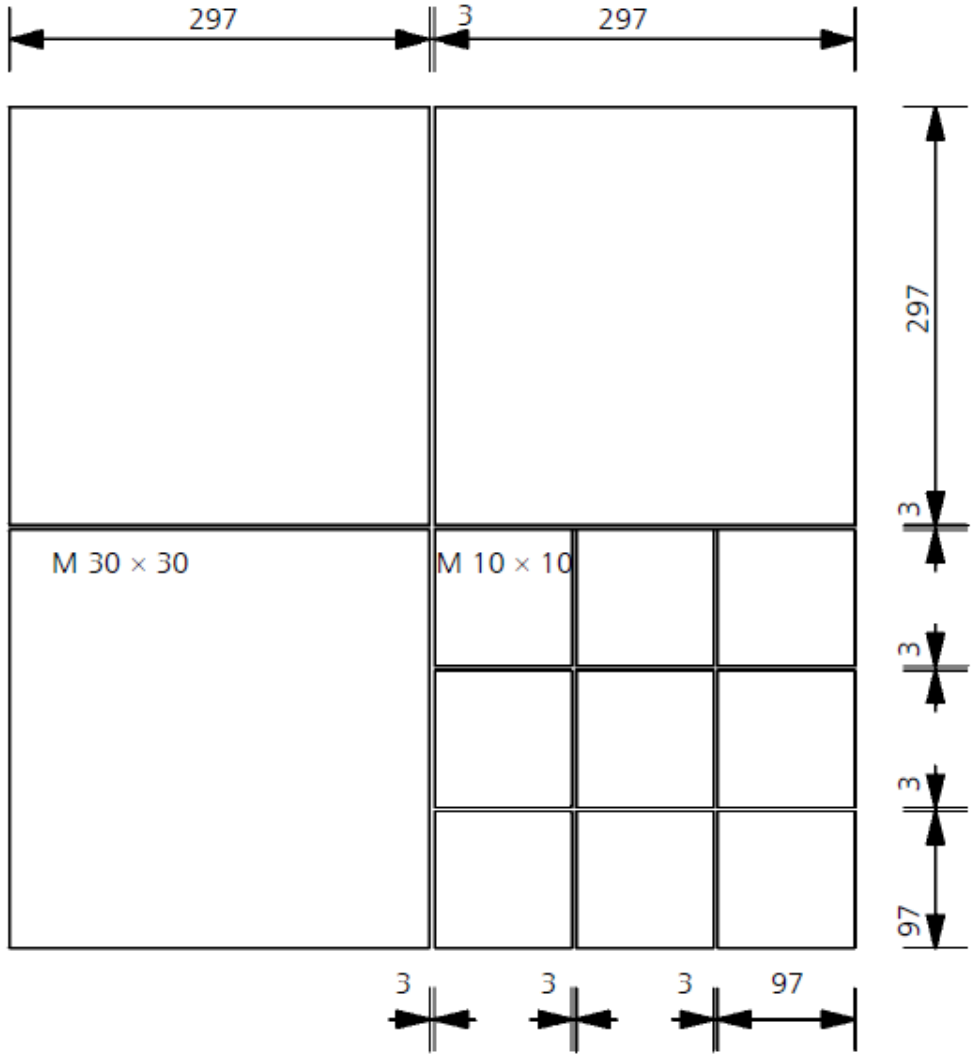
U výrobků pro obkladové prvky určené pro zhotovení dlažby se v informaci o výrobku udává:

protiskluznost, přičemž se bere v úvahu zkušební metoda příslušného státu určení, nebo se uvedou výsledky,

třída odolnosti proti povrchovému opotřebení u glazovaných obkladových prvků.

### 4.2.2.5 Vlastnosti keramických obkladových prvků

Keramické obkladové prvky se značí na obalu jmenovitým a deklarovaným rozměrem, s využitím modulu *M* nebo bez nich.




*Obr. 4.49* Příklad modulární skladby *M* 10 x10 a *M* 30 x 30

Příklad označení:

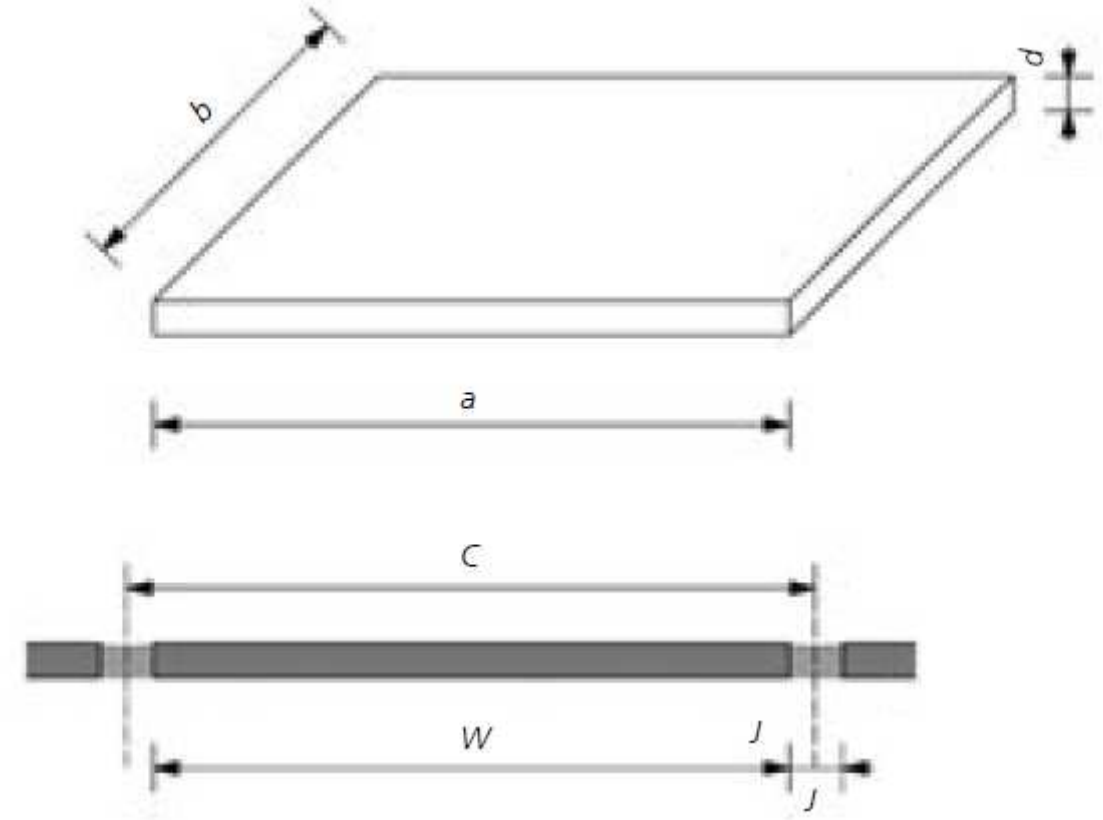
Tažený obkladový prvek „přesný“, EN 14411, příloha A

AI M 25 cm x 12,5 cm (W 240 mm x 115 mm x 10 mm) GL

Modulové rozměry jsou odvozeny od základního modulového rozměru *M* = 10 cm a jsou označovány např. *M* 10 x 10 cm (*W* = 98 x 98 mm). Do takto označeného rozměru je započítána i šířka spáry.

Rozměry se kontrolují měřením délky, šířky a tloušťky obkladového prvku. Dále je posuzována přímost lícních hran, pravoúhlost, rovinnost lícních ploch.

Při kontrole povrchu se vizuálně posuzují nejrůznější defekty – trhliny, vady glazury, vady dekoru, puchýře, skvrny a další. Záměrné povrchové efekty se nepovažují za vady.




*Obr. 4.50* Rozměry keramických obkladových prvků

Koordinační rozměr (*C*) = deklarovaný rozměr (*W*) + šířka spáry (*J*),

Deklarovaný rozměr (*W*) = rozměry lícních hran (*a*),(*b*)

Charakteristiky obkladových prvků v závislosti na použití [ČSN EN 14411] *Tab. 4.31*

| | Charakteristiky | Podlaha | | Stěna | | Zkušební postup |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Rozměry a jakost povrchu** | | **uvnitř** | **vně** | **uvnitř** | **vně** | **odkaz** |
| | Délka a šířka | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-2 |
| | Tloušťka | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-2 |
| | Přímost hran | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-2 |
| | Pravoúhlost | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-2 |
| | Rovinnost (klenutí, vrtulovitost) | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-2 |
| | Jakost povrchu | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-2 |
| **Fyzikální vlastnosti** | | **uvnitř** | **vně** | **uvnitř** | **vně** | **odkaz** |
| | Nasákavost | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-3 |
| | Lomové zatížení | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-4 |
| | Pevnost v ohybu | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-4 |
| | Odolnost proti opotřebení u neglazovaných obkladových prvků | x | x | | | ČSN EN ISO 10545-6 |
| | Odolnosti proti povrchovému opotřebení u glazovaných obkladových prvků | x | x | | | ČSN EN ISO 10545-7 |
| | Lineární teplotní roztažnost [a] | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-8 |
| | Odolnost proti změnám teploty[a] | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-9 |
| | Odolnosti proti vzniku vlasových trhlin u glazovaných obkladový prvků | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-11 |
| | Odolnost proti vlivu mrazu[b] | | x | | x | ČSN EN ISO 10545-12 |
| | Protiskluznost | x | x | | | používaná zkušební metoda |
| | Vlhkostní nárůst[a] | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-10 |
| | Malé rozdíly v odstínech barev[a] | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-16 |
| | Rázová pevnost[a] | x | x | | | ČSN EN ISO 10545-5 |
| **Chemické vlastnosti** | | **uvnitř** | **vně** | **uvnitř** | **vně** | **odkaz** |
| | Odolnost proti skvrnám | | | | | ČSN EN ISO 10545-14 |
| | u glazovaných obkladových prvků | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-14 |
| | u neglazovaných obkladových prvků [a] | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-14 |
| | Odolnost proti kyselinám a louhům o nízké koncentraci | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-13 |
| | Odolnost proti kyselinám a louhům o vysoké koncentraci[a] | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-13 |
| | Odolnost proti chemikáliím užívaným v domácnostech a v plaveckých bezénech | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-13 |
| | Obsah olova a kadmia v glazovaných obkladových prvcích[a] | x | x | x | x | ČSN EN ISO 10545-15 |

[a] Jsou k dispozici zkušební postupy, tato norma ale norma nestanovuje žádné požadované hodnoty

[b] Pouze pro mrazuvzdorné obkladové prvky

Nasákavost je nejdůležitější vlastností pro volbu druhu obkladového materiálu do určitého prostředí. Nasákavost keramického obkladového prvku je dána přírůstkem jeho hmotnosti v % po nasycení vodou. Postup zkoušení nasákavosti uvádí norma ČSN EN ISO 10545-3.

Keramické obkladové prvky slinuté nebo poloslinuté s nasákavostí do 3 % jsou určeny k obkladům podlah i vertikálních ploch namáhaných zejména z hlediska pevnosti a opotřebení otěrem, jsou odolné vůči působení mrazu, agresivnímu prostředí a trvalému působení vody. Příklady možného použití - obklady vstupních a nádražních hal, chodeb, supermarketů, obchodů, venkovních bazénů, mrazírenských prostor a na vnější plochy.

Keramické obkladové prvky hutné s nasákavostí do 6 % jsou určeny k úpravě povrchů v náročných podmínkách, jsou odolné proti působení mrazu, povětrnostním vlivům a agresivnímu prostředí (obklady fasád a teras i v horských oblastech).

Keramické obkladové prvky polohutné s nasákavostí do 10 % jsou vhodné k obkladům v mírných klimatických podmínkách bez trvalého působení vody.

Keramické prvky pórovité s nasákavostí větší než 10 % jsou určeny výhradně pro vnitřní obklady ploch chráněných proti povětrnostním vlivům, zejména mrazu, trvalému působení vody a agresivnímu prostředí.

Nízkou nasákavostí keramických obkladů je podmíněna další důležitá vlastnost – mrazuvzdornost.

Pro venkovní obklady je nezbytné používat pouze mrazuvzdorné keramické obkladové prvky, které jsou schopny opakovaně bez poškození odolávat současnému působení vody a střídání teplot pod a nad bodem mrazu.

Povinností výrobce je deklarovat mrazuvzdornost výrobků na obalovém kartonu. Mrazuvzdorný výrobek je klasifikován AI, B Ia, B Ib. Klasifikaci A IIa lze považovat za mrazuvzdornou jen pro svislé obklady. Ostatní klasifikace (A IIb, B IIa, B IIb, AIII, BIII) označují výrobky nemrazuvzdorné.

Zkouška odolnosti vůči působení mrazu metodou podle dříve platné ČSN EN 202 stanovovala postup, kdy se zkoušené dlaždice nechávaly v mrazicím boxu cyklicky 50krát zmrznout na více než –15 °C a znovu ohřát na teplotu nad +15 °C. ČSN EN ISO 10545 -12 požaduje neporušenost po 100 cyklech střídavého působení teplot +5 °C/–5° C spolu s vakuovým sycením vodou. Hodnotí se vzniklé vzhledové vady.

Při praktickém provádění mrazuvzdorného obkladu hraje důležitou roli nejen mrazuvzdornost vlastních keramických prvků, ale i kvalita podkladu, lepidla, spárovací hmoty a vhodná metoda lepení. Hlavním cílem je zabránit proniknutí vlhkosti pod obklad. To platí zejména u vodorovných ploch a na okrajích obkladu.

Tepelná vodivost a koeficient teplotní roztažnosti keramických prvků se v poslední době stále častěji uplatňují jako hodnoty důležité při realizaci podlahového topení. Keramická dlažba je vzhledem k hodnotě součinitele tepelné vodivosti 1 $W.m^{-1}.K^{-1}$ ideálním materiálem pro povrch vytápěné podlahy.

Při pokládce větších ploch je však třeba přihlédnout i ke koeficientu tepelné roztažnosti, který v intervalu 20 – 100 °C činí 6 až $7{,}5.10^{-6}$ $K^{-1}$. Je nutné zvolit přiměřený odstup dilatačních spár a vhodnou flexibilní lepicí a spárovací hmotu.

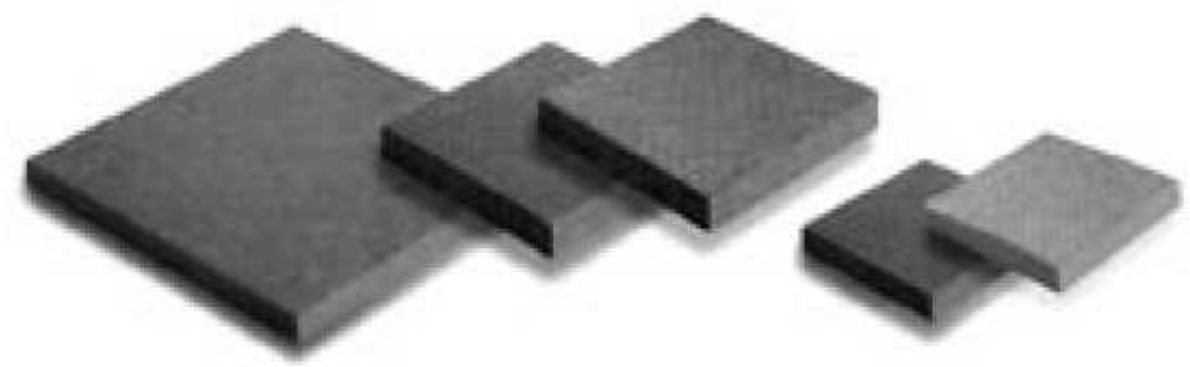
Mechanické vlastnosti keramických prvků s uplatňují zejména u prvků určených pro podlahy.

Pevnost se stanovuje jako pevnost v ohybu a udává se v MPa (výrobci tuto pevnost často udávají číselně shodnou jednotkou $N.mm^{-2}$).

Podle ČSN EN ISO 10545-4 je navíc oproti zrušené ČSN EN 100 udávána síla v N při porušení keramického prvku.

Měření pevnosti se provádí postupným zatěžováním uprostřed jednotlivého kusu, který je na krajích uložen na podpěrných břitech.

Odolnost keramických obkladových prvků proti mechanickému namáhání je závislá na jejich tloušťce. Pro běžné použití v bytových prostorách, sociálních zařízeních, administrativních budovách apod. je vhodná tloušťka 7 – 12 mm. Pro podlahy vystavené mechanickému namáhání, např. ve skladech, výrobních prostorách, halách apod., jsou určeny obkladové prvky s tloušťkou 12 – 20 mm.



*Obr. 4.51* Keramické prvky pro zvýšené namáhání

Dalším důležitým hlediskem výběru vhodného obkladového materiálu je mimo jiné i provozní zatížení. Pro nejvyšší provozní zatížení jsou vhodné neglazované prvky, i když v současné době již existují speciální glazury, které lze použít i pro silně namáhané konstrukce ve veřejných prostorách. (V takovém případě se však doporučuje konzultace konkrétních podmínek s výrobcem.) Při zkoušce se posuzuje tzv. hloubková obrusnost – tj. schopnost odolávat abrazivním vlivům provozu.

Povrchové poškození se u neglazovaných obkladových prvků hodnotí ČSN EN ISO 10545-6 metodou měření délky brusné stopy způsobené na lícní ploše brusným kotoučem za stanovených podmínek a s použitím brusiva.

Otěruvzdornost je schopnost glazury více nebo méně odolávat mechanickému opotřebení povrchu dlažby během používání v závislosti na hustotě provozu chodců, druhu a stupni znečištění podlahy. Tvrdé nečistoty zejména z ulice mohou postupně obrušovat povrch dlaždic a může tak dojít až ke změně vzhledu. Glazované dlaždice se dělí do otěrových skupin podle odolnosti proti povrchovému opotřebení.

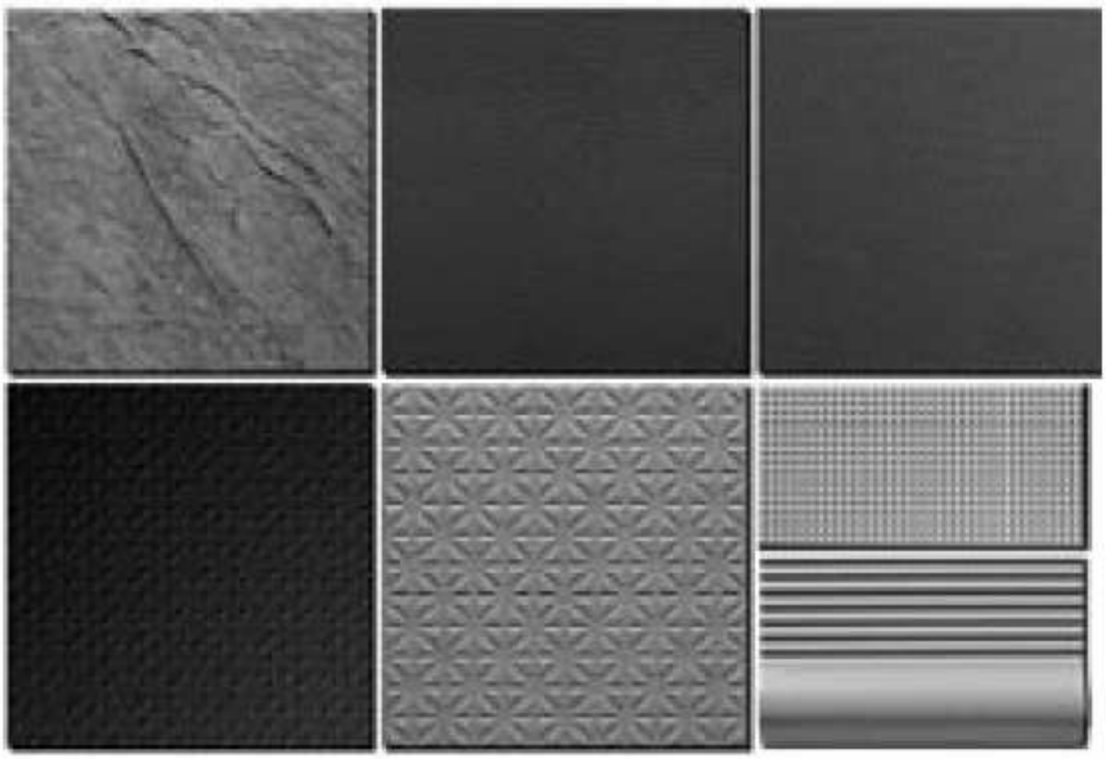
Pro stanovení povrchového opotřebení se používá metoda PEI (vyvinutá v Porcelain Enamel Institute, USA).

Původně se otěruvzdornost podle zrušené ČSN EN 154 označovala stupni 1 až 4 (PEI 1 - PEI 4), nová norma ČSN EN ISO 10545-7 již rozlišuje i stupeň 5 (PEI 5). Zatřídění do tříd odolnosti se provádí na základě počtu otáček, které nezpůsobily pozorovatelné porušení povrchu. Vlastní zhodnocení se provádí vizuálním porovnáním stavu povrchu zkoušených vzorků se vzorky nezkoušenými.

Jednotlivé skupiny označují doporučený rozsah použití obkladových prvků pro dlažby od nízkého namáhání měkkou obuví pro skupinu I. až po větší zatížení a neomezené použití v oblasti bydlení u skupiny 5.

Zatřídění podle odolnosti proti povrchovému opotřebení (PEI) *Tab. 4.32*

| Třída odolnosti | Počet otáček | Doporučené použití |
|---|---|---|
| 1 | 15 | Podlahy, kde je vyloučeno působení abrazivních látek (např. písek), určené pro měkkou obuv, např. koupelny, ložnice a WC bytů a obklady bazénů a stěn. |
| 2 | 600 | Podlahy, kde se nepředpokládá působení abrazivních látek, zřídka vystavené uvedenému znečištění, pro běžnou obuv, např. obytné místnosti kromě kuchyní a předsíní. |
| 3 | 750<br>1 500 | Podlahy vystavené častějšímu znečištění, např. předsíně, lodžie, balkony, chodby, kanceláře, kuchyně bytů, hotelové pokoje, sanitární a terapeutické místnosti v nemocnicích. |
| 4 | 2 100<br>6 000<br>12 000 | Podlahy pro intenzivnější frekvenci chodců a silnější znečištění např. vnitřní prostory správních budov a chodby hotelů, obchodní místnosti a kanceláře kromě frekventovaných prostorů, např. u pultů a pokladen. |
| 5 | >12 000 vyhovují odolnosti proti tvorbě skvrn | Podlahy mimořádně namáhané otěrem a znečištěním, např. obchody, restaurace, schodiště hotelů včetně frekventovaných prostorů u pultů a pokladen. |



*Obr. 4.52* Příklady protiskluzné úpravy obkladových prvků

*Tvrdost* se stanovuje vrypovou metodou využívající Mohsovu stupnici tvrdosti (viz kap. 3.4.7). Zkouška se provádí postupem podle ČSN EN 101.

Z hlediska bezpečnosti je snad nejdůležitějším parametrem tzv. protiskluznost. Pro prostory se zvýšenými nároky na protiskluzovou bezpečnost (např. plochy kolem bazénů, výrobní plochy potravinářského průmyslu apod.) je třeba zvolit obkladové prvky, které splňují požadavek dostatečné protiskluznosti povrchu.

Protiskluznost se zkouší několika metodami. Podle ČSN 74 4507 se zkouší nucené klouzání deseti zkušebních standardů konstantní rychlostí při konstantním zatížení a konstantní teplotě po povrchu zkoušeného vzorku materiálu. Ze změřené horizontální třecí síly se stanoví součinitel smykového tření.

Statický koeficient se rovná součiniteli smykového tření po uvedení do vzájemného pohybu (kluzu) při minimální konstantní rychlosti třecí dvojice. Dynamický koeficient je součinitelem smykového tření při určité konstantní rychlosti vzájemného pohybu třecí dvojice. Při zkoušce se měří tření mezi zkoušenou dlažbou a deseti standardními typy materiálů, které se používají pro výrobu podrážek obuvi (různé typy pryže, TPE, PVC, PUR a podešvová useň).

Hodnocení odolnosti proti skluznosti se obvykle zjišťuje pro čisté suché a mokré plochy, ale norma uvádí i zkoušky proti skluzných vlastností povrchů upravených např. vosky, pastami, případně jinými hmotami nebo nečistotami nanášenými na povrch podlah.

ČSN 72 51 91 Keramické obkladové prvky – Stanovení proti skluznosti uvádí zkušební metody stanovení dynamického a statického součinitele tření za sucha a za vlhka, úhlu kluzu na nakloněné rovině pomocí chůze v botě a naboso a stanovení kluzu pomocí kyvadla. Popisuje čtyři zkušební metody:

Metoda A - Stanovení dynamického součinitele tření pomocí jezdce pohybujícího se konstantní rychlostí po měřeném povrchu.

Metoda B - Stanovení statického součinitele tření určením síly nutné k uvedení do pohybu jezdce z klidové polohy na vodorovném keramickém obkladovém prvku.

Metoda C – Stanovení úhlu skluzu na nakloněné rovině. Posuzovací osoba se pohybuje ve vzpřímené poloze vpřed a vzad po zkušební lávce pokryté keramickými obkladovými prvky. Sklon se postupně zvyšuje z vodorovné polohy rychlostí 1° za sec. až k úhlu naklonění, kdy se projeví nejistota kráčející osoby. Zkouška se provádí na ploše potřené olejem s definovanou obuví nebo naboso.

Metoda D – Stanovení proti skluznosti metodou výkyvu kyvadla za sucha a za vlhka. Jedná se o stanovení třecí síly pomocí kyvadla na jehož konci je umístěna pryž o konkrétních parametrech.

Zatřídění keramických obkladových prvků podle metody A a B, ČSN 72 5191 *Tab. 4.33*

| | | |
|---|---|---|
| Třída T1 | $\mu \leq 0{,}20$ | Povrch extrémně nebezpečný |
| Třída T2 | □□□□□□□□ ≤ 0,40 | Povrch nedostatečně bezpečný |
| Třída T3 | □□□□□□□□ ≤ 0,75 | Povrch bezpečný |
| Třída T4 | $\mu > 0{,}75$ | Povrch velmi bezpečný |

Zařazení ploch, kde se chodí bosou nohou *Tab. 4.34*

| Označení | Úhel kluzu | Doporučené použití: |
|---|---|---|
| A | ≥ 12 ° | do prostor převlékáren, brouzdališť, bazénu, kde je hloubka větší než 80cm |
| B | ≥ 18 ° | do sprch, na okraje a dno bazénu v zóně pro neplavce, kde je hloubka menší než 80 cm, schody mimo bazény |
| C | ≥ 24 ° | na schody do vody, průchozí bazény, skloněné okraje bazénů |

Zařazení ploch s protiskluznými dlažbami *Tab. 4.35*

| Skupina | Úhel kluzu (kritický úhel) | Použití na dlažby |
|---|---|---|
| R 10 | od 10 do 19 ° | do prostor skladů, malých kuchyní, sanitárních místností, kaváren, čajoven,… |
| R 11 | nad 19 do 27° | do prostor výroben, kuchyní do 100 obědů za den, školních kuchyní, prodejen, letištních hal, autoservisů…. |
| R 12 | nad 27 do 35° | do mlékáren, udíren, do kuchyní nad 10 obědů za den, velkokuchyní, čistíren odpadních vod, na stanoviště vozidel, chladíren, hasičských zbrojnic... mlékárny, atd. |
| R 13 | nad 35° | pro rafinerie, jatky, do výroben uzenin, výroben lahůdek... |

Srovnatelnými metodami používanými pro hodnocení proti skluznosti jsou postupy podle německých norem:

DIN 51097 Zkoušení proti skluznosti podlahových krytin pro prostory se zvýšeným nebezpečím uklouznutí (bazény, sauny atd. – mokré prostory, kde se chodí bez bot).

DIN 51130 Zkoušení proti skluznosti podlahových krytin pro pracoviště se zvýšeným nebezpečím uklouznutí (průmyslové haly, podchody atd.).

V posledních letech jsou novinkou keramické obkladové a dlažební prvky se speciální úpravou povrchu s antibakteriálními a samočisticími účinky. Neviditelnou povrchovou úpravu tvoří jen několik mikronů silná vrstva oxidu titaničitého ($TiO_2$) anatasového typu. Tato vrstva se nanáší na lícový povrch hotového keramického prvku a vypaluje se samostatně.

Díky fotokatalytické aktivitě krystalů anatasu se účinkem slunečního světla na anatasové povrchové úpravě vytvoří elektrická dvojvrstva. Na ní se váží další asociáty složené z molekul vody a smáčivost keramického povrchu vzrůstá. V bezprostřední blízkosti anatasového povrchu se ve vodě navíc vytváří aktivní kyslík, který má silné antibakteriální účinky a brání růstu řas a plísní. Na povrchu $TiO_2$ probíhají oxidační procesy, které přispívají k likvidaci páchnoucích látek. Po skončení světelné expozice (v noci) tvorba reaktivních látek ustává. Pro prodloužení antibakteriálního a hydrofilního účinku se proto do vypalované vrstvy $TiO_2$ přidává malé množství oxidu stříbrného ($Ag_2O$), který po zabudování do krystalové mřížky účinkuje jako určitý akumulátor energie [Keramika s povrchovou úpravou Hydrotect, 2003)].

### 4.2.2.6 Výběr obkladu

Z výše uvedeného je zřejmé, že soudobé obkladové materiály jsou vyráběny ve velmi širokém výběru, s různou funkční i estetickou hodnotou. Jak je uvedeno již v první kapitole této knihy, technické hledisko musí být nadřazeno hledisko estetickému.

Pro volbu vhodného obkladového materiálu je nezbytné nejprve uvážit, v jakém prostředí budou tyto prvky umístěny a zároveň jakému způsobu a úrovni namáhání budou vystaveny. Tyto expoziční podmínky by pak měly zásadním způsobem ovlivnit výběr.

Současná tržní nabídka je taková, že i do nejnáročnějšího provozních podmínek lze najít esteticky uspokojivé řešení.

Vzhled a technické parametry keramické dlažby nebo obkladu nezávisí pouze na kvalitě keramických obkladových prvků. Ty jsou pouze jednou ze součástí celého systému. Z tohoto důvodu je vhodná úprava podkladu, volba správného způsobu pokládky a spárování stejně důležitá jako optimální výběr vlastních keramických prvků.

V praxi jsou velmi časté případy defektů, kdy špatná funkce obkladových prvků je způsobena spíše nevhodnou volbou typu výrobku pro dané prostředí než špatnou kvalitou použitých obkladových prvků.

### 4.2.3 Kamenina

Kamenina je hutná keramika šedožluté až hnědé barvy z jílových slinujících surovin, samotných nebo ze směsí s přídavkem vhodných ostřiv, popř. taviv. Její nasákavost se pohybuje v rozmezí 0 až 4 %, u trub bývala uváděna hodnotou 7 až 8 % dnešní trouby (z dovozu) však mají nasákavost jen 5 %.

Pevnost kameniny v ohybu činí 15 až 40 MPa. Koeficient délkové teplotní roztažnosti kameniny je 5 až $7.10^{-6}$ $K^{-1}$. Kamenina se vyznačuje vysokým stupněm hutnosti a značnou odolností proti chemickým činidlům.

Podle granulometrického složení výchozí suroviny a struktury střepu rozeznáváme dva druhy kameniny – jemnou a hrubou.

Jemná kamenina zahrnuje výrobu jemných dlaždic a slinutých obkladaček. Hrubá kamenina zahrnuje kameninu kanalizační, kameninu hospodářskou a kameninu chemickou stavební a vystýlkovou.

Pro každou skupinu jsou vyžadovány určité vlastnosti podle účelu, ke kterému dané výrobky slouží.

Základní složkou suroviny jsou tzv. kameninové jíly a šamoty, které slinují již při 1200 až 1300 °C, ale mě knou až při podstatně vyšší teplotě. Toto široké teplotní rozmezí umožňuje bezproblémový výpal i u rozměrných výrobků. Složení výchozí směsi, technologie přípravy, tvarování i průběh výpalu se liší podle druhu výrobku a jeho určení.

Směsi pro jemnou slinutou kameninu mají snížený obsah kameninových jílů a vyšší obsah živců. Tvarují se většinou lisováním a vypalují jednožárovým rychlovýpalem.

Směsi pro hrubou kameninu zahrnují kameninové jíly, směsi ostřiv – drcené kameninové střepy z odpadu nestandardních výrobků a opotřebených pálicích pomůcek (podložek), většinou bez přídavku živcových taviv.

Povrch kameninových výrobků se často opatřuje tzv. solnou glazurou, glazurou živcovou nebo hlinitou. Kyselinovzdorné cihly, klíny a kotevní kameny se neglazují a ani u dnešních kameninových trub se již solná nebo živcová glazura nepoužívá. Rozhodující pro jakost výrobku jsou hlavně vlastnosti kameninového střepu, tj. odolnost proti kyselinám, nasákavost, pevnost v tlaku [Hanykýř, V., Kutzendörfer, J., 2000].

Společným základním znakem kameninových výrobků je, že jejich střepová hmota je pálená až téměř do slinutí. Pálený střep nesmí být vrstevnatého lomu ani boulovitý. Povrch hmoty je celistvý, jemně, popřípadě i hruběji zrnitý, glazura je prostá trhlinek a její povrch je rovný a hladký. Barva výrobku není rozhodující a může podle druhů a způsobu výroby kolísat od žlutošedé až do hnědočerné.

Při volbě kameninových výrobků a jejich použití v chemickém průmyslu jsou požadavky na střepovou hmotu, na nasákavost, odolnost proti kyselinám a vnější úpravu líce vyšší než při použití pro hospodářskou kameninu. Podle požadovaných vlastností se řídí i hodnoty, jichž musí být dosaženo při zkouškách. Zkouší se především odolnost proti kyselinám a další vlastnosti.

Jak vlastnosti, tak tvar kameninových výrobků a přípustné odchylky u jednotlivých druhů musí odpovídat příslušným normám.

### 4.2.3.1 Kanalizační kamenina

Do této skupiny zařazujeme výrobky potřebné pro zařízení k odvodnění odpadových vod, kalů a průtokové vedení technických kapalin.

Kanalizační kamenina obsahuje trouby přímé různých průměrů, světlostí a délek, trouby zvláštní, jako trouby bez hrdel nebo s hrdly na obou koncích, trouby děrované, trouby šikmo seříznuté a tvarovky k troubám, jako oblouky, odbočky kolmé a šikmé, jednoduché a dvojité, kolena, odskoky, přechody, zápachové uzávěrky (sifony), trouby s otvorem pro čištění, uliční a nádvorní vpusti, vtokové žlaby, filtrační vložky.



*Obr. 4.53* Příklady kanalizační kameniny

Charakteristickou veličinou je tzv. jmenovitá světlost (DN), která přibližně odpovídá rozměru vnitřního průměru v mm. Přednostně používané stavební délky trub uvádí ČSN EN 295 část 1.

Kromě toho se užívaly stavební délky 1,0 m, 1,6 m a 1,85 m v rozsahu jmenovitých světlostí od DN 200 do DN 450 rovněž jako přednostně užívané stavební délky. U trub DN 100 a DN 150 nejsou stanoveny žádné přednostně užívané stavební délky.

V současné praxi se již délky 1,6 a 1,85 m neužívají a od profilu DN 250 se používá jednotná stavební délka 2,5 m.

Přednostně užívané stavební délky (ČSN EN 295-1) *Tab. 4.36*

| Jmenovitá světlost DN | Stavební délka (m) |
|---|---|
| 200 | 1,5/2,0 |
| 225 | 1,5/1,75/2,0 |
| 250 | 1,5/2,0 |
| 300 | 1,5/2,0/2,5 |
| ≥ 350 | 1,5/2,0/2,5/3,0 |

Požadavky na kameninové trouby a tvarovky pro výstavbu odpadní a stokové kanalizace včetně zkušebních postupů jsou zakotveny v souboru norem ČSN EN 295:

část 1: Požadavky,

část 2: Kontrola jakosti a odběr vzorků,

část 3: Zkušební postupy,

část 4: Požadavky na speciální tvarovky, přechody a příslušenství,

část 5: Požadavky na děrované trouby a tvarovky,

část 6: Požadavky na kameninové šachty,

část 7: Požadavky na kameninové trouby a jejich spoje určené pro ražení,

část 10: Funkční požadavky.

Trouby a tvarovky musí mít jasný zvuk, nesmí mít vady, které by mohly ovlivnit jejich funkci při určeném použití. Optické vady jako vady glazury, nerovnosti, otlačená místa od dříku ke zkosení hrdla a drobná poškození na vnější ploše jsou povoleny, pokud tím není ovlivněna těsnost, trvanlivost a hydraulická výkonnost.

V současné době, kdy se zvyšují nároky na vodotěsnost a dlouhodobou funkčnost, je kromě tradičních vlastností kladen důraz zejména na tvarovou přesnost, kapalinovou nepropustnost a mechanickou pevnost.

Jakost výrobků kanalizační kameniny se průběžně ověřuje vnitřní kontrolou výrobce. Kromě toho provádí kontrolu třetí nezávislá strana splňující požadavky ČSN EN 45011 – Všeobecné požadavky na orgány provozující systémy certifikace výrobků a ČSN EN 45012 – Všeobecné požadavky na orgány provádějící posuzování a certifikaci/registraci systémů jakosti.

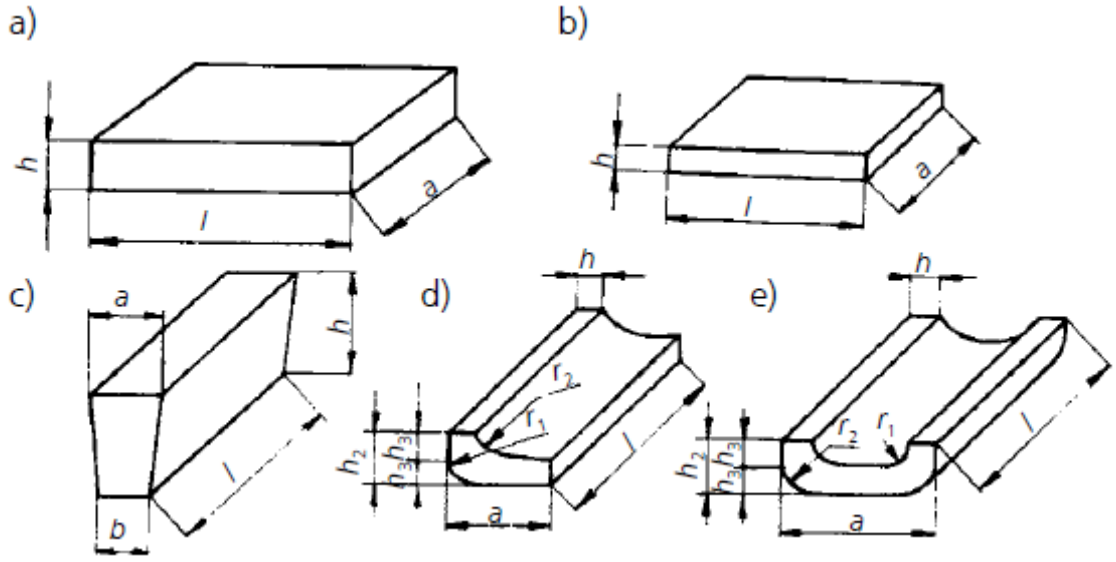
Kanalizační trouby dnes představují nejvýznamnější segment výrobků z kameniny. Ročně se v ČR ukládá do země více jak 300 km těchto trub.

### 4.2.3.2 Chemicky odolná stavební kamenina

Chemická kamenina zahrnuje výrobky používané v průmyslu chemickém nebo potravinářském a všude tam, kde chemické sloučeniny v tekutém nebo plynném stavu přicházejí do styku se stavebními konstrukcemi. Jsou to jednak uskladňovací a transportní nádoby různých tvarů a velikostí, jednak přístroje vyrobené z kameniny od rozměrů laboratorních až do rozměrů požadovaných průmyslovou výrobou jako varné kotle, vany, chladiče apod.

Kamenina vystýlková (kyselinovzdorná) zahrnuje plátky, normálky, žlábky, kameny rohové, kotevní, obrubové, klínové, roštové, přepadové, odsávací, stěnové atd. Všechny tyto jednoduché tvarové kusy slouží ke stavbě kyselinovzdorných nádrží, agregátů a jiných zařízení pro průmysl chemický, hutní, papírenský, textilní a pro výrobu celulózy.

Technické požadavky a zkušební postupy pro měření geometrických parametrů, fyzikálních, mechanických a chemických vlastností pro chemicky odolnou stavební kameninu, tj. normálky, klíny, plátky, žlábky specifikuje ČSN 72 5250.




*Obr. 4.54* Chemicky odolná stavební kamenina

a = normálka, b = plátek, c = klínek, d = požlábek (fabion), e = žlábek

Nejběžnějším druhem výrobků chemicky odolné kameniny jsou plátky 250 x 123 mm (20, 30, 40 a 50 mm silné).

Na běžné, lehčí a střední namáhání se používají plátky tloušťky 40 mm, ze kterých se zhotovují méně namáhané podlahy, dna kanálů, ložné plochy menších základů, dna jímek a ozuby. Obklady stěn jímek, boků základů a stěn kanálků se provádějí z plátků tl. 30 mm. Tenčí plátky – 20 mm se používají pouze pro obklady stěn místností, sloupů a soklů.

Ze stejného materiálu se vyrábějí i kyselinovzdorné cihly, tzv. normálky. Jsou o něco menší než klasické cihly, mají rozměry 240 x 123 x 65 mm. Používají se jako ochranné povrchy pro silně namáhané konstrukce. Většinou se kladou naplocho v tloušťce 65 mm, v jímkách se kladou i na tloušťku 123 mm.

Tlaková pevnost normálek se pohybuje obvykle v rozmezí 25 až 35 MPa. Používají se i na vyzdívání základů, rozdělovacích zídek v nádržích nebo na speciální vícevrstvé vyzdívky.

Nádoby z chemické kameniny jsou vhodné k výrobě kyselin, roztoků chloridů, bromidů, síranů, uhličitanů, peroxidu vodíku, amoniaku, barviv, pracích prostředků apod. Umožňují dlouhodobé skladování kyselin a roztoků solí.

Základní tvary, rozměry a vlastnosti výrobků z chemické stavební kameniny uvádí norma ČSN 72 5250.

Požadavky na tvarovky z chemicky odolné stavební kameniny [ČSN 72 5250] *Tab. 4.37*

| Číslo | Vlastnost | Požadavek |
|---|---|---|
| 1 | Délka a šířka | max. ± 1,5 % |
| 2 | Tloušťka | max. ± 8,0 % |
| 3 | Pravoúhlost | max. ± 1,0 % |
| 4 | Rovinnost ploch | max. ± 1,0 % |
| 5 | Jakost povrchu | viz ČSN 725250, 5.4.4 |
| 6 | Nasákavost | pro výrobky ≤ 10 kg max. 6% |
| | | pro výrobky > 10 kg ≤ 20 kg max. 7% |
| | | pro výrobky > 20 kg max. 9% |
| 7 | Pevnost v tlaku | min. 34 MPa |
| 8 | Lomové zatížení | min. 1 100 N |
| 9 | Pevnost v ohybu | min. 20 MPa |
| 10 | Odolnost střepu proti kyselinám | min. 97% |

### 4.2.3.3 Kamenina hospodářská

Kamenina hospodářská se používá převážně v zemědělství pro zařízení ke krmení a napájení hospodářských zvířat. Výrobky hospodářské kameniny jsou mechanicky velmi pevné, vzdorují většinou silným nárazům, jejich naprostá odolnost vůči všem zplodinám kvašení a kyselině mléčné zaručuje, že nebude porušena dlouhodobým působením krmiv.

Hospodářská kamenina není odolná proti náhlým změnám teploty. Na funkčních plochách je glazovaná a hladká. U jednotlivých výrobků musí hodnoty fyzikálně mechanických vlastností, dovolené rozměrové odchylky a dovolené vnější vady odpovídat normě ČSN 72 5220 – Hospodářská kamenina. Jakost, tvary a rozměry.

Základními tvary hospodářské kameniny jsou žlaby základní a převýšené průběžné a koncové, žlabové přepážky, koryta bez přepážek i s přepážkami.

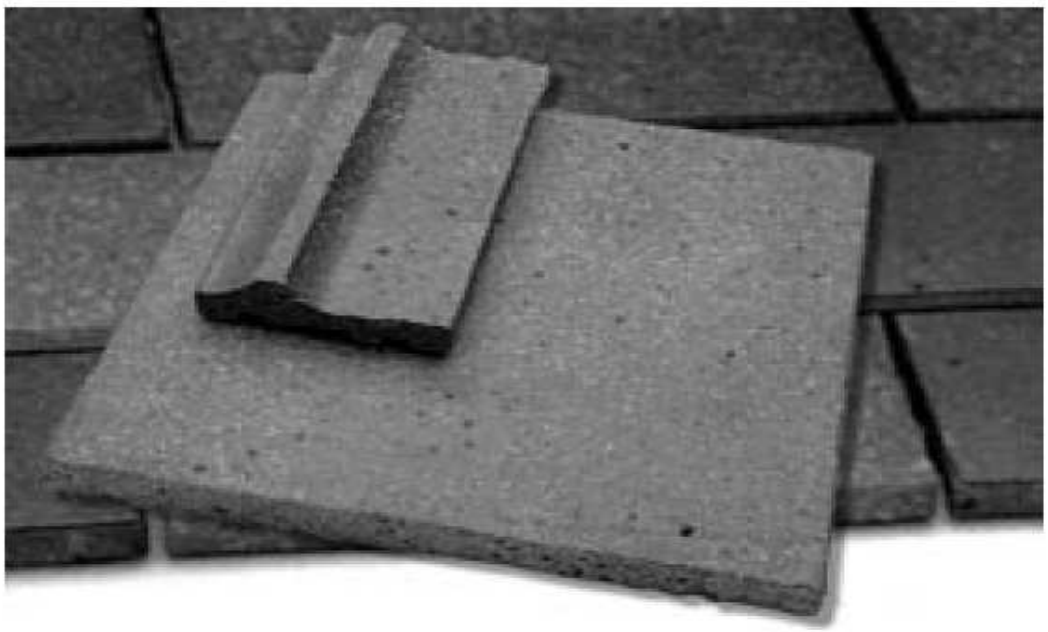
Fyzikálně-mechanické a chemické vlastností hospodářské kameniny (ČSN 72 5220) *Tab. 4.38*

| Vlastnost | Hodnota |
|---|---|
| Nasákavost při sycení varem | max. 9 % |
| Odolnost střepu proti kyselinám | max. 90 % |
| Odolnost glazury proti kyselinám a louhům | glazura se nesmí při zkoušce porušit |
| Nepropustnost | výrobek nesmí propouštět vodu |

### 4.2.3.4 Kamenina stavební

Jako kamenina stavební jsou označovány jednak kabřince (lícovky, fasádky, plátky), jednak již zmíněné obkládačky hutné a porceláninové.

Tyto výrobky vykazují všechny pozitivní vlastnosti kameniny z nichž je nutno vyzvednout mrazuvzdornost, kyselinovzdornost, otěruvzdornost a vyšší mechanickou odolnost.



*Obr. 4.55* Kamenina stavební

### 4.2.4 Zdravotní keramika

Jako zdravotní keramika se označují výrobky k zařizování hygienických zařízení staveb, zařizovací předměty laboratoří apod. Patří sem umyvadla, dřezy, bidety, vany, záchodové mísy, pisoáry, splachovací nádržky a doplňky pro kompletaci hygienických zařízení, např. mýdelníky, držáky, poličky apod.

Zdravotní keramika představuje výrobky značně tvarově složité a rozmanité. Základní výrobní technologií je tvarování litím do sádrových forem.

Původně byla používána k výrobě těchto předmětů pórovina. Současné zvýšené nároky na užitné vlastnosti zdravotní keramiky vedly k vývoji nového keramického materiálu s jemnozrnnou mikrostrukturou s vysokým obsahem skelné fáze a s nasákavostí menší než 0,5 % hmotnosti. Jeho tvrdost, mechanická pevnost a chemická odolnost připomínají kameninu, jemnozrnná homogenní mikrostruktura, bílá barva stupeň slinutí jsou blízké charakteru porcelánu.

Ve světě je tento druh keramiky vyráběn pod názvem Vitreous China (USA), u nás má obdobné vlastnosti Diturvit. Směs o vhodném složení, tvořená jíly a neplastickými složkami se rozemele s přídavkem plaveného kaolínu. Výroba licí suspenze je založena na použití mikromletých surovin rozplavovaných za přídavku ztekutiv při velmi intenzivní homogenizaci.

Lití suspenze do sádrových forem je vhodné zejména pro výrobu nesymetrických a komplikovaných tenkostěnných tvarů. Provádí se dvěma způsoby – na střep a na jádro, případně kombinací obou způsobů. Vlastnosti licí suspenze i formy musí umožňovat rovnoměrnou tvorbu střepu a dostatečně rychlé zatuhnutí střepu.

Často používaným materiálem pro výrobu licích forem je sádra, protože je poměrně levná, výroba forem je nenáročná a lze regulovat její sací schopnost.

Po nalití suspenze do formy vzniká na styku se sádrou zpevněná vrstvička, neboť sádra odsává ze směsi vodu. Po určité době, která závisí na požadované tloušťce zpevněné vrstvy, se přebytek suspenze vylije. Doba potřebná k odsátí vody formou je u tenkostěnných výrobků řádově v minutách, u tlustostěnných v hodinách. Vrstva hmoty na stěně formy se po částečném vysušení smršťí a lze ji z formy vyjmout.

Nevýhodou sádrových forem je jejich omezená životnost, která se pohybuje obvykle v rozmezí 50 až 100 cyklů a dlouhá doba jednoho cyklu cca 1 den (od nalití suspenze do formy, vyjmutí odlitku po vysušení formy). To vedlo k zavádění buď levných sádrových forem s odvodňovacím systémem, nebo mnohonásobně dražších pórovitých polymerních forem, které umožňují použití pro 40000 licích cyklů při zkrácení cyklu na 6 až 8 min.

Výrobky zdravotní keramiky se na vysušený střep glazují – vnitřní plochy se polévají, vnější stříkají. Malé výrobky se do glazurové suspenze namáčejí. Výpal se provádí jednožárově při teplotách 1230 až 1280 ℃ po dobu p řibližně 20 hodin.

U výrobků zdravotní keramiky se kromě kontroly mechanicko-fyzikálních vlastností provádí i vizuální kontrola odchylek od stanoveného tvaru výrobku, prasklina střepu, nuance odstínu barvy, vady glazury – trhlinky, nedolití, vady vzniklé slepením výrobků při výpalu, slabě glazovaná místa, nebo naopak místní zesílení glazury, nedostatek lesku, výskyt přílepů (cizích předmětů) na povrchu apod.



*Obr. 4.56 Zdravotní keramika*

Soudobá zdravotní keramika je keramický materiál s hutným, slinutým střepem, na který je nanesena bílá nebo barevná glazura. Je odolný vůči teplotním rozdílům horké a studené vody, vůči kyselinám, rozpouštědlům a louhům, obsaženým v hygienických, čistících a kosmetických přípravcích. Glazury musí být stálobarevné, odolné proti poškrábání a stárnutí.

Vlastnosti výrobků zdravotní keramiky musí splňovat technické požadavky zakotvené v ČSN EN. Především musí být funkční a musí vyhovovat zkouškám podle ČSN 72 4841 - Výrobky zdravotnické keramiky. Zkušební metody.

Výrobky musí mít dostatečnou mechanickou pevnost a odolnost vůči statickému zatížení. Musí být pokryty bílou nebo barevnou glazurou. Glazura musí být tepelně a chemicky odolná. Komplety u kombinačních záchodových mís v barevném provedení musí mít jednotný barevný odstín.

Vnější vzhled hlavních, vedlejších a funkčních ploch musí vyhovovat normovým požadavkům. Hodnotí se vzhled opracování, odstín základní barvy, nečistoty povrchu, trhliny ve střepu, pokřivení a dovolený počet vadných znaků jakosti. Podle rozsahu se vady hodnotí jako nedovolené, nepatrné, menší a znatelnější. Na základě hodnocení vad se výrobky řadí do tříd jakosti.

Kromě přípustných vad uvedených v normě nesmějí výrobky vykazovat následující vady: pnutí a praskliny střepu, vlasové trhliny v glazuře, odprýsknutou glazuru a hrubší znečištění.

Rozměry jednotlivých výrobků zdravotní keramiky se řídí příslušnými předmětovými normami jednotlivých výrobků:

ČSN EN 31 Umyvadla se sloupem,

ČSN EN 32 Umyvadla nástěnná,

ČSN EN 33 Záchodové mísy stojící na podlaze, s pevně připojenou splachovací nádrží,

ČSN EN 34 Záchodové mísy nástěnné, s pevně připojenou nádrží,

ČSN EN 35 Bidety stojící na podlaze, s horním přívodem vody,

ČSN EN 36 Bidety nástěnné, s horním přívodem vody,

ČSN EN 37 Záchodové mísy stojící na podlaze, s volným přítokem vody,

ČSN EN 38 Záchodové mísy nástěnné, s volným přítokem vody,

ČSN EN 80 Pisoárové mísy nástěnné,

ČSN EN 111 Umývátka nástěnná.

ČSN EN 997 Záchodové mísy a soupravy se zabudovanou zápachovou uzávěrkou.

ČSN EN 14528 Bidety - Funkční požadavky a zkušební metody

ČSN EN 13407 Pisoárové mísy nástěnné - Funkční požadavky a zkušební metody

ČSN EN 14688 Zdravotnětechnické zařizovací předměty - Umyvadla - Funkční požadavky a zkušební metody

Tyto normy stanovují rozměry pro připojení jednotlivých výrobků nezávisle na jejich materiálu. Povinné jsou pouze normami udané rozměry. Volba konečného tvaru výrobku je ponechána na výrobci.

Konstrukční a funkční požadavky a zkušební postupy pro záchodové mísy se zabudovanou zápachovou uzávěrkou jsou formulovány v ČSN EN 997. Tato norma se vztahuje záchodové mísy pro domácí použití vyrobené ze zdravotní keramiky i z nerez oceli pro splachovací vodu jmenovitého objemu 6 l, 7 l nebo 9 litrů.

Rozměry, hmotnost a barvy zdravotní keramiky podléhají běžným keramickým tolerancím. Při instalaci je třeba brát v úvahu případné výrobní odchylky rozměrů oproti katalogům.

Umyvadla se většinou vyrábějí v šířce od 50 do 80 cm, asymetrická umyvadla s odkladní plochou mohou být široká 100 i více centimetrů. I hloubka se pohybuje od 38 do 50 cm. Vyrábějí se typy umožňující zavěšení na stěnu v libovolné výšce, s polosloupem kryjícím sifon, nebo je lze postavit na keramickou nohu, případně zcela nebo částečně zapustit do nábytku či odkladní plochy. Pokud je žádán dokonale hladký přechod mezi umyvadlem a deskou, jsou dodávána umyvadla tvarovaná současně s touto plochou, popřípadě umyvadla a desky z tzv. umělého kamene, které lze libovolně opracovávat a beze spár k sobě lepit. Pro instalaci na samostatná WC se dodávají malá umyvadélka o šířce 35 - 40 cm a hloubce 26 - 30 cm v různých tvarech, včetně rohových.

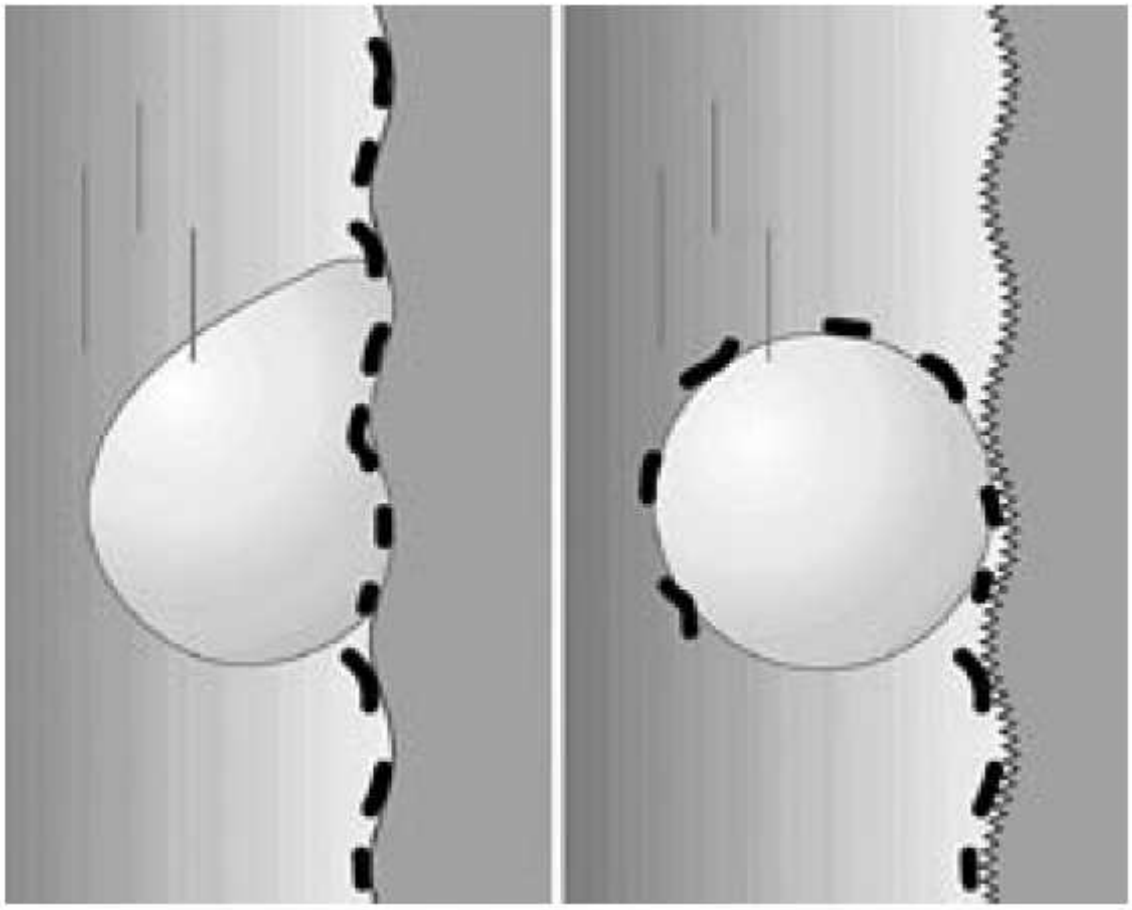
Klozety se dodávají v nejrůznějších tvarech a barvách buď samostatně stojící, nebo závěsné. V běžné nabídce jsou klozety s tlakovým splachováním, se zabudovanou nádržkou nebo splachovadlem, i klozety s plochým splachováním. S ohledem na směr odpadu jsou vyráběny typy s odpadem vodorovným, vertikálním nebo šikmým, nádržky na vodu s napouštěním bočním i spodním. Výrobní sortiment zahrnuje i dětské klozety a klozety pro tělesně postižené.

*Bidety* jsou vyráběny ve variantách stojících na podlaze a závěsných na stěnu s jedním nebo třemi otvory pro výtokovou armaturu

*Pisoárové mísy* jsou uzpůsobeny k zavěšení na stěnu. Vyrábějí se s horním nebo zadním přítokem. Odtokové hrdlo je orientováno svisle nebo vodorovně.

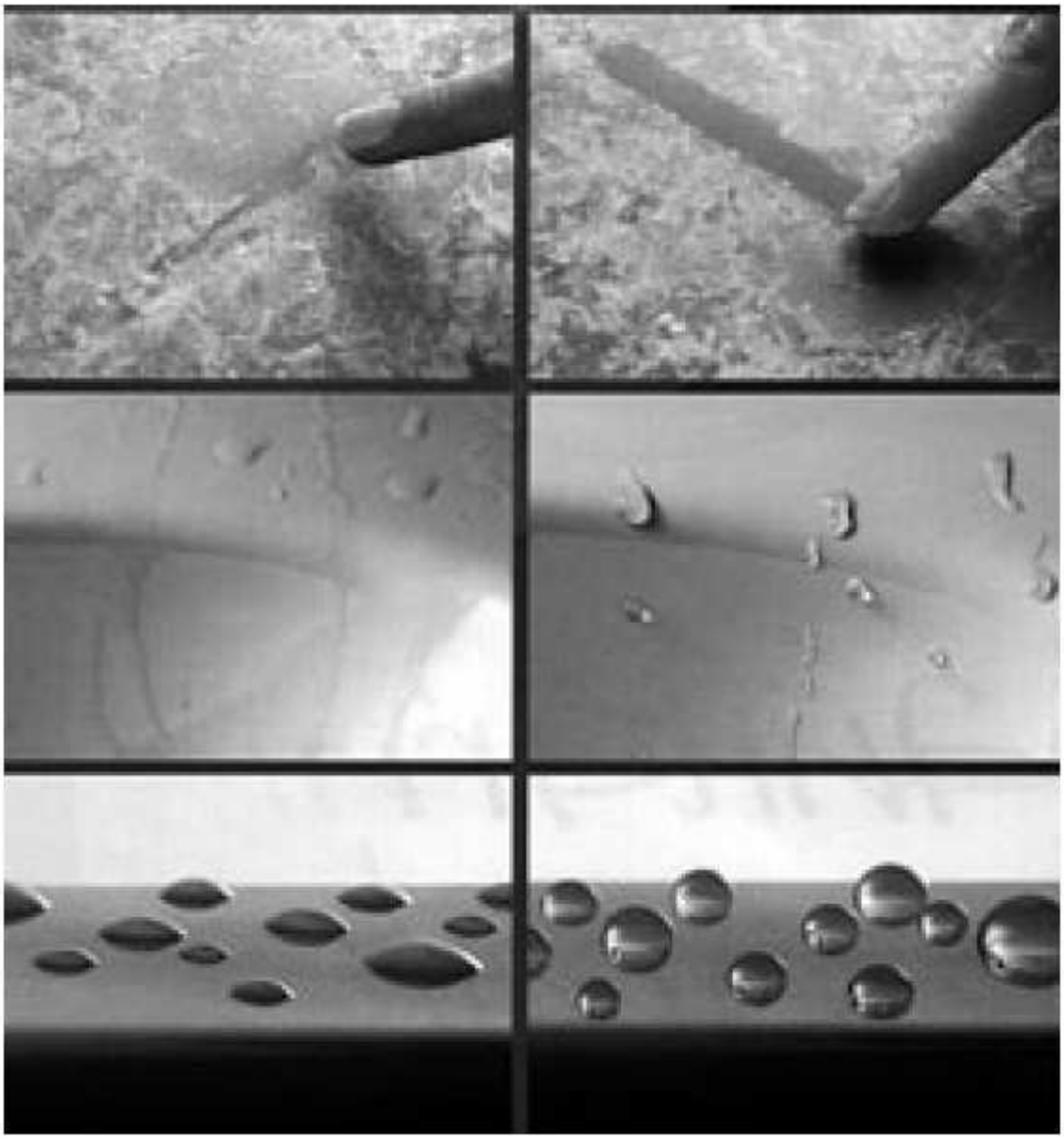
Údržbu zdravotní keramiky může usnadnit protišpinivá úprava sanitární keramiky.

V poslední době jsou uváděny na trh výrobky zdravotní keramiky se speciální povrchovou úpravou se samočisticím účinkem. Princip úpravy povrchu spočívá v naneseni vrstvy, ve které se vytvoří hustá síť výstupků o nanometrické výšce. Struktura se podobá povrchu lotosového květu.



*Obr. 4.57 Princip samočisticího účinku lotosové úpravy*

Nízké povrchové napětí povrchu způsobuje shlukování vody do větších kapek a ty pak mohou snadno odtéci a spolehlivě s sebou vzít i rozpuštěné nečistoty a vápenné usazeniny. Takto upravený povrch nevyžaduje žádnou zvláštní péči. Ulpí-li na některých místech vápenné usazeniny, lze je jednoduše odstranit.



*Obr. 4.58 Porovnání běžného povrchu a povrchu se samočisticím účinkem*

### 4.2.5 Žárovzdorné výrobky

Výrobky žárovzdorné keramiky nacházejí uplatnění zejména v hutnictví, slévárenství, plynárenství, koksárenství a ve sklářském a keramickém průmyslu.

Přesto, že spektrum spotřebitelů žárovzdorných materiálů je různorodé, hlavním odběratelem je metalurgický průmysl. Pro výrobu surového železa a oceli je určeno 60% světové produkce žárovzdorných materiálů.

Konec devatenáctého století byl charakterizován změnami v metalurgickém průmyslu. Zavedení kyslíkových konvertorů a kontilití oceli mělo dopad na podstatné snížení spotřeby žárovzdorných výrobků, kde produkce klesla o 40 až 70%.

Za žárovzdorné jsou považovány materiály, které mají schopnost trvale odolávat vysokým teplotám (zpravidla vyšším než 1500 ℃), an iž dojde k tavení. Jsou vyráběny převážně na bázi směsi oxidů a jejich sloučenin. Podmínkou praktického využití takových materiálů je kromě dostatečné žárovzdornosti i dostupnost surovin za přijatelnou cenu. Z ostatních neoxidických látek lze ve větším měřítku použít pouze karbid křemíku SiC a uhlík v různých formách.

Vhodnost či nevhodnost žárovzdorné hmoty pro různá použití závisí na fyzikálních vlastnostech (únosnosti v žáru, objemové stálosti, odolnosti proti změnám teploty), chemických vlastnostech (odolnosti proti kyselým a zásaditým struskám a taveninám) a tepelných vlastnostech (součiniteli tepelné vodivosti).

### 4.2.5.1 Žárovzdorné materiály tvarové

ČSN EN ISO 10081 Klasifikace žárovzdorných výrobků tvarových hutných rozděluje žárovzdorné výrobky do 4 částí:

- část 1: Hlinitokřemičité výrobky,
- část 2: Zásadité výrobky obsahující méně než 7 % zbytkového uhlíku,
- část 3: Zásadité výrobky obsahující 7 % až 50 % zbytkového uhlíku,
- část 4: Zvláštní výrobky.
-

Hlinitokřemičité žárovzdorné materiály se třídí podle druhu výrobku, podle obsahu oxidu hlinitého nebo oxidu křemičitého, druhu suroviny, stavu základní suroviny a druhu vazby včetně následné úpravy.

Rozdělení materiálů podle klasifikace ČSN EN ISO 10081-1uvádí tab. 4.39.

Šamot je charakteristický vysokým obsahem oxidu křemičitého a hlinitého. Je tvořen jemnou křemičitou složkou a jílem. Křemičitý podíl se zvyšující se teplotou vykazuje objemový nárůst, zatímco jílová složka se smršťuje, což způsobuje jen malé objemové změny při výpalu. Proto je velmi odolný vůči změnám teploty, avšak nesnáší příliš vysoké teploty.

Žárovzdornost šamotu je podle druhu 1660 až 1750 ℃, nasákavost 8 až 15 %, objemová hmotnost 1750 až 2150 kg.m$^{-3}$, pevnost v tlaku 10 až 40 MPa, deformace v žáru min. 1300 až 1440 ℃.

Šamotové výrobky jsou nejrozšířenějšími žárovzdorninami. Uplatňují se v nejrůznějších zařízeních pracujících při vysokých teplotách.

Rozdělení hlinitokřemičitých materiálů *Tab. 4.39*

| Druh výrobku | Skupina označení | Obsah (% hmot.) | |
|---|---|---|---|
| | | $Al_2O_3$ | $SiO_2$ |
| Materiály vysoce hlinité | HA98 | $Al_2O_3 \geq 98$ | |
| | HA95 | $95 \leq Al_2O_3 < 98$ | |
| | HA85 | | |
| | HA75 | $75 \leq Al_2O_3 < 85$ | |
| | HA65 | $65 \leq Al_2O_3 < 75$ | |
| | HA55 | $55 \leq Al_2O_3 < 65$ | |
| | HA45 | $45 \leq Al_2O_3 < 55$ | |
| Materiály šamotové | FC40 | $40 \leq Al_2O_3 < 45$ | |
| | FC35 | $35 \leq Al_2O_3 < 40$ | |
| | FC30 | $30 \leq Al_2O_3 < 35$ | |
| Šamot s nízkým obsahem oxidu hlinitého | LF10 | $10 \leq Al_2O_3 < 30$ | $SiO_2 < 85$ |
| Kyselý šamot | SS85 | | $85 \leq SiO_2 < 93$ |
| Dinas | SL93 | | $SiO_2 \geq 93$ |

Materiály dinasové mají vysoký obsah $SiO_2$ (> 93 % hmotnostních), vyrábějí se z křemenců. Znečištění příměsí $Al_2O_3$ zhoršuje žárové vlastnosti.

Dinas má vysokou únosnost v žáru 1600 až 1680 ℃, u váděna je žárovzdornost 1720 ℃, nasákavost 10 až 15 %, pórovitost 18 až 28 %, p evnost v tlaku 20 až 40 MPa. Negativní vlastností je nízká odolnost vůči změnám teploty pod 600 ℃, zp ůsobená objemovými změnami (modifikací $SiO_2$). Naproti tomu je odolný vůči kyselým taveninám.

Používá se především k vyzdívání provozů, které jsou vystaveny stálému žáru a neochlazují se pod 700 ℃.

Zásadité žárovzdorné materiály, tj. materiály s obsahem oxidu hořečnatého se rozdělují podle ČSN EN ISO 10081 na dvě skupiny podle obsahu zbytkového uhlíku do 7 % a s obsahem uhlíku 7 až 50 % Druhá skupina se používá především v hutnictví, neboť je typická vyšším obsahem uhlíku, který má příznivý vliv na snížení pórovitosti a smáčivosti ocelí.

Rozdělení magneziových a magnezio-vápenatých žárovzdorných materiálů *Tab. 4.40*

| Druh výrobku | Skupina | Obsah v hmotnostních % | |
|---|---|---|---|
| | označení | MgO | CaO |
| magneziový | M98 | $MgO \geq 98$ | |
| | M95 | $95 \leq MgO < 98$ | |
| | M90 | $90 \leq MgO < 95$ | |
| | M85 | $85 \leq MgO < 90$ | |
| | M80 | $80 \leq MgO < 85$ | |
| magnezio-vápenný | ML80 | $80 \leq MgO < 90$ | $CaO \geq 10$ |
| | ML70 | $70 \leq MgO < 80$ | $CaO \geq 20$ |
| | MDL0 | $60 \leq MgO < 70$ | $CaO \geq 30$ |
| | MDL0 | $50 \leq MgO < 60$ | $CaO \geq 40$ |
| | MDL0 | $40 \leq MgO < 50$ | $CaO \geq 50$ |
| magnezio-dolomiový | MD80 | $80 \leq MgO < 90$ | $CaO \geq 10$ |
| | MD70 | $70 \leq MgO < 80$ | $CaO \geq 20$ |
| | MD60 | $60 \leq MgO < 70$ | $CaO \geq 30$ |
| | MD50 | $50 \leq MgO < 60$ | $CaO \geq 40$ |
| | MD40 | $40 \leq MgO < 50$ | $CaO \geq 50$ |
| dolomitový | D40 | $MgO < 40$ | $CaO \geq 50$ |
| vápenný | L70 | $MgO < 30$ | $CaO \geq 70$ |

Magneziové materiály se vyznačují vysokým obsahem *MgO, z*bytek tvoří oxidy ($Fe_2O_3$, CaO, $SiO_2$ a $Al_2O_3$). Mají větší únosnost v žáru (1600 – 1670 ℃) než šamot a velkou odolnost vůči působení zásaditých strusek. Nevýhodou je malá odolnost proti změnám teplot. Uplatnění nalézají v hutnictví železa (vyzdívání různých pecí, zejména ocelářských).

Magnezio-vápenné materiály s vysokým obsahem *MgO* a *CaO* (> 95 %) mají dobrou únosnost v žáru (asi 1650 ℃) a uplat ňují se zejména na vyzdívání konvertorů.

Bazické žárovzdorné materiály jsou žárovzdorné v rozmezí teplot 1950 – 2040 ℃. Pevnost v tlaku činí 30 – 40 MPa, nasákavost: 6 – 10 %, objemová hmotnost: 2700 – 2900 kg/m$^3$. Značná část těchto výrobků se používá v zrnité formě na opravy hutnických pecí.

Žárovzdorné výrobky, jejich rozměry a tvar specifikuje ČSN ISO 5019, část 1 až 6. Pravoúhlé tvarovky (ČSN ISO 5019-1) se vyrábějí ve dvou řadách – 64 mm a 76 mm.

Normálky mají rozměry 230 x 114 mm, 230 x 172 mm a 345 x 114 mm, tloušťku 64 a 76 mm, plátky 203 x 114, tl. 32 a 38 mm, desky 230 x 230 mm v tl. 64 a 76 mm. Dále se vyrábějí žárovzdorné klíny (ČSN ISO 5019-2) krátké a dlouhé, vazákové dlouhé klíny a dvojité dlouhé klíny rovněž v řadách 64 a 76 mm. Pro použití s klíny se vyrábějí záklenky (ČSN 5019-5) o středních tloušťkách 64 a 76 mm.

Zvláštní výrobky tvarované hutné klasifikuje norma ČSN EN 12475 v části 4. Tyto výrobky rozděluje podle složení na:

oxidické – (hlinito-chromité, hlinito-chromito-zirkoničito-křemičité, zirkoničito-křemičité, hlinito-zirkoničito-křemičité),

oxidické a neoxidické (hlinito-uhlíkové, hlinito-siliciumkarbido-uhlíkové),

neoxidické (siliciumkarbidové, uhlíkové).

Oxidické žárovzdorné výrobky využívají žárovzdorných a dalších speciálních vlastností čistých oxidů. Jsou vysoce žárovzdorné, pevné a únosné v žáru.

Neoxidická keramika využívá speciálních vlastností karbidů, boridů, nitridů a silicidů. Dobře odolávají vysokým teplotám a mají dobrou tepelnou a elektrickou vodivost. Uhlíkové výrobky obsahují 20 až 50 % grafitu (tuhy) ve směsi, což zlepšuje výrobkům z této směsi (kelímky, zátky) odolnost proti změnám teploty a korozi. Z ostatních neoxidických látek se pro hromadnou výrobu používají pouze karbidy SiC. Dobře odolávají vysokým teplotám a mají dobrou tepelnou a elektrickou vodivost.

Lehčené tepelně izolační žárovzdorné výrobky se podle ČSN EN 1094-2 rozdělují do skupin podle:

teploty, při níž trvalé délkové změny v žáru stanovené podle EN 1094-6 činí 2 % nebo méně,

objemové hmotnosti stanovené podle EN 1094-4 pro rozlišení výrobků třídy L s vyšší pórovitostí.

Své tepelně izolační vlastnosti získávají zvětšením podílu pórů v mikrostruktuře, použitím přídavku vyhořívajících příměsí, přídavkem těkavých látek, napěněním apod. Jejich aplikací lze snížit tepelné ztráty až o 70 %.

Nejčastěji se používají izolační tvarovky a zásypy šamotové a pěnošamotové s objemovou hmotností od 1000 do 1200 $k.m^{-3}$, která u pěnošamotu klesá až na 800 $kg.m^{-3}$ i méně. K těmto výrobkům patří i lehčený a pěnový dinas.

Žárovzdorná vlákna se připravují z kaolínu, z $Al_2O_3$, $SiO_2$, z uhlíku atd. U nás jsou vyráběna např. pod označením Sibral tavením oxidu hlinitého a oxidu křemičitého v elektrické peci a rozvlákněním taveniny rotačním způsobem. Jemná, poměrně dlouhá vlákna (volná vlna), mají dobré izolační vlastnosti a odolávají teplotám v rozmezí od 1260 ℃ do 1430 ℃. Z vláken se vyráb ějí rohože, plsti, tkaniny, desky, prefabrikáty, papír, textilní výrobky, těsnění a různě tvarované izolace.

Podle klasifikace ČSN EN1094-3 se dělí do skupin podle teploty, při které smrštění stanovené podle ČSN P EN 1094-6 nepřekročí následující hodnoty:

- 2 % pro desky a prefabrikáty,
- 4 % pro rohože, plsti a papír.

Klasifikace začíná při teplotě 850 ℃ a obsahuje 19 skupin rozdělených po 50 ℃.



*Obr. 4.59* Výrobky ze žárovzdorných vláken

Ze směsi krátkých žárovzdorných vláken a anorganického pojiva se připravují nátěrové a nástřikové materiály, které po nanesení a zaschnutí vytvářejí pevnou krustu, odolnou proti otěru. Používají se k ochraně kovových konstrukcí před účinkem žáru, případně jako ochrana vláknitých izolací před otěrem.

### 4.2.5.2 Žárovzdorné materiály netvarové

ČSN EN 1402 definuje žárovzdorné výrobky netvarované jako směsi, které jsou složeny z kameniva a pojiva nebo více pojiv, připravené k použití buď v dodaném stavu, nebo po přidání jedné nebo více tekutin.

Dodávají se v sypkém stavu a jejich zpracování a tvarování se provádí až přímo v agregátu, kde budou použity jako vyzdívka. Zde se také vysuší a k výpalu dochází až při uvedení tepelného agregátu do provozu.

Podle zdánlivé pórovitosti se po výpalu používá dělení těchto materiálů na hutné, obyčejné a lehké výrobky. Hutné mají zdánlivou pórovitost 10 % –16 %, obyčejné 20 % – 30 %. Lehké výrobky, se zdánlivou pórovitostí nad 30 %, mají skutečnou (tj. celkovou) pórovitost nad 45 %.

Jako pojiva se používají:

- plastické jíly, k jejichž určitému zpevnění dochází již při vysušení, ale hlavně při výpalu tzv. keramickou vazbou,
- cementy portlandské i hlinitanové – ke zpevnění dochází reakcí s vodou za normální teploty (hydraulická vazba),
- organické látky (deriváty celulózy, sulfitový louh apod.) – organicko-chemická vazba,
- anorganické sloučeniny (např. křemičitan draselný, fosforečnan hlinitý), ke zpevnění dochází za pokojových teplot vlivem různých chemických reakcí, vazba anorganicko-chemická,

Široké možnosti vytvrzování za pokojové teploty mají především rozpustné křemičitany alkalických kovů - vodního skla, kdy zpevnění probíhá účinkem kyselého tvrdidla nebo i vzdušného $CO_2$ za vzniku kyseliny křemičité a jejích polykondenzátů (viz též kap. 4.4.3).

Teplotní rozmezí působení jednotlivých pojiv *Tab. 4.41*

| Typ vazby | Teplotní rozsah působení (°C) | |
|---|---|---|
| | začátek | konec |
| keramická | (100) 1 000 | tavení |
| hydraulická | 20 | 200 – 600 |
| organicko-chemická | 50 | < 250 |
| anorganicko-chemická | 20 – 300 | 1 000 – 1 400 |

Podle účelu, ke kterému jsou určeny, se dodávají žáromonolity (bezespáré vyzdívky), spojovací materiál ve formě malt a tmelů, opravárenské směsi k vyplňování spár a trhlin poškozených vyzdívek a nátěry, které se nanášejí na ohňový povrch vyzdívky k prodloužení její trvanlivosti. Žárobetony se převážně uplatňují při betonáži základů pod pece, kouřových kanálů a vnějších izolací pece.

Žárobetony se zpravidla vyrábějí ze žárobetonových vytvářecích hmot s hydraulickým pojivem. Hutnost, pevnost a otěruvzdornost získávají teprve po prvním výpalu na teplotu použití.

Žárobetonové hmoty se mohou aplikovat do bednění (střásáním, dusáním, vibrováním) nebo torkretováním.

Žárobetony pro nižší teploty (do cca 700 °C) obsahují jako plnivo perlit, křemelinu nebo keramzit a jako pojivo portlandský cement. Protože cement snižuje termomechanické vlastnosti směsí, rozlišují se ještě žárobetony LCC (s nízkým obsahem cementu) a ULCC (se zvláště nízkým obsahem cementu).

Pro vyšší teploty 1000 °C až 1400 °C se používá jako ostřivo pálený lupek a jako pojivo hlinitanový cement.

Pro ještě vyšší teploty (až do 1700 °C) se lupek nahrazuje ostřivem s vysokým obsahem hliníku (sillimanitem, mullitem, bauxitem, korundem).

Opravářské, omazové a maltové hmoty se vyrábějí ze stejných surovin jako žárobetony, ale s použitím drobnějších zrn. Mívají také větší vlhkost, protože se jen nanášejí a nezhutňují se.

Největší zrno žárovzdorných malt nepřesahuje většinou 1,5 mm, aby bylo možno zdít na úzké pracovní spáry, které zajišťují větší životnost žárovzdorné vyzdívky.

Tmely pro spojování žárovzdorných tvarovek s kovovými částmi mívají největší zrna ještě menší. Největší zrna tmelové výplně zpravidla nepřesahují 0,5 mm a ve zvláštních případech dokonce 0,1 mm.

Tuzemské žárovzdorné materiály používají prakticky výhradně ostřiva kyselé nebo neutrální povahy, bazické hmoty se u nás vyrábějí jen v zanedbatelných množstvích. Odlišná situace je na Slovensku, kde má výroba žárovzdorných materiálů bazického typu dlouhou tradici.

V poslední době se podíl netvarovaných žárovzdorných materiálů zvyšuje, neboť při jejich výrobě jednak odpadá konečný výpal ve výrobním závodě, jednak jejich tvarování přímo v agregátu snižuje množství spár a dalších slabých míst vyzdívky.

Zvláštní formu výrobku pro vytváření monolitických vyzdívek představují plastické žárovzdorné hmoty, které se spotřebitelům dodávají zvlhčené a předpracované v plátech. Proti vysychání jsou chráněny zabalením do fólie. Obsahují keramické, anorganické, organické nebo kombinované pojivo. Tyto hmoty se zhutňují do bednění a přichycují se pomocí keramických nebo kovových kotev.

## 4.3 Sklo

Sklo patří k významným silikátovým hmotám a ve stavebnictví se nejběžněji používá k zasklívání okenních a dveřních otvorů. Významně se také uplatňuje jako architektonický prvek při vytváření interiérů i exteriérů.

Sklo je anorganický amorfní materiál vyrobený tavením vhodných surovin a jejich následným řízeným ochlazením. Ztuhnutí není způsobeno krystalizací, která nastává při ochlazování taveniny většiny materiálů, ale plynulým růstem viskozity na tak vysokou hodnotu, že se materiál jeví pevným.

Charakteristické vlastnosti skla:
- relativně vysoká propustnost světla v části viditelného spektra,
- tuhost a tvrdost (při běžných teplotách),
- křehkost,
- homogenita,
- odolnost proti povětrnostním a chemickým vlivům,
- relativně nízká měrná tepelná vodivost a elektrická vodivost,
- plynotěsnost.

### 4.3.1 Výroba skla

Při výrobě skla se nejprve společně taví *sklářský kmen*, *čeřiva a skleněné střepy*. Získaná tavenina se pak v ještě tekutém nebo polotekutém stavu tvaruje do požadované podoby.

Složení sklářského kmene se vyjadřuje pomocí obsahu oxidů. Základem sklářského kmene je sklotvorný $SiO_2$ (u běžného tabulového skla tvoří zhruba 72 % kmene), doplněný nejčastěji CaO, $Na_2O$ a $K_2O$.

#### 4.3.1.1 Základní suroviny

Základní surovinou pro přípravu sklářského kmene je čistý křemičitý písek s obsahem $SiO_2$ 60 až 80 % a zrnitostí do 0,4 mm. Musí být chemicky čistý, zpravidla zušlechtěný praním, sušením a tříděním. Nesmí obsahovat větší množství barvicích látek, zvláště $Fe_2O_3$ (u okenního skla je maximální množství $Fe_2O_3$ 0,2 %).

Oxid vápenatý se přidává se ve formě jemně mletého $CaCO_3$. Tavením kmene přechází uhličitan vápenatý na oxid vápenatý, jehož obsah upravuje rozpustnost a chemickou odolnost skla.

Oba alkalické oxidy ($Na_2O$, $K_2O$) se přidávají rovněž ve formě uhličitanů (sody nebo potaše). Přítomnost sodných sloučenin snižuje teplotu tavení, zvláště snadno se proto taví a tvaruje sodné sklo. Draselné (sodno-draselné) sklo je tvrdší.

Jako pomocné látky (čeřiva) se používají sírany (sodný, vápenatý, barnatý) a dusičnany (draselný, vápenatý a barnatý).

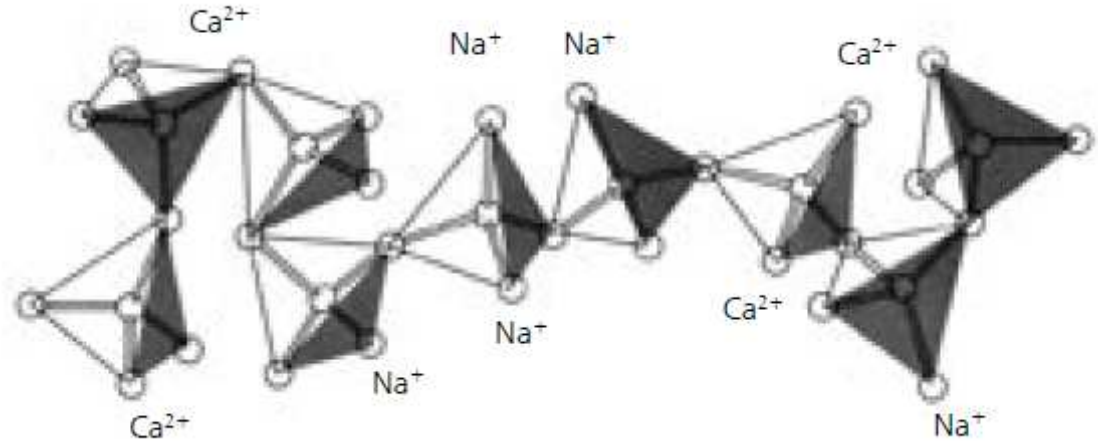
Přidávají se do sklářského kmene v malém množství, aby odstranily z roztavené skloviny bublinky, nečistoty a současně sklovinu homogenizovaly. Často pomáhají urychlit i tavicí pochody a napomáhají i při odbarvování skloviny.

Skleněné střepy se přidávají se k již uvedeným sklářským surovinám v množství do 30 % a způsobují urychlení tavení a zlepšují i počáteční homogenitu skloviny.

#### 4.3.1.2 Technologie výroby

Při výrobě skla se uplatňují čtyři dílčí technologické procesy (příprava vsázky a její dávkování, tavení, tvarování, chlazení). Upravené, mleté a vysušené suroviny se smísí a zhomogenizují v mísicích zařízeních a následně se taví ve sklářských tavicích pecích při teplotě 1400 až 1600 °C (výše teploty závisí na druhu skla ).

Tavením skla vzniká makromolekulární struktura tvořená řetězci složenými z tetraedrů $(SiO_3)^{2-}$, jejichž záporný náboj vyrovnávají kladně nabité kovové ionty (na obrázku 4.50 jsou to ionty sodné a vápenaté).




*Obr. 4.50* Tetraedrická struktura křemičitého sodnovápenatého skla

Při tvarování skla (foukáním, tažením, válcováním, litím nebo lisováním) se využívá závislosti viskozity skloviny na teplotě. Složení skla musí být takové, aby během tvarování nenastala krystalizace. Zvláštní způsob tvarování je tzv. *float proces*, kde proud skla vstupuje do komory s roztaveným cínem, na kterém se v důsledku povrchového napětí a gravitačních sil roztéká, získává hladkou plochu rovnoměrné tloušťky a horní plocha se vyhlazuje působením teploty v ochranné atmosféře vlivem povrchového napětí.

Řízené chlazení se provádí ve speciálních pecích zpravidla v teplotním intervalu 700 až 400 °C a z výrobku se při něm odstraní nebo zabrání vzniku nevhodně rozloženého vnitřního pnutí.

Proces chlazení skla nemusí vždy znamenat pouze eliminaci vnitřního pnutí, ale vnesením vhodně rozloženého napětí se může podstatně zvýšit pevnost skla (tvrzení skla).

Po vychladnutí se může sklo ještě dále povrchově opracovat (brousit, leštit, pískovat, leptat apod.).

Technologie výroby vybraných druhů výrobků ze skla *Tab. 4.39*

| Název technologie | Název výrobku |
|---|---|
| tažením, litím a válcováním | ploché sklo |
| foukáním | duté sklo |
| lisováním | skleněné tvarovky, tašky a různé užitkové předměty |
| rozfoukáváním | skleněná vlákna |
| odstřeďováním | krátkovlákenná skleněná vlna |

### 4.3.2 Vlastnosti skla

Vlastnosti skla lze ovlivňovat složením sklářských surovin, tj. volbou jednotlivých složek a jejich poměrného množství. Vlastnosti uvedené v tabulce 4.40 platí pro nejběžnější druh skla.

Mechanické a fyzikální vlastnosti skla *Tab. 4.40*

| Vlastnost | Velikost a rozměr |
|---|---|
| Hustota | 2200 – 3600 $kg.m^{-3}$ |
| Pevnost v tlaku | 700 – 1200 MPa |
| Pevnost v tahu | 30 – 90 MPa |
| Pevnost v ohybu | 40 – 190 MPa |
| Modul pružnosti | 50 – 90 GPa |
| Součinitel délkové teplotní roztažnosti (ploché sklo) | 6 až $9.10^{-6}$ $K^{-1}$ |
| Součinitel tepelné vodivosti | 0,6 – 0,9 ($W.m^{-1}.K^{-1}$) |
| Poissonův součinitel | 0,14 – 0,32 (-) |
| Tvrdost podle Mohsovy stupnice | 6 – 7 (odpovídá tvrdosti křemene a živce) |

Hustota skla značně kolísá v závislosti na jeho složení. Spodní hodnotu hustoty 2200 $kg.m^{-3}$ nacházíme u čistě křemenného skla, hustota skla olovnatého může dosáhnout až 6000 $kg.m^{-3}$. Hustota nejběžnějšího sodnovápenatého tabulového skla činí 2500 $kg.m^{-3}$.

U jednoduchých plochých skel tloušťky 2 až 3 mm je propustnost světelného záření až 92 %. Matované druhy skel či drátové sklo mají propustnost 50 až 60 %. Ploché sklo odráží cca 8 % paprsků, které na něj dopadají kolmo, přičemž s rostoucím úhlem dopadu se velikost odrazu zvětšuje.

Propustnost skel je závislá na tloušťce skla a se zvyšující se tloušťkou se snižuje. (Pro sklo, jakožto opticky homogenní prostředí, platí Lambert-Beerův zákon.)

Propustnost není v celém rozsahu vlnových délek stejná. Běžná skla ultrafialové světlo absorbují (v závislosti na obsahu oxidu železitého). Infračervené záření však běžná tabulová skla ve značné míře propustí.

Tenkou vrstvou tvořenou oxidy kovů nanesených na okenní sklo lze ovlivňovat velikosti jeho absorpce a reflexe vůči dopadajícímu elektromagnetickému záření (dlouhovlnnému, krátkovlnnému a světelnému záření).

Pevnost skla závisí také na vlastnostech povrchu, na opracování hran a vadách ve skle. Pokud je povrch skla poškrábaný, jeho pevnost se podstatně sníží. Pevnost rovněž závisí na tloušťce skla.

Čím je tloušťka skla menší, tím větší je pevnost skla v tahu. Zvýšení pevnosti skla je možné cestou potlačení vzniku nebo účinku povrchových vad. Mechanické leštění nebo vyhlazení povrchu vysokou teplotou zvyšují pevnost skla.

Skleněné výrobky vydrží mnohem větší krátkodobé zatížení než zatížení trvalé. Při dlouhotrvajícím zatížení skla se projeví únava materiálu a sklo praskne.

Tvrdost skla závisí na jeho chemickém složení. k nejměkčím patří olovnaté druhy skla, nejtvrdší jsou boritokřemičitá a křemičitá skla.

Křemen nebo ocel zanechávají vrypy na skle, a proto se k řezání skla používají ocelová kolečka, nejlépe se však sklo řeže diamantem.

Křehkost skla je nepříznivou vlastností skla, která souvisí z vysokým modulem pružnosti cca 70 000 MPa a nízkou pevností v tahu. i při malých deformacích vznikají ve skle velká napětí, kterým sklo nedokáže pevnostně odolat.

Skutečnost, že se sklo jeví jako křehký materiál však také souvisí s tím, že se sklo obvykle používá ve formě tenkostěnných výrobků.

### 4.3.3 Kompaktní sklo

Ve stavebnictví se používá celá řada výrobků z kompaktní skleněné hmoty. Nejrozšířenější je ploché sklo (tažené, válcované a float) používané v nejrůznějších zaskleních. Běžně se na stavbě dále setkáváme s tvarovaným sklem používaným zejména pro obklady a prosvětlovací prvky.

#### 4.3.3.1 Ploché sklo tažené

Ve stavebnictví se používá především *tažené ploché sklo* o tloušťce 4 mm (rovné, hladké, průhledné, čiré) jako zasklívací materiál pro okna, dveře, přepážky, stěny, výkladní skříně. Dle tloušťky se ploché sklo tažené dělí na tenké (tl. 0,7 – 1,35 mm), střední (tl. 2 – 4 mm) a tlusté (tl. 5 (7) – 20 mm). Tažené ploché sklo je také výchozím materiálem pro výrobu dalších druhů skla.

Matové sklo a ledové sklo jsou skla s tzv. potlačenou průhledností. Matová skla jsou na povrchu rovnoměrně zdrsněná.

Ledové sklo se zhotovuje z pískovaného matného skla, na které se nanese vrstva horkého truhlářského klihu. Při chladnutí a tuhnutí klih ze skla vytrhává nepravidelnou lasturovitou vrstvičku skla a vytváří tak kresbu připomínající ledové květy na zamrzlém okně.

Determální sklo je zvláštním druhem plochého skla používaného k zasklívání. Pohlcuje zhruba 50 % infračervených paprsků bez výraznějšího bránění prostupu světla. Zlepšuje tepelnou pohodu v silně prosklených místnostech. Je vhodné pro použití do nemocnic, studoven, škol a kanceláří. v poslední době se k stejnému účelu používají determální fólie dodatečně lepené na běžné okenní sklo.

Zrcadlové sklo (tloušťky max. 8 mm) je oboustranně broušené a leštěné a má velmi dobré optické vlastnosti. Barva skla bývá čirá, bronzová, zelená, modrá nebo šedá.

Bezpečnostní vrstvené sklo se vyrábí plošným spojením dvou nebo více tabulí skla jednou nebo více vrstvami polyvinylbutyralové fólie. Dojde-li k rozbití skla, ulpí střepy na fólii. Používá se všude tam, kde je zvýšené nebezpečí rozbití skla s možností úrazu.

Tvrzené sklo se vyrábí řízeným rychlým ochlazením, které způsobí vnesení trvalého tlakového napětí do povrchových vrstev skla. Při rozbití se rozpadá na neostré úlomky. Tvrzená skla se dodatečně nedají upravovat, tj. řezat a vrtat. Používají se v místech zvýšeného nebezpečí rozbití skla mechanickým nebo tepelným namáháním - celoskleněné dveře, portály, schodišťová zábradlí, fasádní skla a skladby izolačních skel.

Vrstvené neprůstřelné sklo je tvořeno několika silnějšími tabulemi plošně spojenými polyvinylbutyralovou fólií. Výsledná tloušťka spojených skel odolává útokům střelnými zbraněmi. Používá se na výlohy bank a obchodů s cenným zbožím.

Druhy plochého skla taženého *Tab. 4.41*

| Druh skla | Tloušťka skla (mm) | Rozměr tabulí (mm) | Použití skla |
|---|---|---|---|
| Tenké | 0,7 – 1,35 | 680 x 1600 | výjimečně |
| Střední | 2, 3, 4 | 1 600 – 1 800 x 1 800 – 2 500 | pro běžné zasklívání okenních a dveřních otvorů |
| Tlusté | 5, 6, 7 | 1 600 – 2 500 x 2 500 – 4 000 | zasklívání výloh, leštěné sklo apod. |

### 4.3.3.2 Ploché válcované sklo

Ploché válcované sklo se vyrábí jako vzorované a surové lité kontinuálním válcováním mezi dvěma kovovými válci. Používá se k zasklívání konstrukcí (světlíků, dveří, vrat, stěnových přepážek apod.) uvnitř i vně budov. Propustnost plochých válcovaných skel je 75 – 88 % a tyto skla jsou neprůhledná.

Drátové sklo je ploché válcované sklo, do kterého se při výrobě tabulí zaválcuje rovnoběžně s povrchem drátěná síť, která zajišťuje soudržnost tabule při rozbití.

Používá se pro zasklívání průmyslových hal, skladišť, světlíků, balkonů, schodišť, výtahových šachet a případně i jako vnější fasádní obkladový materiál v kovových rámech.

Opakní sklo je druh neprůhledného nebo slabě průsvitného barevného skla, které se vyrábí litím s jednou plochou hladkou a druhou rýhovanou pro lepší přilnavosti k lepicímu materiálu na rýhovanou desku. Lícní strana se leští plamenem. Je neprůsvitné a v celé hmotě barevné. Dodává se ve formě obkladaček. Jeho výhodou je snadné mytí a stálá barva. Používá se na vnitřní obklady stěn s vysokými požadavky na hygienu. Není vhodné pro vnější obklady, kde praská a odpadává.

#### 4.3.3.3 Speciální druhy skel

Sklo ohýbané vzniká technologií ohýbání tabulí skel do žádaného válcového ohybu pomocí speciálních forem. Lze ohýbat skla monolitická hladká, vzorovaná, matovaná i barevně pojednaná nebo skla vrstvená s fólií čirou, popř. barevnou, skla opakní a skla s drátěnou vložkou. Lze je použít pro fasádní prvky, výkladní skříně, ochozy, prodejní pulty, dekorativní prvky apod.

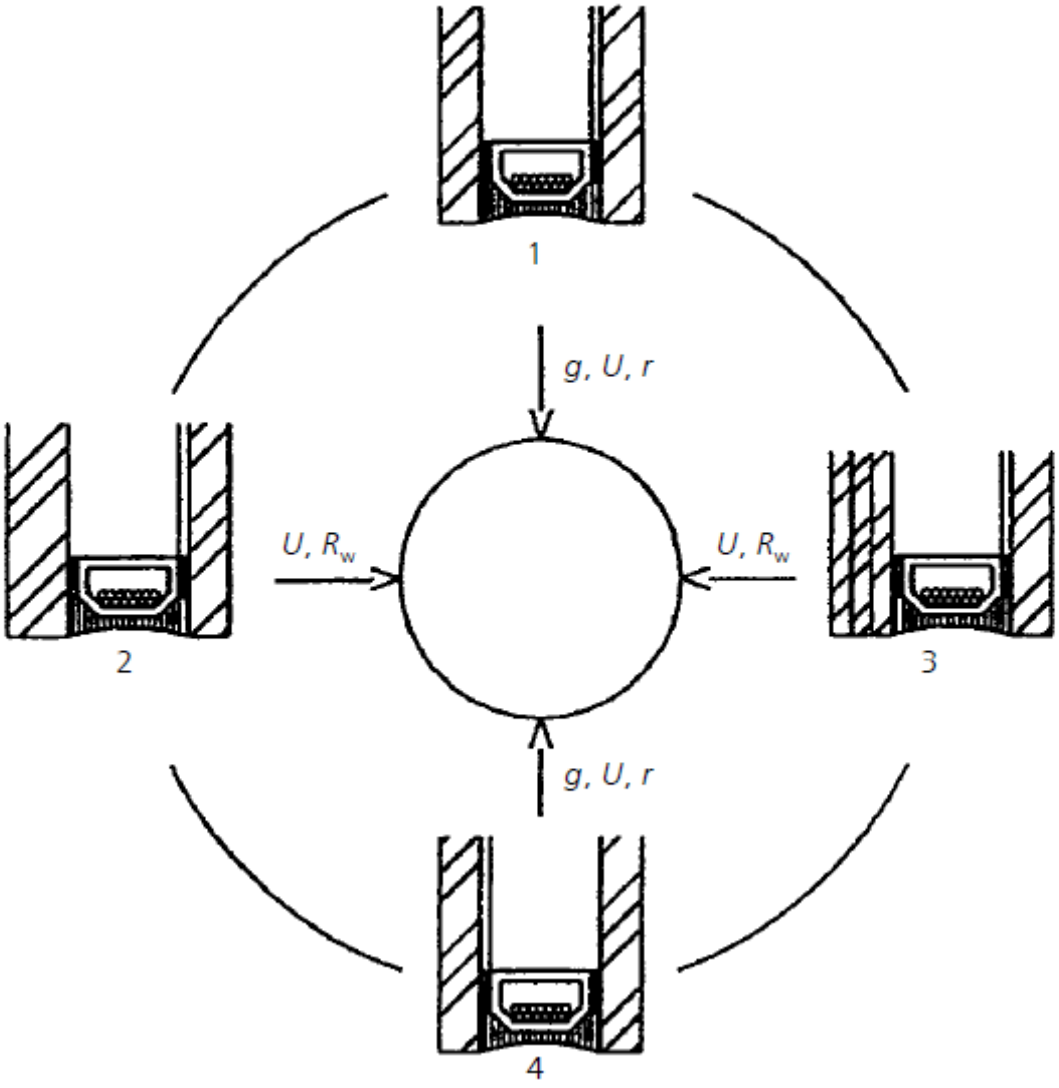
#### 4.3.3.4 Zasklení

Jednoduché zasklení se skládá z jedné skleněné tabule, kterou může tvořit sklo ploché (float), sklo ploché tažené, sklo lité (válcované, válcované opakní, válcované s drátěnou vložkou), sklo bezpečnostní (tvrzené, vrstvené, vrstvené neprůstřelné), sklo absorpční, sklo reflexní, sklo se zvýšenou požární odolností a sklo ohýbané.

Vícenásobné zasklení představují skleněné tabule s více nebo méně dokonale uzavřeným prostorem vyplněným vzduchem. Skládají se ze dvou nebo více skleněných tabulí plochého skla (stejných nebo rozdílných vlastností), oddělených otevřenými distančními profily (z kovu nebo plastu) různé šířky, hermeticky uzavřených těsnicími materiály (těsnicí profily, trvale pružné tmely) s definovanými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi a ze systému jedné nebo vícenásobných dutin plněných vzduchem nebo jiným vhodným plynem (izolační dvojsklo, trojsklo).

Vlastnosti skla typu float umožňují realizaci uzavřených izolačních jednotek, které se skládají ze dvou nebo více skel oddělených distančními profily s hermeticky uzavřenou vzduchovou dutinou nebo dutinou vyplněnou inertními plyny.

Požadavky kladené na zasklení výplní otvorů jsou:
- tepelně-technické (součinitel prostupu tepla u ($W.m^{-2}.K^{-1}$)),
- akustické (vážená vzduchová neprůzvučnosti $R'_w$ ),
- požárně-bezpečnostní,
- optické a energetické (např. činitel světelné propustnosti),
- bezpečnostní.




*Obr. 4.51* Základní vlastnosti izolačních dvojskel [Puškár, A., Fučila, J, Szomolányová, K., Mrlík, J., 2003]

1 - tepelná izolace, 2 - tepelná a zvuková izolace, 3 - bezpečnostní sklo, tepelná a zvuková izolace, 4 - solární reflexní izolační sklo

#### 4.3.3.4.1 Izolační skla s tepelnou ochranou (nízkoemisní zasklení)

Nízkoemisní zasklení vzniká pokovováním na vnějším povrchu (ze strany vzduchové vrstvy) vnitřního skla . Tato úprava odráží dlouhovlnné infračervené záření, a tím zabraňuje úniku sálavého tepla z interiéru. Snižuje ztráty tepla a snižuje spotřebu energie potřebnou na vytápění topení. Pokovení se provádí pomocí tenké vrstvičky oxidů kovů, která má vysokou prostupnost světla ve viditelné oblasti spektra. Existují dvě metody pokovování, tzv. měkká a tvrdá. u měkkého pokovování se dosahuje lepších tepelně izolačních vlastností (nižšího součinitele prostupu tepla).

Pro další zkvalitnění tepelně izolačních vlastností zasklení lze použít místo vzduchové vrstvy inertní plyny (argon, xenon, krypton apod.).

Součinitel prostupu tepla $U_g$ izolačních dvojskel plněných různými plyny *Tab. 4.42*

| Zasklení | | | Druh plynové výplně (koncentrace plynu ≥ 90 %) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Sklo | Normálová emisivita | Rozměry (mm) | Vzduch | Argon | Krypton |
| Nepokovené sklo | 0,89 | 4 – 6 – 4 | 3,3 | 3,0 | 2,8 |
| | | 4 – 9 – 4 | 3,0 | 2,8 | 2,6 |
| Jedna tabule skla | ≤ 0,4 | 4 – 6 – 4 | 2,9 | 2,6 | 2,2 |
| | | 4 – 9 – 4 | 2,6 | 2,3 | 2,0 |
| Jedna tabule skla | ≤ 0,2 | 4 – 6 – 4 | 2,7 | 2,3 | 1,9 |
| | | 4 – 9 – 4 | 2,3 | 2,0 | 1,6 |
| Jedna tabule skla | ≤ 0,1 | 4 – 6 – 4 | 2,6 | 2,2 | 1,7 |
| | | 4 – 9 – 4 | 2,1 | 1,7 | 1,3 |
| Jedna tabule skla | ≤ 0,05 | 4 – 6 – 4 | 2,5 | 2,1 | 1,5 |
| | | 4 – 9 – 4 | 2,0 | 1,6 | 1,3 |

#### 4.3.3.4.2 Izolační skla s protisluneční ochranou

Aplikací izolačního skla s protisluneční ochranou lze dosáhnout snížení tepelných zisků ze slunečního záření. Nahrazením vnější tabule izolačního skla sklem s reflexními nebo absorpčními vlastnostmi se odbourají nepříznivé vlivy nadměrného slunečního záření.

Existuje řada skel s protisluneční ochranou, která lze rozdělit do dvou skupin:

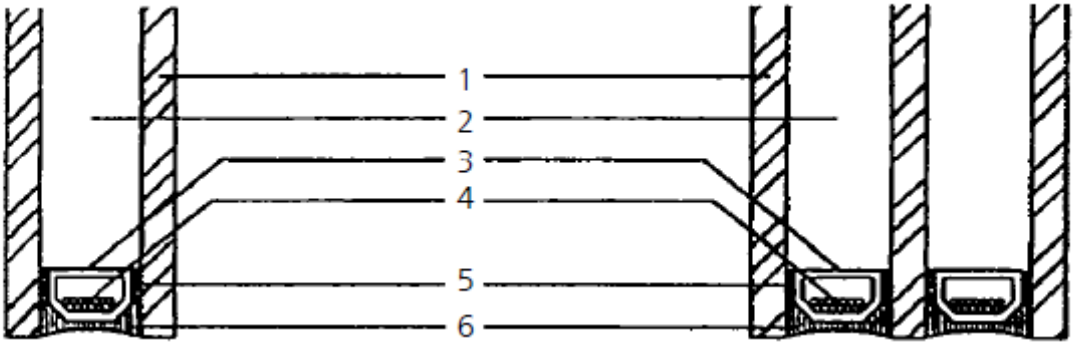
- systémy zasklení s protisluneční ochranou s aplikací vnějšího skla barveného v hmotě (bronzová, zelená, šedá apod.) s absorpční charakteristikou,
- systémy zasklení s protisluneční ochranou s aplikací vnějšího skla čirého barveného v hmotě s absorpční i reflexní charakteristikou.

#### 4.3.3.4.3 Izolační skla s tepelnou a protisluneční ochranou

Aplikací selektivních mikrovrstev na jedné straně nebo více skleněných tabulí významně snižuje účinek sluneční radiace na vnitřní klima budov, ale stejně tak radiační složku odcházejícího tepla z budov.

Dvojnásobné systémy zasklení izolačních skel s integrovanou protisluneční a tepelnou ochranou jsou nejčastěji koncipovány jako:

• dvě selektivní mikrovrstvy orientované do uzavřeného prostředí, tedy se selektivními mikrovrstvami vytvořenými na obou tabulích dvojnásobného systému zasklení,
• jedna selektivní mikrovrstva umístěná zpravidla na vnitřním povrchu vnějšího skla.




*Obr. 4.52* Řezy izolačními skly [Pytlík, P., 1995]

1 – sklo, 2 – prostor mezi skly (vzduch, inertní plyny), 3 – distanční rámeček, 4 – absorpční materiál, 5 – trvale plastický tmel

#### 4.3.3.4.4 Izolační skla se zvukovou ochranou

Zvukově izolační sklo je speciální izolační sklo, které má vynikající vlastnosti zabraňující šíření hluku vzduchem z prostředí do prostředí. Používá se tam, kde se kladou vyšší nároky na zvukovou izolaci v blízkosti frekventovaných cest, železnic, letišť apod. Pomocí tohoto skla lze dosahovat hodnot vážené vzduchové neprůzvučnosti $R´_w$ v rozsahu 37 až 49 dB, velikost neprůzvučnosti závisí na konstrukčním řešení dvojnásobného systému zasklení. Určujícími prvky tohoto řešení jsou:

- vzdálenost mezi skly $d$ (m) dvojnásobného systému zasklení,
- tloušťka skel ($h_1$ + $h_2$) (mm) a plošná hmotnost skel (kg.m$^{-2}$),
- uzavřené prostředí (vzduch, plyn, vhodná směs plynů) mezi skly.

Vzájemné působení skleněných tabulí izolačních skel se může eliminovat tloušťkou skel a jejich vlastní konstrukcí z hlediska:

- tloušťky asymetrickou skladbou dvou monolitických skel,
- tloušťky asymetrickou skladbou vrstveného skla a monolitického skla,
- tloušťky asymetrickou skladbou dvou vrstvených skel.

#### 4.3.3.4.5 Bezpečnostní zasklení

Izolační skla ve formě bezpečnostních systémů zasklení se koncipují v závislosti na potřebné úrovni bezpečnosti a v závislosti na stupni rizika ohrožení.

Požadavky na odolnost systému zasklení jsou velmi rozdílné a odpovídá jim i široká škála bezpečnostních systémů zasklení, klasifikovaných z hlediska jejich odolnosti do čtyř základních tříd:

- třída A - bezpečnostní systémy zasklení odolné proti hozenému předmětu,
- třída B - bezpečnostní systémy zasklení odolné proti přeřezání skla ostrým předmětem v otvoru s rozměry 400 x 400 mm,
- třída C - bezpečnostní systémy zasklení odolné proti střelným zbraním,
- třída D - bezpečnostní systémy zasklení odolné proti účinkům exploze z nálože výbušniny.

Základní normy, které předepisují postup zkoušení bezpečnostní odolnosti ve smyslu výše uvedených tříd, jsou ČSN 73 2035, ČSN EN 356, ČSN EN 1063 a ČSN EN 13541.

#### 4.3.3.4.6 Protipožární zasklení

Koncepční řešení soudobých protipožárních systémů zasklení je založeno na použití průhledných želatinových hmot na bázi vody, ze kterých se mezi skleněnými tabulemi zasklení vytváří tak zvaná bezpečnostní vrstva.

Protipožární zasklení představuje poměrně robustní prvek s plošnou hmotnostní cca 50 – 150 $kg.m^{-2}$. Celková tloušťka zasklení se pohybuje přibližně od 30 mm do 60 mm. Světelná propustnost je okolo 75 %. Index neprůzvučnosti $R_w$ činí asi 38 – 46 dB. Součinitel prostupu tepla protipožárního zasklení činí za normálních podmínek přibližně 2,7 $W.m^{-2}.K^{-1}$.

Vrstvené protipožární sklo v případě požáru reaguje takovým způsobem, že skleněná tabule blíže k požáru (při teplotě cca 120 ºC) praskne. Bezpečnostní vrstvy teplem pění a napěněním se rozpínají, přitom přecházejí z průhledné formy na neprůhledný ochranný štít.

Protipožární skla mají vynikající protihlukové vlastnosti a poskytují nezkreslený průhled. v případě potřeby je možné při výrobě protipožárních skel do celé sestavy zařadit skla protisluneční, nízkoemisivní, bezpečnostní nebo skla barevná.

V mnoha případech je použití protipožárních skel nezbytné pro splnění stavebních norem, zaměřených proti šíření ohně a zajišťujících možnost bezpečné evakuace budovy.

Při hodnocení protipožárních zasklení se používá celá řada časových kritérií, které musí požárně vyhovující zasklení splnit. Protipožární vlastnosti zasklení se klasifikují příslušným písmenným kódem kritéria, doplněným číslem, vyjadřujícím dobu v minutách, po kterou výrobek danému kritériu vyhovuje (např. EW 45 nebo EI 90).

Základní je kritérium celistvosti (E). Vyjadřuje časový interval, během něhož sklo nepraskne, a tedy nepropustí plamen, kouř ani horké plyny.

Druhým kritériem je kritérium snížené tepelné radiace (EW). Vyjadřuje interval, po který sklo splňuje kritérium celistvosti a navíc omezuje přenos tepla zářením, a tak umožňuje bezpečnou evakuaci budovy.

Nejnáročnější požadavek představuje kritérium celistvosti a izolace (EI). Udává se jako interval, po který sklo splňuje obě předcházející kritéria a navíc nepřenáší teplo vedením. Izolační funkce zasklení zamezuje během tohoto intervalu nebezpečí vznícení hořlavých materiálů na chráněné straně a umožňuje bezpečnou a klidnou evakuaci (viz též kap. 3.11).

Charakter požární dělicí konstrukce mají pouze zasklení typu EI.

#### 4.3.3.4.7 Systémy zasklení se speciálními vlastnostmi

Zasklení označované jako tepelné zrcadlo (heat mirror) tvoří fólie pokrytá nízkoemisivní vrstvou, která je napnuta uvnitř izolačního dvojskla. Výsledkem je třívrstvý systém se dvěma nezávislými komorami, který je analogií izolačního trojskla, má však hmotnost izolačního dvojskla.

Fólie je dobře průhledná pro viditelné světlo, ale odráží tepelné a ultrafialové záření. Nízkoemisní vrstva pokrývající fólii je tvořena šesti až dvanácti různými vrstvami stříbra a oxidu india. Toto pokrytí má tloušťku několika atomů a je téměř neviditelné pouhým okem. Celé zasklení mívá jen nepatrný kouřový nádech.

Nízkoemisní vrstva způsobuje selektivní odraz, absorpci, nebo propustnost elektromagnetického záření o určitých vlnových délkách. Její složení je voleno tak, aby umožnila světlu procházet oknem a zároveň odrážela vzdálené infračervené záření (teplo přenášející záření) a škodlivé ultrafialové záření.

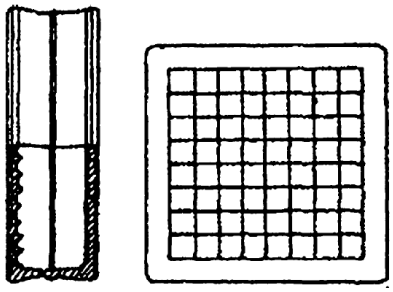
Izolační skla s takto upravenou fólii skutečně fungují jako tepelné zrcadla. Odrážejí tepelné záření zpět ke zdroji. v létě tedy omezují nežádoucí průnik tepla do místnosti a v zimě naopak omezují únik tepla z vytápěné místnosti.

V závislosti na typu fólie a celkovém technickém provedení lze u izolačního dvojskla s vloženou nízkoemisní fólií dosáhnout součinitele prostupu tepla o velikosti až 0,3 $W.m^{-2}.K^{-1}$.

### 4.3.3.5 Tvarované sklo

Stavební prvky z tvarovaného skla se vyrábějí jako duté (svařované, otevřené), plné, korýtkové, tašky a trouby. Nejčastěji se vyskytují v podobě skleněných tvárnic. Skleněné tvárnice jsou používané na sklobetonové konstrukce stěn, stropů, kleneb a bání. Zde mohou být jako staticky spolupůsobící s betonovou výplní nebo tvoří pouze průsvitnou výplň.

*Duté skleněné tvarovky* jsou někdy označovány jako *stěnovky* nebo *luxfery* (původně firemní název). Dodávají se jako uzavřené nebo otevřené duté tvárnice v různých barvách čtvercového nebo obdélníkového tvaru. Lícní plocha tvárnic je hladká s různým vzorováním průhledové části, boční stěny jsou upraveny pro zlepšení přilnavosti k pojivu postřikem. Čtvercové tvárnice jsou rozměrů 190 x 190 x 60 (80) mm a obdélníkové 240 x 115 x 80 mm. Používají se pro konstrukce vnějších i vnitřních stěn a výplní otvorů. Nesmějí se používat pro konstrukce nosné.



*Obr. 4.53* Skleněná tvarovka stěnová

*Plné skleněné tvarovky* se vyrábějí z neobarveného skla. Používají se jako stěnovky, dlaždice, vlýsky a čočky. Dlaždice jsou určeny pro vnější i vnitřní dlažbu, vlýsky a čočky na konstrukce podlah a stropů v místnostech, kde požadujeme prosvětlení pod nimi ležících prostor.

Válcováním do tvaru korýtka šířky 250 a 500 mm, hloubky 40 - 50 mm, délky 1000 až 3000 mm při tloušťce skla 6 mm se vyrábějí *copility*. Používají se k zasklívání příček, otvorů, stěn, střech, a to v jednoduchém nebo dvojitém provedení. Mají velmi dobré zvukově i tepelně izolační vlastnosti a propustnost světla 80 až 88 %.

K prosvětlení půdních prostorů se někdy namísto střešních okének používají *skleněné tašky*. Jsou to výlisky ze skla, jejichž tvar i rozměry jsou stejné jako u pálených keramických tašek, zpravidla bobrovek, nebo tašek drážkových.

### 4.3.4 Pěnové sklo

Pěnové sklo je anorganický pórovitý materiál s tepelně izolačními vlastnostmi, který má na rozdíl od ostatních tepelně izolačních materiálů vysokou pevnost v tlaku. Jeho výroba se datuje od čtyřicátých let dvacátého století, kdy se používal jako náhrada korku při stavbě lodí. u nás se pěnové sklo začalo vyrábět v padesátých letech pod názvem Spumavit. Výroba v Řemenici u Teplic však byla zastavena a pěnové sklo se k nám pouze dováželo.

Snaha o recyklaci odpadního skla nakonec vedla k zavedení nové výroby kusového pěnového skla v Příbrami (Refaglass) a v Klášterci na Ohří (Foamglas). V Chrudimi se vyrábí drť z pěnového skla (GeoCell).

Pěnové sklo se vyrábí v uzavřených formách při teplotě cca 1000 °C. Vychází se z umletých skleněných střepů (s případnou přísadou sklářského písku) a uhlí.

Při ohřevu, vedoucím k roztavení silikátové násady, uhlí hoří a vzniklými zplodinami hoření dojde až k dvacetinásobnému k napěnění taveniny a ke vzniku pórovité pěnové struktury.

Velikost výrobků je omezena velikostí forem. Běžné jsou výrobky o rozměrech 600 x 450 mm, 300 x 450 mm, 1200 x 600 mm a tloušťkách od 30 do 160 mm.

Během let technologie výroby pěnového skla prošla značným vývojem a klíčové parametry vyráběného pěnového skla se zlepšily o 50 až 100 %.

Charakteristické vlastnosti soudobého pěnového skla:

- součinitel tepelné vodivosti (0,038 – 0,049 $W.m^{-1}.K^{-1}$),
- pevnost v tlaku (0,7 – 1,6 MPa),
- vodotěsnost a nenasákavost,
- parotěsnost a neprodyšnost vůči vodním parám ($\mu = \infty$),
- nehořlavost,
- biologická odolnost,
- tvarová stálost,
- chemická odolnost,
- snadná opracovatelnost,
- ekologická nezávadnost (recyklovatelnost).

Pěnové sklo je možno upravovat do potřebných tvarů a rozměrů řezáním ruční pilou podobně jako na dřevo.Vynikající je jeho nehořlavost (třída a dle ČSN 73 0823) a odolnost vůči působení chemikálií v kapalném i plynném stavu. Bez problémů odolává ropných produktům, ředidlům a běžným kyselinám, s výjimkou kyseliny fluorovodíkové.
Pěnové sklo se používá v pozemních stavbách především do tepelně izolačních vrstev střech, podlah, stěn a podhledů. Díky vysoké mechanické odolnosti se hodí i do střech pochůzných a pojízdných.

Při pokládání desek pěnového skla, tvořících jednu z vrstev střešních konstrukce, se nejčastěji postupuje tak, že se tyto desky celoplošně lepí do asfaltu, styčné spáry a povrch se zalévají asfaltem. Tím se zároveň získá dokonalá hydroizolační vrstva.

Ve srovnání s běžnými tepelně izolačními materiály má pěnové sklo poměrně vysokou cenou a v nenáročných aplikacích není proto z cenového hlediska konkurence schopné. Je to však téměř nenahraditelný materiál při izolování za extrémních teplo, neboť může být vystaven teplotám od –260 ºC do +430 ºC.

Orientační rozsahy velikostí vybraných vlastností pěnového skla *Tab. 4.43*

| Vlastnost | Jednotky | Obvyklý rozsah velikostí vlastností |
|---|---|---|
| Objemová hmotnost | $kg.m^{-3}$ | 120 – 175 |
| Měrná tepelná vodivost při 0 °C | $W.m^{-1}.K^{-1}$ | 0,038 – 0,049 |
| Měrná tepelná vodivost při 10 °C | $W.m^{-1}.K^{-1}$ | 0,040 – 0,050 |
| Měrná tepelná kapacita | $kJ.\ kg^{-1}.K^{-1}$ | 0,84 |
| Faktor difuzního odporu | – | ∞ |
| Pevnost v tlaku | MPa | 0,7 – 1,6 |
| Pevnost v ohybu | MPa | 0,3 – 0,6 |
| Modul pružnosti | MPa | 800 – 1500 |
| Součinitel lineární teplotní roztažnosti | $K^{-1}$ | $8,3.10^{-6} – 9,0.10^{-6}$ |
| Maximální teploty použití | °C | od –260 do +430 |
| Hořlavost (podle ČSN 73 0823) | stupeň hořlavosti | A |

### 4.3.5 Skleněná vlákna

Možnost výroby vláknitých materiálů ze skla otevřela široké pole výrobě poměrně levných a zajímavých materiálů. První skleněná vata se sice objevila na trhu už v roce 1910, širší uplatnění jako tepelný izolant však našla až za první světové války.

#### 4.3.5.1 Výrobky z krátkých skleněných vláken

Technologie výroby skleněné střiže používané hlavně za účelem tepelné izolace je obdobná technologii používané k výrobě minerálních vláken (obr. 4.54 b,c).

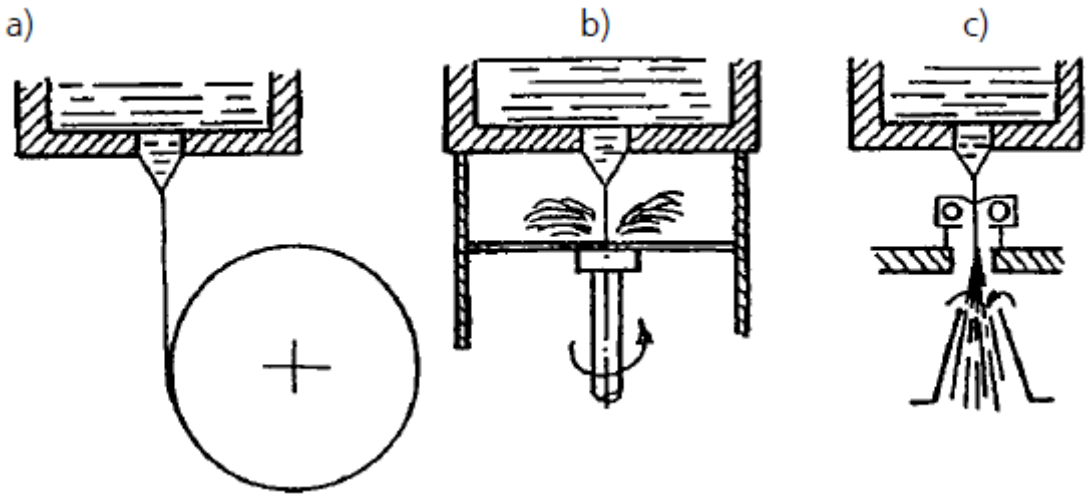
Roztavená surovina je rozfoukávána na vlákna o průměru 3 až 7 μm, která se ukládají v požadované tloušťce na nepřetržitě se pohybující pás.

O izolačních skleněných vláknech platí v podstatě vše, co již bylo uvedeno o vláknech minerálních v kap. 4.1.4.

Rovněž sortiment vyráběných výrobků je v podstatě identický. Jen zřídka se dnes skleněná izolační vlákna dodávají jako volná vlna, cpaná do pytlů a určená k ručnímu vyplňování dutin nebo obalování izolovaných prvků.

Moderní způsoby zpracování dávají přednost zpevnění vznikajícího vláknitého koberce postřikem syntetické tvrditelné pryskyřice (obvykle fenolformaldehydové) a příslušná část výrobní linky se prakticky neliší od analogické části výrobní linky používané při výrobě vláken minerálních.

Výrobní sortiment tvoří měkké ohebné rohože (pásy) jejichž objemová hmotnost začíná na hodnotě 15 kg.m$^{-3}$ a polotuhé až tvrdé desky s objemovou hmotností dosahující 250 kg.m$^{-3}$.




*Obr. 4.54* Způsoby výroby skelných vláken [Puškár, A., Fučila, J, Szomolányová, K., Mrlík, J., 2003]

taháním, b) odstřeďováním, c) rozfukováním

V USA se volná skleněná vlna, smísená ve speciální stříkací pistoli s polyvinyacetátovým pojivem, stříká na interiérové povrchy stavebních konstrukcí. Vytvořená vrstva slouží jako tepelná, akustická a protipožární izolace. Tyto nástřiky jsou údajně používané i k náhradě hygienicky nevyhovujících protipožárních vrstev na bázi azbestu.

Před zavedením takovéto technologie u nás by bylo jistě potřebné předchozí posouzení našimi orgány hygienického dozoru.

Izolační výrobky ze skleněných vláken mají dobrou odolnost v běžném rozsahu teplot. Při zahřívání na teploty vyšší než 250 ºC může dojít k tepelnému rozkladu, doutnání až vznícení pryskyřičného pojiva stejně jako u výrobků z vláken minerálních.

Podle obsahu pryskyřice jsou výrobky ze skleněných vláken klasifikovány jako nesnadno hořlavé (stupeň B) nebo jako hořlavé (stupeň C). z důvodu nebezpečí rozkladu organického pojiva nesmějí být používány na izolace přicházející do styku s kapalným kyslíkem a dalšími oxidačními činidly.

I všechny ostatní vlastnosti jsou podobné výrobkům s minerálními vlákny. Izolační výrobky ze skleněných vláken mají výbornou prodyšnost a vysoký součinitel difúze vodní páry. Jsou nasákavé a s tím je třeba počítat při jejich skladování, manipulaci i zabudování. Nasákavost vláknité struktury výrobci snižují hydrofobizací.

Krátká skleněná izolační vlákna se spolu s vlákny minerálními počítají do širší skupiny umělých anorganických vláken (MMF – man made fibers). v řadě běžných použití se mezi jednotlivými druhy těchto vláken v podstatě nerozlišuje. Dnes tak mnohdy nečiní ani výrobci. Informace o použití výrobků ze skleněných vláken obsažené v této kapitole je proto možno doplnit informacemi o použití vláken minerálních z kap. 4.1.4.

### 4.3.5.2 Výrobky z dlouhých skleněných vláken

Technologií nepřetržitého navíjení (obr. 4.53 a) se vyrábí dlouhé (nekonečné) skleněné vlákno nazývané *rayon*. Dlouhé vlákno je možné připravit i textilním zpracováním skleněné střiže.

Většina skleněných vláken se vyrábí rychlým tažením z taveniny (rychlostí až 7 $m.s^{-1}$). Skleněné vlákno se tak protáhne na průměr v rozmezí 3,5 až 20 μm. O konečné hodnotě průměru rozhoduje viskozita taveniny a rychlost změny viskozity s teplotou. Obojí závisí na chemickém složení skla.

Většina skleněných vláken se vyrábí z tzv. E-skla s vysokým elektrickým odporem a dobrými tvářecími charakteristikami. E-sklo vychází z eutektického systému CaO-$Al_2O_3$-$SiO_2$, který vzniká při poměru 62 : 14,7 : 23,3. Obsah alkálií ($Na_2O$ + $K_2O$) je pod 2 %. Vlákna z E-skla mají slabou chemickou odolnost kyselinám, alkáliím (slabým i silným), ale dobře odolávají vodě.

Najednou je taženo několik desítek až stovek vláken zvaných též fibrily. Obvyklý počet je okolo 200 současně tažených vláken, jenž dohromady vytvářejí pramenec, který je základní jednotkou pro další výrobky.

Jednotlivá skleněná vlákna působí navzájem silně abrazivně, čímž se značně snižuje výrobní pevnost vláken. Proto se každé vlákno ještě před vytvářením pramence potahuje tenkou ochrannou vrstvou – lubrikací. Lubrikace může být dočasná (např. škrobová), která se po ukončení výroby skleněné výztuže nahradí jinou povrchovou úpravou, nebo může být trvalá.

Rovnoběžně seskupené pramence vytvářejí provazce zvané též roving. Počet pramenců v provazci se pohybuje v desítkách, typickou hodnotou je 60 pramenců. Provazce se užívají pro přímé vyztužování řady výrobků (např. trub a nádrží), k výrobě vyztužujících tyčí, k přípravě sekaného vlákna (délky 5 až 50 mm) či mletého vlákna (délky 0,4 až 4 mm).

V netkaných rounech (rohožích) jsou pramence náhodně ukládány do roviny tak, aby bylo dosaženo stejné distribuce vláken ve všech směrech, a jsou prošity. Netkaná rouna jsou vyráběna různým způsobem, obvykle s plošnou hmotností 20 – 200 $g.m^{-2}$. Sdružením pramenců kroucením vzniká příze a následným sdružením příze vznikají skleněné nitě. Ze skleněných nití je možno vyrobit řadu různých tkanin, běžně o plošné hmotnosti 50 – 1000 $g.m^{-2}$.

Skleněné tkaniny se ve stavebnictví používají na výrobu tapet, promítacích pláten a nehořlavých záclon a divadelních opon. Nevýhodou skleněného textilu je malá ohybová pevnost. Skleněné textilie proto špatně snášejí opakované skládaní.

Sekaná vlákna používaná jako výztuž do betonu musí být vyráběna ze speciálního skla se zvýšenou alkalivzdorností. Vlákna se navíc ještě opatřují ochrannou lubrikací.

Zvláště odolná jsou vlákna s vysokým obsahem (19 %) oxidu zirkoničitého ($ZrO_2$). Mají průměr 14 μm a vyrábějí se v délkách 6 – 25 mm. Pramence z těchto vláken obsahují zhruba 200 monovláken a vykazují tahovou pevnost 1720 MPa. Doporučená dávka vláken je podle účelu od 0,9 kg / $m^3$ (pro běžný beton) do 10 kg / $m^3$ (pro rázuvzdornou omítku). Směsi se míchají podle návodu výrobce, pouze je třeba dát pozor na zvýšenou spotřebu vody vzniklou nutností smáčet povrch pramenů vláken.

Plošné výztuže z alkalivzdorných skleněných vláken jsou používány v technologiích tovární výroby cementových kompozitních desek a při kladení samonivelačních hmot. Typická plošná výztuž sestává z 50 mm dlouhých pramenů spojených dohromady ve vodě rozpustným lepidlem. Plošná hmotnosti výztuže je okolo 120 $g/m^2$ . Rohož nemusí být kotvena k podkladu, protože vlny vzniklé po rozvinutí role se rozpadnou jakmile je rohož zalita směsí. Přesto ve směsi zůstane v podstatě rovinná (respektive podklad kopírující) tenká vrstva tvořená náhodně orientovaná vláknitou výztuží. Díky jejímu účinku se oblast použití samonivelačních hmot rozšiřuje i na problematické podklady (např. dřevěné).

Rohože i tkaniny se dále používají při výrobě pryskyřičných laminátů, zejména epoxidových a polyesterových. v houževnaté pojivové matrici se enormní tahová pevnost skleněných vláken plně využije, protože v ní jsou vlákna dobře chráněna

před vrubovým poškozením.

U vláken určených do epoxidových nebo polyesterových pryskyřic se prakticky vždy používá vhodná trvalá lubrikace. Jejím úkolem je zlepšovat v pryskyřičném laminátu adhezi mezi sklem a pryskyřicí. Takováto lubrikace se označuje jako primer.

### 4.3.6 Skleněné mikrodutinky

Skleněné mikrodutinky, zvané též mikrokuličky, jsou sypký materiál tvořený kulovitými skleněnými částicemi o velikosti 10 –120 μm. Částice jsou duté a tloušťka jejich stěny kolísá od 0,5 do 2 μm. Standardní řada produktů zahrnuje objemovou hmotnost částic od 0,125 do 0,6 g.cm$^{-3}$. Izostatická tlaková pevnost se pohybuje mezi 1,7 a 6,9 MPa. Dodávají se v deseti kvalitativních třídách lišících se velikosti a distribucí částic .

Skleněné mikrokuličky se vyrábí z borokřemičitého, chemicky odolného skla (C-sklo). Jsou vodovzdorné, chemicky inertní, mají nízkou povrchovou alkalitu, absorbují málo vlhkosti a mají nízkou tepelnou roztažnost.

Duté mikroskopické kuličky mají velmi nízkou objemovou hmotnost, a jsou proto schopny snižovat hustotu různých kompozitních materiálů, pokud jsou v nich použity jako plniva.

S ohledem na prakticky dokonalý kulový tvar jsou zároveň plnivem, které ve srovnání s jinými plnivy zlepšuje zpracovatelnost a zároveň může zlepšit tepelně izolační vlastnosti.

Při použití do tmelů zlepšují jejich brousitelnost a obrobitelnost. Dají se použít do nátěrových hmot a lepidel jako prakticky nesedimentující plnivo a mohou být použity i do betonu jako provzdušňující přísada.

Je třeba upozornit, že použití skleněných mikrokuliček do interiérových nátěrových hmot nemůže přinést s ohledem na tloušťku běžných nátěrů žádné významné zvýšení tepelného odporu natřené konstrukce. Pocit tepla, který cítíme po přiložení dlaně na takovýto nátěr, souvisí se sníženou hodnotou teplotní vodivosti nátěru a z hlediska energetické bilance místnosti je bezvýznamný. To samé platí i v případě mikrokuliček keramických.

### 4.3.7 Vzdušné sklo

Pod názvem vzdušné sklo (air glass) se vyrábějí transparentní desky z odvodněného křemenného gelu. Výsledný výrobek má charakter pěny z čistě křemenného skla.

I když soudobá výrobní technologie umožňuje vyrobit vzdušné sklo v podobě desek o rozměru až 600 x 600 x 20 mm, nejedná se zatím o výrobek určený pro běžné stavební použití. Tepelná stálost do 750 ºC, povětrnostní odolnost, vynikající útlum zvuku a tepelná vodivost 0,02 W.m$^{-1}$.K$^{-1}$ však naznačují, že je to materiál perspektivní.

Běžně se vyrábí aerogel v granulární podobě se zrny v rozmezí 5 μm – 5 mm a objemovou hmotností 40 – 150 kg.m$^{-3}$. Tento výrobek nachází uplatnění především

jako matovací prostředek a rheologické aditivum v nátěrových hmotách, uplatňuje se však i v kryogenní stechnice jako izolace tepelná a jako akutická izolace.

### 4.3.8 Sklokrystalické desky

Prakticky každý běžný skleněný výrobek je zhotoven zčásti z recyklovaného skla, protože skleněné střepy jsou nedílnou součástí výchozí surovinové násady. Jejich podíl však zpravidla nepřesahuje 30 %. Výjimkou jsou skleněná vlákna kde podíl recyklátu může dosáhnou i 60 %.

Zajímavým výrobkem tvořeným prakticky výlučně z druhotného skleněné suroviny jsou desky ze slinované skleněné drti. Při vysokoteplotním zpracování dochází ke spojení skleněných zrn a vzniká kompaktní sklokrystalická deska. Deska obsahuje barevné i bezbarvé kousky skla a její struktura připomíná umělý kámen.

Chemickou i mechanickou odolností překonávají takto připravené desky běžné obkladové materiály. Základní barevný tón převládající v textuře sklokrystalické desky bývá zelený, hnědý nebo zelenomodrý.

## 4.4 Anorganická pojiva

Termínem pojiva označujeme látky, které lze upravit do tekuté nebo kašovité formy, a které pak z této formy přecházejí relativně snadno do formy pevné. V důsledku tohoto procesu mají schopnost spojit nesoudržná zrna nebo kusy jiných látek v soudržnou hmotu.

V průběhu zpevňovacího procesu rozeznáváme dvě stadia, a to tuhnutí a tvrdnutí. Ve fázi tuhnutí ztrácí tekutá nebo kašovitá forma pojiva svou původní zpracovatelnost a postupně nabývá charakteru pevné látky. V následující fázi tvrdnutí získává takto vzniklá pevná látka vyšší pevnost, která je potřebná při praktickém využití pojiva ve stavební funkci.

Pojiva založená na anorganické bázi ve stavebnictví převažují. Podle stálosti ve vodném prostředí se dělí na pojiva vzdušná a pojiva hydraulická.

Základem většiny anorganických pojiv jsou práškovité látky minerálního původu, které se do kašovité podoby převádějí smísením s vodou. Jejich hlavní složka se získává tepelným zpracováním vhodné přírodní horniny nebo minerální směsi. S ohledem na tradiční použití k přípravě malt se někdy označují jako maltoviny.

K dokonalému vytvrzení vzdušných pojiv dochází pouze na vzduchu, ale ani dokonale vytvrzená vzdušná pojiva nejsou vůči vodě zcela odolná.

Na rozdíl od pojiv vzdušných, jsou hydraulická pojiva schopná dosáhnout trvalé, technicky dostačující, pevnosti i ve vodě. K uspokojivému průběhu tuhnutí hydraulických pojiv dochází sice mnohdy jen na vzduchu, jakmile však vznikne zatuhlá struktura, mohou další hydratační pochody uspokojivě probíhat i pod vodou.

Vznik trvalých, ve vodě nerozpustných, struktur je podmíněn přítomností oxidu křemičitého ($SiO_2$), hlinitého ($Al_2O_3$) a železitého ($Fe_2O_3$). Tyto oxidy proto souhrnně označujeme jako hydraulity.

Pevná struktura ztvrdlého hydraulického pojiva je tvořena především krystalizací hydrokřemičitanů a hydrohlinitanů vápenatých. Význam karbonatizační reakce pro hodnotu výsledné pevnosti hydraulického pojiva není klíčový.

Empirickým ukazatelem hydraulicity pojiva je hydraulický modul, který udává poměr hmotnostního procentního obsahu oxidu vápenatého k celkovému hmotnostnímu procentnímu obsahu všech tří hydraulických oxidů:

$$M_H = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Vzdušné vápno, které má obsah CaO min. 85 %, má $M_H > 6$, hydraulické vápno má $M_H < 6$, portlandský cement $M_H < 2{,}5$ a hlinitanový cement $M_H < 1{,}5$.

### 4.4.1 Vápenosíranová pojiva

Za vápenosíranová pojiva považujeme pojiva, jejichž základní složkou je síran vápenatý ($CaSO_4$). Jsou to pojiva vzdušná. Patří k nim především sádra a anhydritové pojivo. Sádra patří k nejstarším pojivům, které lidstvo používá. Znali a používali ji již staří Egypťané a Asyřané. V Evropě se používá od raného středověku. Síranová pojiva se vyrábí z přírodních minerálů (sádrovce nebo anhydritu) nebo ze syntetických produktů podobného složení, které vznikají nejčastěji jako odpad při různých průmyslových procesech.

Přírodní *sádrovec* (dihydrát síranu vápenatého) vznikl vypařováním slané vody v uzavřených mořích a jezerech.

Chemicky čistý $CaSO_4 . 2H_2O$ obsahuje 20,9 % chemicky vázané vody. Objemovou hmotnost má kolem 2300 $kg.m^{-3}$ a je bílý nebo bezbarvý.

Běžně se nacházející dihydrát obvykle obsahuje určitý podíl hlinitých částic, břidlice, anhydritu, křídy apod. Podle typu a množství nečistot se mění barva minerálu, např. na hnědou, růžovou, šedou. Sochařsky hodnotnou formou $CaSO_4 . 2H_2O$ je bílý alabastr.

Bezvodý přírodní *anhydrit* ($CaSO_4$) vznikl ze sádrovce působením vysokých teplot tlaků, často za spolupůsobení chloridu sodného. Sádrovcem a chloridem sodným jsou přírodní ložiska anhydritu zpravidla výrazně kontaminována.

Chemicky čistý anhydrit má objemovou hmotnost kolem 3000 $kg.m^{-3}$ a jeho barva je bílá. Nečistý anhydrit může mít nejrůznější světlé odstíny (modré, hnědé, červené,šedé).

Další surovinou pro výrobu síranových pojiv může být syntetický sádrovec, vznikající jako vedlejší produkt, např. při výrobě fosfátových hnojiv a kyseliny fosforečné. Větší význam má tzv. energosádrovec, který vzniká při odsiřovacím procesu, zejména v tepelných elektrárnách.

V České republice jsou poměrně malá ložiska přírodního sádrovce (Kobeřice), proto se často používá jako surovina pro výrobu sádry právě energosádrovec.

Výroba a použití síranových pojiv jsou založeny na schopnosti výchozích surovin účinkem tepla uvolňovat krystalicky vázanou vodu a tu opět po přidání vázat a vytvořit pevnou hmotu.

#### 4.4.1.1 Výroba a rozdělení síranových pojiv

Nejběžnější z vápenosíranových pojiv je sádra, chemicky se jedná o polohydrát $CaSO_4 . 0,5\ H_2O$. Proces její výroby z dihydrátu $CaSO_4 . 2H_2O$ (dehydratace) se nazývá *kalcinace a* probíhá podle rovnice:

$$CaSO_4 . 2\ H_2O + \text{teplo} \rightarrow CaSO_4 . 0,5\ H_2O + 1,5\ H_2O$$

Podle způsobu tepelného zpracování vznikají z výchozí suroviny pojiva, která se ve svých vlastnostech podstatně liší. Základními typy pojiv, které při kalcinaci vznikají, jsou $\alpha$-sádra a $\beta$-sádra.

Zatímco β-sádra vzniká pouhým zahříváním sádrovce za normálního atmosférického tlaku, α-sádra je připravována zahříváním za současného zvýšení tlaku.Obě tyto formy mají stejné chemické složení, liší se však stupněm agregace (velikostí krystalů a četností poruch v krystalové mřížce) a z toho vyplývají jejich značně odlišné technologické vlastnosti.

Pro výrobu β-sádry ze sádrovce je žádoucí co nejvyšší obsah dihydrátu. Přítomnost anhydritu by mohla ohrozit výrobní proces, popř. kvalitu produktu.

Za kvalitnější pojivo je obecně považován α-polohydrát, který má hutnější, pravidelné jehlicovité částice a má uspořádanější krystalovou mřížku, která vykazuje po zatvrdnutí kaše větší pevnosti.

Částice β-polohydrátu jsou pórovité a mají nepravidelný tvar. β-polohydrát má větší počet poruch v krystalové mřížce, při stejné zrnitosti má větší měrný povrch než α-polohydrát, a tím i větší potřebu záměsové vody. Z toho pak vyplývá i menší pevnost zatvrdlé β-sádry. Základní rozdíly mezi α- a β-polohydrátem jsou uvedeny v tab. 4.44.

Rozdíly mezi α- a β-polohydrátem *Tab. 4.44*

| | α-hemihydrát | β-hemihydrát |
|---|---|---|
| Velikost částic | malá (10 – 20 μm) | velmi malá (1 – 5 μm) |
| Porozita částic | nízká | porézní |
| Měrný povrch | malý | velký |
| Poruchy v krystalové mřížce | malé | velké |
| Nárůst pevnosti | pomalejší | rychlejší |
| Konečná pevnost | vyšší | nižší |

Kalcinací za vyšších teplot vznikají různé typy anhydritu. Jako první vzniká anhydrit III, který má opět dvě formy – α a β – podle toho, zda vznikl z α- nebo β-polohydrátu. Obě formy jsou nestálé a přeměňují se opět na polohydrát $CaSO_4$ . 0,5 $H_2O$ i vzdušnou vlhkostí.

Anhydrit III přechází po zahřátí na anhydrit II. Podle stupně výpalu se rozlišuje:

anhydrit II-T, těžce rozpustný, vzniklý při teplotě výpalu 200 až 300 °C, jeho reakce s vodou s rostoucí teplotou klesá;

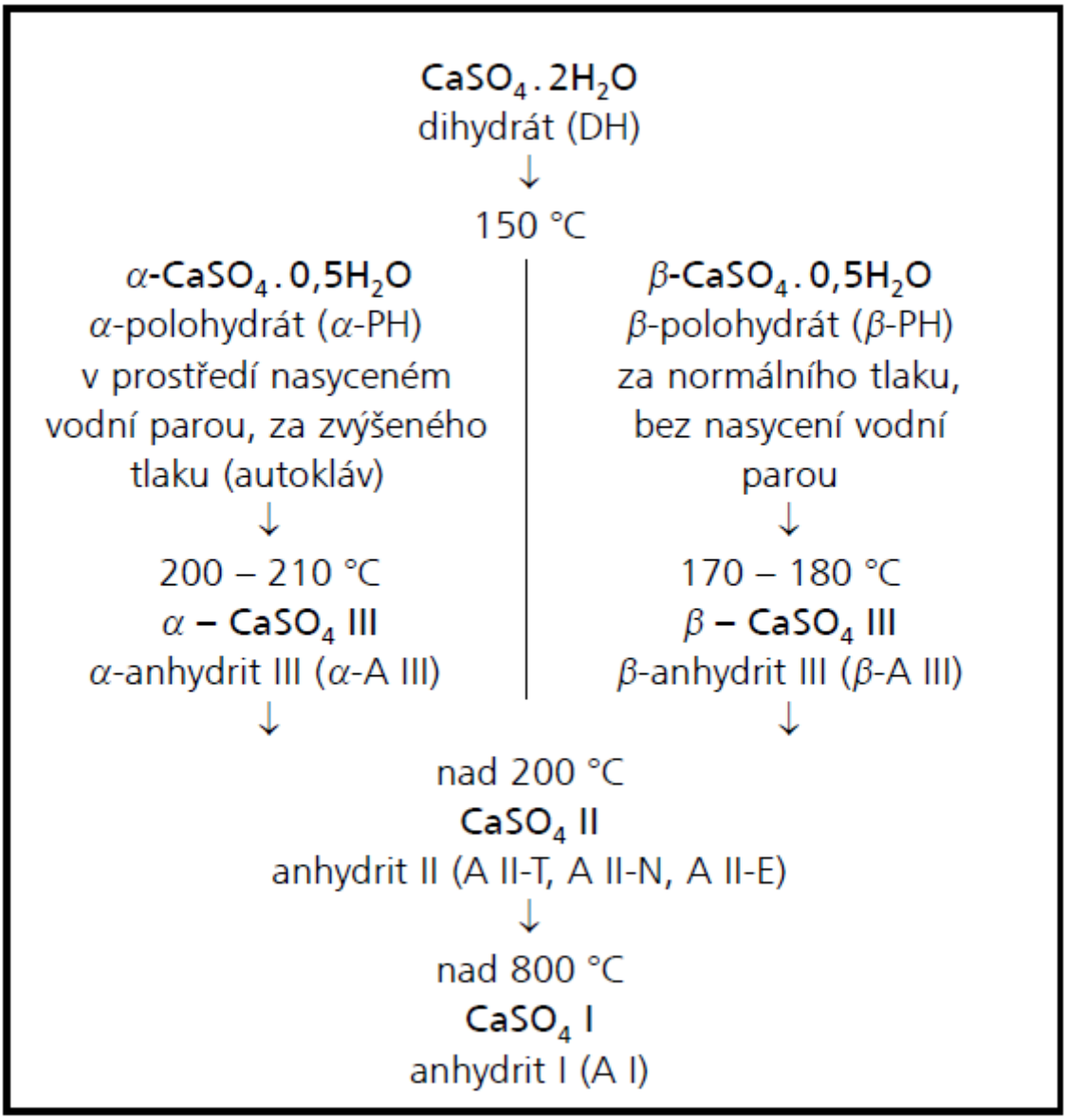
anhydrit II-N, nerozpustný, vzniká při teplotě 300 až 600 °C, s vodou reaguje velmi pomalu;

anhydrit II-E (estrichová sádra), vznikající výpalem nad 600 °C, kdy část a II se rozpadá na CaO a $SO_3$.

Anhydrit II přechází zahřátím nad 1200 °C v anhydrit I, který vždy obsahuje volný CaO. Anhydrit i je nestabilní a ochlazením pod 1200 °C přechází opět na anhydrit III a II.

Celkové schéma dehydratace sádrovce je přehledně popsáno v tabulce 4.45.

Schéma dehydratace sádrovce a vznik forem $CaSO_4$ *Tab. 4.45*




Surovinou pro výrobu sádrových pojiv může být přírodní sádrovec, syntetický sádrovec, někdy i sádrové střepy (např. z keramických forem). Výroba probíhá tak, že se výchozí surovina nejprve upravuje, zbavuje nečistot, drtí a třídí na různou velikost. K tepelnému zpracování upravené suroviny slouží vařáky, autoklávy, rotační pece, šachtové pece (pro výpal nad 500 °C). Vypálená sádra se poté mele na předepsanou jemnost.

### 4.4.1.2 Druhy sádrových pojiv

Sádrová pojiva lze dělit podle mnoha hledisek, např. podle použití, podle způsobu výroby nebo podle technologických vlastností.

Podle použití se sádrová pojiva dělí na stavební sádru (ze které se vyrábí stavební dílce, omítky, štukatérské výrobky, sádrokarton), na technickou sádru, která se používá nejen ve stavebnictví (např. modelová sádra v keramickém průmyslu slouží pro výrobu sádrových forem), na modifikovanou sádru (tj. sádru, do které byly přidány přísady pro zlepšení zpracovatelnosti, přilnavosti apod.). Zvláštní skupinu tvoří složená sádrová pojiva (sádra s přídavkem jiných pojiv).

Doporučování jednotlivých druhů sádry pro různé použití, které uvádí norma ČSN 72 2301 je z dnešního pohledu jen historickou záležitostí. Stále platné a používané však je v normě uváděné dělení jednotlivých druhů stavební sádry podle pevností, podle jemnosti mletí a podle doby tuhnutí.

Rozdělení sádry tuhnutí a podle jemnosti mletí (podle ČSN 72 2301) *Tab. 4.46*

| Druh | Označení | Počátek tuhnutí | Konec tuhnutí max. |
|---|---|---|---|
| rychletuhnoucí | A | 2 min | 15 min |
| normálně tuhnoucí | B | 6 min | 30 min |
| pomalutuhnoucí | C | 20 min | není stanoven |
| Druh | Označení | Zbytek na sítě 0,2 mm nejvýše v % | |
| hrubě mletá | I | 30 | |
| středně mletá | II | 15 | |
| jemně mletá | III | 2 | |

Třídy pevnosti sádry podle ČSN 72 2301 *Tab. 4.47*

| Třída | G-2 | G-3 | G-4 | G-5 | G-6 | G-7 | G-10 | G-13 | G-16 | G-19 | G-22 | G-25 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pevnost v tlaku v MPa | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 10 | 13 | 16 | 19 | 22 | 25 |

Doporučené použití sádry podle ČSN 72 2301 *Tab. 4.48*

| | Použití | Doporučené třídy a druhy |
|---|---|---|
| 1 | Výroba sádrových stavebních výrobků všeho druhu | G-2 až G-7 (A – B – C, I – II – III) |
| 2 | Výroba tenkostěnných stavebních výrobků a dekoračních prvků | G-2 až G-7 (A – B, I – II) |
| 3 | Provádění omítkových prací, spárování, speciální účely | G-2 až G-25 (B – C, II – III) |
| 4 | Výroba forem a modelů v průmyslu (porcelánovém, keramickém, strojním) a v lékařství | G-5 až G-25 (B, III) |
| 5 | Pro lékařské účely | G-2 až G-7 (A – B, II – III) |

### 4.4.1.3 Tuhnutí sádrových pojiv

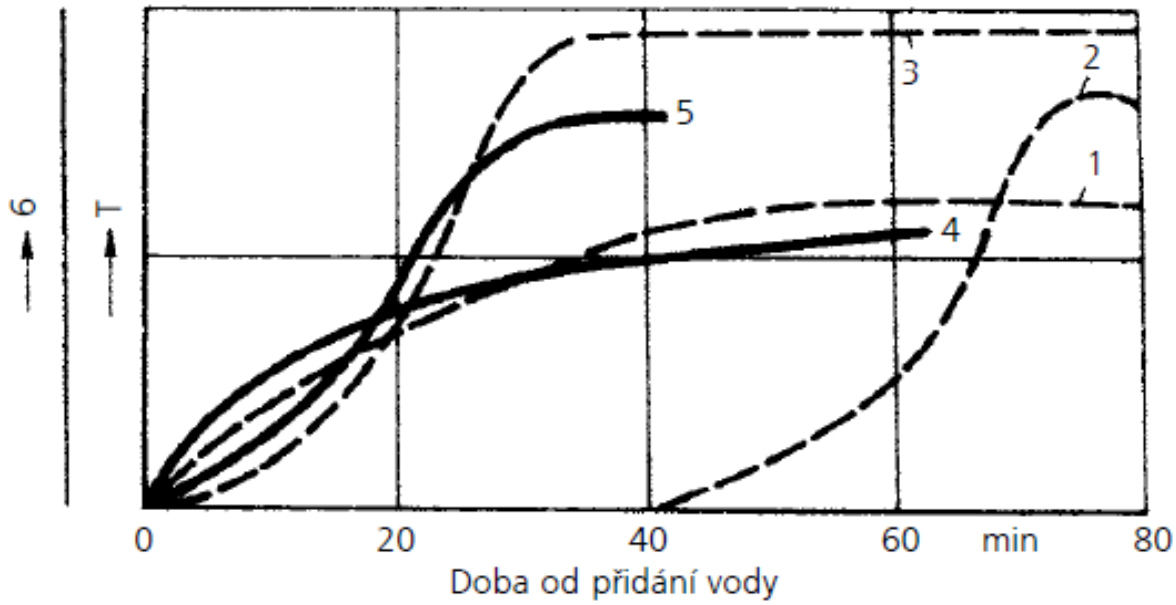
Mechanismus tuhnutí sádry lze zjednodušeně popsat rovnicí:

$CaSO_4 . 0,5\ H_2O + 1,5\ H_2O \rightarrow CaSO_4 . 2\ H_2O$ + teplo

Sádra se po smíchání s vodou rozpustí a vytvoří přesycený roztok, ze kterého vykrystalizuje dihydrát $CaSO_4 . 2\ H_2O$. Krystaly dihydrátu postupně rostou a vzájemně srůstají, čímž vytvářejí pevný produkt.

Pevnost zatvrdlé sádry lze zvýšit jejím vysušením, neboť tak vzniknou z vodného síranového roztoku uloženého mezi krystaly další krystaly sádrovce, které zesilují již existující spojení mezi krystaly.

Rychlost tuhnutí sádry závisí na tom, kolik obsahuje anhydritu. Čím vyšší je teplota výpalu, tím více anhydritu obsahuje a tím pomaleji tuhne. Dobu tuhnutí ovlivňuje řada faktorů. Lze jí zkrátit prodloužením doby míchání směsi, snížením vodního součinitele, zvýšením teploty záměsové vody, přidáním urychlovačů tuhnutí (např. NaCl). Přidáním některých koloidních materiálů (mléka, agaru, kaseinu, keratinu) se doba tuhnutí prodlužuje.




*Obr.4.55* Nárůst pevnosti a průběh teploty u rychle a pomalu tuhnoucí sádry

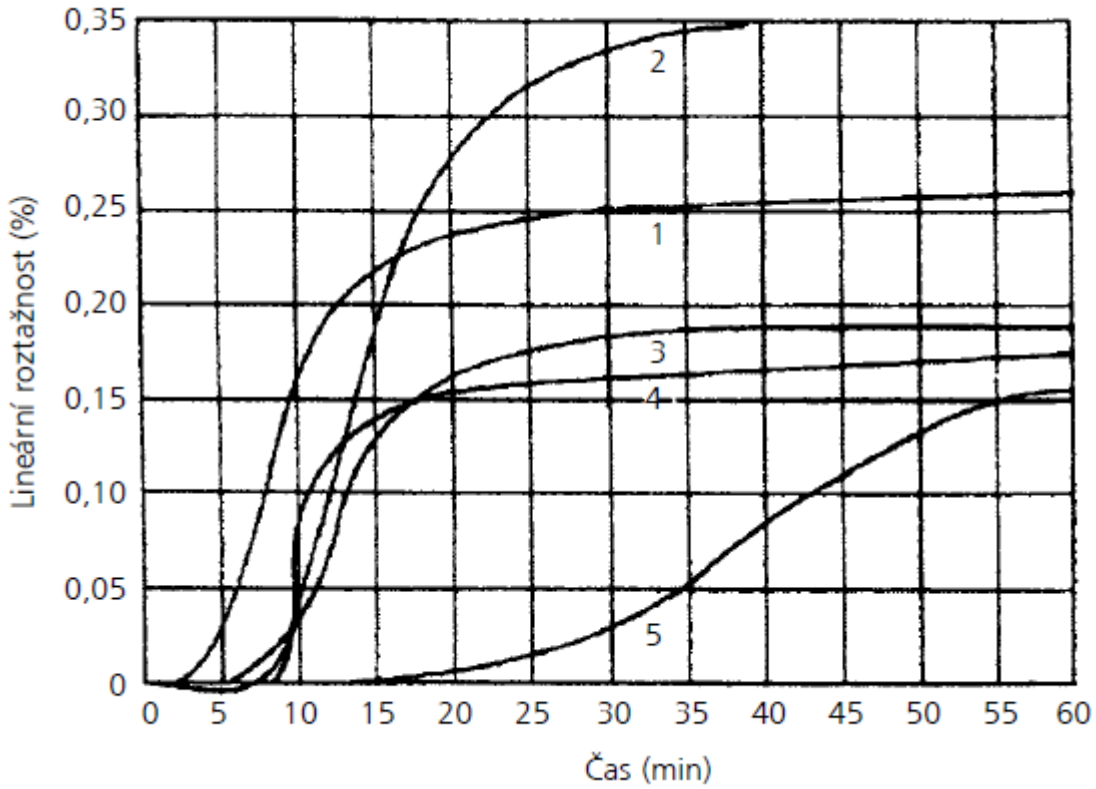
1 – vývin pevnosti u pomalutuhnoucí sádry, 2 – vývin pevnosti u rychletuhnoucí sádry se zpomalovačem, 3 – vývin pevnosti u rychletuhnoucí sádry, 4 – průběh teploty u pomalutuhnoucí sádry, 5 – průběh teploty u rychletuhnoucí sádry

Tuhnutí sádry je provázeno nárůstem objemu. Bezprostředně po rozdělání s vodou dochází ke zmenšení objemu (smrštění), které však probíhá pouze v době, kdy je sádra v plastickém stavu. Se vznikem krystalů dihydrátu dochází potom k mírnému zvětšení objemu (rozpínání).

Velikost nárůstu objemu závisí na jemnosti mletí, na vodním součiniteli, na přídavku zpomalovačů tuhnutí a pohybuje se od 0,1 do 1 % celkového objemu. Sádry s přídavkem zpomalovačů nebo urychlovačů tuhnutí mají většinou objemový nárůst nižší. Zmenšit nárůst objemu lze také přidáním písku nebo vápence.

Nárůst objemu je považován většinou za žádoucí, neboť se při něm dokonale zaplní formy. Jestliže je růstu objemu zabráněno (např. tuhou formou), proběhne vnitřní zhutnění, které vede k vyšší pevnosti, což lze využít například při výrobě stavebních dílů.

Na obr.4.56 je ukázána lineární rozpínavost vybraných sádrových hmot. Hodnoty lineární rozpínavosti jsou ve srovnání s rozpínavostí objemovou třetinové.




*Obr. 4.56* Lineární rozpínavost některých typů sádry během první hodiny tuhnutí

1 – sádra bez zpomalovače, směs normální hustoty (vodní součinitel 0,56), 2 – sádra s vysokým nárůstem objemu, 3 – sádra bez zpomalovače, vodní součinitel 0,6, 4 – sádra se zpomalovačem (0,1 % kasein hydrolyzát), s normální hustotou, 5 – sádra se zpomalovačem (0,8 % želatiny), s normální hustotou

### 4.4.1.4 Mechanické vlastnosti zatvrdlé sádry

Základní mechanickou vlastností sledovanou u sádry je její tlaková pevnost. V závislosti na jakosti (pevnostní třídě) sádry činí 2 až 25 MPa. Pevnostní třídy u nás prodávané sádry uvádí norma ČSN 72 2301.

Modul pružnosti zatvrdlé sádry se pohybuje od 2000 do 6000 MPa, poměr pevností v tlaku a ohybu je cca 3 : 1.

Mechanické vlastnosti sádry závisí na řadě faktorů, největší vliv má její vlhkost. Pevnost vysušené sádry je 2 až 3krát větší než pevnost vlhkého materiálu. i malé změny vlhkosti ovlivňují výrazně mechanické vlastnosti, např. kolísání vlhkosti o 0,1 % hmotnosti může způsobit změny pevnosti až o 8 %. Protože je sádra značně hygroskopická, je nutné počítat s tím, že její pevnost je ovlivňována vlhkostí prostředí, ve kterém se nachází. V tab. 4.49 je ukázán vliv vlhkosti sádry na pevnost v závislosti na vlhkosti prostředí.

Vliv vlhkosti prostředí na pevnost sádry *Tab.4.49*

| Ošetřování a uložení sádry | Vlhkost sádry | Pevnost v tlaku | |
|---|---|---|---|
| | | MPa | % |
| vysušení při 35 – 40 °C | 0 | 13,8 | 100 |
| vlhkost vzduchu 65% | 0,04 | 13,6 | 98,5 |
| vlhkost vzduchu 90% | 0,15 | 12,9 | 93,5 |
| plné nasycení vodou | 17,5 | 6,4 | 46,5 |

Závady vlivem vlhkosti vznikají nesprávným zabudováním sádrových výrobků. K tomu dochází při překročení předepsaná vlhkosti sádrového výrobku a jeho zabudování bez vysušení, nebo při obkládání ještě nedostatečně suchého sádrového povrchu.

Stavební dílce ze sádry smějí být zabudovány do prostředí, kde relativní vlhkost nepřekročí 75 %, při vyšších vlhkostech je nutno provést příslušná opatření. Bylo však zjištěno, že v prostředí typickém pro obytné prostory nejsou změny pevnosti zásadní zejména proto, že po vyschnutí je sádra opět schopna dosáhnout původních pevností.

Dalšími faktory, které ovlivňují mechanické vlastnosti zatvrdlé sádry, jsou kvalita vstupních surovin, vodní součinitel, stáří materiálu, podmínky uložení produktu (jak během tuhnutí a tvrdnutí, tak i při použití).

Značný vliv na pevnost má použitý vodní součinitel. Nejvyšších pevností dosahují směsi, které obsahují pouze minimální množství vody, nezbytné k tuhnutí a krystalizaci (s vodním součinitelem asi 0,18). Tyto směsi však nemají dostatečně plastickou konzistenci, takže je není možno zpracovat.

V praxi je nutné používat podstatně vyšší vodní součinitel, běžně 0,6 až 0,8 (na 100 ml vody připadá 120 – 160 g sádry). V tab. 4.50 je popsán vliv velikosti vodního součinitele na pevnost sádry. $\alpha$-sádra potřebuje při stejné zpracovatelnosti menší množství záměsové vody než $\beta$-sádra, proto jsou pevnosti zatvrdlé $\alpha$-sádry vyšší.

Vliv vodního součinitele na pevnost zatvrdlé sádry *Tab. 4.50*

| Vodní součinitel | Pomalutuhnoucí sádra | | Rychletuhnoucí sádra |
|---|---|---|---|
| | Objemová hmotnost kg.m$^{-3}$ | Pevnost v tlaku* MPa | Pevnost v tlaku* MPa |
| 0,50 | 1 410 | 14,6 | 15,8 |
| 0,55 | 1 300 | 13,0 | 14,0 |
| 0,60 | 1 230 | 11,4 | 12,0 |
| 0,65 | 1 170 | 10,8 | |
| 0,75 | 1040 | 9,5 | |

* Zrání 13 dní v pokojové teplotě + 1 den při 50 ºC

### 4.4.1.5 Tepelně-technické vlastnosti zatvrdlé sádry

Tepelná vodivost suché sádry má při běžných objemových hmotnostech (600 až 1200 kg.m$^{-3}$) hodnotu $\lambda$ = 0,2 až 0,6 W.m$^{-1}$.K$^{-1}$, měrná tepelná kapacita činí u suché sádry 840 až 1050 J.kg$^{-1}$. K$^{-1}$. Hodnoty tepelné vodivosti zatvrdlé sádrové hmoty uvádí norma ČSN EN 13279-1.

Lineární tepelná roztažnost sádry je 20 . 10$^{-6}$ K$^{-1}$, tzn. asi 2krát větší než lineární tepelná roztažnost betonu.

Z hlediska požární ochrany jsou sádrové výrobky považovány za protipožární. Požární odolnost sádry vyplývá z obsahu krystalicky vázané vody v materiálu, který činí cca 18 % hmotnosti. Při teplotách nad 110 °C se sádra odvodňuje a ztrácí pevnost, vytěsněná voda však vytváří na povrchu vrstvu páry, která snižuje teplotu materiálů a chrání tak před ohněm. Ochranná schopnost sádrových výrobků proti požáru je závislá na jejich tloušťce. Podle evropských norem jsou sádrová pojiva a malty řazeny do Evropské třídy A1 (nepřispívají k ohni) bez zkoušení, pokud obsahují méně než 1% hmotnosti nebo objemu (podle toho, co je větší) organického materiálu Sádrové výrobky jsou považovány za mrazuvzdorné tehdy, pokud alespoň 20 % objemu z celkového objemu pórů není vyplněno vodou. Tuto podmínku splňují výrobky z pěnosádry a sádry s vodním součinitelem nižším než 0,8 při objemové hmotnosti menší než 800 kg.m$^{-3}$.

Součinitel tepelné vodivosti zatvrdlé sádrové hmoty (ČSN EN 13279 -1) *Tab. 4.51*

| Objemová hmotnost<br>$kg.m^{-3}$ | $\lambda_{23-30}$<br>$W.m^{-1}.K^{-1}$ |
|---|---|
| 600 | 0,18 |
| 700 | 0,22 |
| 800 | 0,26 |
| 900 | 0,30 |
| 1 000 | 0,34 |
| 1 100 | 0,39 |
| 1 200 | 0,43 |
| 1 300 | 0,47 |
| 1 400 | 0,51 |
| 1 500 | 0,56 |

### 4.4.1.6 Další vlastnosti zatvrdlé sádry

Sádra má značnou schopnost pohlcovat vlhkost (je hygroskopická), což se pozitivně uplatňuje zejména při regulaci vlhkosti v obytných prostorech. Objemové změny vlivem změn vlhkosti jsou přitom poměrně malé, lineární délkové změny nepřekračují 0,01 % (pro srovnání u betonu činí 0,0 až 0,08 %).

Koroze výztuže v sádrových materiálech je poměrně vysoká, protože vlivem velké pórovitosti proniká vlhkost snadno až k výztuži. Navíc sádrová pojiva nemají schopnost vytvářet alkalické prostředí, v němž by ocel byla pasivována. Rychlost koroze výztuže závisí hlavně na vlhkosti sádry a na vlhkosti prostředí, ve kterém se sádra nachází. Ocelovou výztuž je proto nutno proti korozi chránit, např. nátěry nebo pozinkováním.

Hliník, zinek, olovo a měď jsou v sádrových dílcích považovány za nekorodující.

Akusticko-izolační vlastnost sádry není vzhledem k její nízké objemové hmotnosti nijak vysoká. Vysoká hladkost sádrových povrchů způsobuje, že sádrové plochy mají téměř nulovou zvukovou pohltivost.

#### 4.4.1.7 Modifikace vlastností sádry

Do sádry mohou být přidávány přísady zlepšující některé z jejích vlastností. V zásadě je možno přísady rozdělit do těchto skupin:

urychlovače (NaCl, KCl, $NaSO_4$, $CaSO_4.2H_2O$),

zpomalovače (látky, zpomalující tvorbu krystalizačních zárodků, látky povrchově aktivní – např. klíh, keratin, kyselina citrónová, melasa),

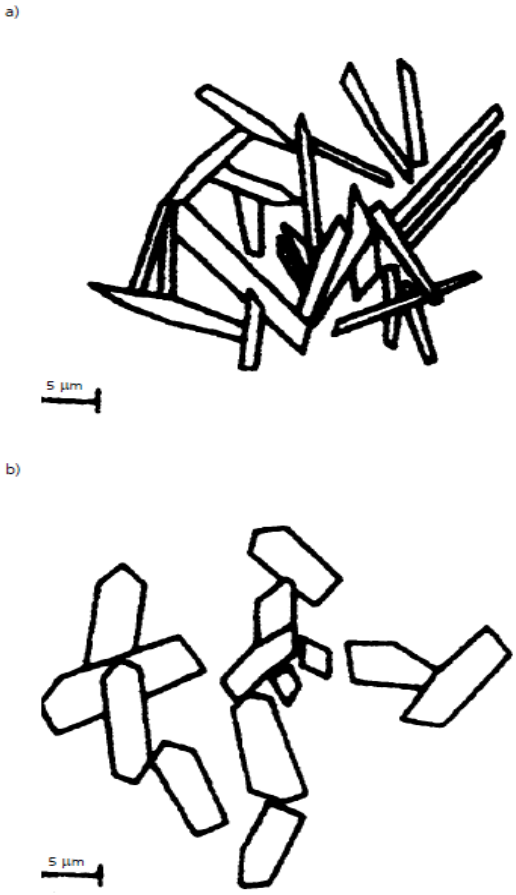
fungicidní přísady,

látky zlepšující odolnost zatvrdlé sádry proti vodě,

barevné pigmenty,

látky zvyšující plastičnost suspenze (např. výtažek z kořene ibišku).

Nejčastěji jsou používány přísady zpomalující tuhnutí, avšak každá úprava tuhnutí způsobuje při stejném vodním součiniteli pokles pevnosti. Např. přídavek 0,16 % kyseliny citrónové prodlužuje počátek tuhnutí z 14 na 140 min. a zmenšuje pevnost v ohybu až o 90 %.




*Obr. 4.57* Vliv přídavku kyseliny citrónové na tvar krystalů sádrovce

a)bez kyseliny citrónové, b) s kyselinou citrónovou

Zlepšení odolnosti zatvrdlé sádry proti vodě není dosud uspokojivě dořešeno, mnohem účinnější se jeví povrchová úprava sádry nátěrem (např. fluorokřemičitany, vodním sklem, parafínem), popř. impregnací (např. dextrinem, klihovou vodou, boraxem), nebo výroba hutnějšího materiálu.

Další možností úpravy vlastností sádry hmoty je její vylehčování. Sádrovou hmotu lze vylehčovat lehkým kamenivem (podle ČSN EN 13279-1 se může jednat o kamenivo anorganické typu expandovaného perlitu nebo vermikulitu, popř. o kamenivo organické), nebo zvětšením pórovitosti vlastní sádrové hmoty.

Pórovitost lze zvýšit buďto mechanickým provzdušněním s pomocí pěnového generátoru (pěnosádra) nebo nadouváním pomocí plynotvorné přísady (plynosádra).

#### 4.4.1.8 Skladování sádry

Sádra je dodávána volně ložená nebo v pytlích. . Podle ČSN EN 13279-1 musí být sádrová pojiva při skladování chráněna před působením vody a vysoké relativní vlhkosti (nejvýše 75%). Dobu skladování sádrových pojiv je 60 dnů od data, uvedeného na obalu.

Před vlastním použitím je doporučeno sádru skladovat minimálně 10 dní při 10 až 20 °C a max. 65 % relativní vlhkosti vzduchu. Tento proces se označuje jako aridizace (vysychání) i když při něm jde spíše o vyrovnání vlhkosti ve skladované zásobě.

#### 4.4.1.9 Další síranová pojiva

Anhydritové pojivo je pojivo, které se vyrábí jemným semletím přírodního nebo syntetického anhydritu a II. Převládá v něm bezvodý síran vápenatý, který sám o sobě nemá pojivé vlastnosti, proto k němu musí být přidáván budič. Seznam možných budičů je uveden v tab. 4.52.

Budiče pro anhydritové pojivo *Tab. 4.52*

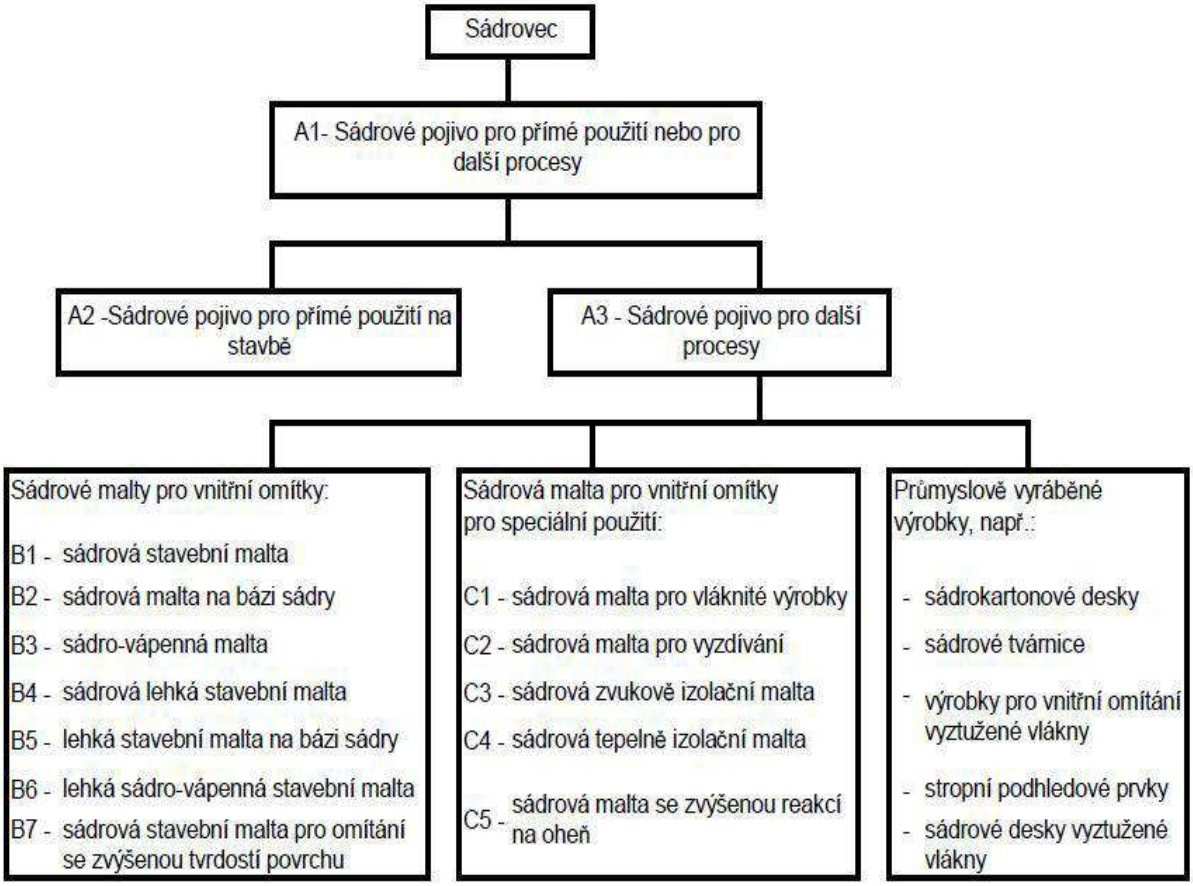
| Budič | | Množství |
|---|---|---|
| zásadité | portlandský cement<br>vápenný hydrát<br>vysokopecní struska | ≤ 7% |
| sulfátové | síran hlinitý<br>síran zinečnatý<br>síran draselný | < 3% |
| směsný – zásaditosíranový | | < 5%, z toho nejvýše 3% sulfátu |

Anhydritové pojivo je možno použít jen v trvale suchém prostředí a není možno ho míchat ani s vápnem ani s cementem.

Historicky se ze sádrovce připravovaly různé druhy sádrovin, např. Keenův cement (vypálením sádrovce s cca 4,5 % kamence), Scottova sádrovina (vypálením sádrovce s cca 30 % vápna), De Wyldeho sádrovina (sádrovec s vodním sklem), Pariánská sádrovina (sádrovec s přísadou boraxu). Tyto maltoviny vykazují technologické vlastnosti podobné spíše portlandským cementům než sádře (počátek tuhnutí cca 2 hodiny, doba tuhnutí asi 5 hodin a pevnosti kolem 35 MPa).

### 4.4.1.10 Výrobky ze síranových pojiv

Podle norem EN se sádrová pojiva dělí na sádrová pojiva pro přímé použití nebo pro další procesy. Pod sádrová pojiva pro další procesy patří sádrové malty pro vnitřní omítky (B1 až B7), sádrové malty pro vnitřní omítky pro speciální použití (C1 až C6) a průmyslově vyráběné výrobky. Rozdělení a značení sádrových výrobků je uvedeno na obrázku 4.58.




*Obr. 4.58* Skupina sádrových výrobků podle evropských norem

Malty a betony na bázi síranových pojiv se používají hlavně ve vnitřních konstrukcích staveb. Při jejich použití na vnější stěny je třeba učinit zvláštní opatření k zabezpečení ochrany těchto výrobků.

Směs vody a sádry se v praxi často označuje jako sádrová malta, i když se jedná vlastně o sádrovou kaši. Maltou se směs stává až po přidání jemného plniva. Pokud je přidáno i plnivo hrubé, jedná se o sádrový beton. S rostoucím obsahem plniva se váže ve výrobku méně hydratované vody. Také množství volné vody je menší, což vede k menší vlhkosti sádrových dílců, k jejich lepšímu vysychání.

Norma ČSN EN 13279-1 pod pojem sádrová malta pro vnitřní omítky zahrnuje všechny druhy sádrových, na bázi sádry založených a sádro-vápenných stavebních malt.

Sádrová stavební malta musí podle této normy obsahovat nejméně 50% síranu vápenatého a nesmí obsahovat více než 5% vápna. Výrobce může přidat příměsi a kameniva.

Stavební malta pro vnitřní omítky na bázi sádry obsahuje méně než 50% síranu vápenatého, který tvoří základní pojivovou složku a ne více než 5% vápna.

Pokud malta obsahuje více než 5% vápna, pak se malta označuje jako sádro-vápenná.

Speciálními typy sádrových malt jsou lehká sádrová stavební malta (s obsahem lehkých pórovitých kameniv) a malta se zvýšenou tvrdostí povrchu. Požadavky na sádrové malty podle ČSN EN 13279-1 jsou uvedeny v kapitole 4.5 .

Vápenosádrové malty se většinou míchají v poměru 0,2 až 2 díly sádry, 1 díl vápenného hydrátu a 3 díly písku. Přísada sádry k vápenné maltě umožňuje nanášení a hlazení omítky v jednom pracovním cyklu. Sádra odnímá maltě vodu, takže snadněji zavadne.

K sádrové maltě lze přidávat bez závad malé množství cementu (do 3 % obsahu pojiva). V případě většího množství cementu hrozí vznik ettringitu. Sádrocementové směsi se hodí k přípravě monolitických dutých dílců s otvory, protože přídavek cementu zlepšuje konzistenci a tekutost malty.

Průmyslově vyráběné suché omítkové směsi se vyrábí ve dvou druzích – hlazené a filcované. Oba typy se liší granulometrií kameniva a způsobem aplikace.

Hlazená omítková směs obsahuje kamenivo s granulometrií kolem 0,06 mm a její konečná úprava se provádí ocelovým hladítkem. Filcovaná omítková směs obsahuje zrna do velikosti obvykle 0,8 mm a konečná úprava je prováděna roztočením povrchu filcovým hladítkem.

Dalším průmyslovým výrobkem jsou samonivelační potěry na bázi sádry nebo anhydritu. Vyrábí se nejčastěji v podobě suchých směsí ze sádry či anhydritu s přísadami a drobným plnivem.

Výhodou těchto potěrů je rychlá pokládka, dokonalá rovinnost povrchu, rychlý nárůst pevnost (podlahy jsou pochozí za 24 - 48 hod), vysoká pevnost a svými tepelnými vlastnostmi (vhodnou tepelnou vodivosti a akumulační schopností) jsou velmi vhodné pro podlahové vytápění.

Pro podlahové potěry na bázi sádry existuje samostatná norma ČSN EN 13454, která je rozděluje na pojiva ze síranu vápenatého (CAB, která musí obsahovat více než 85 % $CaSO_4$), kompozitní pojiva ze síranu vápenatého (CAB s obsahem 50 -85 % $CaSO_4$) a průmyslově vyráběné maltové směsi (CA).

Pevnostní třídy průmyslově vyráběných maltových směsí podle pevnosti v tlaku jsou C5, C7, C12, C16, C20, C25, C30, C35, C40, C50, C60 a C80, kde číslo ve značce udává pevnost v tlaku MPa a podle pevnosti v tahu za ohybu F1 – F10, F15, F20, F30, F40, F50, kde číslo ve značce udává pevnost v tahu za ohybu v MPa.

V poslední době se začaly vyrábět také tzv. PCM sádrové desky (PCM = phase change materials), které mají zvýšenou tepelnou akumulaci. Toho je docíleno tím, že do sádrové hmoty jsou přidány polymerní mikrokapsule (2 – 20 μm). Tyto mikrokapsule jsou naplněny látkou, která mění skupenství při teplotě kolem 25 ℃ (mohou to být parafíny, vyšší mastné kyseliny, estery vyšších karboxylových kyselin) a k této fázové změně se spotřebuje velké množství tepla.

Teplo, které deska pohltí od okolního ohřátého vzduchu, se tedy v desce nejprve spotřebuje ke změně skupenství látky uvnitř mikrokapsulí a teprve potom k jejímu ohřátí. Takto upravené sádrové desky zpravidla obsahují ještě sklovláknitou výztuž.

Typická PCM deska má při tloušťce 15 mm plošnou hmotnost cca 12 $kg.m^{-2}$ a v jednom čtverečním metru obsahuje cca 3 kg fázově aktivních mikrokapsulí. Její tepelná kapacita je přitom srovnatelná s tepelnou kapacitou 90 mm betonové desky.

Dalšími průmyslově vyráběnými výrobky ze sádry jsou stavební tvárnice, sádrokartonové a sádrovláknité desky a dílce stěnové, obkladové a akustické.

### 4.4.1.11 Sádrové tvárnice

Sádrové tvárnice jsou definovány normou ČSN EN 12859 jako průmyslově vyráběné stavební prvky ze síranu vápenatého a vody, které mohou obsahovat vlákna, plniva, kameniva a další přísady a pigmenty.

Jsou určeny ke zhotovování vnitřních nenosných stěnových konstrukcí izolovaných od zemní a jiné vlhkosti. Mají vysokou tvarovou přesnost a rozměrovou stálost a jsou snadno opracovatelné ručními nástroji. Spojují se pomocí lepidla, což snižuje pracnost výstavby. Nevyžadují omítku a vytvářejí vhodný povrch pro malbu.

Sádrové tvárnice mohou být plné nebo s tvarovanými dutinami. Celkový obsah dutin nesmí přesáhnou 40 % z celého objemu tvárnice.

Tloušťka tvárnic podle ČSN EN 12859 musí být 50-150mm, délka max. 100 mm a výška v souladu s délkou tak, aby plocha byla nejméně 0,20 $m^3$.

Doporučené tloušťky jsou 50, 60, 70, 80, 100mm, doporučená délka je 666 mm a výška 500 mm.

Podle objemové hmotnosti jsou sádrové tvárnice řazeny do těchto tříd:

s vysokou objemovou hmotností (od 1100 do 1500 $kg.m^{-3}$), značí se růžovou barvou,

se střední objemovou hmotností (800 až 1100 $kg.m^{-3}$), přírodní barva,

s nízkou objemovou hmotností (600 až 800 $kg.m^{-3}$), žlutá barva.

Dále norma rozlišuje tvárnice podle tříd nasákavosti H1 (nasákavost $\leq$ 2,5%), H2 (nasákavost $\leq$ 5%) a H3 (nasákavost $>$ 5%) a podle pH tvárnice se standardním pH ($6,5 \leq pH \leq 10,5$) a tvárnice s nízkým pH ( $4,5 \leq pH < 6,5$).

V označení tvárnice se musí vyskytovat číslo normy, rozměry, druh, třída objemové hmotnosti, plošná hmotnost a třída pH (např. EN 12859:2008 70 -666-500; plná; střední objemová hmotnost; 60 kg.m-3;hydrofobní; pH vyšší než 6,5).

### 4.4.1.12 Sádrokarton

Sádrokarton byl patentován koncem 19. století v USA. V Evropě se začal prosazovat v polovině 20. století. Nyní patří k nejčastěji používaným materiálům ve vnitřní stavbě.

Od roku 2005 platí v České republice norma ČSN EN 520, která uvádí definice, požadavky a zkušební metody pro sádrokartonové desky. Norma definuje sádrokartonovou desku jako výrobek, složený ze sádrového jádra, ke kterému je pevně připojen silný trvanlivý papír (karton). Papírové povrchy se mohou lišit podle použití jednotlivých druhů desek a jádro může obsahovat příměsi, které ovlivňují dodatečné vlastnosti (nejčastěji je přidáván rozvlákněný papír a skelná vlákna. Podélné hrany jsou potažené a profilované papírem tak, aby vyhovovaly určenému použití.

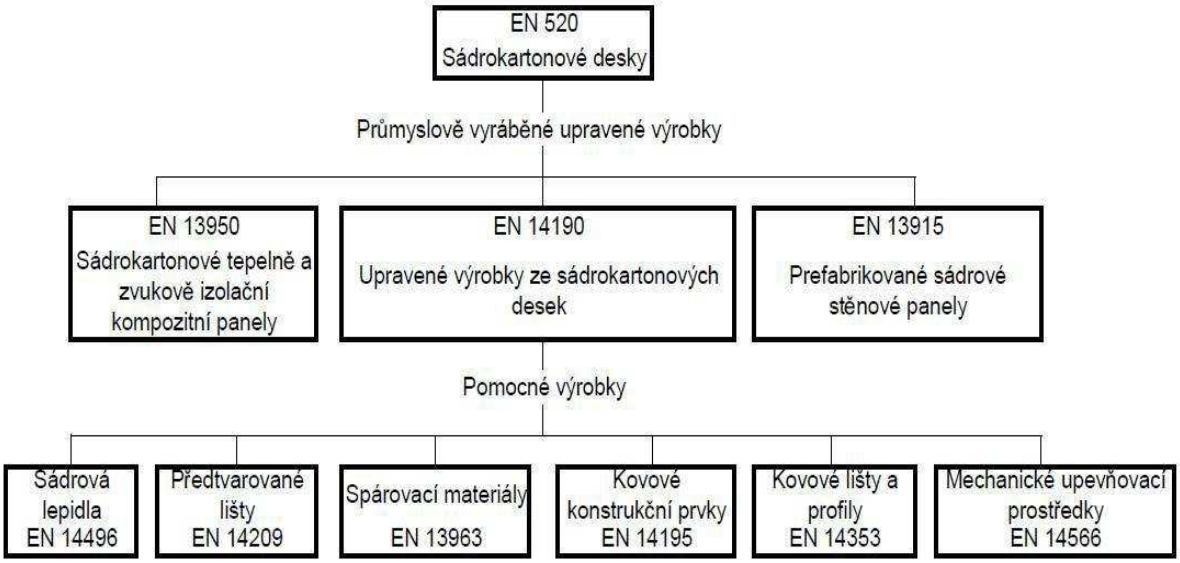
Výroba sádrokartonu probíhá tak, že se sádrová kaše s příslušnými přísadami dávkuje na nekonečný pás papíru. Vrstva sádry se překryje horní vrstvou papíru a vzniklá deska se nechá vytvrdnout. Vytvrdlé desky se ořežou na potřebné rozměry a případně se dál povrchově upravují.

Skleněná vlákna, která lze do sádrové kaše přidávat bez problémů, neboť nejsou sádrou nijak napadána, mívají nejčastěji průměr 8-12 μm a délku 15-50 mm. Přísada skleněných vláken zlepšuje mechanické vlastnosti sádrokartonu a používá se zejména při výrobě sádrokartonových desek určených pro protipožární izolace.

Evropské normy pro sádru řadí sádrokartonové desky do skupiny průmyslově vyráběných upravených sádrových výrobků a dělí je na tepelně a zvukově izolační kompozitní panely, upravené výrobky ze sádrokartonových desek a prefabrikované sádrové stěnové panely. Dále do této skupiny patří i pomocné výrobky jako např. lepidla, lišty apod. Na obr. 4.59 je uvedeno rozdělení sádrokartonových výrobků včetně norem, které s nim vztahují.

ČSN EN 520 definuje tyto typy sádrokartonových desek: *stěnová desky* (druh A), *stěnová desky se sníženou absorpcí vody* (druh $H_1$, $H_2$, $H_3$), běžně jsou označovány jako impregnované (požadavky na absorpci vody jsou uvedeny v tab. 4.52b), *plášťové desky* (druh E), speciálně určené pro vnější stěny, ale nesmí být trvale vystaveny vnějším vlivům počasí, *stěnové desky se zvýšenou pevností jádra při vysokých teplotách* (druh F), běžně označované jako protipožární, *podkladové desky* (druh P), *desky s kontrolovanou objemovou hmotností* (druh D), *desky se zvýšenou pevností* (druh R) a *desky se zvýšenou tvrdostí povrchu* (druh I).

Výrobci nabízejí i desky, které kombinují jednotlivé druhy. Takové výrobky jsou potom označovány příslušnou kombinací písmen (např. deska FH1 je protipožární impregnovaná deska).Desky se vyrábějí ve jmenovitých tloušťkách , 9,5, 12,5 a 15 mm. Minimální jmenovitá tloušťka je 6 mm.

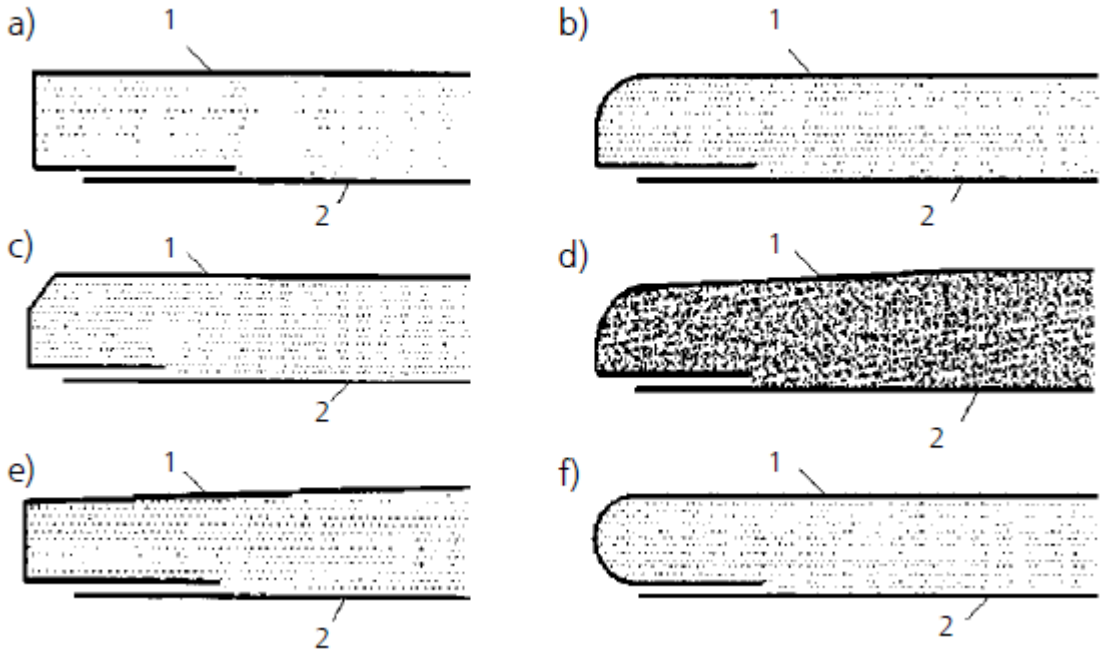



*Obr. 4.59* Skupina upravených výrobků ze sádrokartonu a pomocných výrobků

Desky větší tloušťky se používají z důvodů požárních, akustických či kvůli zvýšení odolnosti vůči průrazu.

Desky menší tloušťky se používají pro ohýbané konstrukce a pro obklady stěn. Sádrokartonové desky se značí písmeny, které označují druh desky a číslem označujícím tloušťku desky.

Desky se vyrábějí v obvyklých šířkách 400, 600, 900 a 1200 mm a v délkách 1200, 1500, 1800 a 2000 mm. Jiné rozměry jsou rovněž možné.




*Obr. 4.60* Druhy hran sádrokartonových desek (ČSN EN 520)

a) kolmá hrana, b) polokulatá hrana, c) zkosená hrana, d) polokulatá snížená hrana, e) snížená hrana, f) kulatá hrana

Podle ČSN EN 520 musí být desky označeny slovy Sádrokartonová deska, písmenem, označujícím druh, odkazem na normu, rozměry v pořadí šířka, délka, tloušťka v mm a profilem hrany. (např. Sádrokartonová deska $DFH_2$/EN 520 – 1250/3000/12,5/polokulatá snížená hrana).

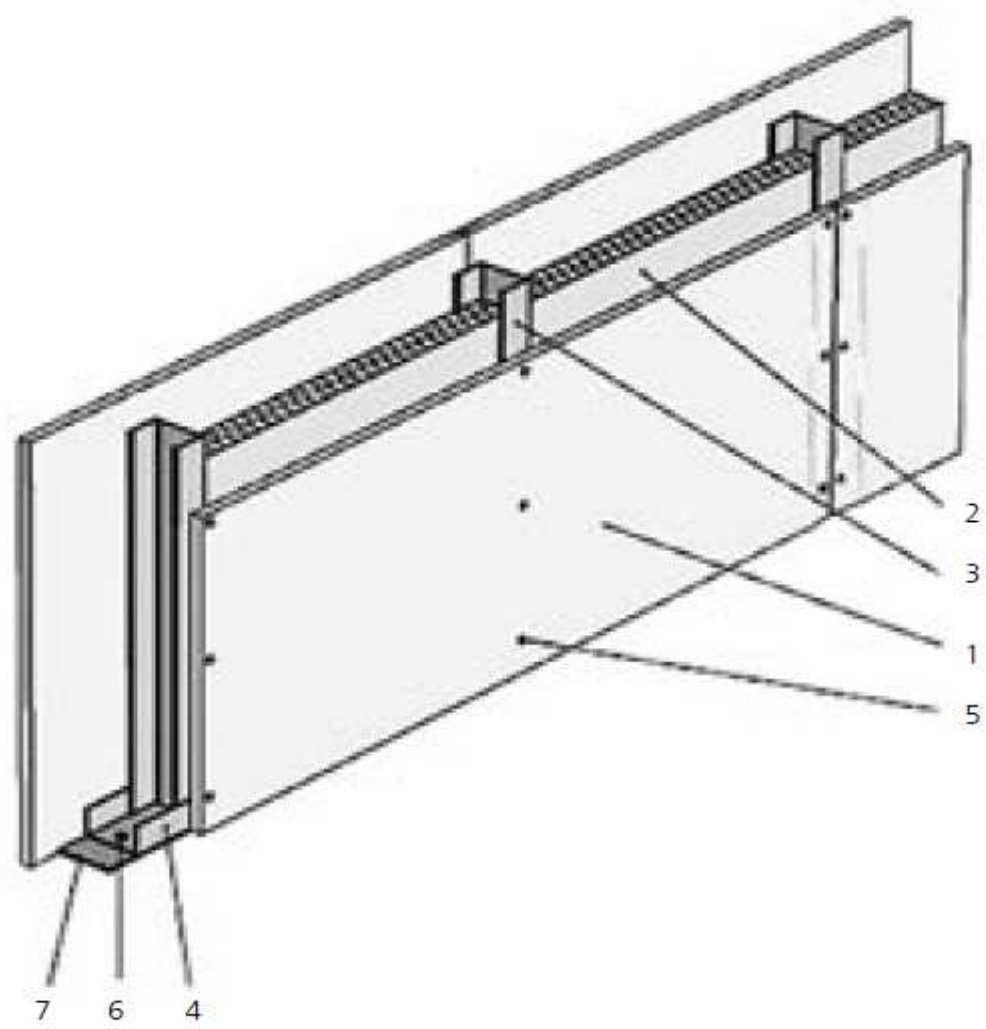
Zatížení sádrokartonových desek v tahu za ohybu *Tab. 4.53*

| Druh desky | Tloušťka | Jmenovitá tloušťka (mm) | Zatížení v tahu za ohybu (N) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Příčný směr | Podélný směr |
| A, D, E, F, H, I | běžná tloušťka | 9,5 | 160 | 400 |
| | | 12,5 | 210 | 550 |
| | | 15 | 250 | 650 |
| | další tloušťky | t | 16,8 . t | 43 . t |
| R nebo kombinované | běžná tloušťka | 12,5 | 300 | 725 |
| | | 15 | 360 | 870 |
| | další tloušťky | t | 24 . t | 58 . t |
| P | běžná tloušťka | 9,5 | 125 | 180 |
| | | 12,5 | 165 | 235 |

Třídy absorpce vody sádrokartonových desek *Tab. 4.54*

| Třída absorpce vody | Celková absorpce vody (%) |
|---|---|
| H1 | ≤ 5 |
| H2 | ≤ 10 |
| H3 | ≤ 25 |

Sádrokartonové desky se většinou upevňují pomocí samořezných šroubů nebo hřebíků na ocelové pozinkované profily, někdy i na dřevěné latě. Typická konstrukce sádrokartonové příčky s jednoduchým opláštěním je na obr. 4.61.




*Obr. 4.61* Typická konstrukce sádrokartonové příčky

1 – sádrokartonová deska, 2 – svislý nosný profil, 3 – izolace z minerálních vláken, 4 – šrouby, 5 – vodorovný profil, 6 – napojovací těsnění, 7 – tmelení

Za upravené výrobky ze sádrokartonových desek jsou podle ČSN EN 14190 považovány výrobky, upravené řezáním, děrováním, lakováním, kašírováním tkaninou nebo folií, přilepením jiného materiálu, laminováním, ohýbáním apod.

Zvláštní skupinou sádrokartonových výrobků jsou tepelně a zvukově izolační kompozitní panely. Norma ČSN EN 13950 je definuje jako panely, vyrobené z izolačního materiálu vrstveného na sádrokartonovou desku s nebo bez použití prostředků pro snížení propustnosti vodní páry. Rozdělují se na kompozity třídy 1. které mají jako tepelně izolační vrstvu pěnový polystyren (EPS), extrudovanou polystyrenovou pěnu (XPS), tvrdou polyuretanovou pěnu (PUR či PIR) a fenolickou pěnu (PF) a kompozity třídy 2 s vrstvou minerální vlny (MW).

Sádrokartonové desky a upravené výrobky z nich se používají na příčky, předsazené stěny, instalační příčky, obklady stěn, podhledy, suché podlahy, obklady ocelových a dřevěných nosných konstrukcí. Velmi vhodný je sádrokarton pro rekonstrukce, neboť jeho výstavba nevnáší vlhkost do objektu a pro svou nízkou hmotnost nezvyšuje výrazněji zatížení staveb.

Ze sádrokartonu mohou být provedeny i architektonicky náročné tvary jako obloukové příčky, klenební oblouky a fabiony. Ke speciálním výrobkům patří akustické děrované podhledy. Ke konstrukci suchých plovoucích podlah jsou určeny speciální desky s vyššími pevnostmi a kvalitnějším kartonem.

Normální sádrokartonové desky se smí používat do prostor s max. relativní vlhkostí do 65 % při 20 °C (běžné obytné místnosti s výjimkou WC a koupelen), impregnované desky jsou určeny do prostor se zvýšenou vzdušnou vlhkostí (trvale relativní vlhkost do 75 % při 20 °C, krátkodobě po dobu 2 hodin až 100 %, po dobu 10 hodin až 85 % během 24hodinového cyklu). V prostorech s trvale vysokou vzdušnou vlhkostí (sprchy veřejných bazénů, mokré procesy v průmyslu, sklepy a prostory se zvýšenou zemní vlhkostí) se nedoporučuje používat ani impregnované desky.

### 4.4.1.13 Sádrové výrobky vyztužené vlákny

Nevýhodou sádrových materiálů je značná křehkost a nízká pevnost v tahu za ohybu. Proto se lidé již v historii snažili sádru vyztužit různými vlákny rostlinného a živočišného původu a i mnoho současných sádrových výrobků má charakter vláknem vyztužených kompozitů.

Kromě často používaných celulózových a skleněných vláken se nověji používají i vlákna polypropylenová. Místně se vyrábí sádrové kompozity s vlákny kokosovými, sisalovými či s rozvlákněnou dřevinou.

Norma ČSN EN 13815 definuje lité sádrové výrobky vyztužené vlákny jako výrobky, které mohou být vyztužen vlákny, tkaninou, mřížkami, deskovými nosiči omítek , pletivem nebo profily. Označení a běžné typy výztuže jsou uvedeny v tabulce 4.55.

Třídy výztuže používané v litých sádrových výrobcích *Tab. 4.55*

| Základní výztuž | | | Třídy výztuže f | | |
|---|---|---|---|---|---|
| uspořádání | původ | značení | Lité výrobky pouze se základní výztuží | Lité výrobky se základní a doplňkovou výztuží | |
| | | | | Lišty z jehličnaté dřeviny | Díly z lehčené oceli |
| nepravidelné | organický | jutová a sisalová vlákna | **f1** | f1w | f1m |
| | minerální | sekaná skleněná vlákna | **f2** | f2w | f2m |
| rozprostřené | organický | jutová tkanina | **f3** | **f3w** | **f3m** |
| | minerální | skleněný vláknitý papír | **f4** | **f4w** | **f4m** |
| | | skleněná vláknitá rohož | | | |
| | kovový | kovová síťovina a tkanina | **f5** | _ | f5m |
| | | kovové pletivo | | | |
| 1. běžné třídy výztuže jsou vyznačeny tučně | | | | | |
| 2. další třídy mohou být vyjádřeny obdobně ( např. základní výztuž skleněnými vláknitými rohožemi a doplňková výztuž lištami jehličnaté dřeviny a díly lehčené oceli - f4wm) | | | | | |

Do skupiny sádrových výrobků vyztužených vlákny patří i sádrovláknité desky. Tyto desky jsou definovány v ČSN EN 15283-2 jako desky, skládající se ze sádrokartonového jádra vyztuženého vlákny, která mohou být anorganická a/nebo organická.

Desky mohou obsahovat i různé příměsi a plniva. Jejich použití je vhodné tam, kde je požadována ochrana proti ohni, zvuková nebo tepelná izolace nebo pevnost při namáhání. Tyto desky se značí GF.

Speciálně jsou definovány desky se sníženou absorpcí vody GF-H (absorpce vody < 5%), se zvýšenou objemovou hmotností GF-D (objemová hmotnost ≥ 1400 $kg.m^{-3}$), se zvýšenou pevností GF-R1 (pevnost v ohybu min 10,0 $N/mm^2$), GF-R2 (pevnost v ohybu min. 8,0 $N/mm^2$).

V současnosti jsou nejvíce používány sádrovláknité desky ze směsi sádry, vody a celulózy, vyráběné za zvýšeného tlaku. Obsah celulózových vláken ve směsi se pohybuje od 8 do 20 %. Desky jsou nejčastěji vyráběny z α-sádry. Sádrovláknité desky nemusí být na rozdíl od sádrokartonových desek na povrchu opatřeny kartonem. Vyrábějí se standardně jako impregnované.

Mají lepší mechanické vlastnosti, vyšší tvrdost a houževnatost než desky sádrokartonové. Velmi dobře akusticky izolují a mají vysokou požární odolnost. Hodnoty některých vlastností pro běžnou sádrovláknitou desku jsou uvedeny v tab. 4.56.

Vlastnosti sádrovláknitých desek *Tab. 4.56*

| Vlastnost | | Jednotky | Hodnota |
|---|---|---|---|
| Objemová hmotnost | | $kg.m^{-3}$ | > 1050 [1)] |
| Pevnost v tahu za ohybu | t < 18 mm | $N.mm^{-2}$ | 5,5 [2)] |
| | t ≥ 18 mm | | 5 |
| Pevnost v tlaku | | $N.mm^{-2}$ | cca 30 |
| Tvrdost dle Brinella [3)] | | N | cca 750 |
| Součinitel tepelné vodivosti | | $W.m^{-1}.K^{-1}$ | 0,3 |
| 1) desky se zvýšenou objemovou hmotností GF-D ≥ 1400 kg.m-3 | | | |
| 2) desky se zvýšenou pevností GF-R1 ≥ 10,0 $N.mm^{-2}$, GF-R2 ≥ 10,0 $N.mm^{-2}$ | | | |
| 3) ocelová kulička ∅ 50mm, hmotnost 510 ± 10 g | | | |

Sádrovláknité desky se vyrábějí v tloušťkách od 10 do 18 mm pro stěnové prvky a do 25 mm pro podlahové konstrukce. Rozměry desek se mohou pohybovat od 1500 x 1000 mm až po velkoplošné prvky o rozměrech 2500 x 6000 mm.

Sádrovláknité desky se hodí pro konstrukce se zvýšenými nároky na mechanickou odolnost povrchu proti poškození (např. pro plovoucí podlahy) a na únosnost (mechanicky odolné příčky), a dále se hodí na konstrukce se zvýšenými nároky na akustickou izolaci a požární odolnost.

Protože jsou desky impregnovány, lze je použít i do vlhkých prostor a v některých případech i do exteriéru (do míst, kde nejsou vystaveny přímým účinkům slunečního záření a vody). Velmi vhodné jsou k instalaci podlahového vytápění.

Povrch desek lze opatřit nátěrem, keramickými obklady, dekorativní či strukturní omítkou, popř. mohou být podle potřeby povrchově upraveny nalepením hliníkové fólie, koberce nebo PVC.

Práce se sádrovláknitými deskami je obtížnější než se sádrokartonem, v porovnání s dřevotřískovými deskami (jejichž vlastnostem se blíží) se však opracovávají snáze.

Sádrovláknitým deskám jsou podobné sádrové desky vyztužené rohoží, které mají vlákna uspořádána do tkané či netkané rohože )ČSN EN 15283-1). Tyto desky se označují GM a jejich použití je obdobné jako desek sádrovláknitých.

V zahraničí (Skandinávie, Německo, USA, Čína) se vyrábějí desky z dřevních částic (vláken, třísek nebo štěpků) pojené sádrou.

Při výrobě těchto desek se přidává velmi málo vody (vodní součinitel 0,15 – 0,19), protože dřevní částice s přirozenou vlhkostí obvykle obsahují dostatečné množství vody nutné k hydrataci pojiva.

Tyto desky mají vlastnosti srovnatelné se špičkovými sádrokartony. Ve srovnání s klasickými dřevotřískami mají podstatně vyšší požární odolnost. V tab. 4.57 jsou uvedeny některé vlastnosti těchto desek v porovnání s klasickou dřevotřískovou deskou (MDF).

Vlastnosti desek z dřevních částic pojených sádrou v porovnání s dřevotřískovou deskou MDF *Tab. 4.57*

| Vlastnost | | Sádrová deska | MDF |
|---|---|---|---|
| Objemová hmotnost | ($kg.m^{-3}$) | 1 250 | 780 |
| Plošná hmotnost | ($kg.m^{-2}$) | 15 | 9,3 |
| Vlhkost při 65% relativní vlhkosti vzduchu a při 20 °C | (%) | 2 | 5 – 8 |
| Délková teplotní roztažnost | (%) | 0,08 | 0,4 |
| Tepelná vodivost | ($W.m^{-1}K^{-1}$) | 0,24 | 0,14 |
| Evropská třída reakce na oheň | | A2 | D |

### 4.4.2 Vzdušné vápno

Vzdušné vápno patří k tradičním vzdušným pojivům. Používáno bylo zřejmě již od starověku (cca 600 r. před n. l. v Babyloně). Na našem území pocházejí nejstarší nálezy fragmentů vápenných omítek s freskovou výzdobou z období Velké Moravy.

První zachované předpisy na výrobu vápna pocházejí z období přibližně 200 r. před n. l. Pochopení chemických reakcí probíhajících při výrobě přinesly ovšem až práce J. Blacka, které můžeme datovat rokem 1760.

### 4.4.2.1 Výroba vzdušného vápna

Výroba vzdušného vápna probíhá ve dvou stupních. Nejprve se pálením rozemletých vápenců, dolomitických vápenců nebo dolomitů připraví pálené vápno, v obchodech označované též jako vápno nehašené. Z chemického hlediska je pálené vápno tvořeno převážně oxidem vápenatým (CaO) vzniklým dekarbonatací uhličitanu vápenatého:

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 - 176{,}68$ kJ

Dekarbonatace uhličitanu vápenatého začíná probíhat již od 600 ℃. Ve výrobních zařízeních (pecích) se provádí při teplotě 900 - 1100 ℃, aby celý proces probíhal dostatečně rychle.

Dekarbonatace uhličitanu hořečnato-vápenatého (dolomitu) probíhá podobně. Postačí však o něco nižší teplota.

$CaCO_3 . MgCO_3 \rightarrow CaO + MgO + 2CO_2 - 276{,}75$ kJ

Druhy vzdušného vápna (ČSN EN 459-1) *Tab. 4.58*

| Označení | Značení | Obsah $CaO+MgO$[1)] | Obsah $MgO$[1,2)] | Obsah $SO_3$[1)] |
|---|---|---|---|---|
| Bílé vápno 90 | CL90 | ≥ 90 | ≤ 5 | ≤ 2 |
| Bílé vápno 80 | CL80 | ≥ 80 | ≤ 5 | ≤ 2 |
| Bílé vápno 70 | CL70 | >70 | <5 | ≤ 2 |
| Dolomitické vápno 85 | DL85 | ≥ 85 | ≥ 30 | ≤ 2 |
| Dolomitické vápno 80 | DL80 | ≥ 80 | ≥ 5 | ≤ 2 |
| Doplňující třídění | Přípona | | | |
| Nehašené vápno | Q | | | |
| Hašené vápno bílé | S | | | |
| Polohašené vápno dolomitické | S1 | | | |
| Plně hašené vápno dolomitické | S2 | | | |

[1] Hodnoty jsou uvedeny v % hmotn. Pro nehašené vápno platí přímo, u hašeného vápna a vápenné kaše po odpočtu volné a vázané vody.
[2] Vyhoví-li zkoušce objemové stálosti podle ČSN EN 459-2, připouští se až 7 %.

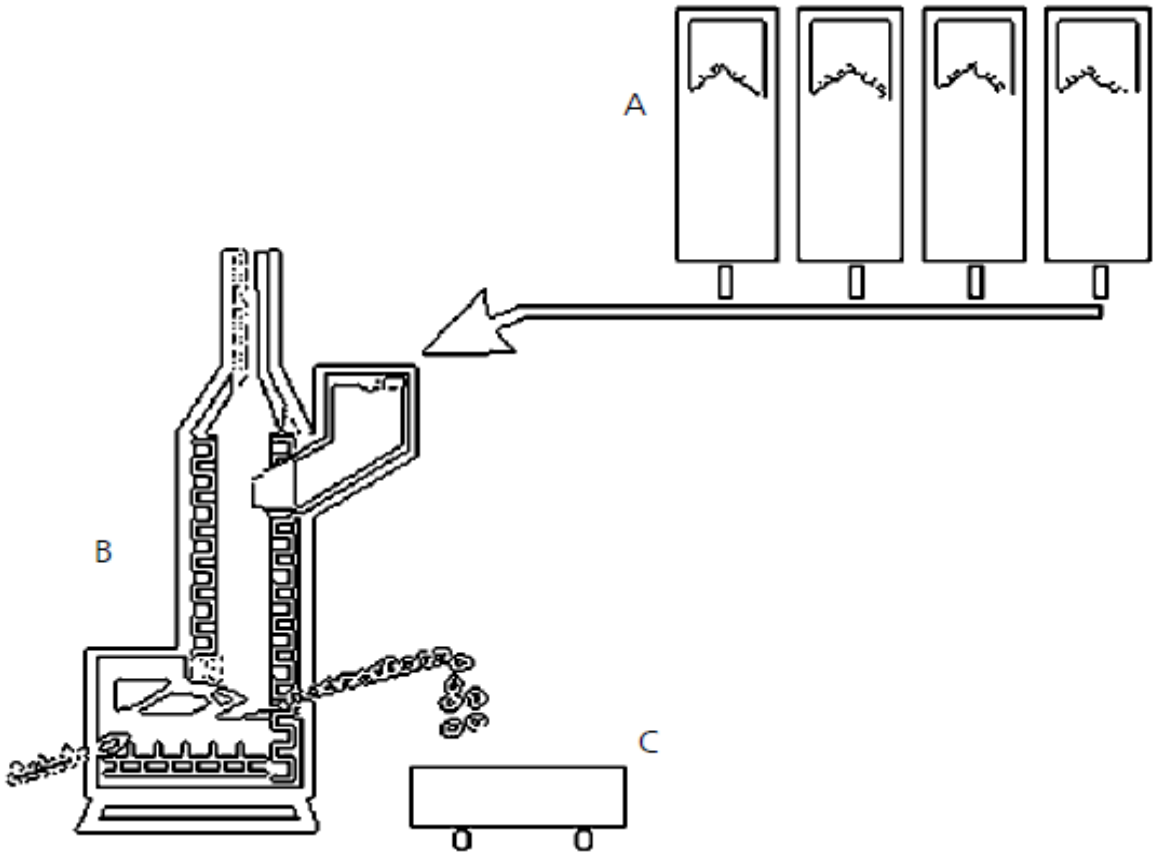
S vyšší teplotou a vyšší rychlostí výpalu vzrůstá podíl hutnější a méně reaktivní struktury a výsledný produkt je označován jako *tvrdě pálené vápno.* Toto vápno se dobře hodí pro výrobu autoklávovaného pórobetonu. Pro přípravu omítkových malt je vhodnější *měkce pálené vápno,* které je reaktivnější.

Vliv teploty výpalu na pórovitost vápna *Tab. 4.59*

| Teplota výpalu | 900 °C | 1300 °C |
|---|---|---|
| Pórovitost | 53 % | 34 % |
| Objemové smrštění | 10 % | 22 % |
| Objemová hmotnost | 1 200 kg.m$^{-3}$ | 1 700 kg.m$^{-3}$ |

Při výraznějším překročení správné teploty výpalu vzniká mrtvě pálené vápno, které pak reaguje s vodou jen obtížně.

V současnosti se u nás pálené vápno vyrábí prakticky výhradně v kontinuálně pracujících pecích šachtových. V Americe se k výrobě používají také rotační pece, které jsou však energeticky náročnější.




*Obr. 4.62* Výroba vzdušného vápna v šachtové peci

A – zásobníky s drceným vápencem, B – šachtová pec, C – odvoz páleného vápna (k expedici nebo dalšímu zpracování)

Tradiční druhy páleného vápna podle velikosti částic *Tab. 4.60*

| Druh vápna | Frakce | Nadsítné (%) | Obsah zrn > 0,2 (%) |
|---|---|---|---|
| Kusové | 6,3/neurčeno | | |
| Drcené | 0/25 | 5 | |
| Práškové | 0/3,1 | 5 | |
| Hrubě mleté | 0/2,5 | 3 | |
| Jemně mleté | 0/0,2 | 8 | |
| Velmi jemně mleté | 0/0,09 | 8 | 2 |

Před použitím se pálené vápno hašením převádí na hydroxid vápenatý. Silně exotermickou hydratační reakcí vzniká z oxidu vápenatého hydroxid vápenatý a zároveň dochází k rozpadu původních zrn oxidu na řádově menší zrnka hydroxidová.

$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 64{,}90$ kJ

*Mokré hašení* spočívá ve skrápění vrstvy páleného vápna vodou v ploché otevřené nádobě zvané hasnice (karb). Celý proces vyžaduje jistou řemeslnou zručnost, protože nejlepší produkt se získává při hašení prováděném takovou rychlostí, aby teplota reakční směsi byla těsně pod bodem varu vody. Na 100 kg páleného vápna se při hašení dávkuje 240 – 320 litrů vody.

Vzniklé vápenné mléko se po ukončení reakce přepouští (přes síto) do odležovací jámy, ve které ztratí vsáknutím přebytečnou vodu a vznikne vápenná kaše bílé nebo šedé barvy. Vápenná kaše je fakticky suspenzí hydroxidu vápenatého obsahující 30 – 55 % pevné fáze. Objemová hmotnost vápenné kaše se pohybuje mezi 1200 – 1350 $kg.m^{-3}$.

Voda je ve vápenné kaši sorbována na povrchu zrnek hydroxidu vápenatého**,** který se mineralogicky označuje jako portlandit. V důsledku oddálení portlanditových zrnek vrstvičkami sorbované vody nabývá vápno na objemu. Toto zvětšení se nazývá *vydatnost vápna* a je do určité míry i jakostním ukazatelem, protože vápno s větší vydatností lépe váže (vytváří soudržnější maltu). Z jednoho kilogramu vápna má vzniknout nejméně 2,6 litru vápenné kaše.

Při příliš pomalém hašení způsobeném přílišným množstvím vody se hašená směs dostatečně neprohřeje. V důsledku toho neprobíhá reakce dostatečně rychle, nedochází k rozpadu části zrn (utopené vápno). Nekvalitní produkt vzniklý naopak příliš rychlým mokrým hašením prováděném s nedostatečným množstvím vody má typickou nahnědlou barvu (spálené vápno). V obou případech zůstává v kaši určitý podíl nedohašeného oxidu vápenatého.

Jestliže není vápno dokonale vyhašeno, dochází k jeho dohašování až v maltě, což se nepříznivě projevuje zejména v omítkách. Dodatečné hašení částic vápna provázejí objemové změny vedoucí k poškození povrchu omítky trhlinami, ďolíčky nebo puchýřky. Může dojít i k oddělením části vrstvy omítky od podkladu.

Mokrý způsob hašení způsobil v minulosti mnoho očních úrazů. Při správném provádění však poskytuje velmi kvalitní vápennou kaši, která se dobře uplatní i při náročných restaurátorských zákrocích na historických stavbách.

Nejkvalitnější vápenná kaše se získává dlouhodobým uložením. Tak zvané šestileté vápno je minimálně 6 let uleželé v podzemních, dřevem obložených a automatickým zvlhčovacím systémem vybavených nádržích.

Podstatou zvýšené kvality uleželého vápna jsou rekrystalizační procesy, které vedou k tvorbě menších zrn. Podobného efektu je možné docílit použitím vhodného dispergačního zařízení ve kterém se původní agregáty krystalického portlanditu mechanicky rozruší.

Modernějším a dnes zcela převažujícím způsobem přípravy hydroxidu vápenatého je *suché hašení*, které se uskutečňuje ve speciálním mísicím zařízení. V tomto zařízení nazývaném hydrátor se na oxid vápenatý působí vodou dávkovanou přibližně v dvojnásobku stechiometrického množství. Na 100 kg páleného vápna při tomto způsobu hašení připadá asi 65 - 70 litrů vody.

Přebytečná voda přesahující teoretickou spotřebu odchází ve formě páry. Výsledným produktem je práškovitý vápenný hydrát, který je skladovatelný až 6 měsíců a z něhož se vápenná kaše v okamžiku potřeby snadno připraví přidáním potřebného množství vody.

U vápenného hydrátu výrobce zpravidla uvádí sypnou hmotnost, která se u čistě vápenných (bílých) hydrátů pohybuje v rozmezí 300 až 600 $kg.m^{-3}$ a u hydrátů dolomitických leží v blízkosti výše uvedené horní meze (600 $kg.m^{-3}$). Vápenný hydrát se dodává ve frakci 0/0,09, nadsítné i zbytek na sítě 0,2 mohou být maximálně 2 %.

Ve zcela čerstvé kaši připravené z vápenného hydrátu je nedostatečný podíl nejjemnějších zrn. Jejich podíl v kaši postupně v důsledku rekrystalizačních procesů vzrůstá. Proto je vhodné před přípravou omítkové malty nechat vápennou kaši tak týden v klidu odležet.

Protože hydratace oxidu hořečnatého probíhá jen neochotně, můžeme se v praxi setkat s dolomitickým polohašeným vápnem, které obsahuje vedle $Ca(OH)_2$ jen nevyhašený oxid hořečnatý (je prakticky bez $Mg(OH)_2$).

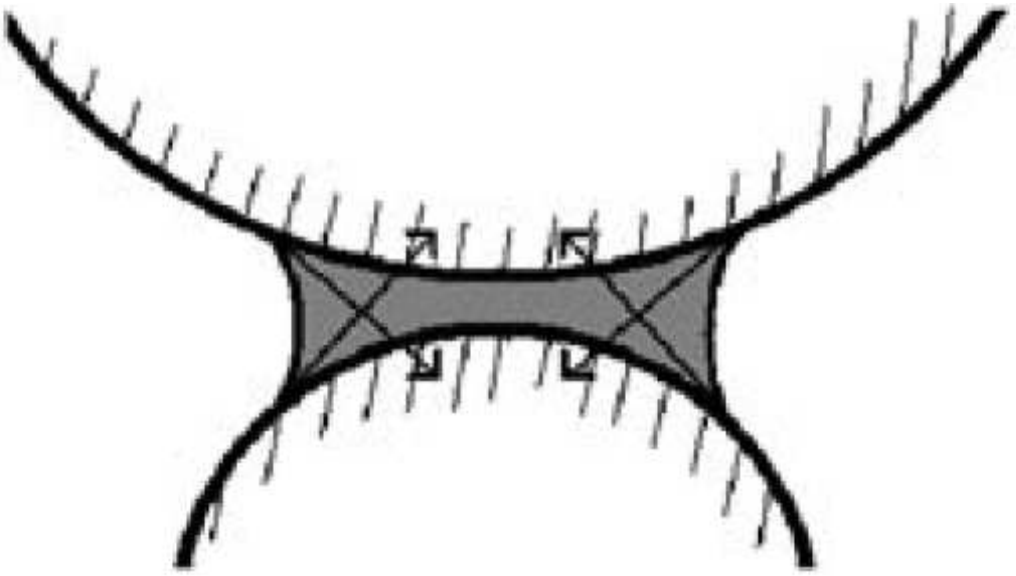
Zvláštní druh vápenné kaše představuje karbidové vápno, které odpadá při výrobě acetylenu z karbidu vápenatého:

$$CaC_2 + 2\ H_2O \rightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$$

Z 1 tuny karbidu vápenatého vzniká skoro 2,5 tuny vápenné kaše. Tam, kde nebyla na závadu tmavší barva způsobená zbytky koksu, byla tato kaše použitelná jako laciné vápenné pojivo. Soudobé chemické továrny však karbidové vápno už většinou neprodávají. Původně odpadní vápenná kaše jim slouží jako surovina pro další výroby.

### 4.4.2.2 Tuhnutí a tvrdnutí vzdušného vápna

Tuhnutí vápenné malty probíhá jako sesychání koloidního gelu vápenného pojiva. Tuhnutí je vyvolané odpařováním přítomné vody a malta ze vzdušného vápna tedy pod vodou vůbec netuhne. Odpařující se voda uniká z mezizrnných prostorů kapilárního charakteru a účinkem kapilárních sil dochází ke shlukování submikroskopických částic hydroxidu vápenatého a jejich následnému srůstu.



*Obr. 4.63* Sesychání částic koloidního gelu hydroxidu vápenatého

Rozpustnost $Ca(OH)_2$ není zanedbatelná (při 20 ºC se v 1 $dm^3$ vody rozpouští 1,6 g hydroxidu vápenatého) a ztuhlá struktura proto není trvale vodovzdorná.

Rekrystalizační a srůstové procesy se podílejí i na tvrdnutí vápenné malty. Hlavní složkou vytvrzování však je *karbonatace* (uhličitanové tvrdnutí). Ke karbonataci dochází působením vzdušného oxidu uhličitého.

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + nH_2O \rightarrow CaCO_3 + (n+1)\ H_2O$$

Karbonatace vyžaduje přítomnost alespoň malého množství vody v tvrdnoucí maltě a vzhledem k malé koncentraci (0,03 % obj.) $CO_2$ ve vzduchu probíhá jen pomalu.

Karbonatační reakcí vzniká z hydroxidu vápenatého uhličitan vápenatý a vytvrzená vápenná malta nabývá charakteru vápencového slepence. Ani pak však není trvale odolná vodě. Na vině je zřejmě porozita vzniklé struktury, rozpouštění ještě nezkarbonatované části vápna a možnost přechodu uhličitanu vápenatého na rozpustnější hydrogenuhličitan účinkem oxidu uhličitého přítomného ve vodě.

$$CaCO_3 + CO_2 + nH_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2 + (n-1)\ H_2O$$

Při stejném obsahu oxidu uhličitého se jako agresivnější projevuje voda s nízkým obsahem vápenatých solí (voda měkká).

Karbonatace do hlubších vrstev malty je proces řízený rychlostí průniku (difúzí) oxidu uhličitého a tloušťka zkarbonatované vrstvy vzrůstá lineárně s druhou odmocninou stáří omítky.

Jeden měsíc bývá považován za dobu dostatečnou k tomu, aby vápenná omítka ztratila v bezprostřední blízkosti svého povrchu alkalický charakter. Po jednoměsíčním zrání je proto možné místnosti opatřené vápennými omítkami vymalovat, aniž by hrozilo poškození klihového pojiva malířské hmoty.

### 4.4.2.3 Použití vzdušného vápna

Vzdušné vápno, jako levné a osvědčené stavební pojivo, stále hraje významnou roli i přesto, že podíl zdicích a omítkových malt připravovaných z vápenného hydrátu přímo na stavbě výrazně klesl.

Na převážně vápenné bázi se vyrábí průmyslově celá řada maltových směsí. V mnoha dalších prefabrikovaných maltových výrobcích je vzdušné vápno přítomné alespoň jako menšinová složka pojiva. Vzdušné vápno se často přidává i do cementu pro zdění.

Velké množství vápna se spotřebovává při výrobě vápenopískových cihel a autoklávovaného pórobetonu.

Vápenné mléko se stále používá k vnitřním i venkovním nátěrům. V případě staročeských chalup je nátěr vápenným mlékem (bílení) často jedinou úpravou splňující požadavky památkářů. Optické zjasnění vápenného nátěru lze dosáhnout přísadou modrého pigmentu na bázi křemičitanu kobaltnatodraselného (česká modř, šmolka). K výhodám bílení je třeba přičíst desinfekční účinek vápenného nátěru způsobený jeho silnou alkalitou.

Průmyslově se vyrábějí i různě tónované vápenné nátěry, obsahující zpravidla vedle vápenného mléka i menší podíl polymerního pojiva (viz též kap. 4.12.1.2.16).

### 4.4.2.4 Zkoušení vzdušného vápna

Pevnost vzdušného vápna není předepsána a nekontroluje se. U nehašených vzdušných vápen se kontroluje objemová stálost po hašení, vydatnost vápna *a* aktivita vápna. Platné postupy ke zkoušení shrnuje ČSN EN 459-2.

Objemová stálost se prokazuje jen u bílého vápna a dilatace musí vyhovět předepsaným hodnotám.

Aktivita se podle normy ČSN 459-2 zjišťuje z teplotní křivky získané při hašení vápna v předepsaném měřicím přístroji. Udává se čas, za který je dosaženo 80 % z celkové hydratace.

Aktivita může být alternativně charakterizována také časem potřebným k dosažení určité konkrétní teploty. S tímto způsobem určování aktivity se můžeme často setkat v technických podmínkách výrobců nebo zpracovatelů. Například u vápna pro výrobu pórobetonu se doporučuje dosažení teploty 60 ℃ během 6 až 15 minut hašení.

### 4.4.3 Křemičitany alkalických kovů

Křemičitany alkalických kovů se jako pojivo používají nejčastěji ve formě koloidního vodného roztoku nazývaného *vodní sklo*.

Komerčně dostupné sodné vodní sklo obsahuje 35 – 45 hmot. % sušiny. Draselné vodní sklo se vyrábí se sušinou 30 – 40 hmot. %. U lithného vodního skla se sušina běžně pohybuje v rozmezí 20 – 30 hmot. %.

Základním vyráběným typem je vodní sklo sodné, kterého se vyrábí asi dvacetkrát více než vodního skla draselného. Výroba spočívá v tavení uhličitanu sodného (sody) s křemenným pískem při cca 1400 ºC, čímž vzniká sodnokřemičitá frita.

Následné rozpouštění sodnokřemičité frity ve vodě se musí provádět při zvýšené teplotě a tlaku. Běžné sodné vodní sklo má hustotu 1300 - 1500 $kg.m^{-3}$ a průměrné složení rozpuštěných křemičitanů sodných odpovídá molárnímu zlomku $SiO_2 : Na_2O$ s hodnotou 3,1 - 3,3.

Draselné vodní sklo se vyrábí analogicky jako sodné vodní sklo a i jeho molární modul $SiO_2 : K_2O$ nabývá podobné hodnoty (3,2 – 3,5).

Lithné vodní sklo se připravuje ze sodného vodního skla iontovou výměnou. Výroba lithného skla nepřesahuje 0,2 % z objemu produkce sodného vodního skla.

V důsledku rovnovážné hydrolýzy reagují roztoky alkalických křemičitanů zásaditě, což je možné zjednodušeně zapsat:

$$(SiO_3)^{2-} + H_2O \leftrightarrow H_2SiO_3 + 2(OH)^-$$

Tuhnutí a tvrdnutí roztoků alkalických křemičitanů spočívá v tvorbě pevného gelu kyseliny křemičité, ke kterému dochází při porušení hydrolytické rovnováhy okyselením vodního skla.

K vytvrzovací reakci stačí i snížení pH působením vzdušného $CO_2$. Pro urychlení reakce a k dokonalejšímu vytvrzení silnějších vrstev se do výrobků na bázi vodního skla přidávají kysele reagující tvrdidla.

Přímý přídavek kyseliny do vodního skla vyvolává okamžitou („bleskovou“) srážecí reakci a k dosažení technologicky vhodné rychlosti vytvrzování se proto používají látky uvolňující kyselinu postupně. Kromě toho se tvrdidla předem rozmíchávají s plnivem, které slouží jako nosič a usnadňuje rovnoměrné působení tvrdidla v celé vytvrzované hmotě.

Pro vytvrzování sodného vodního skla se používá především fluorokřemičitan sodný, ze kterého vzniká v alkalickém prostředí vodního skla účinkem vody (hydrolýzou) křemičitan sodný a kyselina fluorovodíková:

$$Na_2SiF_6 + 3\ H_2O \rightarrow Na_2SiO_3 + 6\ HF$$

Oblíbeným tvrdidlem pro draselná vodní skla je amid kyseliny mravenčí (formamid), který se v alkalickém prostředí hydrolyzuje na kyselinu mravenčí a amoniak:

$$HCONH_2 + H_2O \rightarrow HCOOH + NH_3$$

Vcelku univerzální vytvrzovací schopnosti mají estery kyseliny octové a vícefunkčních alkoholů. Například ethylenglykolmonoacetát poskytuje alkalickou hydrolýzou kyselinu octovou a ethylenglykol:

$$HOCH_2CH_2OCOCH_3 + H_2O \rightarrow CH_3COOH + HOCH_2CH_2OH$$

Jako nosič kyselé příměsi a plnivo se používají různé inertní minerální moučky (křemenná, čedičová, šamotová). Minerální výplň obsahuje zhruba 3 % vytvrzovací příměsi. Při přípravě malty nebo tmelu se vodní sklo s výplní mísí obvykle v poměru 1 : 2,5 – 3,5.

Hlavní použití nachází vodní sklo jako pojivo kyselinovzdorných tmelů a žárovzdorných materiálů. Na bázi vodního skla je možné vyrábět jak hutné malty a betony, tak lehčené tepelně izolační hmoty (perlitové malty).

Minerální vláknité materiály pojené vodním sklem jsou použitelné jako nástřiky pro protipožární ochranu ocelových konstrukcí. V minulosti byla k tomu účelu používána kombinace vodního skla a azbestu. S ohledem na soudobé poznatky o škodlivosti azbestu, jsou opravy či rekonstrukce takto provedených protipožárních úprav velmi nákladné.

Vyšší konečné tlakové pevnosti dosahují výrobky obsahující sodné vodní sklo (až 35 MPa). Pevnost výrobků s draselným vodným sklem je asi poloviční. Výrobky s draselným vodním sklem však rychleji nabývají konečné pevnosti a poskytují kvalitnější žárovzdorné hmoty. Pevnost v tahu bývá u obou typů okolo 2 MPa.

Zajímavou stavební aplikaci vodních skel představují silikátové nátěry, se kterými se setkáváme stále častěji jako s finálními nátěry vnějších omítek. Důvodem je dobrá propustnost těchto nátěrů pro vodní páru (viz kap. 4.12.1.2.15).

V současnosti je zřejmá snaha rozvíjet na bázi silně alkalického vodního skla, kombinovaného s přírodními nebo umělými hlinitokřemičitany, celou skupinu nových materiálů označovaných jako geopolymery (viz kap. 4.4.8).

Velký aplikační potenciál má dehydratované vodní sklo, které má práškovou formu a může být využito pro formulaci suchých maltových směsích. Setkáváme se s ním v některých značkových výrobcích určených pro pokládání a spárovaní dlažeb.

### 4.4.4 Hořečnaté pojivo

Hlavními složkami hořečnatého pojiva, označovaného někdy jako *Sorrelův (hořečnatý) cement*, jsou oxid hořečnatý (MgO) a chlorid hořečnatý ($MgCl_2$). Tvrdnutí hořečnatého pojiva lze zjednodušeně vyjádřit rovnicí:

$$5MgO + MgCl_2 + 12H_2O \rightarrow MgCl_2.5Mg(OH)_2.7H_2O$$

Ve skutečnosti nevzniká pouze výše uvedený komplexní heptahydrát, ale pestrá směs hydratovaných hydroxidchloridů a oxychloridů hořečnatých. Za vyhovující výchozí recepturu bývá považována směs obsahující MgO a $MgCl_2$ v molárním poměru 3 : 1.

Hořečnaté pojivo se zhruba do poloviny sedmdesátých let používalo ke zhotovování bezespárých podlahovin. Přímo na stavbě se z pilin a jemné dřevěné nebo minerální moučky, pojených tímto pojivem zhotovovala dvojvrstvá podlahovina xylolit v tloušťce asi 20 mm. Horní vrstva byla barvena anorganickými pigmenty, většinou železitými, a podlaha proto měla zpravidla typickou cihlovou barvu.

V xylolitové hmotě byly částice dřevěného plniva hořečnatým pojivem natolik mineralizovány, že výsledná hmota byla nehořlavá, nehnila a nebyla napadána dřevokazným hmyzem. Z xylolitové hmoty se proto vyráběly i dlaždice. Xylolit plněný korkovou drtí se nazýval korkolit.

Můžeme se setkat i s dlaždicemi nebo bezespárými podlahami z hořečnatého pojiva bez dřevěných pilin či korkové drti. Materiál s čistě minerálním plnivem používaný pro tyto výrobky se běžně (i když zřejmě ne úplně správně) označuje jako studený xylolit.

Bezespáré xylolitové podlahy i xylolitové dlažby se po zhotovení a vytvrzení musely napouštět lněným olejem. Občasné nové napouštění bylo součástí dlouhodobé údržby xylolitových podlah a usnadňovalo jejich úklid.

Vyzrálé hořečnaté hmoty dosahovaly pevnosti v tlaku 20 – 35 MPa a pokud nepřišly do styku s vlhkostí, byly velmi stálé. V bytové a občanské výstavbě mnohdy představoval správně zhotovený a ošetřovaný xylolit optimální podlahové řešení. Pokládka xylolitu však byla řemeslně i fyzicky náročná a pracná. Dnes se proto již neprovádí.

Xylolit může představovat určitý problém při renovacích starších objektů. Nahradit poškozená místa novou hmotou stejného složení je téměř nemožné. Chybí kladeči i suroviny prověřené kvality. Jednalo by se v podstatě o pokusný restaurátorský zásah. Často se proto přistupuje k překrytí xylolitu, což by v suchých objektech nemělo činit obtíže. Hořečnaté materiály se svého času jako podložka pod linoleum a PVC podlahoviny běžně používaly.

Mnohé kladečské firmy však ke xylolitu nemají důvěru. Obávají se objemových změn vyvolaných zvýšenou vlhkostí po překrytí novou podlahovou vrstvou. Vyžadují proto jeho odstranění.

Při likvidaci xylolitových podlah je však třeba mít na paměti, že běžnou součástí formulace xylolitové kompozice býval i azbest. Pokud se přítomnost azbestu potvrdí musí být této skutečnosti přizpůsoben režim bouracích prací.

To, že byly vydány nové normy věnované potěrům z hořečnatého pojiva (ČSN EN 14016-1 a ČSN EN 14016-2) můžeme považovat za signál, že by mohlo dojít k určité renesanci xylolitových technologií.

### 4.4.5 Hydraulické vápno

K tradiční výrobě hydraulického vápna se používají jílovité vápence (vápencové slíny), obsahující kromě CaO také větší obsahy hydraulických oxidů. Výpal se provádí při teplotě pod 1250 ℃ s následným hašením na prach (rozhašov ání).

V případě silně hydraulických vápen s $M_H$ < 3 se rozhašování neprovádí, protože v nich je obsah volného CaO relativně malý a tato vápna se svými vlastnostmi podobají cementům. Z dovozu (Francie) lze takové vápno získat pod označením románský cement (prompt natural cement). Jde o velmi rychlé pojivo s dobou počátku tuhnutí 2-20 minut. K regulaci rychlosti tuhnutí se používa přísada kyseliny citronové.

Románský cement lze použít k přípravě exklusivních omítek, které jsou je velmi odolné proti atmosférickým vlivům a krystalizaci solí. Barva omítek zhotovených z románského cementu se pohybuje od žluté do hnědé

Dominantní složkou odpovědnou za hydraulické vlastnosti hydraulického vápna je křemičitan dvojvápenatý (dikalciumsilikát).

Pojivo, ve kterém vzniká dikalciumsilikát přímo pálením vhodných surovin (např. méně čistých vápenců), se podle ČSN EN 459-1 označuje jako přirozené hydraulické vápno a jeho jednotlivé druhy se značí zkratkou NHL (natural hydraulic lime) doplněnou číslicí, udávající třídu podle tlakové pevnosti v MPa.

Podle stejné normy se zavádí doplňkové označení písmenem z pro přirozené hydraulické vápno s příměsí. Takto označené přirozené vápno může obsahovat až 20 % vhodných pucolánových nebo hydraulických látek.

Číslo normy je součástí celého označení, které pro přirozené hydraulické vápno s pucolánovou příměsí vypadá například takto:

EN 459-1 NHL 3,5 Z.

Za *přírodní pucolány* se dnes považují všechny přírodní hydraulické příměsi (tras, pemza, sopečný tuf, tufity, křemelina, spongilit, zeolity), i když původně byl tímto názvem označován pouze sopečný popel z okolí Vesuvu. Název pochází od starověkého přístavu Pozzuoli, ve kterém se již 100 let před naším letopočtem s touto přísadou čile obchodovalo.

Nejpoužívanější *umělý pucolán* je elektrárenský popílek. Za nejúčinnější pucolánovou příměs jsou považovány velmi jemné křemičité úlety vznikající (původně jako obtížný odpad) při metalurgických procesech.

Pro přírodní i umělé pucolány je charakteristické, že sice se samotnou vodou nereagují, účinkem hydroxidu vápenatého však nabývají vlastností hydraulického pojiva.

Kromě výpalu jílovovápenaté suroviny se k výrobě hydraulického vápna dá použít i odlišný způsob, spočívající ve společném mletí kusového páleného vzdušného vápna s vhodnou příměsí, která do mleté směsi potřebné hydraulické oxidy dodá. Takto vyrobené pojivo se nazývá prostě *hydraulické vápno a* v normě ČSN EN 459-1 se označuje jako HL. Jako latentně hydraulickou příměs je možné kromě pucolánů použít také jemně mletou vysokopecní strusku.

Druh použité hydraulické příměsi může být zmíněn v názvu vápna (vápno pucolánové nebo vápno struskové)**.**

Označení a třídy hydraulických vápen (ENV 459-1) *Tab. 4.61*

| Označení | Značení | Volné vápno[1)] | Obsah $SO_3$[1,2)] |
|---|---|---|---|
| Hydraulické vápno 2 | HL 2 | ≥ 6 | <3 |
| Hydraulické vápno 3,5 | HL 3,5 | ≥ 6 | <3 |
| Hydraulické vápno 5 | HL 5 | ≥ 3 | <3 |
| Přirozené hydraulické vápno 2 | NHL 2 | ≥ 15 | <3 |
| Přirozené hydraulické vápno 3,5 | NHL 3,5 | ≥ 9 | <3 |
| Přirozené hydraulické vápno 5 | NHL 5 | ≥ 3 | <3 |

[1)] Hodnoty jsou uvedeny v % hmotn. Platí po odpočtu volné a vázané vody.
[2)] Vyhoví-li zkoušce objemové stálosti podle ČSN EN 459-2 (při uložení 28 dní ve vodě), připouští se až 7 %.

Hydraulická vápna se používají hlavně v maltách, i když je možné s jejich použitím připravit i betony nižší třídy. K plnému využití vazebných vlastností je třeba po celou dobu hydratace křemičitanových složek zabezpečit dostatek vody, na což je třeba dbát hlavně u omítek.

Hydraulická vápna byla oblíbeným pojivem pro suché maltové směsi na vnější omítky a používala se i pro vápenné malty pro zdění.

V současné době se u nás hydraulické vápno nevyrábí, což nesou nelibě zejména památkáři. V případě potřeby je však možné získat hydraulické vápno z dovozu. Ke tradičním výrobcům patří Anglie.

V běžné stavební praxi se hydraulické vápno nahrazuje cementem nižší třídy (cementem pro zdění) nebo cementovápenným pojivem.

### 4.4.6 Silikátový cement

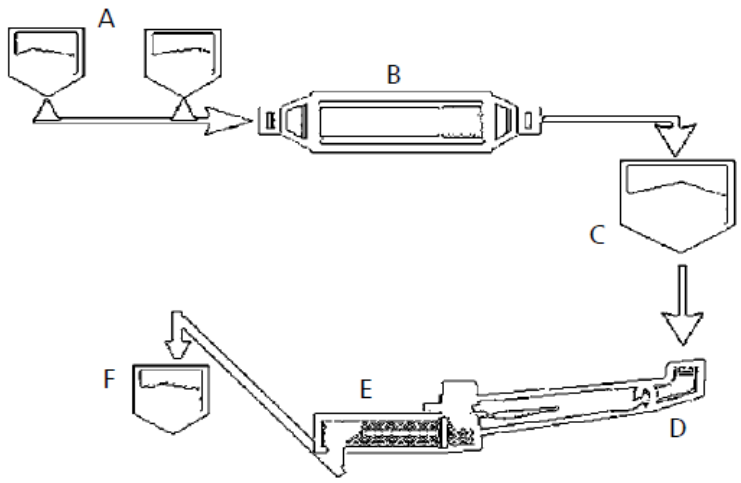
Silikátový (křemičitanový) cement se vyrábí vysokoteplotním výpalem v podstatě ze stejných surovin jako silně hydraulické vápno. Kromě vápencových slínů je k výrobě silikátového cementu možné využít vápenec doplněný minerální surovinou obohacující vápencovou složku o hydraulické oxidy. Obsah uhličitanu vápenatého má činit zhruba 77 % z hmotnosti celé minerální násady.

Silikátový cement je práškové anorganické pojivo s velmi výraznou hydraulicitou. Po smíchání s vodou vytváří kaši, která tuhne a tvrdne i pod vodou. Po zatvrdnutí si i ve vodě zachovává svoji pevnost a objemovou stálost.

Silikátový cement je zdaleka nejběžnějším typem cementu pro všeobecné použití a slovo silikátový se proto v názvu obvykle vynechává.

#### 4.4.6.1 Výroba cementu

výrobě cementu se v současnosti používají výhradně kontinuálně pracující rotační pece, i když původně probíhala výroba cementu i v pecích šachtových.



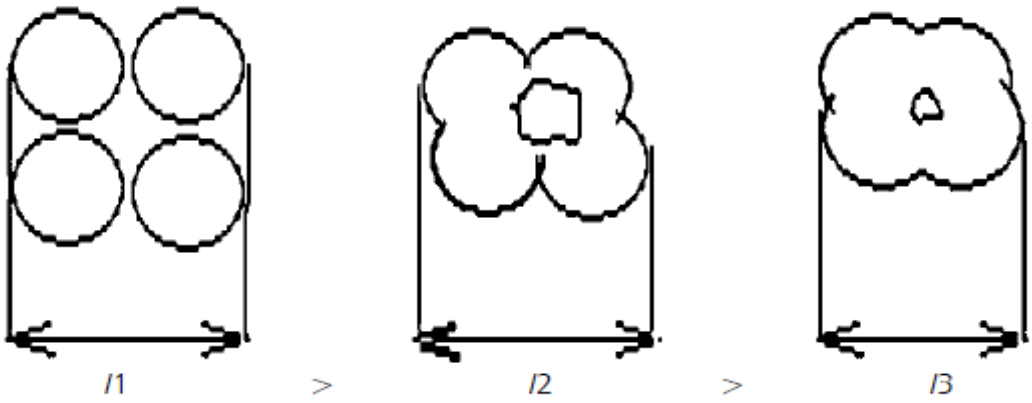

*Obr. 4.64* Linka na výrobu cementového slínku

A – surovinová sila, B – homogenizační mlýn, C – zásobník na surovinovou směs, D – rotační pec, E – chladič slínku, F – slínkové silo

Zvláštní charakteristický tvar včelího úlu měla šachtová pec Johna Aspdina, jehož britský patent č. 5022 z roku 1824 je považován za počátek moderního cementářství. Aspdin sám údajně chápal cement především jako pojivo k výrobě umělých kamenných prvků nahrazujících kvalitní stavební kámen z Portlandu. Tím se vysvětluje název *portlandský cement,* který se pro cement dodnes používá, když chceme zdůraznit skutečnost, že jde o cement jednosložkový (mletý slínek bez dalších hydraulických příměsí).

Je ovšem možné, že původní Aspdinův produkt byl spíše silně hydraulickým vápnem, protože je pravděpodobné, že teplota v jeho peci nedosahovala hodnot charakteristických pro současnou cementářskou výrobu.

Základní rozdíl mezi výrobou hydraulického vápna a výrobou portlandského cementu spočívá v překročení slinovací teploty rozžhavené minerální násady. V důsledku zdánlivě čistě fyzikálního procesu slinování dochází při teplotách 1300 až 1400 ℃ ve slinovaném materiálu k hlubším chemickým změnám, jejichž důsledkem je vznik trikalciumsilikátu (alitu), který se pak v cementu stává nejvýznamnějším hydraulicky aktivním minerálem.




*Obr. 4.65* Slinování zrnitého materiálu

Slinovací proces způsobuje spékání původně práškovité násady. Postupným nabalováním rozžhavených částic procházejících zvolna rotující pecí vzniká *slínek* v podobě až několika centimetrových tvrdých valounků.

Slínek, který je základní surovinou pro další výrobu cementu, obsahuje především křemičitany (silikáty) a hlinitany (aluminát) vápenaté. Jedná se o sloučeniny podobné přírodním horninotvorným minerálům. S ohledem na tuto skutečnost se sloučeniny tvořící slínek označují jako *slínkové minerály*.

Slínek se po částečném vychladnutí drtí a poté se nechává vychladnout ve skladovacích slínkových silech. Době, po kterou je slínek v těchto silech, se už dnes nepřipisuje takový význam jako dříve a kapacita sil se volí jen taková, aby spolehlivě vyrovnávala výrobní výkyvy.

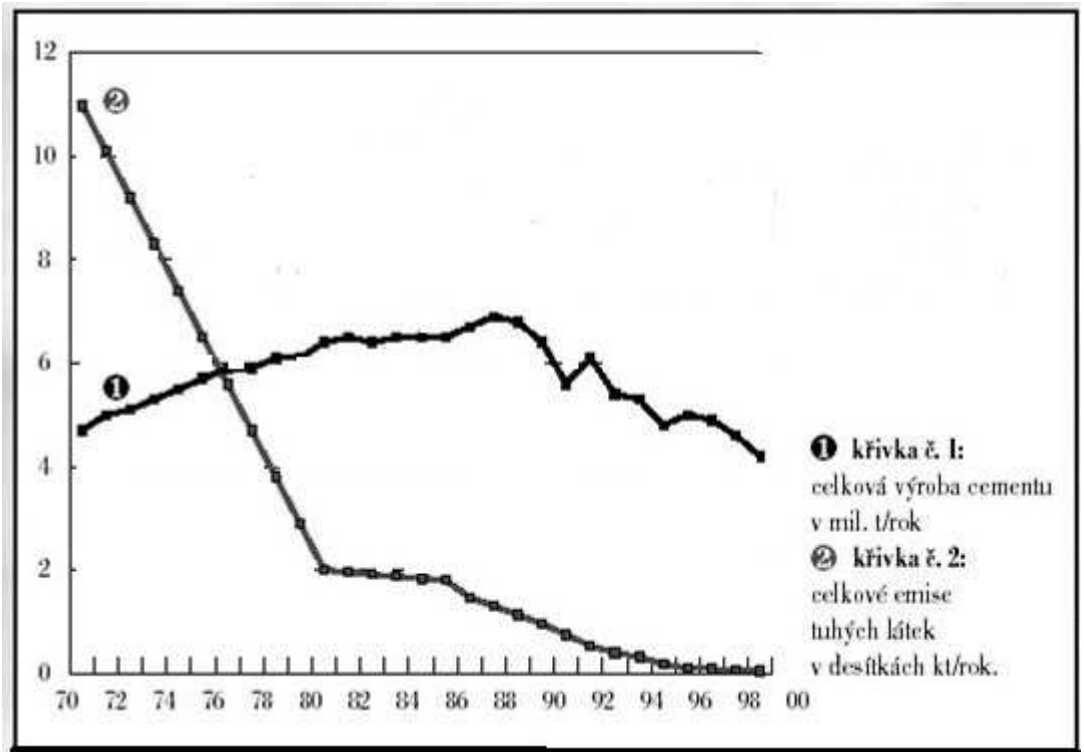
Ze skladovacích prostor se slínek průběžně odebírá a společně s přísadou 2 – 6 % sádrovce (přírodního sádrovce, sádrovcových střepů z použitých sádrových forem, průmyslového odpadního sádrovce) se mele na definitivní jemnost, čímž vzniká jednosložkový (portlandský) cement.

Sádrovec slouží v cementu jako regulátor rychlosti tuhnutí. Ke stejnému účelu je možné použít i přírodní anhydrit, sádrovci se však většinou dává přednost. Požadavky na kvalitu sádrovce i anhydritu předepisuje ČSN 72 1206.

Kromě sádrovce se mohou (v množství nepřesahujícím 1 % z hmotnosti cementu) přidávat i vedlejší přísady, např. intezifikátory mletí nebo hydrofobní přísady.

Výsledkem závěrečné mlecí operace je jemně práškovitý produkt s měrným povrchem 225 – 400 $m^2.kg^{-1}$. Je dopravován do skladovacích cementových sil, ze kterých se pak podle potřeby dávkuje buď do přepravních aut či vagónů, nebo na pytlovací linku.

Na konci osmdesátých let se u nás ročně vyrábělo skoro 7 Mt cementu. V současnosti se v Česku ročně vyrobí 4 Mt cementu. Ve stejném období se podařilo ptakticky odstranit emise tuhých látek a snížit energetickou náročnost výroby 1 t slínku z 7000 MJ na 3000 MJ.




Obr. 4.65a Výroba cementářskéhé slínku a emise tuhých látek z této výroby

### 4.4.6.2 Složení slínku

Slínkových minerálů je sice možné ve slínku identifikovat okolo dvaceti, za prakticky významné jsou však považovány jen čtyři z nich. Jsou to: trikalciumsilikát (křemičitan trojvápenatý), dikalciumsilikát (křemičitan dvojvápenatý), trikalciumaluminát (hlinitan trojvápenatý) a tetrakalciumaluminátferit (hlinitoželezitan čtyřvápenatý). Tyto čtyři sloučeniny (tvoří dohromady přes 90 % z celkové hmoty slínku) se v rozhodující míře podílejí na vlastnostech cementu, který se ze slínku vyrábí.

Výroba cementu je charakteristická vysokými teplotami a přítomností kyslíku. Při tvorbě slínkových minerálů se proto všechny zúčastněné prvky nacházejí v podobě oxidů. To umožňuje považovat oxidy za základní stavební kameny cementového slínku.

Vzorce slínkových silikátů proto často rozepisujeme jako komplexní sloučeniny těchto „mateřských" oxidů. Křemičitan trojvápenatý je možné zapsat jako $3CaO . SiO_2$. Křemičitan dvojvápenatý se rozepisuje jako $2CaO. SiO_2$. Hlinitan trojvápenatý dostává podobu $3CaO . Al_2O_3$. A konečně hlinitoželezitan čtyřvápenatý je možné vyjádřit jako $4CaO . Al_2O_3 . Fe_2O_3$.

To nám pak dále umožní zavést zkrácenou formu zápisu chemických vzorců slínkových minerálů pomocí tak zvané cementářské notace.

Při tomto způsobu zápisu se $Al_2O_3$ zapisuje jako A, CaO jako C, $Fe_2O_3$ jako F a i voda ($H_2O$) se zkracuje jako H.

Typograficky poněkud nešťastná je původní jednopísmenová zkratka oxidu sírového („velké es s pruhem"). V tomto textu je proto $SO_3$ zkracován jako typograficky dostupnější Ŝ.

V cementářské notaci dostávají chemické vzorce čtyř základních slínkových minerálů jednoduchou a praktickou podobu cementářských vzorců: $C_3S$, $C_2S$, $C_3A$ a $C_4AF$. Kromě toho se při popisu cementového slínku užívají ještě slovní mineralogické názvy jednotlivých složek.

Přehled hlavních složek v cementářském slínku *Tab. 4.62*

| Název | Vzorec | Slovní označení | Obsah (%) | Hydratační teplo ($kJ.kg^{-1}$) | Hydratace |
|---|---|---|---|---|---|
| Trikalciumsilikát | C3S | alit | 35 – 75 | 500 | rychlá |
| Dikalciumsilikát | C2S | belit | 5 – 40 | 250 | střední |
| Tetrakalciumaluminátferit | C4AF | brown-millerit (celit) | 9 – 14 | 420 | rychlá |
| Trikalciumaluminát | C3A | amorfní fáze | 3 –15 | 910 | velmi rychlá |
| | | | | | |
| Oxid vápenatý | CaO | volné vápno | <4 | 1 160 | pomalá |
| Oxid hořečnatý | MgO | periklas | <6 | | pomalá |

Každá z těchto složek nějak ovlivňuje výsledné vlastnosti cementu tím, že vnáší do cementu svoje charakteristické vlastnosti.

Trikalciumsilikát (alit) nabývá pevnosti převážně v počáteční době do 28 dní. Jeho vyšší obsah je proto žádoucí pro rychlé dosažení pevností umožňujících navázat další operace (odbednění konstrukce). Alitový cement je proto všeobecně používaným typem cementu. Rovněž rychlovazné cementy mají obsah $C_3S$ co nejvyšší.

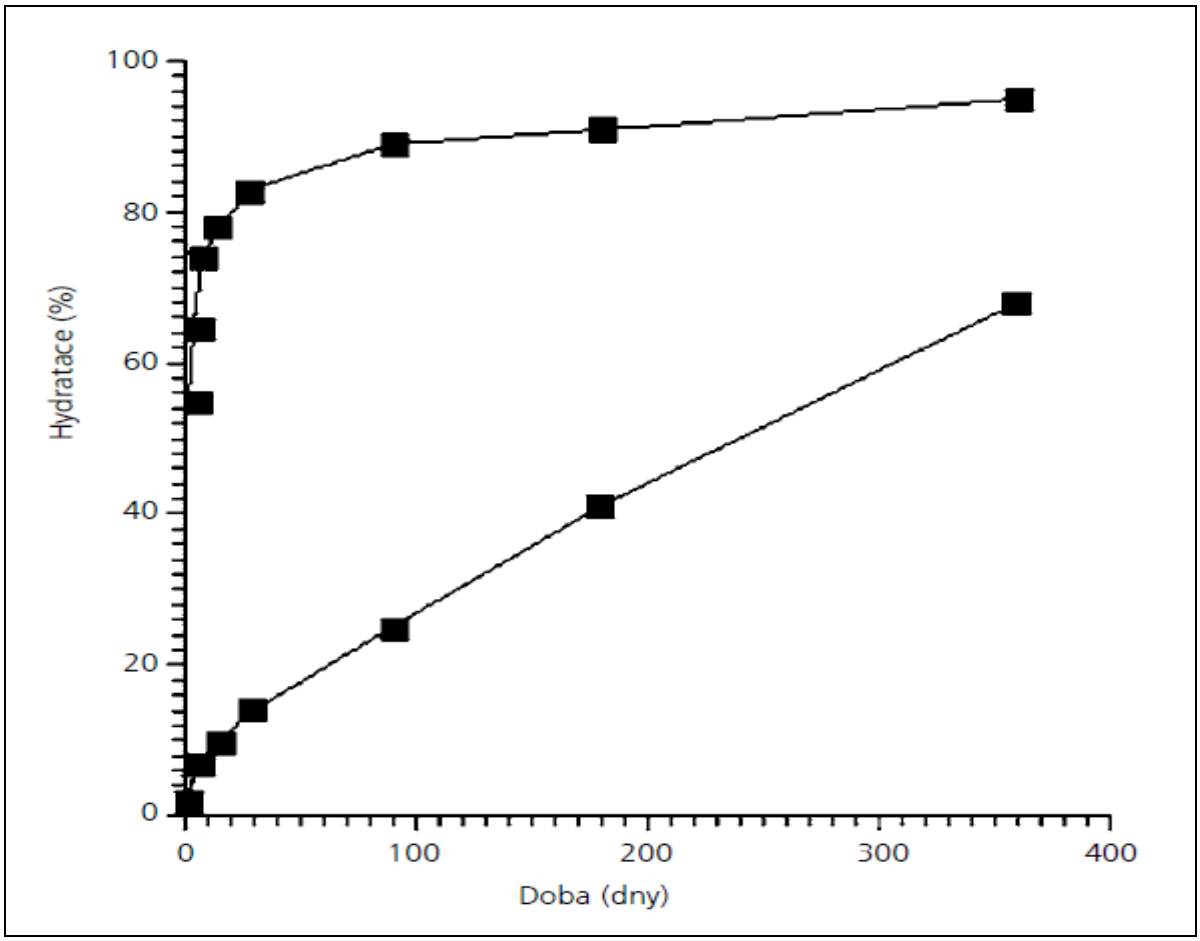
Dikalciumsilikát (belit), který z větší části vytvrzuje naopak až po 28 dnech, se ve zvýšené míře uplatňuje v belitovém cementu s nízkým hydratačním teplem, jenž se používá při betonáži extrémně masivních konstrukcí (přehradní hráz, základová deska jaderné elektrárny), kde je zapotřebí delší čas k postupnému odvodu tepla vyvinutého při hydrataci.

Specifickou vlastností trikalciumaluminátu je jeho citlivost na dodatečné působení síranů. V síranovzdorných cementech, určených zpravidla pro beton do základů stavby, se musí obsah trikalciumaluminátu snižovat (viz kap. 3.9.3.1).

Z těchto skutečností vychází americká výrobková norma ASTM C 150 (Standard Specification for Portland Cement), která zavádí pět druhů cementu (tab. 4.59a). Jednotlivé druhy jsou označeny římskými číslicemi I - V a liší v mineralogickém složení slínku. Doplňkové písmeno (a) se používá v případě pro druhy s provzdušňující přísadou (Ia, IIa, IIIa). Celé značení nemá žádnou spojitost se značením podle ČSN EN 197-1, kde římské číslice a doplňková písmena označují jednotlivé vícesložkové cementy.

Označování portlandských cementů obvyklé v USA (ASTM C 150, 2002) *Tab. 4.63*

| Druh cementu podle ASTM C 150 | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|
| Trikalciumsilikát (%) | 55 | 51 | 57 | 28 | 38 |
| Dikalciumsilikát (%) | 19 | 24 | 19 | 49 | 43 |
| Trikalciumaluminát (%) | 10 | 6 | 10 | 4 | 4 |
| Tetrakalciumaluminátferit (%) | 7 | 11 | 7 | 12 | 9 |
| Speciální funkce | není požadována | střední síranová odolnost | vysoká počáteční pevnost | nízké hydratační teplo | vysoká síranovzdornost |




*Obr. 4.66* Srovnání rychlosti hydratace alitu a belitu

V Evropě se jako cementy s nízkým hydratačním teplem používají vícesložkové cementy. Podle normy ČSN EN 14216 to mohou být cementy vysokopecní (VLH III/B, VLH III/C), pucolánové (VLH IV/A, VLH IV/B) a směsné (VLH V/A, VLH V/B). U těchto cementů je zavedena jedna třída normalizované pevnosti 22,5. Hydratační teplo nesmí překročit charakteristickou hodnotu 220 J/g, pro stanovení podle ČSN EN 196-8 po 7 dnech nebo podle ČSN EN 196-9 po 41 hodinách (oba zkušební postupy jsou rovnocenné).

Hydratace samotného trikalciumaluminátu probíhá tak rychle, že by ztěžovala zpracování čerstvého betonu. Právě kvůli trikalciumaluminátu se do cementu přimílá sádrovec, který rychlost hydratace $C_3A$ zpomaluje.

Malé množství oxidu vápenatého je v cementovém slínku přítomno v nevázané formě jako volné vápno. S ohledem na teplotu výpalu cementového slínku se jedná o mrtvě pálené vápno, které reaguje s vodou jen neochotně. K jeho dohašování proto dochází až po dlouhé době a objemový nárůst uvnitř vytvrzeného cementu, vyvolaný tvorbou $Ca(OH)_2$, vede ke tvorbě trhlin. Přípustné množství volného vápna je proto omezeno na 4 %.

Ze stejného důvodu je nežádoucí větší obsah hořčíku, který v cementovém slínku vystupuje převážně jako volný oxid hořečnatý (periklas). Oxid hořečnatý rovněž hydratuje jen neochotně a jeho hydratace může vyvolat vznik trhlin. Množství MgO je proto limitováno hodnotou 6 %.

### 4.4.6.3 Hydratační reakce

Hned v úvodu je vhodné poznamenat, že průběh hydratačních reakcí je závislý nejen na samotném mineralogickém složení cementu, ale také na jemnosti mletí, množství záměsové vody, teplotě a přítomnosti dalších přísad či příměsí.

U běžně mletých cementů hydratuje pouze asi 15 % cementu. Ke zbývající části cementových zrn se už voda přes vzniklé hydratační produkty nedostane a tato část cementu zůstává uzavřena v hydratované struktuře v původní podobě. Fakticky slouží jako plnivo.

V té části cementu, ve které probíhají hydratační reakce, reagují jednotlivé slínkové minerály často vícestupňovým mechanizmem (následné reakce) nebo několika mechanizmy probíhajícími současně (konkurenční reakce). i z tohoto důvodu mají hydratační tepla uvedená v tabulce 4.59 jen přibližné hodnoty a v jiných pramenech je možné nalézt i čísla poněkud odlišná.

Hydratační reakce samotného trikalciumaluminátu, vedoucí ke tvorbě pevných a nerozpustných hydroaluminátů, je příliš rychlá. Ve skutečnosti se jedná o celý komplex hydratačních reakcí, přičemž dominantní první krok můžeme zjednodušeně zapsat jako:

$$2\ C_3A + 27\ H \rightarrow C_4AH_{19} + C_2AH_8$$

Jako další hydroaluminát vzniká také $C_2AH_{2,\ a}$ za účasti vápna také $C_4AH_{13}$. Následně pak vzniká v aluminátové fázi kubický $C_3AH_6$.

Vzniklé hydroalumináty velmi účinně omezují pohyb sousedních zrn a mají hlavní podíl na tuhnutí cementu.

Při praktickém používání cementu se proces tuhnutí cementu zpomaluje, aby se zajistila doba potřebná pro výrobu betonové směsi, pro její dopravu, uložení a zpracováni.

K potlačení rychlosti tvorby hydroaluminátů se používají konkurenční hydratační reakce probíhající za účasti $C\hat{S}H_2$ (sádrovce). Pro tento účel se sádrovec do cementu přidává již ve výrobě.

Pokud je v reakční směsi volný sádrovec, dochází přednostně ke tvorbě komplexního trisulfátu (ettringitu), enormně bohatého na krystalovou vodu.

$$3\ C\hat{S}H_2 + C_3A + 32H \rightarrow C_3A(C\hat{S}H_2)_3H_{32}$$

Po spotřebování sádrovce vytváří ettringit pak s přebytečným trikalciumaluminátem komplexní hydratovaný monosulfát.

$$C_3A(C\hat{S}H_2)_3H_{32} + 2\ C_3A + 4\ H \rightarrow 3\ C_3A(C\hat{S}H_2)H_{12}$$

Zpomalující účinek sádrovce spočívá v tom, že se na povrch zrn trikalciumaluminátu okamžitě vytváří jemně krystalický povlak trisulfátu, který však neomezuje pohyblivost zrn a neovlivňuje zpracovatelnost. Tento povlak zabraňuje další hydratační reakci trikalciumaluminátové zrna.

Podobná reakce sádrovce s $C_4AF$ je sice také možná, probíhá však daleko pomaleji. Nepředstavuje proto pro hydrataci $C_4AF$ vážnou konkurenci. Produktem hydratace $C_4AF$ jsou normální hydrohlinitoželezitany.

Hydratace dikalciumsilikátu i trikalciumsilikátu vede, přes rozdílný průběh, k prakticky stejným produktům – hydratovaným křemičitanům vápenatým. Připsat těmto produktům nějaký jednoznačný vzorec je obtížné, protože v průběhu hydratační reakce fakticky vzniká hydratovaný gel, ze kterého není možné jednotlivé sloučeniny (hydrosilikáty) vydělovat.

Stavební částice tvořící hydrosilikátový gel mají nejméně tisíckrát větší povrch než původní cement a působí mezi nimi proto značné přitažlivé síly srovnatelné se silou chemických vazeb.

Trikalciumsilikát i dikalciumsilikát se v průběhu hydratace rozkládají a uvolňují hydroxid vápenatý, který se v cementářské notaci zapisuje jako CH. Celý jev lze zjednodušeně popsat pomocí následujících rovnic:

$$C_3S + (3 - x + y)H \rightarrow C_xSH_y + (3 - x)CH$$

$$C_2S + (2 - x + y)H \rightarrow C_xSH_y + (2 - x)CH$$

Při hodnotách $x = 0{,}5 - 1{,}5$ a hodnotách $y = 0{,}5 - 2{,}5$ popisují výše uvedené rovnice vznik mineralogické fáze C-S-H (I) vytvářející lístkovitou strukturu. Při $x = 1{,}5 - 2$ a $y = 1{,}0 - 4{,}0$ je výsledné složení charakteristické pro fázi C-S-H (III), která má podobu tenkých dutých svazčitých vláken.

Reakční přeměna pravděpodobně převážně probíhá v tuhé fázi a koloidní gel se objevuje, aniž by před tím došlo k rozpuštění původně přítomných slínkových minerálů. Určitý podíl rozpouštěcích a rekrystalizačních procesů je sice zřejmě také přítomen, ale reakce v pevné fázi (topochemický proces) je dominantní.

Při rozboru chemických reakci, které probíhají při hydrataci cementu nelze pomíjet fakt, že jde o velmi komplexní proces ve kterém se uplatňují chemické, fyzikální i mechanické jevy.

V žádném případě nestačí k uspokojivému popsání procesu hydratace několik, nebo několik desítek chemických rovnic. I fyzikální a mechanické aspekty procesu je třeba zohlednit.

Vyčerpávající model, který by zachycoval všechny aspekty chování v cementu přítomných látek sice stále ještě překračuje možnosti dnešních počítačů, byly však již vypracovány zjednodušené modely, které v popisu hydratace představují značný pokrok.

V principu je buď možné zanedbat minoritní pochody, které jsou za určitých podmínek stálé, nebo použít model na rozlišovací úrovni, kterou lze ještě výpočetně zvládnout.

Pro modelování hydratace jsou přitom klíčové čtyři faktory: zastoupení slínkových minerálů v cementu, křivka zrnitosti cementu, vodní součinitel a teplota. Významně do procesu hydratace zasahuje ještě vlhkost prostředí, přísady (např. mikrosilika) a volné alkálie.

Výrazné úspěchy při popisu hydratace byly dosaženy nejprve s dvourozměrnými modely, na jejichž základě byl simulovány procesy vzniku hydratačních produktů, na kontaktu cementu s vodou, následné difúzní pochody, a nukleace v pórech systému.

V současné době se již pracuje s třírozměrným simulačním systém založeným na představě dostatečně malých objemových jednotek – voxelů.

Voxel (volume element) představuje homogenní mikroskopickou jednotkovou oblast, která se účastní rozpouštění, transportu nebo chemické reakce.

Výchozí data potřebná ke konstrukci modelu se získávají extrapolací dvojrozměrných snímků získaných na řezech cementu elektronovým mikroskopem. Na stejných řezech se na základě digitální analýzy rentgenového obrazu určuje rozložení základních slínkových minerálů.

Model hydratace uvažuje základní slínkové minerály, tvorbu C-S-H gelu, vliv hydroxidu vápenatého a porozitu systému. Namísto opravdových tvarů zrnek cementu se při zpracování modelu pro zjednodušení uvažují digitální koule s distribucí dle křivky zrnitosti cementu.

Pravidla rozpouštění, nukleace, difúze a pohybu voxelů v hydratačním modelu nezachycují realitu dokonale a výsledná simulovaná mikrokostruktura má spíše spekulativní charakter.

I jednoduchým analytickým stanovení však lze reálně ověřit, že množství hydratací uvolněného hydroxidu vápenatého je poměrně značné. Ze 100 kg portlandského cementu se při hydrataci uvolní asi 30 kg $Ca(OH)_2$. Jen malá část uvolněného hydroxidu vápenatého se může spotřebovat na tvorbu aluminhydrátu, například podle rovnice:

$$C_3A + CH + 12\ H \rightarrow C_4AH_{13}$$

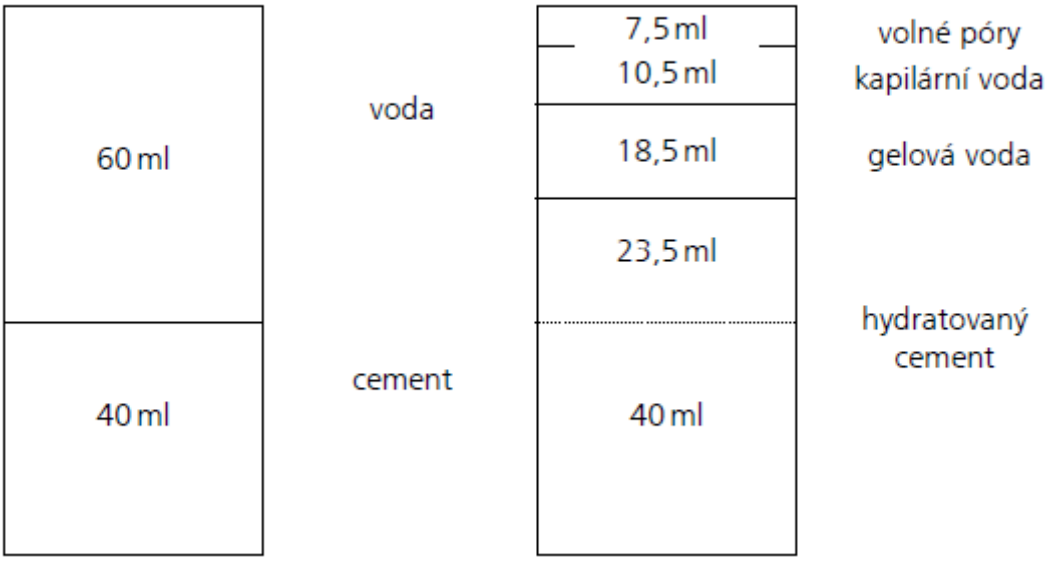
Hydroxid vápenatý zůstává tedy převážně volný a vytváří ve vytvrzeném cementu alkalické prostředí, které jen zvolna zaniká tím, jak hydroxid vápenatý karbonatuje (přechází účinkem vzdušného $CO_2$ na uhličitan vápenatý).

V nezkarbonatovaném cementu je alkalita vody v pórech na úrovni 12,5 pH, což odpovídá nasycenému roztoku hydroxidu vápenatého. V takto alkalickém prostředí neprobíhá koroze oceli, což je významné pro výrobu betonu se železnou výztuží.

Hydroxid vápenatý vyplňuje část prostoru mezi krystalky hydrosilikátového gelu, a pokud je odtamtud odstraněn stává se struktura cementu poréznější a méně pevnou. Rozpouštění $Ca(OH)_2$ při styku cementu s vodou chudou na minerální látky (hladová voda) nebo vodou kyselou je nejběžnějším typem koroze betonu (viz. 3.9.3.1.1).

V neposlední řadě je hydroxid vápenatý významný i pro schopnost další reakce s jemně dispergovanými hydraulickými oxidy (pucolánová reakce). Touto reakcí může vzniknout další podíl pevného nerozpustného gelu kompatibilního se hydrosilikátovým gelem vznikajícím ze slínkových minerálů. Tato skutečnost umožňuje nahrazovat část cementového slínku přírodními nebo umělými pucolány.

Při rozboru hydratační reakce nelze vynechat objemové zastoupení jednotlivých složek ve výchozí cementové kaši a ve výsledném cementovém kameni (hydratovaném cementu). Oba případy zachycuje následující obrázek.




*Obr. 4.67* Objemové podíly jednotlivých složek v cementové kaši a v cementovém kameni

Voda, která je vázána ve formě hydratačních produktů, zaujímá menší objem než voda nevázána. Dochází tak ke snížení objemového podílu vody a celkového objemu vůbec (ztráta objemu je v obrázku 4.64 značena jako volné póry). Důsledkem této skutečnosti je smršťování cementu při vytvrzování.

Nárůst pevnosti hydratujícího cementu je dán chemickým složením a jemností cementu. Jemnější cementy tvrdnou rychleji. Speciální rychletuhnoucí cementy se proto melou až na 500 $m^2.kg^{-1}$. Dosažení takové jemnosti mletí je však energeticky náročné.

Tvrdnutí cementu probíhá nejintenzivněji během prvního týdne, později se zpomaluje. Dotvrzování cementu sice probíhá po několik let, avšak z praktického hlediska považujeme hodnotu pevnosti dosaženou při teplotě 20 ℃ po 28 dnech zrání za hodnotu konečnou.

Po této době se určuje jak třída cementu podle ČSN EN 196-1, tak pevnostní třída omítkových či zdicích malt (podle ČSN EN 988-1 a 2) a rovněž pevnostní třída betonu podle ČSN EN 206-1.

#### 4.4.6.4 Slínkové příměsi

Náhrada části slínku hydraulicky aktivní látkou jiného původu je možná, aniž by došlo ke ztrátě pojivové funkce cementu. Fatální ztrátu pojivové funkce nezpůsobí ani hydraulicky inertní látka pokud je použitá v rozumné míře.

Příměsi nahrazující část slínku se v cementárnách přidávají až na samém konci výrobního procesu. Sádrovcový regulátor tuhnutí a hydraulicky aktivní příměs nebo inertní plnivo se melou spolu se slínkem na homogenní prášek obvyklé cementové jemnosti. Vzniklý produkt se označuje jako vícesložkový cement.

Nejběžnější jsou dvousložkové cementy připravované z cementářského slínku a vysokopecní strusky. Přehled ostatních používaných složek přináší tabulka 4.64.

Složky ve vícesložkových cementech (ČSN EN 197-1) *Tab. 4. 64*

| Název složky | Označení |
|---|---|
| Cementový slínek | K |
| Ganulovaná vysokopecní struska | S |
| Přírodní pucolán | P |
| Umělý pucolán | Q |
| Křemičitý popílek | V |
| Vápenatý popílek | W |
| Kalcinovaná břidlice | T |
| Křemičitý úlet | D |
| Vápenec | L |
| Vícesložková směs | M |
| Plnivo | F |

### 4.4.6.5 Cementy pro obecné použití

ČSN EN 197-1 definuje složení cementů pro obecné použití a specifikuje složky používané k částečné náhradě slínku. Cementy pro obecné použití se podle této normy označují značkou CEM s dalšími číselnými a písmennými symboly.

Základem CEM cementů je portlandský slínek, který se kombinuje s dalšími hydraulicky aktivními složkami. Celkový obsah aktivního oxidu vápenatého (CaO) a aktivního oxidu křemičitého ($SiO_2$) musí být v CEM cementech větší než 50 % hmotnostních. Přítomnost neaktivního plniva se připouští jen do 5 %. V tomto množství však plnivo může být i v jednosložkovém (čistě slínkovém) cementu.

Cementy značené CEM se rozdělují do 5 hlavních skupin označených římskou číslicí i až V. Tato číslice udává druh cementu a uvádí se za značkou CEM (po oddělení mezerou) (tab. 4.61). U pytlovaného cementu je rozlišujícím znakem mezi jednotlivými skupinami i barva potisku obalu.

Základní druhy cementu podle ČSN EN 197-1 *Tab. 4.65*

| Druh cementu | Slovní označení druhu |
|---|---|
| CEM I | portlandský cement |
| CEM II | portlandský cement směsný |
| CEM III | vysokopecní cement |
| CEM IV | pucolánový cement |
| CEM V | směsný cement |

Za druhovým označením vyznačeným římskou číslicí musí být uvedena hodnota normalizované pevnostní třídy.

Nejnižší normalizovanou pevností třídou je 32,5 (původní národní dodatek zavádějící třídu 22,5 je již zrušen). Následuje třída 42,5 a třída 52,5, která je nejvyšší normalizovanou třídou. Třída cementu je dána pevností v tlaku po 28 dnech, zkoušenou na zlomcích trámečků z cementové malty podle ČSN EN 196-1 (viz kapitolu 5.4).

Má-li cement vysoké počáteční pevnosti, připojuje se za označení třídy ještě písmeno R (rychlovazný cement).

S ohledem na pevnostní třídu je pro cementy obecného použití stanoven i začátek tuhnutí podle ČSN EN 196-3. Cementy pevnostní třídy 32,5 a 42,5 mohou vykázat počátek tuhnutí nejdříve za hodinu po smísení s vodou. U cementů pevnostní třídy 52,5 je přípustný počátek tuhnutí již za 45 minut. (Konec tuhnutí je u všech CEM cementů do 12 hodin.

Samozřejmě, že jednotlivé přísady určitým způsobem modifikují základní vlastnosti jednosložkového portlandského cementu.

*Portlandský cement* (CEM I) má relativně strmý nárůst počáteční pevnosti v tlaku (vhodné použití pro prvky, které potřebujeme rychle odbednit). Rychlý hydratační proces, při kterém se uvolňuje velké množství hydratačního tepla, se jeví jako výhoda při použití pro nízké teploty (do 5 $^{o}$C). Je vhodný spíše pro tenkostěnné konstrukce. Pro betonování při záporných teplotách je nejlépe použít portlandský cement třídy 42,5 nebo 52,5 s vysokou počáteční pevností (tedy CEM i 42,5 R nebo 52,5 R).

*Portlandský struskový cement* (CEM II/A-S, CEM II/B-S) má zvýšenou odolnost vůči agresivnímu prostředí, hydratuje pomaleji, takže je použitelný pro masivní základové konstrukce a betonáž v létě. V prvním týdnu zrání musí být beton z tohoto cementu udržován vlhký – má zvýšený sklon ke smršťování za sucha.

*Portlandský cement s křemičitým úletem* (CEM II/A-D) má zvýšenou pevnost v tahu a používá se pro konstrukce, které jsou vedle tlaku namáhané i tahem.

*Portlandský pucolánový cement* (CEM II/A-P – CEM II/B-Q) se vyrábí ve spodní pevnostní třídě. Přítomnost pucolánu zvyšuje odolnost proti uhličitanovým vodám, odpadním vodám, a usnadňuje přípravu vodotěsného betonu.

*Portlandský popílkový cement* (CEM II/A-V – CEM II/B-W) se vyznačuje dobrou zpracovatelností a vodotěsností. Je použitelný pro stavbu přehrad.

*Portlandský cement s kalcinovanou břidlicí* (CEM II/A-T, CEM II/B-T) se používá pro injektážní hmoty.

*Portlandský cement s vápencem* (CEM II/A-L, CEM II/B-L) odolává plísním a je vhodný pro méně mechanicky namáhané povrchy v potravinářském průmyslu či zdravotnictví.

*Portlandský směsný cement* (CEM II/A-M, CEM II/B-M), ve kterém jsou různé neslínkové složky kombinovány, může být vyráběn především jako ekonomicky výhodné pojivo.

*Vysokopecní cement* (CEM III/A, CEM III/B, CEM III/C) je charakteristický pomalým nárůstem pevnosti, malým vývinem hydratačního tepla a vysokou odolností proti agresivnímu prostředí. Typ B se používá i pro konstrukce vystavené síranovým vodám. Typ C se uplatňuje při betonáži konstrukcí před kotli a pecemi a na ochranné konstrukce proti žáru. Je použitelný pro masivní konstrukce i v horkém létě, pevnostně však dosahuje jen nižší třídy.

*Pucolánový cement* (CEM IV/A, CEM IV/B) má prodlouženou dobu nárůstu pevnosti. Dobře odolává uhličitanovým a slatinným vodám. Je vhodný pro mokré prostředí, snáší i působení mořské vody.

*Směsný cement* (CEM V/A, CEM V/B) je pevnostně nejslabší, hodí se na nenáročné podlahy a potěry.

Úplný přehled všech typů cementů specifikovaných v ČSN EN 197-1 přináší tabulka 4.66.

Druhy cementu na všeobecné použití a jejich složení v procentech hmotnosti [1)] podle ČSN EN 197-1 *Tab. 4.66*

| Druh cementu | Název cementu | Označení cementu | Slínek (K) | Vysokopecní struska (S) | Křemičitý úlet (D)[3)] | Pucolán přírodní (P) | Pucolán průmyslový (Q)[4)] | Popílek křemičitý (V) | Popílek vápenatý (W) | Kalcinovaná břidlice (T) | Vápenec (L) | Doplňující složky[2)] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | Portlandský cement | I | 95 – 100 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| II | Portlandský struskový cement | II/A-S | 80 – 94 | 6 – 20 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | | II/B-S | 65 – 79 | 21 – 35 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | Portlandský cement s křemičitým úletem | II/A-D | 90 – 94 | ~ | 6 – 10 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | Portlandský pucolánový cement | II/A-P | 80 – 94 | ~ | ~ | 6 – 20 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | | II/B-P | 65 – 79 | ~ | ~ | 21 – 35 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | | II/A-Q | 80 – 94 | ~ | ~ | ~ | 6 – 20 | ~ | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | | II/B-Q | 65 – 79 | ~ | ~ | ~ | 21 – 35 | ~ | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | Portlandský popílkový cement | II/A-V | 80 – 94 | ~ | ~ | ~ | ~ | 6 – 20 | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | | II/B-V | 65 – 79 | ~ | ~ | ~ | ~ | 21 – 35 | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | | II/A-W | 80 – 94 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 6 – 20 | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | | II/B-W | 65 – 79 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 21 – 35 | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | Portlandský cement s kalcinovanou břidlicí | II/A-T | 80 – 94 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 6 – 20 | ~ | 0 – 5 |
| | | II/B-T | 65 – 79 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 21 – 35 | ~ | 0 – 5 |
| | Portlandský cement s vápencem | II/A-L | 80 – 94 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 6 – 20 | 0 – 5 |
| | | II/B-L | 65 – 79 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 21 – 35 | 0 – 5 |
| | Portlandský směsný cement | II/A-M | 80 – 94 | 6 – 20[5)] | | | | | | | | |
| | | II/B-M | 65 – 79 | 21 – 35[5)] | | | | | | | | |
| III | Vysokopecní cement | III/A | 35 – 64 | 36 – 65 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | | III/B | 20 – 34 | 66 – 80 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | | III/C | 5 – 19 | 81 – 95 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| IV | Pucolánový cement | IV/A | 65 – 89 | ~ | | 11 – 35 | | | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | | IV/B | 45 – 64 | ~ | | 36 – 55 | | | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| V | Směsný cement | V/A | 40 – 64 | 18 – 30 | ~ | | 18 – 30 | | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |
| | | V/B | 20 – 39 | 30 – 50 | ~ | | 30 – 50 | | ~ | ~ | ~ | 0 – 5 |

1) Hodnoty v tabulkách se vztahují na hlavní a doplňující složky cementu bez síranu vápenatého a přísad.
2) Jako doplňující složky mohou být použita plniva nebo jedna či více látek, používaných jako hlavní složky, pokud v cementu nejsou jako hlavní složky použity.
3) Obsah křemičitého úletu je limitován do 10%.
4) Obsah jiných strusek než vysokopecní strusky je limitován do 15%.
5) Obsah plniva je limitován do 5%.

### 4.4.6.6 Speciální silikátové cementy

Kromě základních druhů CEM i až CEM V mohou cementárny nabízet i řadu speciálních cementů podle svého výrobního předpisu (podnikové normy).

Pro speciální sanační práce se vyrábějí cementy rychletuhnoucí, tamponážní nebo těsnicí, jejichž počátek tuhnutí je kratší než 30 minut. Konec tuhnutí u nich nastává za 6 hodin. Existují silikátové cementy, které zcela ztuhnou za 8 minut.

Při vysokých nárocích na odolnost proti síranové korozi lze kromě cementů CEM III/B, resp. CEM III/C, použít speciální *síranovzdorný cement* s obsahem $C_3A$ pod 3,5 %. Pro síranovzdorný portlandský cement platí samostatná norma ČSN 72 2103.

Podle podnikových norem se dnes vyrábějí i speciální silniční cementy, které obsahují menší množství $C_3A$ (pod 8 %) a měrný povrch mají mezi 225 až 370 $m^2.kg^{-1}$. Pevnost v tahu za ohybu mají min. 6,5 MPa (SC 6,5, SC 7,0, SC 7,5).

Silniční betony připravené z těchto cementů mají velmi malou smrštitelnost, větší modul pružnosti, velkou odolnost proti střídavým vlivům povětrnosti a proti oděru a jsou velmi mrazuvzdorné. Silniční cementy jsou skladovatelné 2 měsíce.

Při výrobě betonových výrobků se často uplatňuje bílý cement, vyrobený ze suroviny s obsahem sloučenin železa do 1 % (bílé vápence a kaolin) a barevné cementy, vyrobené ze slínku bílého cementu mletím s barevnými pigmenty v množství asi 15 % hm. cementu.

Zvláštním typem bílého cementu je fotokatalytický cement (TX Aktive) obsahující nanočástice fotokatalyticky účinné anatasové formy titanové běloby. Plochy vytvořené z betonu na bázi tohoto cementu vykazují samočisticí účinek a aktivně snižují koncentraci škodlivin (smogu) v ovzduší.

Plastifikované cementy se používají především pro dopravu betonové směsi čerpadly, běžnější je však plastifikace betonu prováděná až v betonárně.

Vysokopevnostní cement není zatím normován, jeho význam však jistě bude časem stoupat. Používá se pro výrobu předpjatých a tenkostěnných konstrukcí, pod těžké stroje a pro výstavbu náročných výškových budov.

### 4.4.6.7 Cement pro zdění

Cementy nižších tříd než obsahuje ČSN EN 197-1 jsou normovány především jako cementy pro zdění v samostatné normě ČSN EN 413-1.

Norma u těchto cementů připouští ve složení kromě portlandského slínku i hydraulické vápno a další hydraulické příměsi.

Přípustné jsou i další přísady zlepšující vaznost, zejména vzdušné vápno.

Cementy pro zdění (masonry cements) se podle normy vyrábějí ve třech pevnostních třídách značených MC 5, MC 12,5 a MC 22,5

Pevnost cementu pro zdění podle ČSN EN 413-1 *Tab. 4.66a*

| Třída | Pevnost v tlaku po 7 dnech (MPa) | Pevnost v tlaku po 28 dnech (MPa) |
|---|---|---|
| MC 5 | ~ | min. 5 – max. 15 |
| MC 12,5 | min. 7 | min. 12,5 – 32,5 |
| MV 22,5 | min. 10 | min. 22,5 – max. 42,5 |

### 4.4.6.8 Doprava a skladování cementu

Větší množství cementu se přepravuje v cisternách a následně se skladuje v silech. Menší zásilky cementu se dodávají v pytlích, které musí být uložené tak, aby byly chráněné před deštěm, nejlépe v suchém skladu.

V průběhu dlouhodobého skladování způsobí vzdušná vlhkost a oxid uhličitý z ovzduší částečnou hydratací a karbonataci cementu. Po třech měsících klesá pevnost řádně skladovaného cementu asi o 10 až 20 %, po šesti měsících o 20 až 30 %.

Hydratací a karbonatací se vytvářejí ve skladovaném cementu sbalky. Pokud tyto sbalky mohou být snadno rozmělněny mezi prsty, je pravděpodobné, že pevnostní pokles nepřesahuje 10 %.

Bez zvláštní úpravy se všechny druhy cementu pro všeobecné použití mohou skladovat nejdéle 3 měsíce. Prodloužit tuto dobu je možné hydrofobizací.

Hydrofobizované cementy jsou vyrobeny mletím s látkou odpuzující vlhkost. Vcelku nepatrná přísada (cca 0,5 %) hydrofobní látky umožňuje skladovat cementy až 9 měsíců. Hydrofobizovat můžeme všechny druhy cementu, kromě cementu síranovzdorného.

S nevhodným skladováním cementu může souviset falešné tuhnutí tj. náhlé zhoustnutí cementové kaše ihned po smíšení cementu s vodou. Pro tento jev je charakteristické, že opětným rozmícháním téměř ztuhlého těsta se tekutá konzistence obnoví a směs pak tuhne normálně.

Příčinou falešného tuhnutí je částečná dehydratace sádrovce. Dehydratací vzniklý hemihydrát při záměsi s vodou způsobuje rychlejší přesycení roztoku síranem vápenatým.

K dehydrataci sádrovce může dojít při mletí cementu působením zvýšené teploty v cementářském mlýnu, příčinou však může být také dlouhé skladování cementu v silech při vysokých teplotách.

Pro úplnost je třeba ještě uvést, že jinou příčinou falešného tuhnutí může být vyšší obsah volného vápna a alkálií v cementu.

Nežádoucím důsledkem falešného tuhnutí je zvýšená spotřeba záměsové vody, a tedy snížení pevnosti a mrazuzdornosti betonu.

### 4.4.7 Hlinitanový cement

Hlinitanový cement obsahuje více než 35 % $Al_2O_3$ a jeho tvrdnutí způsobuje hydratace převážně vápenatých hlinitanů (kalciumaluminátů). Vyrábí se pálením suroviny složené z bauxitu a vápence.

Slínkové minerály zastoupené v hlinitanovém cementu jsou CA, $C_2A$, $C_3A_5$, $C_3A_2$, $C_2AS$, $C_4AF$, $C_5A_3$, CS, $C_2S$ a další křemičitany vápenohlinitoželezité.

Pevnost hlinitanového cementu při normální teplotě roste velmi rychle. Za 24 hodin dosahuje beton z hlinitanového cementu až 70 % konečné pevnosti.

Pokud jde o podmínky potřebné pro úspěšné zpracování hlinitanového cementu lze jako výhodu uvést, že hydratační reakce v hlinitanovém cementu nejsou příliš citlivé na snížení teploty. Beton z hlinitanového cementu lze použít k betonování až do –10℃.

Zcela zásadní zpracovatelskou slabinou hlinitanového cementu je naopak jeho citlivost na vyšší teploty. Hlinitanový cement vyžaduje k dokonalé hydrataci relativně velké množství hydratační vody a jako rychle tuhnoucí pojivo uvolňuje během krátkého času větší část ze svého celkového hydratačního tepla. Souběh těchto dvou skutečností způsobuje, že beton z hlinitanového cementu vyžaduje velmi pečlivé dodatečné provlhčování, a to hned jakmile začíná tuhnout.

Při teplotách nad 25 ℃ je dostatečné zvlhčování hlinitanového cementu v betonu už velmi obtížné. Vzniká vodní deficit, který má za následek tvorbu málo pevného trikalciumaluminátového hexahydrátu.

Na celkovou nestabilitu a nespolehlivost vytvrzeného hlinitanového cementu má vliv i rychle hydratující $C_5A_3$ s nestabilní strukturou, která se může projevit snižováním pevnosti betonu s časem.

Jako nejproblematičtější se při používání hlinitanového cementu ukázal fakt, že dekahydrát $CAH_{10}$ vznikající hydratací za normální teploty může, i po delším čase přejít na méně pevný hexahydrát $C_3AH_6$, který má zhruba poloviční objem:

$$3\ CAH_{10} \rightarrow C_3AH_6 + 2\ AH_3 + 18\ H$$

Přeměna probíhá především v letním období při vyšší teplotě konstrukce. Struktura cementu se pak stává porézní a nepevnou.

Po tragickém zřícení tovární haly v roce 1984 byl u nás vydán zákaz na další používání hlinitanového cementu pro výrobu betonu nosných konstrukcí.

Protože neobsahuje hydroxid vápenatý je hlinitanový cement odolnější v chemickém agresivním prostředí než cement portlandský. Vhodný je také pro výrobu žárovzdorných a těsnicích malt.

Pro výrobu žárovzdorných hmot se k přípravě hlinitanového cementu může namísto bauxitu použít technický oxid hlinitý, který se pak pálí spolu vápencem při teplotě přibližně 1500 ℃ na vysokohlinitanový cement. Tento cement je žárovzdorný až do 1750 ℃ (viz též kap. 4.2.5.2).

V roce 2006 byla vydána nová norma pro hlinitanový cement jako ČSN EN 14647.

### 4.4.8 Geopolymerní cementy

Geopolymery se připravují chemickou reakcí hlinitokřemičitých oxidů s alkalickými polysilikáty. Výsledkem jsou polymerní sloučeniny obsahující Si-O-AI vazby. Sloučeniny tohoto typu se obecně označuje jako polysialáty.

Mezi polysialáty počítáme, kromě látek obsahujících sekvenci –Si-O-Al-O-, také látky s řetězci tvořenými –Si-O-Al-Si –O- (polysialátsiloxany) a látky s řetězci typu –Si-O-Al-Si-O-Si-O- (polysialátdisiloxany).

Svojí strukturou mohou být geopolymery amorfní nebo semikrystalické a vykazují proto pestrou škálu vlastností.

Některé geopolymery se mohou chovat podobně jako organické termoplasty a lze je zpracovávat a tvarovat při relativně nízkých teplotách pohybujících se v desítkách stupňů.

Jsou však i geopolymery mající vlastnosti minerálů. Jsou tvrdé, odolné a snášejí vysoké teploty. Určitá podobnost s termoplasty je zachována, ale tvarovací teploty jsou daleko vyšší (1000 - 1200 ℃). Do určité míry mají takovéto geopolymerní materiály zároveň keramický charakter.

K přípravě geopolymerů zpravidla není zapotřebí nijak vysokých teplot, příslušná polykondensace (prováděna tzv. sol-gel technologií) probíhá již při teplotách pod 100 ℃. V průběhu solidifikace ze systému pomalu odchází voda a výsledné produkty proto vykazují otevřenou pórovitost zpravidla v rozsahu 6 – 15 %. Jde o póry střední velikosti (mezzopóry) o průměru 20 – 25 nm.

Geopolymery zatím našly použití především jako náhrada běžně známých zeolitů, a to hlavně k adsorpci toxických chemických odpadů a jako geopolymerní pojiva používaná k výrobě nástrojů a forem v plastikářském průmyslu a metalurgii, zvláště u speciálních malosériových výrobků.

V souvislosti s uvažovaným využitím geopolymerů ve stavebnictví se objevují zajímavé studie věnované možnosti výroby *metakaolinu z* kaolinu a lupku či z jiných méně kvalitních keramických surovin. (Metakaolin vzniká jako amorfní produkt při ohřevu kaolinu na teplotu 650 – 800 ºC.) Pucolánová aktivita metakaolinu je mimořádně vysoká, a proto se pro přípravu geopolymerů jeví jako mimořádně vhodný.

Ke geopolymerním materiálům můžeme řadit i *struskoalkalické cementy* připravované z jemně rozemleté strusky (310 – 350 $m^2.kg^{-1}$) a vodního skla, i když v tomto případě jsou ve vzniklém pojivu kromě alkalických aluminosilikátů přítomné i silikáty vápenaté. Na struskoalkalické bázi je možné připravit i vysokopevnostní betony.

Velkou překážkou v praktickém stavebním používání geopolymerů může být fakt, že čerstvá geopolymerní směs je silně alkalická a při zpracovávání na stavbě . dosti nebezpečná.

Zdá se, že právě problémy s bezpečností práce už kdysi přispěly k tomu, že se v praxi výrazněji neprosadily struskoalkalické betony (SAB) připravované s použitím struskoalkalického cementu, i když u nás byly výzkumně studovány již před čtvrtstoletím.

Stoupající cena alkalických křemičitanů snižuje pravděpodobnost masového nasazení geopolymerních cementů. Vlastnosti geopolymerů jsou však natolik zajímavé, že se geopolymerní výrobky pravděpodobně v příštích letech ve stavebnictví prosadí alespoň při formulaci speciálních materiálů.

### 4.4.9 Zkoušení hydraulických pojiv

Pro zkoušení cementu CEM platí zkušebních normy řady ČSN EN196.

Splnění základních kvalitativních požadavků na dobu tuhnutí a objemovou stálost se zjišťuje podle ČSN EN 196-3. Stanovením pevnosti, a tedy i třídy cementu se zabývá ČSN EN 196-1.

Problematice chemického rozboru cementu je věnována ČSN EN 196-2, kterou doplňuje ČSN EN 196-21 zaměřená na stanovení chloridů, oxidu uhličitého a alkálií.

Norma ČSN EN 196-4 obsahuje způsoby rozdělení a následného kvantitativního stanovení neslínkových složek ve vícesložkovém cementu. S její pomocí je možné určit, o který druh cementu (CEM i – CEM V) se v případě analyzovaného vzorku jedná.

Stanovení jemnosti mletí cementu je předmětem ČSN EN 196-6. Zkouška pucolanity pucolánových cementů se uskutečňuje podle ČSN EN 196-5.

Stanovení hydratačního tepla cementu je možné jednak rozpouštěcí metodou podle ČSN EN 196-8 a jednak metodou semiadiabatickou podle ČSN EN 196-9.

Od roku 2007 je v platnosti ČSN EN 196-10 sloužící ke stanovení obsahu ve vodě rozpustného šestimocného chrómu. Norma určuje nejen metodu pro stanovení obsahu ve vodě rozpustného chrómu v cementu, ale také obsahuje referenční metodu pro stanovení $Cr^{6+}$ v přípravcích obsahujících cement.

Všechny zkoušky musí být prováděné na správně odebraných a upravených vzorcích. Zásady pro jejich odběr a úpravu shrnuje ČSN EN 196-7.

Podrobnější popis zkušebních postupů používaných při zkoušení cementu je v kap. 5.3 a 5.4 na konci této knihy.

Ke zkoušení mechanických a zpracovatelských vlastností ostatních hydraulických pojiv se používají jednak normy výše uvedené, existují však i samostatné normy pro zkoušení cementu pro zdění (ČSN EN 413-2) a hydraulického vápna (ČSN EN 459-2).Velkou skupinu nových výrobkových a zkušebních norem týkajících se spodních a podkladních vrstev stmelených hydraulickými pojivy představují normy ČSN EN 14227-1 – 14 a normy ČSN EN 13286-1 – 7, ČSN 13286-40 – 53.

## 4.5 Malty

Malta je stavivo, které se připravuje smísením drobného kameniva, anorganického pojiva, popřípadě i přísad a příměsí, a následným rozmísením vzniklé granulární směsi vodou na požadovanou konzistenci.

Tímto postupem může být z výchozích složek malta vyráběna přímo na staveništi (staveništní malta) nebo se ke stejnému účelu použije továrně předem vyrobená směs anorganických pojiv, plniv, příměsí a přísad (suchá maltová směs), která se na staveništi už pouze rozmíchává s vodou.

Třetí možností je výroba kompletní malty (ze všech složek včetně vody) v centrální výrobě. Takto vyrobená malta se pak na místo dalšího použití dopravuje jako mokrá maltová směs.

### 4.5.1 Rozdělení malt

Zrušená ČSN 72 2430-1 rozlišovala malty podle typu používaného pojiva na::

malty vápenné obyčejné (hrubé) – MV,

malty vápenné jemné – MVJ

malty vápenocementové obyčejné (hrubé) – MVC,

malty vápenocementové jemné – MVCJ,

malty pro šlechtěné omítky – MVCO,

malty vápenosádrové – MVS,

malty sádrové MS,

malty cementové obyčejné (hrubé) – MC,

malty pro cementový postřik – MCP.

S označováním malt v duchu této normy se můžeme setkat dodnes.

Nově se průmyslově vyráběné malty třídí na:

malty pro zdění (ČSN EN 998-2),

malty pro vnitřní a vnější omítky (ČSN EN 998-1).

Podle složení použitého pojiva se tyto průmyslově vyráběné malty dále dělí na:

malty ze vzdušných vápen,

malty ze směsi vzdušného vápna a cementu, u nichž obsah cementu nepřesahuje 50 % celkové hmotnosti pojiva,

cementové malty a malty ze směsi vzdušného vápna a cementu, u nichž obsah vzdušného vápna nepřesahuje 50 % hmotnosti pojiva,

malty s jinými hydraulickými pojivy,

malty se zpožďovací přísadou.

Vlastnosti malt pro vnitřní a vnější omítky značně závisí na druhu nebo druzích použitých pojiv a jejich dávkování. Zvláštní vlastnosti mohou být získány použitými druhy kameniv, přísad a nebo příměsí.

Malty pro vnitřní i vnější omítky se rozdělují podle záměru výroby:

návrhové malty podle volby výrobce,

předpisové malty.

Podle způsobu výroby:

průmyslově vyráběné malty,

malty zčásti připravené průmyslové,

staveništní malty;

Podle vlastností a nebo použití:

obyčejné malty pro vnitřní nebo vnější omítky (GP),

lehké malty pro vnitřní nebo vnější omítky (LW),

zabarvené malty pro vnější omítky (CR),

malty pro jednovrstvé vnější omítky (OC),

tepelně izolační malty pro vnitřní i vnější omítky (T),

sanační malty pro vnitřní i vnější omítky (R) .

Ustanovení ČSN EN 998 – 1 a 2 přiměřeně využívají i pro staveništní malty.

Podle účelu použití rozeznáváme především malty pro zdění a malty pro omítky. Kromě toho se malty používají ke kladení dlažeb a obkladů, ke spárování a k výrobě keramických dílců. Významné jsou i stykové malty, malty používané jako zálivky a malty používané jako sanační či reparační hmoty při úpravě povrchu stavebních konstrukcí.

### 4.5.2 Složení malt

Vedle jednoduchých granulárních malt s anorganickými pojivy jsou vyráběny i malty s makromolekulárními pojivy nebo malty modifikované těmito pojivy, malty s disperzní vláknitou výztuží, malty injektážní, žárovzdorné, kyselinovzdorné, stínicí (barytové) apod.

Kromě hliněných malt, které tuhnou a tvrdnou čistě fyzikálně (koloidním sesycháním), mají běžné soudobé malty pojivový systém tvrdnoucí chemickou reakcí. Jeho základ tvoří nejčastěji cement a vápno. Pro přípravu malt lze obě tato pojiva použít samostatně i v kombinaci. Malty obsahující cement a vápno se ve starší literatuře označují jako nastavované nebo prodloužené.

Nejjednodušší recept pro přípravu malty na staveništi spočívá v suchém smísení pojiva a plniva v běžné stavební míchačce a následném přidávání vody. Množství přidávané vody se volí podle požadované konzistence malty.

Vápno je nezastupitelným typem pojiva zejména pro rekonstrukce stavebních památek. Vlastnosti vápenných malt jsou dány nejen správně vybraným druhem pojiva, ale v případě vzdušného vápna i správným způsobem jeho zpracování, tj. vyhašení.

Jako maltové pojivo pro omítání i zdění lze použít vzdušné vápno vyhašené jako vápenná kaše nebo vápenný hydrát. Vápenný hydrát pro omítkové malty musí být objemově stálý.

Pro malty s vyšší vodostálostí se používalo vápno hydraulické, dnes je běžnější použití hydraulického směsného pojiva na bázi portlandského slínku. Jako pojivo se v maltách používá i přímo cement portlandský CEM I, cement portlandský struskový CEM II/A, B-S a speciální cementy (např. bílý cement) .

Částečně hydraulické vápno „středověké kvality“ není běžně dostupné. Při obnově památkových objektů může být proto výhodné zvyšovat vodostálost vápenné omítky přísadou přírodního pucolánu (tufu, trasu) . Není pak nutné používat pojivo vápenocementového typu, které je pro památkářské účely často příliš tvrdé a křehké.

Orientační vztah mezi minimální pevností v tlaku a objemovým složením vápenných nebo vápenocementových malt je v tab. 4.68.

Jakost malty podle objemu složek *Tab. 4 68*

| Minimální pevnost v tlaku ($N.mm^{-2}$) | Objemové díly | | |
|---|---|---|---|
| | cement | vzdušné vápno | kamenivo |
| 1 | 0 | 1 – 1,5 | 4 – 5 |
| 1 | 1 | 1 – 2 | 6 – 9 |
| 2,5 | 1 | 1 | 6 |
| 5,0 | 1 | 0 – 0,5 | 3 – 4 |

Sádra se jako pojivo používá jen v menším rozsahu. Kromě malt s čistě sádrovým pojivem se připravují i malty s kombinovaným vápenosádrovým pojivem.

Plnivem malty může být přírodní kamenivo, granulovaná vysokopecní struska, škvára, popílek, teracové drtě, kamenivo vyrobené z přírodních surovin (keramzitové kamenivo, expandovaný perlit), slévárenský písek, granulovaný expandovaný polystyrén. Pro přípustnost užití určitého typu kameniva je vždy rozhodující, umožní-li při optimální receptuře spolehlivě splnění požadovaných technických vlastností malty.

Přírodní těžené kamenivo je nejběžnější a jeho druh a zrnitost se volí podle účelu použití malty. Pro malty na výrobu keramických dílců a pro stykové malty se používá zejména frakce 0/4 a 4/8 v předepsaném poměru, pro malty pro zdění, pro kladení dlažeb, pro obklady a pro jádrovou vrstvu omítek frakce 0/4. Pro malty na jemné omítky a pro spárování při tloušťce spáry do 4 mm frakce 0/1.

Při formulaci soudobých malt se často používají přísady – látky přidávané v malém množství vzhledem k hmotnosti pojiva před nebo během míchání malty k získání zvláštních úprav vlastností. Podobnou funkci mohou plnit příměsi (jemné anorganické materiály), které se mohou přidávat do malty pro zlepšení jejích vlastností nebo k dosažení zvláštních vlastností.

Nejjednodušší plastifikační přísadou do vápenných malt je vhodná hlína, do cementových malt vápenná kaše. Další možnost představují speciální makromolekulární látky přidávané do malty v kapalném či práškovém stavu.

Účelem některých přísad může být úprava doby zpracovatelnosti, respektive rychlosti vytvrzování malty. Tam, kde by malta přicházela do styku s výztuží nebo ocelovými prvky, je výslovně zakázáno užití přísad s obsahem chloridů.

Jako barviv do malt se používá minerálních pigmentů a organických práškových nebo kapalných barviv.

Voda na výrobu malt z anorganických pojiv musí být nezávadná, tj. nesmí snižovat pevnost a trvanlivost malt nebo způsobovat skvrny a výkvěty na omítkách. Bez zkoušek lze používat vodu pitnou, vody jiného původu je nutno vyzkoušet obdobně jako vodu do betonu.

### 4.5.3 Malty pro vnitřní a vnější omítky

Staveništní příprava omítek výchozích složek se dnes již nedoporučuje. Setkat se s ní můžeme v případě menších svépomocných prací a při některých restaurátorských opravách historických objektů.

Typická staveništní omítka sestává ze dvou vrstev. Nejprve se z hrubší malty nahazuje *jádro* o tloušťce cca 15 mm sloužící k prvnímu vyrovnání podkladu na to se nanáší jemný *štuk* v tloušťce cca 5 mm, který vytváří finální omítkovou plochu.

Požadavky na průmyslově vyráběné malty pro vnitřní a vnější omítky určuje především ČSN EN 998-1. Norma obsahuje definice a jakostní požadavky na konečné výrobky.

Norma ČSN EN 998-1 se týká malt, u nichž je hlavním aktivním pojivem vápno (vzdušné nebo hydraulické), cement nebo obojí.

Pojivo ze síranu vápenatého může být použito jako doplňkové pojivo společně se vzdušným vápnem. Je-li vzdušné vápno základním aktivním pojivem, pak se na maltu ČSN EN 998-1 vztahuje. Je-li základním aktivním pojivem pojivo ze síranu vápenatého, pak se na maltu vztahuje EN 13279. Třídění provádí výrobce malty (viz též kap. 4. 5. 3. 4) .

Speciální malty odolné na požár a zvukově izolační malty, malty pro opravy konstrukcí, úpravu povrchu staveb jako jsou materiály pro vyrovnávání, natírání, ochranné vrstvy, organické omítky nanášené v tenkých vrstvách a prefabrikované stavební díly (např. sádrokartonové desky) nejsou předmětem ČSN EN 998-1.

Malty pro vnitřní či vnější omítky nedosahují svých vlastností, pokud po nanesení nezatvrdnou. Užitné vlastnosti omítkových malt závisí na druhu použitého materiálu, na tloušťce vrstev a způsobu nanesení. Kromě toho jsou ovlivňovány povrchem omítané konstrukce.

Oblastní rozdíly ve stavební praxi, klimatické podmínky a různé složky malt pro vnitřní a vnější omítky neumožňují předepsat normalizované dávkování směsi pro předpisovou maltu, které by bylo použitelné v celé Evropě. Proto specifikace dávkování takové směsi (receptura) a oblast použití by měly vycházet z praxe a zkušeností získaných v místě použití.

Jednotliví výrobci zpravidla dodávají ucelenou sortimentní řadu průmyslově vyráběných suchých malt obyčejných nebo lehkých pro vnitřní i vnější omítky s ohledem na druh podkladu. Např. na podklad z cihelných zdicích prvků a lehkého betonu je vhodná (podle účelu použití) vícevrstvá vnitřní omítka tvořená podkladní vrstvou z malty vápenocementové obyčejné nebo lehké, vápenocementové tepelně izolační malty (obsahující expandovaný perlit nebo EPS) a konečnou krycí vrstvou z vápenné, vápenocementové obyčejné nebo ušlechtilé malty nebo štukové sádrové stavební malty.

Projektant si může vybrat suché maltové směsi obyčejné (vápenné, vápenocementové, cementové) pro jednovrstvé, dvou- a vícevrstvé omítky vnitřní a vnější, lehké maltové a tepelně izolační směsi, suché směsi pro zhotovování vnitřní i vnějších štukových omítek, vyrovnávacích stěrek a maltové směsi pro drobné opravy poškozených omítek.

Pro větší stavby výrobci, formou pronájmu, poskytují mobilní zásobníky se suchou maltovou směsí (*sila*), které na stavbu převážejí speciální nákladní auta (*silonosiče*).

### 4.5.3.1 Vlastnosti čerstvých omítkových malt

Doba zpracovatelnosti musí být deklarována výrobcem. Je-li malta pro vnitřní nebo vnější omítky vzorkována z dodávky v souladu s EN 1015-2 a zkoušena podle EN 1015-9, nesmí být doba zpracovatelnosti kratší než deklarovaná hodnota.

Je-li pro použití malty pro vnitřní či vnější omítky uváděné na trh nutno znát rozsah, v němž se bude pohybovat obsah vzduchu v maltě, musí to být deklarováno výrobcem. Při vzorkování z dodávky podle EN 1015-2 a zkoušení podle EN 1015-7 musí být obsah vzduchu v deklarovaném rozsahu.

U malty pro vnitřní nebo vnější omítky, která obsahuje pórovitá kameniva, může být obsah vzduchu alternativně stanoven zkouškou objemové hmotnosti čerstvé malty podle EN 1015-6.

### 4.5.3.2 Vlastnosti zatvrdlých omítkových malt

Různé oblasti použití a podmínky prostředí vyžadují malty s různými vlastnostmi a užitnými hodnotami. Pro tyto účely se pevnost v tlaku, absorpce vody a tepelná vodivost musí třídit podle tab. 4. 66.

Vlastnosti vztahující se k zamýšlenému použití a nebo druh výrobku se musí deklarovat podle tab. 4. 67. Deklarované hodnoty (třídy) musí splňovat požadavky uvedené v této tabulce. Kde je to pro uvedení malt pro omítky vhodné, mohou být oproti údajům v tab. 4. 67 deklarovány dodatkové vlastnosti pro ty druhy malt u nichž pomlčka v tabulce vyjadřuje, že hodnoty nejsou požadovány.

Malty pro vnitřní i vnější omítky, které obsahují < 1, 0 % hmotnosti nebo objemu (podle toho, co přichází v úvahu) rovnoměrně rozptýleného organického materiálu, se v reakci na oheň třídí podle třídy A1 bez zkoušení.

Malty pro vnitřní i vnější omítky, které obsahují > 1, 0 % hmotnosti nebo objemu (podle toho, co přichází v úvahu) rovnoměrné rozptýleného organického materiálu, musí být v reakci na oheň klasifikovány podle EN 1350-1 a příslušná třída reakce na oheň musí být deklarována.

Trvanlivost malt pro jednovrstvé omítky proti zmrazování a rozmrazování se musí posuzovat podle přídržnosti a propustnosti vody po cyklech ošetření (tab. 4. 66) . Všechny ostatní malty pro vnější omítky musí být (až do vydání příslušné evropské normy) hodnoceny na odolnost vůči zmrazování a rozmrazování podle přepisů platných v místě zamýšleného použití malty. Nalezená hodnota musí být odpovídajícím způsobem deklarována.

Třídění podle vlastností zatvrdlé malty *Tab. 4.69*

| Vlastnosti | Kategorie | Hodnoty |
|---|---|---|
| Rozsah pevností v tlaku po 28 dnech | CS I | 0,4 až 2,5 $N.mm^{-2}$ |
| | CS II | 1 ,5 až 5,0 $N.mm^{-2}$ |
| | CS III | 3,5 až 7,5 $N.mm^{-2}$ |
| Kapilární absorpce vody | CS IV | > 6 $N.mm^{-2}$ |
| | W 0 | není předepsána |
| | W1 | c < 0,40 $kg.m^{-2}.min^{-0,5}$ |
| Tepelná vodivost | W2 | c < 0,20 $kg.m^{-2}.min^{-0,5}$ |
| | T1 | < 0,1 $W.m^{-1}.K^{-1}$ |
| | T2 | < 0,2 $W.m^{-1}.K^{-1}$ |

### 4.5.3.3 Hodnocení shody

Výrobce (nebo jeho zástupce) musí prokázat shodu svého výrobku s požadavky ČSN EN 998-1 prováděním počátečních zkoušek a řízením výroby závodu. Počáteční zkoušky musí být také provedeny u již vyráběných výrobků, dojde-li v důsledku změn základních materiálů nebo výrobních postupů k rozhodnutí výrobce změnit označení výrobku nebo způsob jeho použití.

Pro zkoušky musí být použity referenční zkušební metody, které jsou uvedeny v této normě pro zatvrdlé malty podle tab. 4.68. Deklaruje-li výrobce dodatečné vlastnosti (pro které je v tab. 4.68 pomlčkou vyjádřeno, že požadavek není předepsán), musí pro ně být rovněž provedeny počáteční zkoušky.

Při výrobě malt podle ČSN EN 998-1 musí být zaveden systém řízení výroby a musí být dokumentován v příručce jakosti. Systém řízení výroby závodu musí zahrnovat interní řízení výroby, jímž se zajistí, aby výrobky uváděné na trh odpovídaly této normě a deklarovaným hodnotám. Vážící a měřicí zařízení musí být kalibrována a musí být uvedena četnost kalibrací.

Souhrn požadavků na zatvrdlé malty *Tab. 4.70*

| Číslo | Zkoušená vlastnost | Metoda zkoušení | GP | LW | CR | OC | R | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L1 | objemová hmotnost v suchém stavu ($kg.m^{-3}$) | EN 1015-10 | deklarace rozsahu hodnot | deklarace rozsahu hodnot < 1 300 $kg/m^3$ | deklarace rozsahu hodnot | deklarace rozsahu hodnot | deklarace rozsahu hodnot | deklarace rozsahu hodnot |
| L2 | pevnost v tlaku (kategorie) | EN 1015-11a | CS I až CS IV | CSIažCSIII | CS I až CS IV | CS I až CS IV | CSU | CS I až CS II |
| L3 | přídržnost ($N.mm^{-2}$ a způsob odtržení (FP) A, B nebo C) | EN 1015-12 | > než deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP) | > než deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP) | > než deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP) | – | > než deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP) | > než deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP) |
| L4 | shodnost v podmínkách ošetření ($N.mm^{-2}$ a způsob odtržení (FP) A, B nebo C) | EN 1015-21 | – | – | – | deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP) | – | – |
| L5 | kapilární absorpce vody (kategorie) – pro malty zamýšlené k použití na vnější stavební prvky | EN 1015-18 | W 0 až W 2 | W 0 až W 2 | W 0 až W 2 | W 1 až W 2 | > 0,3 $kg.m^{-2}$ po 24 hodinách | W1 |
| L6 | penetrace vody po zkoušce kapilární absorpce vody (mm) | EN 1015-18 | – | – | – | – | < 5 mm | – |
| L7 | propustnost vody na příslušných podkladech po cyklech ošetření ($ml.cm^{-2}$ po 48 hodinách) | EN 1015-21 | – | – | – | < 1 $ml/cm^2$ po 48 hodinách | – | – |
| L8 | koeficient propustnosti vodní páry (pro malty zamýšlené k použití na vnější stavební prvky) | EN 1015-19 [a] [b] | < než deklarovaná hodnota | < než deklarovaná hodnota | < než deklarovaná hodnota | < než deklarovaná hodnota | < 15 | < 15 |
| L9 | tepelná vodivost ($W.m^{-1}.K^{-1}$) | EN 1745: 2002, tabulka A. 12 | tabulková hodnota | tabulková hodnota | tabulková hodnota | tabulková hodnota | tabulková hodnota | – |
| L10 | tepelná vodivost (pro malty zamýšlené k použití na stavebních prvcích s požadavky na tepelnou izolaci) | EN 1745: 2002, 4.2.2 | – | – | – | – | – | T1: < 0,10<br>T2: < 0,20 |
| L11 | reakce na oheň (třída) | EN 13501-1 | deklarace podle 5.2.2 | | | | | |
| L12 | trvanlivost | – | deklarace podle 5.2.3 | | | | | |

[a] Pro stanovení podmínek uložení se musí obsah vzdušného vápna vyjádřit jako hydroxid vápenatý $Ca(OH)_2$.

[b] Metoda zkoušení EN 1015-19 stanovuje průnik vodní páry Δ v $kg.m^{-2}.s^{-1}.Pa^{-1}$, zatímco tato norma předepisuje pro propustnost vodní páry koeficient μ, výpočet koeficientu μ z hodnoty Δ se provede podle následujícího vztahu: $\mu = (1{,}94.10^{-10})/\Delta$. V tomto vztahu číslo $1{,}94.10^{-10}$ odpovídá faktoru ekvivalentu propustnosti vodní páry při teplotě 20 °C a atmosférickém tlaku 101 325 Pa.

.

Nejmenší rozsah vlastností, které mají být zkoušeny v rámci řízení výroby závodu, je následující:

pro suché malty – největší velikost zrn kameniva a množství vody pro míchání,

pro čerstvé malty – objemová hmotnost,

pro zatvrdlé malty – objemová hmotnost a pevnost v tlaku.

Četnost vzorkování a zkoušení musí vycházet ze statistických zásad, zajišťujících, že příslušná výroba je v souladu s kritérii shody podle této normy a s deklarovanými údaji o maltě.

Harmonizovaná ČSN EN 998-1 ve svých ustanoveních pro prokazování shody průmyslově vyráběných malt pro vnitřní a vnější omítky umožňuje získat právo na používání označení CE i bez součinnosti s autorizovanou osobou. To je v souladu se zásadou posílené odpovědnosti výrobce. Na obrázku 4.66 je uvedeno označení CE jako příklad informací, které je potřeba uvést na obale, na připojeném štítku nebo v obchodní dokumentaci.

| CE |
| --- |
| Výrobce<br>00 |
| EN 998-1<br>Obyčejná malta pro vnější omítku (GP) pro vnější části staveb<br><br>Reakce na oheň: třída A 1<br><br>Přídržnost: 0,3 N/mm² – FP: B<br><br>Absorpce vody: W 1<br><br>Faktor difuzního odporu:<br>$\mu = 25$<br>Tepelná vodivost:<br>($\lambda_{10,\ dry}$) 0,93 W/(m . K)<br>(tabulková hodnota)<br><br>trvanlivost: (zmrazování/ rozmrazování): posouzení podle ustanovení v místě zamýšleného použití malty |

*Obr. 4.68* Přiklad označení CE podle ČSN EN 998-1

CEN/TC 125 připravila další normy, týkající se malt pro vnitřní a vnější omítky. Jedná se o dvě části EN 13914 Návrh, příprava a provádění vnějších a vnitřních omítek – Část 1: Vnější omítky ; Část 2: Vnitřní omítky.

ČSN EN 13914-1 definuje různé druhy omítkových směsí podle jejich použití v souladu s ČSN EN 998-1 a uvádí souhrn opatření, která je třeba provést před omítáním různých druhů podkladového zdiva.

Konečné úpravy vnějších omítek spadají do kategorií, uváděných jako hlazená, rovná, drsná dekorativní, škrábaná, sgraffito, drsná upravená (tvrdě nebo měkce), suchá zrnitá úprava, stříkaná. V informativní Příloze B jsou uvedena doporučení pro obnovu a opravy poškozených omítek na starých nebo historických stavbách, u nichž se druhy materiálů a použité postupy často liší od těch, které se používají nyní.

ČSN EN 13914-2 určuje požadavky a doporučení pro stavební detaily, přípravu návrhu, pro výběr maltových směsí a materiálů a pro používání sádrových omítek, sádro-vápenných omítek, předem umísených lehkých omítek, omítek z anhydritu, omítek vápenosádrových, omítek cementových a vápenocementových, omítek vápenných, silikátových, polymerových a polymery modifikovaných. Konečná vrstva vnitřního omítkového systému může mít různou konečnou úpravu od hladké rovné povrchové úpravy až po řadu různých druhů texturovaných, vzorovaných a zabarvených konečných úprav, např. škrábaných, filcovaných nebo nástřikových.

Třídy rovinnosti konečné úpravy omítky podle požadované mezery mezi omítkou a měřícím pravítkem dlouhým 2 metry jsou uvedeny v tabulce 4.67a.

Třídy rovinnosti konečné úpravy omítky *Tab. 471*

| Označení třídy | Požadovaná rovinnost | Poznámka |
|---|---|---|
| 0 | bez požadavku | |
| 1 | 10 mm | |
| 2 | 7 mm | |
| 3 | 5 mm | |
| 4 | 3 mm | při tloušťce omítky ≤ 6 mm |
| 5 | 2 mm | při tloušťce omítky ≤ 6 mm |

Přímé omítání je nejefektivnějším způsobem jak dosáhnout vzduchotěsnosti stěn ze zdících prvků. Spáry kolem otvorů vyžadují zvláštní opatření.

Pro pečlivého čtenáře jsou další podrobné informace uvedeny v nových českých technických normách ČSN 72 2413, ČSN 72 2414 a ČSN 72 2415 z roku 2005.

### 4.5.4 Malty pro vnitřní sádrové omítky

Při formulaci sádrových malt lze použít příměsi (filery, vlákna, pigmenty) a přísady (zpomalovače tuhnutí, provzdušňovače, ztekucovače a plastifikátory. ) Vzdušné vápno může doplňovat pojivový systém v množství menším než 5 %.

Jako kamenivo je možno použít inertní anorganický materiál, např. těžený nebo drcený písek se sypnou hmotností větší než 800 kg. $m^{-3}$ nebo expandovaný materiál se sypnou hmotností stejnou nebo nižší než 800 kg. $m^{-3}$.

Koncem roku 2005 vydaná norma ČSN EN 13279-1 rozeznává následující druhy předem umístěných sádrových malt pro vnitřní omítky:

*Sádrová stavební malta* (Symbol B1) obsahuje více než 50% síranu vápenatého jako aktivního pojiva, a ne více než 5% stavebního vápna (hydroxidu vápenatého) . Výrobce může přidat příměsi a kameniva.

*Stavební malta na bázi sádry* (B2) obsahuje méně než 50% síranu vápenatého jako aktivního pojiva, a ne více než 5% stavebního vápna (hydroxidu vápenatého) . Výrobce může přidat příměsi a kameniva.

*Sádro-vápenná stavební malta* (B3) obsahující více nebo méně než 50% síranu vápenatého a více než 5% vzdušného vápna (hydroxidu vápenatého) jako pojiva. Výrobce může přidat příměsi a kameniva.

*Lehké sádrové stavební malty* (B4, B5, B6) jsou stavební malty podle B1, B2, B3, do kterých jsou přidávána pórovitá anorganická kameniva, jako například expandovaný perlit a vermikulit, nebo pórovitá organická kameniva. Výrobce může přidat příměsi a kameniva.

*Sádrová stavební malta se zvýšenou tvrdostí povrchu* (B7) je speciálně složená tak, aby vyhověla pro vnitřní omítky, pro něž je požadována zvýšená tvrdost povrchu.

*Sádrové malty pro speciální účely* (C1 až C6) zahrnují malty pro vláknité výrobky, pro zdění, zvukově izolační malty, tepelně izolační malty, se zvýšenou reakcí na oheň a malty pro tenkovrstvé omítky. Jsou navrženy na zlepšení fyzikálních vlastností omítek.

Vlastnosti sádrových malt, zkoušené podle ČSN EN 13279-2, musí vyhovět požadavkům uvedeným v tab. 4.72.

Požadavky na sádrové malty podle ČSN EN 13279-1 *Tab. 4.72*

| Sádrové malty | | Obsah sádrového pojiva | Počátek tuhnutí (min) | | Pevnost v tahu za ohybu | Pevnost v tlaku | Tvrdost povrchu | Přídržnost |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ozn. | název | | sádrová malta pro ruční zpracování | sádrová malta pro strojní zpracování | | | | |
| | | % | | | $N.mm^{-2}$ | $N.mm^{-2}$ | $N.mm^{-2}$ | $N.mm^{-2}$ |
| B1 | sádrová stavební malta | > 50% | > 20 | > 50 | ≥ 1,0 | ≥ 2,0 | | porušení se objeví ve vlastní omítce nebo v podkladu; jestliže se porušení objeví mezi maltou a podkladem, musí být hodnota ≥ 0,1 |
| B2 | sádrová malta na bázi sádry | < 50% | | | | | | |
| B3 | sádrovápenná stavební malta | * | | | | | | |
| B4 | sádrová lehká stavební malta | > 50% | | | | | | |
| B5 | lehká stavební malta na bázi sádry | < 50% | | | | | | |
| B6 | lehká sádrovápenná stavební malta | * | | | | | | |
| B7 | sádrová stavební malta pro omítání se zvýšenou tvrdostí povrchu | > 50% | | | ≥ 2,0 | ≥ 6,0 | ≥ 2,5 | |

* sádrová stavební malta (s > 50 % síranu vápenatého) nebo omítka na bázi sádry (s < 50 % síranu vápenatého) a s obsahem vápna > 5 %

Sádrovou maltu je možno aplikovat ručně nebo strojně (návrhová malta) jako jednovrstvou, dvou a vícevrstvou, spodní a konečnou vrstvu omítkového systému. Sádrová omítka může být použita pro většinu omítaných ploch, neměla by však být po zatuhnutí použita v trvale vlhkém prostředí, které způsobuje ztrátu pevnosti a porušení (ČSN 72 2414) . Spodní vrstvy sádrových omítek by měly být zdrsněny, aby tak byla vytvořena adhezní vrstva pro další vrstvu omítky. U vícevrstvého systému sádrové omítky není nutné, aby před nanesením další vrstvy předchozí vrstva vyschla, měla by však mít dostatečnou pevnost.

K požadavkům na průmyslově vyráběnou sádrovou maltu patří především doba tuhnutí, která je větší než 5 minut (úroveň T 1) pro sádrové pojivo používané na staveništi, větší než 20 minut (T 2) pro ruční omítání, a větší než 50 minut (T 3) pro strojní omítání. Proto lze tuhnutí sádrových omítek kontrolovat. Po ukončení tuhnutí nedochází k dalšímu pohybu omítky.

Pevnost v tlaku zatvrdlé sádrové malty se stanovuje ve dvou úrovních:

, pro všeobecné použití sádrových omítek hodnotou rovnou nebo větší než 2,0 MPa, pro speciální účely (B7) hodnotou rovnou nebo větší než 6,0 MPa.

K dalším vlastnostem uváděným v připravované normě patří tvrdost povrchu zatvrdlé sádrové malty a její přídržnost. U sádrových omítek s tvrdým povrchem má být tvrdost větší než 2, 5 MPa. Přídržnost sádrové stavební omítky má být větší než 0, 1 MPa v případě, že lom (porucha) nastává mezi omítkou a podkladem.

Deklarace reakce na oheň je zaváděna obvyklým způsobem. Jestliže sádrové malty obsahují méně než 1 % hmotnosti nebo objemu rovnoměrně rozptýleného organického materiálu, pak jsou nehořlavé (třída A 1) bez zkoušení. Chemické složení sádry je takové, že zvyšuje požární odolnost stavebního systému, v němž je sádrová omítka použita.

Výrobce (nebo jeho zástupce) musí prokázat shodu svého výrobku s požadavky zavedené ČN EN 13279-1 prováděním počátečních zkoušek a řízením výroby závodu.

Tuzemští výrobci průmyslově vyráběných suchých omítkových směsí dodávají sádrovou a lehkou sádrovou maltu pro jednovrstvou gletovanou nebo hlazenou vnitřní omítku a štukovou sádrovou a na sádře založenou maltu pro konečnou vrstvu vnitřní vícevrstvé omítky. Tyto výrobky jsou v podstatě konformní s výše uvedenou normou. Vyrábí se i hlinitosádrová malta pro ruční nanášení v jedné vrstvě na vnitřní stěny a stropy.

Sádrové omítky, pokud jsou zcela ztvrdlé a suché poskytují velmi hladký a pěkný povrch. Na této skutečnosti je založen umělý mramor, který byl oblíbený zejména v době baroknía i dnes se používá při realizaci speciálních dekorativních prostor. V podstatě se jedná o sádrovou maltu složenou z několika různě obarvených sádrových malt (hnětenou maltu), která se po zatvrdnutí na povrchu leští plstí nebo vlněnými hadry.

### 4.5.5 Malty pro potěry ze síranu vápenatého

V poslední době se velmi rozšířili lité samonivelační sádrovcové potěry (z α-sádry nebo anhydritu) . Přesné receptury směsí jsou tajemstvím firem. Oproti cementovým potěrům vykazují o 50% vyšší pevnost v tahu za ohybu i vyšší pevnost v tlaku. K výhodám sádrovcových potěrů patří jejich minimální tloušťka je 35 mm (což právě postačuje k překrytí podlahového vytápění), u cementového potěru je minimální tloušťka o 10 mm větší (45 mm). Nevýhodou je, že sádrovcové potěry nejsou vhodné do vlhkého prostředí, garáží, autodílen apod.

Spotřeba průmyslově vyrobené maltové směsi na 1m² činí 19 kg při 1cm tloušťky potěru. Zavedené montážní firmy pokládají až 1000 m² samonivelačního potěru za den.

Požadavky na průmyslově vyráběné maltové směsi ze síranu vápenatého určené k použití ve vnitřních stavebních podlahových konstrukcích shrnuje ČSN EN 13454-1.

Průmyslově vyráběné maltové směsi (CA) sestávají z pojiv z různých forem síranu vápenatého (CAB), kompozitních pojiv (CAC) ze síranu vápenatého i dalších přísad a kameniv; mohou obsahovat přísady a příměsi. Směsi (CA) mohou být vyráběny a dodávány jako:

a) předem dávkované (suché), jejichž složky jsou plně dávkovány průmyslově; na staveništi jsou zamíchány podle pokynů a podmínek výrobce;

b) předem průmyslově umísené (suché), dodávané na staveniště, kde se zamíchají s dávkou vody;

c) předem průmyslově umíchané (vlhké) dodávané na staveniště k přímému použití.

Průmyslově vyráběné maltové směsi (CA) jsou z hlediska reakce na oheň zatříděny do Evropské třídy A1 bez zkoušení, pokud obsahují méně než 1% hmotnosti nebo objemu (podle toho co je větší) organického materiálu. Obsahují-li více než 1% organického materiálu, musí se posuzovat a zatřídit podle ČSN EN 13501-1.

Konzistence směsí (CA) se uvádí v mm a stanoví se podle ČSN EN 13454-2. Hodnota rozlití musí být rovna nebo větší než 220 mm pro tekuté maltové směsi, 150 až 220mm pro plastické maltové směsi a v rozmezí 110 až 140 mm pro zavlhlé maltové směsi. Hodnota rozlití se stanovuje podle ČSN EN 13454-2.

Nejkratší doba zpracovatelnosti pro tekuté, plastické a zavlhlé maltové směsi musí být rovna nebo větší než 30 minut; počítá se od okamžiku ukončení přidávání vody do maltové směsi.

Pevnost v tlaku se označuje jako „C“, pevnost v tahu za ohybu jako„F“ vždy s udáním číselné hodnoty v N. $mm^{-2}$. Pevnostní třídy průmyslově vyráběných maltových směsí (CA) podle pevnosti v tlaku jsou:

C5, C7, C12, C16, C20, C25, C30, C35, C40, C50, C60, C80.

Pevnostní třídy podle pevnosti v tahu za ohybu jsou následující:

F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F10, F15, F20, F30, F40, F50.

Pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu se stanoví podle ČSN EN 13892-2. Požadavky na další vlastnosti (např. tvrdost povrchu, odolnost oproti obrusu valivým zatížení, propustnost vody, přídržnost, zvuková pohltivost, modul pružnosti a elektrický odpor) jsou uvedeny v ČSN EN 13813.

Hodnocení shody prokazuje shodu pojiv (CAB), kompozitních pojiv (CAC) a průmyslově vyráběných maltových směsí (CA) s požadavky ČSN EN 13454-1 na základě:

-počátečních zkoušek typu,

-systému řízení výroby závodu.

Účelem systému řízení výroby závodu je zajistit, aby pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi uváděné na trh byly ve shodě s technickými specifikacemi, které jsou stručně výše uvedené a podrobně rozpracované v kapitolách 5 a 6 ČSN EN 13454-1.

### 4.5.6 Tenkovrstvé omítky

Tenkovrstvé omítky se na rozdíl od omítek klasických (cementových, vápenných, vápenocementových) nanášejí v tloušťkách milimetrového řádu. Zhotovují se z průmyslově vyrobených suchých omítkových směsí. Nanášejí se na povrch, který musí být především pevný, suchý, bez prachu a bez výkvětů solí. Podle druhu použitého pojiva se tenkovrstvé omítky nejčastěji dělí na minerální (sádrové, vápenocementové), akrylátové, silikonové a silikátové.

Setkáme se i s termínem disperzní omítky, který je někdy nesprávně chápán jako synonymum pro omítky akrylátové. Ve skutečnosti se pod tímto označením může skrývat i jiný pojivový systém.

Druh polymerního pojivového systému nebývá uváděn u vzhledově zvláštních omítek jako jsou omítly metalické, omítky s dřevěnou kresbou a omítky luminiscentní.

Pojivem minerálních omítek je vápenný hydrát, cement nebo sádra. Minerální omítky se snadno aplikují se na povrch cihelného či pórobetonového zdiva a betonu. k výhodám patří dostatečná propustnost vodních par, nevýhodou je vysoká nasákavost (drsný povrch) a rychlost zašpinění.

Šlechtěné minerální omítky se dodávají zabarvené přísadou pigmentu, a proto jimi omítnutý povrch má větší barevnou stálost než nátěr.

*Sádrové tenkovrstvé omítky* se provádějí jako jednovrstvé interiérové omítky. Mohou obsahovat jako perlitové plnivo. Nedoporučuje se je používat do vlhkých interiérových prostorů (koupelny, sušárny).

V případě potřeby se stěny opatřené sádrovými omítkami snadno malují.

Charakteristické vlastnosti tenkovrstvých sádrových omítek:

- minimální tloušťka 4 mm ( na pórobeton i beton),
- součinitel tepelné vodivosti cca 0,6 $W.m^{-1}.K^{-1}$,
- faktor difúzního odporu cca 8.

*Vápenocementové tenkovrstvé omítky* se aplikují jako jednovrstvé na interiérové i exteriérové povrchy. Minimální tloušťka činí 5 mm u interiérových omítek a 7 mm u omítek exteriérových. Podklad určený pro aplikaci těchto omítek musí splňovat obvyklé požadavky.

*Akrylátové tenkovrstvé omítky* mají pojivový systém založený na bázi vodou ředitelné akrylátové nebo styrenakrylátové disperzi. Aplikují se na povrchy novostaveb a zateplovacích systémů obvodových stěn. Nejsou však vhodné na nátěry starších objektů. Jejich výhodou je barevná stálost.

Nevýhodou je nutnost úplného odstranění původních nátěrů. Lze je aplikovat např. na sádrokarton, dřevotřísku, beton i jádrové omítky, a to jako interiérovou i exteriérovou povrchovou úpravu.

*Silikonové tenkovrstvé omítky* mají jako pojivo silikonové emulze, a jsou proto dodávány v tekuté (suspenzní) formě. Dobře pronikají do podkladu a mají hydrofobní vlastnosti. Dobře propouštějí vodní páry, nešpiní se a po vyschnutí jsou omyvatelné vodou. Jsou zvláště vhodné ke zhotovení konečné povrchové úpravy tepelně izolačních systémů.

*Silikátové tenkovrstvé omítky* mají jako pojivo vodný roztok alkalického křemičitanu (draselné vodní sklo). Patří k omítkám dobře propouštějícím vodní páru. Jsou proto vhodná pro sanace a renovace. Dodávají se ve formě suspenze, která se před použitím pouze promíchá.

### *4.5.7* Sanační omítky

Sanační omítky (sanační omítkové systémy) jsou určeny k povrchové úpravě vlhkého a zasoleného zdiva. Lze je použít jako vnitřní i venkovní omítky u starých a historicky cenných objektů, které nemají funkční hydroizolace. Sanační omítky se používají rovněž v případě dodatečného provedení hydroizolací, kdy tvoří povrchovou úpravu zasoleného zdiva.

Soli jsou do zdiva transportovány spolu se vzlínající vlhkostí, a proto jsou ve vlhkém zdivu vždy v určité míře přítomné. Krystalizace těchto solí dokáže v krátkém časem rozrušit a esteticky znehodnotit povrch nově provedené omítky běžného typu.

Při použití sanačních omítek nezpůsobují soli při své krystalizaci takovou povrchovou degradaci jako v případě klasických omítek vápenných, cementových a cementovápenných, protože krystalizují ve vnitřních pórech sanačních omítek. Zatímco běžná omítka vykáže povrchové vady často již v průběhu jednoho roku, odhaduje se životnost povrchové úpravy sanační omítkovým systémem na 15 – 20 let.
Předností sanačních omítek také je, že umožňují vysychání zdiva, na kterém jsou aplikovány, a to z důvodu difúzních vlastností. Úplné odstranění vlhkosti ze zdiva pouze sanačními omítkami není však možné.

I na značně vlhkém zdivu lze s nimi sice často docílit suchý povrch splňující estetické požadavky, což bývá oceňováno zejména laickou veřejností.

Jje však třeba mít na paměti, že tento efekt je do značné míry jen „kosmetický“.

Při porovnání vlastností sanačních omítek s omítkami cementovými, vápennými nebo vápenocementovými mají sanační omítky:

- vyšší pórovitost (objemem pórů při malém obsahu pórů kapilárních),
- vyšší propustnost pro vodní páru,
- sníženou kapilární nasákavost.

Uvedené vlastnosti mají příznivý vliv na mrazuvzdornost sanačních omítek a jejich odolnost proti působení vodorozpustných solí.

Pojivo sanačních omítek je vždy hydraulické (portlandský cement, hydraulické vápno), protože sanační omítka musí rychle ztvrdnout a vyschnout a mít dostatečnou pevnost, což při značně vysoké pórovitosti (> 40 %) nelze s čistě vápenným pojivem dosáhnout.

Pórovitý systém sanační omítky se vytváří pomocí napěňujících přísad. Póry jsou tedy součástí pojivového systému omítky, a proto je možné pro výrobu sanačních omítek používat hutná plniva.

Někteří výrobci pro zvýšení pórovitosti přidávají pórovitá plniva přírodního původu (např. pemzu nebo expandovaný perlit), používá se však i speciální pórovité plnivo vyráběné rozemletím kalciumhydrosilikátového kompozitu nadouvaného hliníkovým práškem (analogie pórobetonu).

Sanační maltové směsi dále obsahují přísady upravující zpracovatelnost, přilnavost, hydrofobitu a retenci vody.

Dlouhodobá účinnost sanačních omítek vyžaduje dodržování relativně úzkých hranic charakteristických hodnot vlastností. To předpokládá optimální složení malt. Na optimální složení má vliv druh a tvar zrn a zrnitostní zastoupení plniv, druh pojiv, poměry míchání, druh a množství přísad a příměsí.

Bezpečná funkce (neměnná kvalita) závisí zejména na skladbě a homogenitě malty, kterou při míchání z komponent přímo na staveništi nelze zajistit v potřebném rozsahu. Sanační omítky se proto připravují především jako suché maltové směsi.

Zásady pro správné používání sanačních omítek byly vypracovány německou odbornou společností (Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Denkmalpflege und Bauwerkserhaltung), která se později rozšířila na mezinárodní společnost (WTA-International), zabývající správnými technologickými postupy při údržbě a rekonstrukci stavebních objektů.

Pro volbu sanačních omítkových materiálů, jejich použití a zpracování jsou rozhodující výsledky předběžného průzkumu. Před použitím sanačních omítek je nutné zjistit příčinu vlhkosti, stanovit obsahy ve vodě rozpustných solí (sírany, chloridy, dusičnany) a vlastnosti a stav zdiva, které má sloužit jako podklad pro omítku.

K sanaci vlhkého zdiva se obvykle používá ucelený sanační systém podle WTA, jehož konkrétní varianta závisí na míře zasolení zdiva. k hodnocení *salinity* zdiva lze použít tab. 4.73.

Posouzení salinity zdiva *Tab. 4.73*

| Druh solí | Koncentrace (% hmotn.) | | |
|---|---|---|---|
| Chloridy | < 0,2 | 0,2 – 0,5 | > 0,5 |
| Dusičnany | < 0,1 | 0,1 – 0,3 | > 0,3 |
| Síranv | < 0,5 | 0,5 – 1,5 | > 1,5 |
| Hodnocení salinity | nízká zátěž | střední zátěž | vysoká zátěž |

Běžně prodávané sanační omítky je možné rozdělit na:

- jednovrstvé,
- dvouvrstvé systémy.

Jednovrstvé omítky se nanášejí výhradně na relativně homogenní, méně poškozené zdivo. Skládají se z podhozu nanášeného síťovitě, tj. z cca 50 % a vrstvy sanační omítky minimální tloušťky 20 mm.

Dvouvrstvé sanační omítky se používají na nehomogenní, značně poškozené zdivo a při vysokém stupni zasolení, zejména pokud zdivo obsahuje dusičnany. Skládají se z podhozu nanášeného opět síťovitě, z porézní, slabě hydrofobní podkladní omítky a vlastní sanační omítky. Podkladní omítka má mít minimální tloušťku 10 mm.

Po zdrsnění je na ni nanesena vrstva sanační omítky minimální tloušťky 15 mm.

Protože mezi platnými normami ČSN či ČSN EN nejsou žádné, které by se speciálně zabývaly problematikou sanačních omítek, je z hlediska požadavků na vlastnosti sanačních omítek i u nás respektována směrnice WTA č. 2-2-91 – Sanační omítkové systémy.

Za sanační omítkové systémy dle WTA jsou považovány jen omítkové systémy vyráběné ze suchých maltových směsí, které splňují požadavky zmíněné směrnice. Na trhu se stavebními hmotami je však možné se setkat i s přísadami, ze kterých lze, dle informací jejich výrobců, přímo na staveništi s použitím přísad vyrobit sanační omítky. Jelikož se nejedná o suché maltové směsi, u kterých lze zajistit homogenitu vyrobené malty, resp. omítek, nedává WTA souhlas k tomu, aby tyto hmoty byly označované jako sanační materiály dle WTA.

Součástí sanačního systému jsou:

- podhoz,
- podkladní omítka,
- sanační omítka.

Podhoz („špric“) zajišťuje adhezi (přilnavost) sanačních omítek k podkladu. Musí být odolný proti působení solí. Nenanáší se obvykle celoplošně, ale šachovnicovitě, tj. nepokrývá celý povrch omítaného zdiva. Je-li stupeň zakrytí podhozem pod 50 % celkové omítané plochy, nejsou na podhoz kladeny žádné speciální mechanicko-fyzikální požadavky.

Tloušťka podhozu nesmí překročit 5 mm, na což je nutné dbát především při strojním omítání. Spáry ve zdivu nesmí být podhozem vyplněny. Použitý podhoz musí být součástí zvoleného sanačního systému.

Podkladní omítka (tab. 4.70) slouží k vyrovnání hrubých nerovností podkladu nebo jako akumulační vrstva pro jímání solí při obzvlášť vysokém zasolení podkladu. Požadavky na ztvrdlou maltu z tab. 4.70 platí pro laboratorně vyrobené vzorky. Vzorky, které byly odebrány po zatvrdnutí na stavebním objektu musí splňovat požadavky na objemovou hmotnost a pórovitost. Sanační omítka WTA smí být použita jako podkladní omítka, když její celková tloušťka nepřesáhne cca 40 mm.

Některé požadavky na vlastnosti podkladní omítky WTA [Kolísko, J., Klečka, T., 1999] *Tab. 4.74*

| Vlastnost | Měrná jednotka | Požadavek |
|---|---|---|
| Čerstvá malta | | |
| Konzistence | mm | 170 ±5 |
| Objem vzduchových pórů | % | > 20 |
| Zatvrdlá malta | | |
| Faktor difuzního odporu $\mu$ (pro vyrovnávací omítky a pórovité jádrové omítky) | – | < 18 |
| Pevnost v tlaku | MPa | ≥ sanační omítka |
| Pórovitost (pórovitých jádrových omítek) | % | > 45 |

Požadavky na sanační omítku WTA jsou shrnuty v tab. 4.75. Tyto požadavky platí pro laboratorně vyrobená tělesa. Vzorky, které byly odebrány po zatvrdnutí na stavebním objektu, musí splňovat požadavky na objemovou hmotnost a pórovitost. Zbývající parametry se smí na základě různých okrajových podmínek nepatrně odlišovat.

Některé požadavky na vlastnosti sanační omítky WTA [Kolísko, J., Klečka, T., 1999] *Tab. 4.75*

| Vlastnost | Měrná jednotka | Požadavek |
|---|---|---|
| Čerstvá malta | | |
| Konzistence | mm | 170 ±5 |
| Objem vzduchových pórů | % | > 25 |
| Zatvrdlá malta | | |
| Objemová hmotnost | $kg.m^{-3}$ | < 1400 |
| Faktor difuzního odporu $\mu$ | | < 12 |
| Pevnost v tlaku | MPa | 1,5 – 5 |
| Pórovitost | % | > 40 |

Sanační omítky WTA se mohou nanášet bud' jako jedno- nebo vícevrstvé omítky. Přitom je ale nutno dodržet celkovou tloušťku omítky minimálně 2 cm. Vrstva sanační omítky WTA se smí zredukovat na 1,5 cm pouze v případě, že bude nanesena pórovitá podkladní omítka, tak jak je uvedeno v tab. 4.76.

Opatření v závislosti na stupni zasolení [Kolísko, J., Klečka, T., 1999] *Tab. 4.76*

| Stupeň zasolení | Opatření | Tloušťka vrstvy (cm) | Poznámky |
|---|---|---|---|
| Malý | 1. Podhoz<br>2. Sanační omítka WTA | 0,5<br>20 | Stříkaná omítka zpravidla povrch nezakrývá, eventuálně podle výrobního předpisu plně zakrývá povrch. |
| Střední až velký | 1. Podhoz<br>2. Sanační omítka WTA<br>3. Sanační omítka WTA<br>1. Podhoz<br>2. Podkladní omítka WTA (pórovitá)<br>3. Sanační omítka WTA | 0,5<br>1 – 2<br>1 – 2<br>0,5<br>1<br>1,5 | |

Jednotlivé vrstvy musí být silné alespoň 1 cm. To platí i v případech, že je sanační omítka WTA použita jako vrchní omítka.

Sanační omítky WTA jsou minerální omítky a vyžadují zvláště při suchém počasí, účincích větru a slunečního záření ošetřování vlhčením, eventuálně zastíněním. k zamezení vzniku trhlinek nesmí být prostory během tuhnutí sanační omítky ani krátkodobě vytápěny.

Vlastnosti nátěrového systému aplikovaného na povrch sanační omítky musí z hlediska jeho difúzních a vlhkostních vlastností zamezit průniku dešťové vody (hydrofobita povrchové úpravy) a současně umožnit uvolnění vodních par z omítek. Omítky, nátěry a ostatní vrstvy na sanační omítky WTA nesmí negativně ovlivnit propustnost systému pro vodní páry.

Krycí vrstvy na sanačních omítkách WTA mají dostatečnou životnost proti povětrnostním vlivům jen tehdy, když jejich kapilární nasákavost nepřevyšuje podstatně kapilární nasákavost sanační omítky.

### 4.5.8 Tepelně izolační malty

Podle bývalé ČSN 722430-1 (zrušené v roce 2005) se rozlišovaly:

*malty tepelně izolační* – jejichž součinitel tepelné vodivosti byl nejvýše 0,4 $W.m^{-1}.K^{-1}$,

*malty vysoce tepelně izolační* – součinitel tepelné vodivosti nejvýše 0,25 $W.m^{-1}.K^{-1}$,

*malty mimořádně tepelně izolační* – jejichž součinitel tepelné vodivosti byl nejvýše 0,14 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Dnes za postačující hodnotu tepelné vodivosti tepelně izolační malty pro zdění někteří výrobci považují hodnotu 0,36 $W.m^{-1}.K^{-1}$, běžně se však vyrábějí zdicí malty s hodnotou 0,20 – 0,25 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Omítkové tepelně izolační malty dosahují hodnot 0,09 - 0,12 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Dosažení tak nízkých hodnot tepelné vodivosti maltového kompozitu je možné pouze tehdy, jestliže tento kompozit obsahuje v dostatečné míře póry vyplněné plynem (vzduchem). K zajištění dostatečného obsahu pórů se obvykle používají lehčená plniva (expandovaný perlit, keramzit, skleněné duté kuličky, pěnový polystyrén). Vytváření porézní struktury malty pomocí hliníkových vloček (nadouvajících alkalické maltové pojivo) je mnohem méně časté.

Objemová hmotnost tepelně izolačních malt je nejvýše 1100 $kg.m^{-3}$. Malty s objemovou hmotností vyšší než 1100 $kg.m^{-3}$, avšak nepřesahující 1600 $kg.m^{-3}$ se podle ČSN 722430-1 označovaly jako malty vylehčené,podle současné normy ČSN EN 998 1 a 2 jde o malty lehké.

Od lehkých malt se neočekává výrazný tepelně izolační efekt, a k jejich vylehčování je proto možno použít i méně tepelně izolující plniva, jako je například cihelná drť. Lehké jádrové omítky s hydraulickým pojivem jsou poměrně elastické (modul pružnosti E < 3500 MPa) a s výhodou se proto nanášejí na vysoce tepelně izolační zdivo (např. pórobeton), na kterém obyčejné jádrové omítky mají sklon k praskání.

Názvoslovná praxe výrobců se však často normou neřídí. Setkáváme se termíny jako termoomítka nebo zateplovací omítka, či dokonce teplá malta.

Tepelně izolační malta pro zdění zabraňuje vzniku tepelných mostů v maltovaných spárách mezi cihelnými bloky nebo tvárnicemi a zvyšuje tepelný odpor zdiva až o 17 %. Její ekonomické použití vyžaduje pečlivou zednickou práci. Cenový nárůst vyvolaný případnou vyšší spotřebou malty není zanedbatelný a vyšší spotřeba malty (byť tepelně izolační) není žádoucí ani z hlediska výsledného tepelného odporu zdiva.

Výhodou tepelně izolačních omítek je, že tvoří souvislý plášť bez výrazných tepelných mostů a snadno kopírují oblé tvary. Mají obvykle příznivou protipožární odolnost a vykazují vhodnou míru tepelné akumulace.

Vápenocementové tepelně izolační omítky s perlitem jsou zpravidla určené pro ruční zpracování, pro strojní zpracování je třeba zvláštní strojní zařízení.

Ručně nanášené perlitové omítky se někdy připravují jako omítky staveništní. Příklady možných receptur uvádí tabulka 4.72a. Na jedné straně se tak dá dosáhnout snížení materiálových nákladů, na straně druhé tento způsob neposkytuje omítku zaručených vlastností.

Receptury pro přípravu jednoduché perlitové staveništní malty *Tab. 4.77*

| Jednoduchá perlitová staveništní malta | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Objemová hmotnost malty | $kg.m^{-3}$ | 400 | 450 | 500 |
| Experlit EP 150 | $m^3$ | 1,25 | 1,3 | 1,35 |
| Vápenný hydrát | kg | 140 | 150 | 170 |
| Cement SPC 32,5 | kg | 55 | 80 | 95 |
| Voda | $dm^3$ | 380 – 420 | | |

Vápenocementové tepelně izolační omítky s polystyrénovým granulátem jsou obvykle formulovány jako strojní omítky, je však možné i jejich ruční nanášení.

Vápenocementové tepelně izolační omítky se používají jako jádrové omítky. Na povrchu se zpevňují síťovinou a opatřují se ochranou vrstvou, kterou je nejčastěji tenkovrstvá omítka.

Ve srovnání s dodatečným zateplovacím systémem na bázi pěnového polystyrénu či minerální plsti je (při stejné tloušťce vrstvy) účinnost tepelně izolačních omítek obvykle poloviční. Jejich tloušťka je navíc omezena na maximálně 50 až 60 mm, což je polovina tloušťky dnes běžně prováděného deskového zateplení.Celkový efekt tepelně izolační omítky je tedy nejvýše čtvrtinový.

Tepelně izolační omítky lze využít při provádění dodatečných tepelných izolací především jako doplňující opatření. Tepelně izolační omítky mohou být použity na teplotně méně exponované části budov, pro izolaci zádveří, schodišť a únikových cest uvnitř budovy. Vhodně umístěnou tepelně izolační omítkou lze s výhodou snížit tepelné ztráty v místě osazení okenního rámu.

Vyššího tepelného odporu zdiva lze dosáhnout současným použitím tepelně izolační omítky na obou stranách zdiva. Umístění tepelně izolační omítky na obvodové stěny objektu z vnitřní strany je však vždy třeba posoudit i ze stavebně-fyzikálního hlediska. Stejně jako v případě jiných dodatečných zateplovacích úprav i zde existuje nebezpečí kondenzace vlhkosti na příliš prochlazené stěně.

Při zateplování stěn uvnitř objektu se mohou dobře uplatnit sádrové tepelně izolační omítky, které je možno zpracovávat strojně i ručně. Jejich schopnost pohlcovat vodu se může projevit jako pozitivní faktor. Nově vyvíjenou skupinu sádrových tepelně izolačních omítkových hmot představují materiály na bázi sádrové pěny.

### 4.5.9 Hliněné malty

Používání hliněných malt bývá většinou spojováno s obnovou staveb lidových nebo historických a jejich povrchů s využitím původních ručních postupů výroby malt přímo na místě. Hliněná malta je vyrobena z pojiva a plniva, kde funkci pojiva plní pouze jíl a funkci plniva písek různé frakce. Malta neobsahuje žádné hydraulické pojivo.

Při opravách a rekonstrukcích se zásadně (jako hlavní surovina těchto malt) používá jíl, který složením odpovídá hlínám vyskytujícím se v lokalitě stavby. Hlavním technologickým parametrem pro přípravu čerstvé směsi je vhodná plasticita. Podrobným posouzením původní malty lze zjistit přísady, které byly používány ke zlepšení zpracovatelnosti místní jílové hmoty. Většinou se jedná o látky působící plastifikačně, jako je chlévská mrva a hovězí krev. Plastifikační účinek má i vápno, při jehož použití vzniká vlastně kombinované hlinovápenné pojivo.

K zamezení vzniku nežádoucích smršťovacích trhlin se do hliněných malt přidávala vláknitá plniva, nejčastěji řezanka, pazdeří a zvířecí chlupy.

Kritériem trvanlivosti ztvrdlých hliněných malt je velikost bobtnání, které ve svých důsledcích je dalším původem vzniku trhlin a posléze destrukce omítek.

Rozeznáváme tři hlavní jílové minerály. Jejich vlastnosti coby hliněných pojiv se podstatně liší. Rozhodující parametry udává tab. 4.78.

Vlastnosti hlavních jílových minerálů *Tab. 4.78*

| Složka jílu | Index plasticity | Bobtnání (% objemu) | Mezní obsah vody evokující vznik trhlin (%) |
|---|---|---|---|
| Kaolinit | 11 – 23 | 5 – 8 | 25 – 29 |
| Montmorillonit | 67 – 656 | 100 a více | 8 – 15 |
| Illit | 33 – 67 | 28 – 35 | 15 – 17 |

Kaolinitické jíly jsou jako maltové pojivo špatně zpracovatelné, jejich životnost je ale podstatně delší než u jílů s jinými složkami. Jíly, jejichž hlavní složkou je montmorillonit, jsou nejvýhodnější z hlediska zpracovatelnosti. Jejich náchylnost k tvorbě trhlin při střídavém působení vody i sklon ke vzniku trhlin při vysychání však prakticky vylučuje jejich užití pro výrobu malt na vnější omítky.

Vnější hliněné omítky se ovšem dnes provádějí výlučně při opravách starých hliněných budov. Používají se pak původní postupy lidové architektury jako tzv. můrl, kdy se hliněná vrstva nanáší prsty a roztírá se dlaní nebo hadrem.

Vnitřní hliněné omítky mohou nalézt uplatnění i v moderním interiéru s ohledem na jejich mimořádné vlastnosti z hlediska vnitřního mikroklimatu a pohody bydlení. Hliněné omítky mají schopnost regulovat relativní vlhkost vzduchu. Hliněná omítka absorbuje vodní páry ze vzduchu v případě vyšší vlhkosti vzduchu v místnosti a naopak zvlhčuje vzduch příliš suchý. Hliněné omítky jsou schopné výrazně pohlcovat škodlivé pachy a látky způsobující potíže alergikům.

Zásadní nevýhodou pro širší využití hliněných omítek jsou vysoké nároky na suroviny z hlediska průmyslové výroby. Je obtížné udržet stále stejnou kvalitu přírodní suroviny bez vylepšování speciálními přísadami.

Na současném trhu je k dispozici ucelená řada vnitřních hliněných omítek určených pro ruční nanášení nebo strojní omítání. Tvoří ji hliněný podhoz (vysoký podíl jílu, zrnitost 0/0, 2) aplikační tloušťky 1 až 2 mm, vrstva hliněné omítky hrubé (směs jílu a přírodního písku, zrnitost 0/3,5) aplikační tloušťky min. 10 mm a vrstva hliněné omítky jemné (frakce 0/2) . Závěrečná vrstva může být případně dokončena ještě tenkou vrstvou hliněné omítky velmi jemné (0/0,7) .

### 4.5.10 Malty pro zdění

K dosažení optimální úrovně užitných vlastností obsahují tyto malty rozdílné podíly cementu, vápenného hydrátu a písku.

Portlandský cement vnáší do soustavy největší tlakovou pevnost, ale protože během vytvrzování málo váže vodu je zde riziko smršťovacích trhlin. Vápno sice nedává tak vysokou tlakovou pevnost, ale dobře váže a dělá pojivový systém pružnějším.

Písek snižuje cenu malty a je nezbytnou složkou omezující celkové smrštění malty při tuhnutí cementu na přijatelnou míru.

Množství vody je vždy větší než množství bezprostředně nutné k hydrataci cementu a fakticky je určováno požadavkem na optimální zpracovatelnost malty.

Příprava cementové nebo vápenocementové malty pro zdění z pojiva a písku přímo

stavbě je stále oblíbená. Při přípravě staveništní malty se obvykle se postupuje tak, že se v míchačce nejprve (za neustálého chodu) připraví směs suchých složek v poměru cca 6 dílů písku : 1 díl cementu : 1 díl vápenného hydrátu (pro maltu vápenocementovou), nebo v poměru cca 4 díly písku : 1 díl cementu (pro maltu cementovou) . V poslední době se namísto CEM cementu používá speciální pojivo (cement pro zdění) .

Přesto, že jsou k tomuto způsobu přípravy oprávněné výhrady, týkající se nezaručené kvality výsledného produktu, udržuje si tato technologie zatím svůj význam pro příznivou cenové relaci ve srovnání s používáním prefabrikované mokré malty či suchých maltových směsí.

Zvýšený tlak na kvalitu stavebního díla však vede k postupnému vytlačení staveništních zdicích malt průmyslově vyráběnými maltami.

Moderní výhodnou formou průmyslově vyráběné malty je mokrá maltová směs, jejíž použití na stavě nevyžaduje míchačku. Malta je dodávaná ve stavu vhodném pro aplikaci a zalita slabou vrstvou vody vydrží být zpracovatelná až 36 hodin. Při aplikaci z ní zdivo přebytečnou vodu odsaje a malta dostatečně rychle ztuhne.

V americké stavební praxi se používají prefabrikované vápenocementové kompozice, které jsou podle ASTM C 270 označovány jako malta typu M, N, O a S.

Z vápenocementových malt podle ASTM má malta typu M největší obsah cementu a největší tlakovou pevnost. Tlaková pevnost malty je okolo 18 MPa a je proto doporučována především pro zdi nesoucí značné zatížení a s ohledem na trvanlivost také pro opěrné zdi, zdi v kontaktu s zeminou, základové zdi a dlážděné chodníky.

Malta typu S je někdy označována jako základová malta. Kromě dobré pevnosti v tlaku (13 MPa) nabízí také dobré tahové spojení dvou zdicích prvků. Konstrukce s touto maltou nají dobrou ohybovou pevnost a odolávají dobře větru a tlaku zeminy.

Malta N vykazuje spíše průměrnou tlakovou pevnost (5,5 MPa) a je doporučována pro venkovní nadzemní zdi, které mohou být vystaveny nepřízni počasí a lze ji použít i na komíny.

Malta typu O má nízkou pevnost v tlaku (okolo 2,5 MPa). Doporučuje se pro interiérové a omezené exteriérové použití, není vhodná pro nosné zdi.

U nás požadavky na průmyslově vyráběné malty pro zdění deklaruje ČSN EN 998-2. Tato norma platí pro malty určené k ukládání, spojování a spárování, pro používání ve zděných stěnách, pilířích a příčkách, zatížených a nezatížených zděných konstrukcích, omítané i lícové zdivo.

Hlavní jakostní kriteria pro čerstvé malty podle této normy jsou: doba zpracovatelnosti, obsah chloridů, obsah vzduchu, objemová hmotnost a v případě malt pro tenké spáry také čas pro úpravu. Pro zatvrdlé malty se jakostní požadavky považují: pevnost v tlaku, soudržnost a objemovou hmotnost. Příslušné hodnoty se prokazují zkušebními metodami uvedenými v samostatných evropských normách.

#### 4.5.10.1 Termíny a definice

ČSN EN 998-2 rozeznává:

Druhy malt pro zdění podle záměru výroby:

Návrhová malta pro zdění (podle volby výrobce) je malta, pro níž výrobce volí složení a výrobní postup tak, aby byly zajištěny předepsané vlastnosti (záměr užitné

hodnoty) .

Předpisová malta pro zdění (podle receptury) je malta, která je vyráběna ve stanoveném poměru složek a jejíž vlastnosti se posuzují podle použitého poměru složek (záměr receptury) .

Druhy malt pro zdění podle vlastností nebo použití:

Obyčejná malta pro zdění (G) malta pro zdění je malta, pro níž nejsou předepsány speciální vlastnosti.

Malta pro zdění pro tenké spáry (T) je návrhová malta pro zdění s největší zrnitostí kameniva, která je rovna nebo menší než předepsaná hodnota 2 mm.

Lehká malta pro zdění (L) je návrhová malta pro zdění, jejíž objemová hmotnost v suchém stavu je menší než předepsaná hodnota 1300 kg. $m^{-3}$.

Druhy malt pro zdění podle způsobu výroby:

Průmyslově vyráběná malta pro zdění je malta pro zdění, která je dávkována a umísena průmyslově. Může se jednat o „maltu suchou" předem umísenou a dodávanou na místo použití (zpravidla v pytlích), k níž je třeba jen přidat vodu.

Vyrábí se však i kompletně namíchaná směs připravená k bezprostřednímu použití („mokrá malta“), takže míchání na stavbě zcela odpadá. Zpracovatelnost takovéto kompletní zdicí maltové směsi bývá 36 hodin, tuhnutí nastává okamžitě po nanesení na savý podklad.

Malta pro zdění zčásti připravená průmyslově (předem dávkovaná malta pro zdění) je tvořena složkami dodávanými na stavbu v podobě průmyslově připravených dávek. Na staveništi je zamíchána podle pokynů a podmínek výrobce. Může mít podobu předem umísené vápenopískové malty pro zdění, jejíž složky jsou plně dávkovány a umíseny průmyslově a která se dodává na staveniště, kde se doplní o další složky specifikované nebo dodané výrobním závodem (zpravidla cement) .

Staveništní malta pro zdění je malta pro zdění, která je z jednotlivých složek dávkována a zamíchána na staveništi.

### 4.5.10.2 Posouzení agresivity prostředí

Zatím nebyly zpracovány předpisy EU (eurokódy), které by se týkaly používání zdicích prvků a malt pro zdění. Do doby, než budou takové pokyny dokončeny, byla k ČSN EN 998-2 připojena příloha nazvaná Používání zdicích prvků a malt pro zdění.

V této příloze jsou shrnuty zásady pro posuzování agresivity prostředí, působícího na maltu, s ohledem na druh zděné konstrukce. Před výběrem malty musí být posouzen stupeň agresivity prostředí a zároveň je nutné zvážit, zda při daném použití (daném konstrukčním provedení) připadá v úvahu nasycení malty vodou.

„Agresivní", „středně agresivní" a „neagresivní" prostředí vyjadřují stupně rizika, při nichž bude zděná konstrukce vystavena působení vysokého obsahu vody společně s rizikem střídavého zmrazování a rozmrazování podle místních klimatických podmínek a podle návrhu konstrukce.

Vlivy tvořící část podmínek pro hodnocení prostředí jsou teplota a vlhkost, případně přítomnost agresivních látek. Při hodnocení podmínek je třeba vycházet z místních nebo tradičních zkušeností. Musí být posouzen vliv případné úpravy povrchu (např. nátěr) .

Za zděné konstrukce nebo zdicí prvky vystavené silně agresivnímu prostředí je třeba považovat zdivo blízko vnějšího základu (dvě řady nad a pod), kde je vysoké riziko nasycení vodou spolu s působením mrazu.

Silně agresivnímu prostředí jsou dále vystaveny neomítnuté parapety, u nichž je vysoké riziko působení mrazu (např. není-li parapet kryt účinným okapnicovým krytem), neomítnuté komíny (u nichž je vysoké riziko nasycení vodou a působení mrazu), okapnicové kryty, bezokapnicové kryty a parapetní kryty (v podmínkách, v nichž může dojít k působení mrazu) .

Za silně agresivně namáhané jsou považovány i volně stojící dělicí zdi a ochranné zdi, kde je vysoké riziko nasycení vodou a účinku mrazu (např. nebyly-li zdi opatřeny okapnicovými kryty) a opěrné zdi, u nichž je vysoké riziko nasycení vodou a působení účinku mrazu, zejména nebyly-li opatřeny účinnými okapnicovými kryty nebo nebyly-li na povrchu vystaveném vlhkosti ošetřeny účinným vodotěsným prostředkem.

Za konstrukce vystavené mírně agresivnímu prostředí se považují horní části zdí chráněné střechovým přesahem nebo okapnicovými kryty, popřípadě dolní a horní část zdí, pokud jsou chráněné vodotěsnými vrstvami.

Konstrukcí v neagresivním prostředí je zdivo v obvodových stěnách, pokud je opatřeno vhodnou ochranou, jejíž volba závisí na klimatických podmínkách. Pokud nejde o objekt v horách, ve středoevropském klimatu poskytuje dostatečnou ochranu již tenká vrstva vnější omítky.

### 4.5.10.3 Hodnocení shody

Hodnocení shody se provádí pouze u průmyslově vyráběných malt pro zdění. V našich podmínkách jsou to především suché maltové směsi, které se dodávají pytlované nebo i volně ložené.

Nejběžnějším typem výrobku je cementová nebo vápenocementová zdicí malta určená pouze pro zdění. Dosahovaná pevnost v tlaku je min. 10 MPa pro cementovou a min. 5 MPa pro vápenocementovou maltu.

Cementová zdicí a spárovací malta vhodná pro lícové zdivo je malta určená pro zdění a současně spárování pohledového a obkladového zdiva v jednom pracovním kroku. Musí být odolná proti povětrnostním vlivům a nesmí mít sklon k tvorbě trhlin.

Základním rysem nových norem používaných při hodnocení shody je přenesení odpovědnosti na výrobce, kteří v řadě případů některé vlastnosti malt sami volí, deklarují.

Výrobce malty (nebo jeho zástupce) musí prokázat shodu svého výrobku s požadavky ČSN EN 998-2 a s deklarovanými hodnotami prováděním počátečních zkoušek a řízením výroby závodu.

Počáteční zkoušky musí být také provedeny u již vyráběných výrobků, dojde-li v důsledku změn základních materiálů nebo výrobních postupů k rozhodnutí výrobce změnit označení výrobku nebo způsob jeho použití. Zkoušky nejsou zapotřebí, je-li povolena deklarace na základě tabulkových hodnot.

Nejdůležitější vlastnosti u čerstvé malty jsou doba zpracovatelnosti, obsah chloridů, obsah vzduchu, čas pro úpravu (u malt pro tenké spáry) a zrnitost kameniva (zejména u malt pro tenké spáry) . U zatvrdlé malty je základní vlastností pevnost v tlaku. Dále se sleduje soudržnost, absorpce vody, propustnost vodních par, objemová hmotnost, tepelná vodivost, reakce na oheň (u malt obsahujících > 1 % organických materiálů) a trvanlivost.

Pro návrhové malty musí být pevnost v tlaku malty pro zdění deklarována výrobcem. Výrobce má deklarovat pevnost v tlaku v souladu s tabulkou tříd malt (tab. 4.65), kde je pevnost v tlaku označována jako M podle pevnosti v tlaku v N. $mm^{-2}$, kterou překračuje.

Je-li malta pro zdění vzorkována z dodávky podle EN 1015-2 a zkoušena podle EN 1015-11, nesmí být pevnost v tlaku nižší než deklarovaná pevnost v tlaku nebo deklarovaná pevnostní třída.

Musí být deklarováno, zda obsah vzdušného vápna, vyjádřený jako hydroxid vápenatý $Ca(OH)_2$, je roven 50 % celkového obsahu pojiva, nebo zda je vyšší.

Třídy malt *Tab. 4.79*

| Hodnoty pevnosti v tlaku v třídách malt | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Třída | M1 | M2,5 | M5 | M10 | M15 | M20 | Md |
| Pevnost v tlaku $N.mm^{-2}$ | 1 | 2,5 | 5 | 10 | 15 | 20 | d |
| *d* je pevnost v tlaku větší než 25 $N.mm^{-2}$ deklarovaná výrobcem | | | | | | | |

U návrhových malt určených k použití do prvků, u nichž jsou předepsány konstrukční požadavky, musí být soudržnost malty v kombinaci se zdicím prvkem deklarována v hodnotách počáteční smykové pevnosti.

Deklarace může být provedena buď na základě zkoušek, nebo na základě tabulkových hodnot. Výrobce musí uvést, na základě čeho byla deklarace provedena.

Charakteristická počáteční smyková pevnost návrhových malt v kombinaci se zdicími prvky podle EN 771 musí být následující:

0, 15 N. $mm^{-2}$ pro obyčejné a lehké malty,

0, 30 N. $mm^{-2}$ pro malty pro tenké spáry.

U malt pro zdění musí výrobce deklarovat reakci na oheň. Malty pro zdění, které obsahují < 1, 0 % hmotnosti nebo objemu rovnoměrně rozptýleného organického materiálu (podle toho, co přichází v úvahu), se v reakci na oheň zařazují do třídy A1 bez zkoušení. Malty pro zdění, které obsahují > 1, 0 % hmotnosti nebo objemu rovnoměrně rozptýleného organického materiálu (podle toho co přichází v úvahu), musí být v reakci na oheň klasifikovány podle EN 13501-1 a příslušná třída reakce na oheň musí být deklarována.

Vyžadují-li určité druhy malt použití určitého postupu nebo doby míchání, musí to být rovněž stanoveno výrobcem. Doba míchání se měří od okamžiku, kdy byly přidány všechny složky.

Komise CEN/TC 125 v roce 2002 rozhodla, že EN 998-1 a EN 998-2 se budou přímo týkat malt průmyslově vyráběných a že budou normami harmonizovanými. To znamená, že od vstupu ČR do EU je možné k průmyslově vyráběným maltám pro zdění podle ČSN EN 998-2 připojovat označení CE. Za připojení označení CE je odpovědný výrobce nebo jeho zplnomocněný zástupce.

Na obr. 4. 69 jsou zachyceny informace, které je třeba uvést na obale, na připojeném štítku nebo v obchodní dokumentaci výrobků nesoucích označení CE.

| |
|---|
| CE<br>01234 |
| Výrobce<br>00 |
| 01234-cpd-00234 |
| EN 998-2<br>Návrhová obyčejná malta pro zdění k použití ve venkovních stavebních částech s konstrukčními požadavky<br><br>Pevnost v tlaku: Kategorie M5<br>Počáteční smyková pevnost: 0,15 N/mm² (tabulková hodnota)<br>Obsah chloridů: 0,07 % Cl<br>Reakce na oheň: třída A 1<br>Absorpce vody: 0,05 kg/(m².min$^{0.5}$)<br>Propustnost vodních par: $\mu$ 15/35<br>Tepelná vodivost: ($\lambda_{10,\,dry}$) 0,83 W/(m . K) (tabulková hodnota)<br>Trvanlivost: (zmrazování/ /rozmrazování): posouzení podle ustanovení platného v místě zamýšleného použití malty |

*Obr. 4.69* Příklad označení CE podle ČSN EN 998-2

V následujícím časovém údobí připravila Technická komise CEN/TC 125 text „Pokynu pro řízení výroby závodu týkající se označování CE (systém prokazování shody 2+) návrhových malt pro zdění“, který byl schválen 12. 8. 2005 a vydán jako „Technická zpráva CEN 15225“.

Evropští výrobci malt mají široký rozsah různých výrobků a výrobních postupů. Někteří výrobci mají velmi propracované systémy řízení výroby; jiní provozují systém kontroly konečného výrobku nebo kombinaci obou.

Pokud si výrobce vyvinul alternativní systém řízení výroby může být přijat jako alternativní k referenčnímu způsobu uvedenému v tomto dokumentu za předpokladu, že u tohoto alternativního způsobu:

-může být prokázáno, že existuje vztah mezi referenčním a alternativním systémem řízení výroby;

-může být prokázána stejná úroveň shody výrobku;

-je k dispozici informace z níž tento vztah vyplývá.

### 4.5.10.4 Dodatečné požadavky na malty pro tenké spáry

Zrna kameniva nesmí být větší než 2 mm, je-li malta pro zdění vzorkována z dodávky podle EN 1015-2 a zkoušena podle EN 1015-1. Výrobce musí deklarovat maximální velikost zrna.

Čas pro úpravu musí být deklarován. Je-li malta pro zdění vzorkována z dodávky podle EN 1015-2 a zkoušena podle EN 1015-9, musí být čas pro úpravu delší než deklarovaná hodnota.

### 4.5.11 Pokládací malty

Obkládání stěn keramickými prvky má dlouho tradici. k nejstarším obkladačským postupům patří obkládání kachlíky lepenými do kamnářské hlíny. Tento postup byl používán jak při výrobě kachlových kamen, tak při obkládání stěn přilehlých ke kamnům. Celá technologie vyžaduje současné používání ocelových spon a je náročná na řemeslnou zručnost.

V druhé polovině 19. století se začala pro provádění obkladů používat řídká cementová malta, používaná zprvu v kombinaci s maltou hliněnou. Hliněná malta, nanášená na střed obkladačky, zajišťovala okamžitou přídržnost obkladačky („kladení na špunty“). Po osazení celé řady se dutina mezi obkladačkami a zdí vylévala dostatečně tekutou cementovou maltou.

Časem se přestala hliněná malta používat a kladení se provádělo způsobem spočívajícím v plnoplošném maltování rubu keramiky pokládací maltou (kladení na buchty). Nanesená malta se, přitom způsobu kladení, musí při okrajích lžící šikmo seřezávat a jednotlivé obkladačky je třeba velmi pečlivě dorážet ke stěně.

V případě současných obkladů stěn už používání pokládacích malt nepatří k běžným obkladačským technikám, protože je příliš náročné na pečlivé provedení a vede k velkým tloušťkám obkladu. Vápenocementová pokládací malta (používaná dříve pro kuchyňské a koupelnové obklady) proto již patří minulosti. Namísto této pokládací malty se dnes používají lepicí tmely.

Svůj význam si však stále zachovávají tradiční speciální pokládací malty. Mohou to být malty na bázi vodního skla, používané pro kyselinovzdorné a žárovzdorné vyzdívky, nebo malty na bázi fenolických rezolů a furylalkoholových kondenzátů, které se stále dobře uplatňují při montáži chemicky odolných obkladů.

Silnější vrstva malty nesoucí obklad má u chemicky odolných prací významný podíl na celkové ochranné funkci.

Chemicky odolné malty jsou typicky formulovány jako dvousložkové. Nejčastěji sestávají z tekutého pojiva a práškovité výplně, ve které je rozptýlena vytvrzovací složka. Jinou formou je pojivo upravené inertním plnivem do podoby malty, ke které se bezprostředně před použitím přidává kapalná nebo pastovitá tvrdicí složka. Jedná se poměrně speciální výrobky, které jsou často dodávány pouze formou zakázkového zhotovení celého obkladu.

S cementovou pokládací maltou, která zároveň plní i funkci vyrovnávací vrstvy, se můžeme dodnes setkat při kladení dlažeb. Možnost vyrovnat pomocí tlustého (i několikacentimetrového) maltového lože nerovnosti podkladu a zároveň položit dlažbu je někdy vítána.

Používá se i zavlhlá cementová malta (cement : písek = 1 : 3 objemově). Dlaždice musí být kladeny do malty, která ještě nestačila zavadnout. Naráz se proto může maltovat pouze poměrně malá plocha. Ke zlepšení adheze se maltový povrch bezprostředně před kladením dlažby poprašuje cementem. Pro malé dlaždice vyhovuje tloušťka maltového lože 15 – 20 mm, u větších dlaždic je zapotřebí tloušťka alespoň 25 mm.

Ve většině případů však i v případě dlažeb dochází k vytlačení klasické pokládací malty tenkovrstvými lepicími hmotami. Při jejich aplikaci je dlažba dříve pochůzná a dříve se může spárovat. k rozšíření lepicích hmot nakonec jistě přispěl i fakt, že soudobé dlažební materiály jsou stále hutnější a nepropustnější, a tak v cementové maltě dobře nedrží.

Používané lepicí tmely jsou sice někdy také označovány jako malty (respektive jako lepicí malty), od původních pokládacích malt se však liší jak složením, tak způsobem použití (viz kap. 4.12.2.2).

### 4.5.12 Stykové malty

Stykové malty definovala ČSN 72 2430-3 jako cementové malty pro osazování dílců nebo pro vyplnění prostoru mezi dílci (tzv. zálivkové malty). Podle pevnosti v tlaku po 28 dnech (MPa) se stykové malty rozdělovaly do sedmi tříd (značek): 5, 10,15, 20, 25, 30 a 33.

V minulosti byly problémy jak s dosahováním požadované kvality (zvláště u malt vysokých značek), tak s vlastním prováděním zálivky. V mnoha starších panelových stavbách patří místa aplikace stykových malt k neuralgickým bodům konstrukce vyžadujícím sanaci.

K podstatnému zlepšení došlo po zavedení prefabrikovaných zálivkových malt s expansivním charakterem, které umožňují prostor aplikace dokonale vyplnit a vysoce tekutých adhesivních malt, které lze používat i k osazování mechanicky silně namáhaných prvků. Některé zálivkové malty se dají aplikovat i pod vodou. Vesměs se jedná o speciální (značkové) výrobky.

Soudobé stykové a zálivkové hmoty svými vlastnostmi původní požadavky normy ČSN 73 2430-3 překonávají. V mnoha případech je lepší chápat je jako speciální malty (viz kap. 4.12.2.3).

### 4.5.13 Historické malty

Jako historické malty v tomto textu označujeme kompozitní materiály maltového charakteru, které se dnes již běžně nepoužívají, ale mají význam při restaurování historických objektů..

Je zcela zřejmé, že pro uspokojivou reprodukci historických malt nestačí pouze znalost pouze hmotného složení.

Nezbytné je mít i dostatečné znalosti tehdejší technologie výroby jednotlivých použitých surovin a dostatečné údaje o používaných zpracovatelských postupech.

Je třeba si uvědomit, že ani soudobé špičkové analytické techniky nám často nedokážou dát nezpochybnitelnou odpověď na to z jakých složek byla příslušná malta připravena.

Tuto skutečnost dobře ilustruje případ malty Karlova mostu, do které byly údajně přidávány vejce.

Původní výsledek z roku 2008 (získaný po několikaletém výzkumu) potvrzující, že vaječné bílkoviny jsou v maltě přítomné, byl v roce 2010 odmítnut s tím, že se jedná o bílkoviny mléčné a že do malty byl pravděpodobně přidáván tvaroh, který může zlepšit adhezi tvorbou kaseinátu vápenatého.

Současně je třeba vzít v úvahu, že prakticky všechny výrobní postupy současnosti používají ve srovnání s analogickými výrobními postupy starověku a středověku nějaká urychlující opatření ať již se o zvýšení teploty výpalu při výrobě páleného vápna nebo o používání kobaltových sikativ k urychlení zasychání olejových barev.

Původně byly k výpalu vápna používány nízkoteplotní milíře což vedlo k tomu, že tehdy bylo produkováno výhradně měkce vypálené vápno obsahující jen zanedbatelný podíl slinutých zrn. Ani později používané vápenice (trychtýřové a šachtové pece) nedosahovaly teplot dnes při výrobě vápna běžných.

Hašením vzniklá vápenná kaše se nechávalo dlouhodobě odležet v jamách a výsledný produkt byl pak tvořen vápennou suspenzí s velmi jemnými částicemi.

Této skutečnosti jsou si soudobí restaurátoři plně vědomi a pro náročnější štukatérské práce nechávají také vápennou kaši několik let odležet.

Vlastnosti podobné dnešním sanačním omítkám má historická *horká malta*. Při její přípravě se do středu vrstvy písku, rozprostřené do kruhu na pevné podložce, kladlo roztlučené kusové vápno, které se následně zkropilo vodou. Poté bylo vápno překryto pískem, který udržel teplo do ukončení hašení.

Po vyhašení byl písek s vápnem důkladně promíchán a přikryt vlhkou pytlovinou .nebo slámou. Odležení se provádělo v takto vzniklých kupách na zimu přikrývaných kravskými nebo ovčími kůžemi. Promrznutí přispívalo k rozpadu slepených částic. Vápno se působením vzdušného oxidu uhličitého na povrchu částečně přeměnilo na uhličitan vápenatý. Vzniklo tak vlastně uhličitanové vápno ve kterém přítomné uhličitany přispívají k dokonalejšímu protvrdnutí pojiva po aplikaci malty.

V dnešní době se ve světě uhličitanové vápno v omezeném rozsahu vyrábí mletím vzdušného vápna a křídy. U nás se taková výroba uskutečnila naposled v sedmdesátých letech minulého století.

Klasicky připravená horká malta má výbornou plasticitu, dobrou přilnavost k podkladu a vysokou pórovitost. To z ní dělá ideální restaurátorský materiál pro zhotovování jádrových (nebo jednovrstvých) omítek na problematických plochách s vysokým zavlhnutím.

Nehašené vápno smísené s vodou nasáklou cihelnou drtí se ve středověku používala k tvorbě bezespárých podlahových potěrů. Vápenocihlová malta se rozprostírala po podlaze ještě za horka a po vychladnutí a vytvrdnutí se brousila. Tato technologie využívá pucolanitu cihelného střepu.

Kombinace vápna s pucolánově aktivní příměsí je v historických maltách velmi oblíbená. Využívaly se ovšem hlavně přírodní pucolány. Kromě sopečného popela (Vesuv) se osvědčil i tras (suevit) vzniklý po dopadu velkého meteoritu na západním okraji Bavorska (kráter Nordlingen-Ries).

Ve značném rozsahu se dříve pro přípravu vodostálých malt využívalo i přírodní hydraulické vápno získávané výpalem vápenců obsahujících hydraulické oxidy. Značné proslulosti dosáhlo vápno z pražské kotliny, které bylo vyváženo až do italských Benátek (*pasta di praga*).

Na bázi vápna, mramorové moučky a jílu se připravuje tradiční marocká malta *tadelakt*. Vodovzdornost tadelaktová hmota získává utahováním zvláštními uhlazovacími kameny, napouštěním roztokem mýdla na bázi olivového oleje a opětným uhlazováním. . Dá se nanášet i na oblé či oválné plochy.

Tato malta je zde zmiňována proto, že se dnes objevuje v nabídce interiérových koupelnových úprav pro náročné zákazníky.

## 4.6 Beton

Beton je kompozitní látka vznikající ztvrdnutím směsi jeho základních složek, a to cementu jako nejčastěji používaného typu pojiva, kameniva (písku, štěrku, drtě) jako plniva a vody. Je to druh staviva, které lze definovat jako umělý kámen vzhledově podobný přírodnímu slepenci. Příkladem jiných typů pojiv je asfalt (asfaltobetony), polymery (polymerbetony) nebo síra (sírobetony).

Název beton vychází z francouzského *béton* (hrubá malta) a uvádí se, že byl zaveden francouzským inženýrem B. F. Belidorem již v roce 1753. Původ označení lze hledat i v latinském *betunium* (kamenná malta). Anglický výraz concrete se odvozuje zřejmě od latinského *concrescere* (srostlý, ztuhlý).

Vlastnosti betonu jsou primárně ovlivňovány skladbou a poměrem mísení jeho základních složek. Zvláštních vlastností betonu lze dosáhnout přidáním vhodných přísad a příměsí za účelem pozitivního ovlivnění jeho počátečních vlastností (obsah vzduchu, zpracovatelnost a čas tuhnutí) i konečných vlastností (pevnost, modul pružnosti, odolnost a trvanlivost).

Sekundárně ovlivňují vlastnosti betonu účinky okolního prostředí (např. vlhkost, teplota, agresivní činitelé). Proto jsou některé vlastnosti ztvrdlého betonu v čase částečně proměnné.

Pro beton je charakteristická velmi dobrá pevnost v tlaku, ale současně i lomová křehkost. Jeho pevnost v tahu, v tahu za ohybu a smyku je pouze zlomkem pevnosti v tlaku. Proto je možno prostý beton, tedy beton bez výztuže úspěšně použít jen u konstrukcí, kde převažuje tlakové napětí. Konstrukce namáhané ohybem, kde na jedné straně průřezu vzniká tlakové napětí a na druhé straně tahové napětí, je třeba vhodně vyztužovat. Nejčastěji se používají ocelové pruty s dostatečně vysokou pevností v tahu nebo z nich předem svařené armovací sítě; potom se mluví o železobetonu či o předpjatém betonu, v případě aktivace výztuže vnesením předpětí.

V některých speciálních případech postačuje k vyztužení betonu použití rozptýlené výztuže ve formě vláken (vláknobeton), při použití ocelových vláken se potom nazývá drátkobeton.

Dobrá tvarovatelnost a předpoklady koncepčního zabezpečení dlouhé trvanlivosti zajistily betonu velmi široké možnosti použití v podstatě ve všech oblastech stavební činnosti. Dobře vyrobený a zpracovaný beton je dlouhodobě schopen plnit statickou funkci a současně svojí přirozenou alkalitou chránit uloženou ocelovou výztuž proti korozi.

Aby beton skutečně splňoval požadavky na něj kladené, musí být vyráběn v dobré a stále stejnoměrné kvalitě. Toto je primárně zabezpečeno řadou normativních a doporučujících požadavků pro jeho výrobu a kontrolu v základním betonářském předpisu ČSN EN 206-1 a v navazujících souborech zkušebních metod pro čerstvý beton ČSN EN 12350 -1 až 7, pro ztvrdlý beton ČSN EN 12390 - 1 až 8 i pro zkoušení betonu v konstrukci ČSN EN 12504 -1 až 4 spolu s ČSN EN 13791 a ČSN ISO 13822 pro hodnocení kvality betonu v konstrukci či dílci.

Technologické procesy zpracování betonu jsou upraveny předpisem ČSN EN 13670 pro provádění betonových konstrukcí a celou řadou dalších norem pro speciální typy betonových konstrukcí a výrobků jako jsou kryty vozovek, konstrukce mostů, předpjaté konstrukce nebo výroba prefabrikovaných bloků, dílců a celé řady dalších betonových výrobků.

Závaznost požadavku na dodržování kvality betonu byla legislativně upravena zařazením transportbetonu do tzv. regulované oblasti výrobků, na kterou se vztahuje povinnost certifikace podle § 6 Zákona č. 22/1997 Sb. ve znění jeho doplňků a změn a Nařízení vlády č. 163/2002 Sb. ve znění NV č. 312/2005 Sb. – viz *kap. 5.1*.

Z historického pohledu jsou známy první zmínky o použití umělého kamene pro stavbu sloupů v Egyptě již v roce 3 600 před n. l. Z období středověku se zachoval záznam o používání sopečného tufu, který po smíchání s vápnem tvrdnul i pod vodou.

Příkladem antické betonové stavby je římský Pantheon (120 - 125 n. l.), který má kopuli z lehkého betonu o průměru 49 m. Z této doby jsou známy též první pokusy o vyztužení betonu bronzovými a železnými tyčemi při stavbě lázní Marca Aurelia a dodnes se zachovaly zbytky betonového akvaduktu (kdysi 80 km dlouhého) u dnešního Kolína nad Rýnem a části silnice Via Apia.

Další zachované záznamy o použití betonu po zániku Říma jsou až z roku 1756 - 1759, kdy v anglickém Edystonu použil J. Smeaton beton pro opravu majáku a v roce 1791 vydal první knihu o betonu (Smeaton´s Book). Pravděpodobně inspirován touto knihou přihlašuje v roce 1796 J. Parker anglický patent na tzv. románský cement, který je považován za první novodobý typ uměle vyrobeného hydraulického pojiva.

Období první poloviny 19. století je historicky považováno za vznik portlandského cementu dnešního typu, který se vyvíjel postupnou přeměnou hydraulických vápen. Za vynálezce cementu je považován zedník J. Aspdin z Leeds v portlandském hrabství v Anglii, který v roce 1824 přihlašuje patent na výrobu „umělého kamene“ a o rok později zakládá továrnu na výrobu „Portlandského cementu“. Základní poznatky o výrobě hydraulických pojiv byly soustředěny a dále rozvíjeny L. J. Vicatem, který v roce 1818 přihlašuje anglický patent na výrobu umělého hydraulického vápna a v roce 1822 sám zakládá továrnu na jeho výrobu. Velkým přínosem byl poznatek I. Ch. Johnsona (1844) o nutnosti pálení suroviny až na mez slinutí a další práce W. Michaelise (např. definice hydraulického modulu).

Za vynálezce železobetonu je označován francouzský zahradník J. Monier (1867 – nejdříve květináče a pak nádrže vyztužované drátěnou sítí), avšak již před ním provedli betonové konstrukce J. L. Lambot (1850 – člun z vyztuženého betonu) a F. Coignet (1852 – střechy).

Do roku 1861 se datuje vydání první knihy o železobetonu (Coignet) a v roce 1877 vyšla v Londýně kniha o betonových konstrukcích (Th. Hyatt). Postupně vznikaly první větší stavby, v roce 1873 – patrový obytný dům (USA), v roce 1891 – betonová silnice a v roce 1902 – výškový dům ze železobetonu (53 m).

O praktické rozšíření betonového stavitelství se na přelomu 19. a 20. století zasloužili F. Hennebique (stavby ze železobetonu) a E. Freyssinet (stavby z předpjatého betonu). Patent na předpjatý beton byl udělen Jacksonovi v roce 1886.

U nás byl rozvoj železobetonových konstrukcí pomalejší. Jako příčina se často uvádí zřícení zkušebního obloukového mostu, postaveného v roce 1892 u podolské cementárny u Prahy, při kterém zahynul i jeho autor, vídeňský inženýr Diss.

Podle dobových dokumentů však tomuto zřícení byla věnována relativně malá pozornost a celá událost nebyla ani nijak výslovně spojována s betonem.

Za hlavní důvod, proč se u nás železobeton prosazoval jen zvolna, je proto spíše možné označit dominantní postavení výrobců ocelových mostů a přísné stavební předpisy nevhodně uplatňované pro dimenzování betonových konstrukcí.

Přesto si beton od počátku 20. století dobývá i v Čechách své místo. V roce 1904 byla u nás vydána první publikace o betonu (K. Herzán) a technologie betonu se stává samostatnou vědní disciplinou.

K založení a rozvoji nového vědeckého oboru přispěli především jeho první profesoři, F. Klokner, S. Bechyně, B. Hacar a K. Hruban.

### 4.6.1 Klasifikace a specifikace betonu

Betony se obecně rozdělují (klasifikují) podle různých kritérií a hledisek do jednotlivých skupin, tříd a druhů. Pro konkrétní případy použití se určuje!!!! složení a vlastnosti betonu formou dokumentu, který se jmenuje specifikace.

#### 4.6.1.1 Klasifikace betonu

Základní klasifikace betonu se provádí podle ČSN EN 206-1, která nahradila předchozí předběžnou verzi ČSN P ENV 206 (ověřovanou u nás již od roku 1992).

Postupným vydáním dodatků a změn k této normě a zejména Změny Z3 (2008 ) současně se zavedením ČSN EN 13670 pro provádění betonových konstrukcí byly s konečnou platností zrušeny dlouhodobě do té doby u nás používané betonářské normy ČSN 73 2400 a ČSN 73 1209 spolu s ČSN 73 1214 až 16 upravující vliv agresivity prostředí na beton i výztužné vložky a způsoby jejich ochrany.

Rozdělení betonu podle stupně vlivu prostředí (dříve se uvádělo podle agresivity prostředí) je nyní prioritním způsobem klasifikace betonu, vycházející z typu a stupně chemického a fyzikálního působení okolního prostředí, kterému bude beton v konstrukci vystaven (viz *tab. 4.80*).

Na beton může současně působit i několik vlivů, které se potom vyjadřují jako kombinace stupňů vlivu prostředí, což může ovlivnit konečnou klasifikaci stupně vlivu prostředí (zařazením betonu do vyšší kategorie stupně odolnosti)

Stupně vlivu prostředí [ČSN EN 206-1,2003] *Tab. 4.80.*

| Označení stupně | Popis prostředí | Informativní příklady výskytu stupně vlivu prostředí |
|---|---|---|
| **1 Bez nebezpečí koroze nebo narušení** | | |
| **X0** | pro beton bez výztuže nebo zabudovaných kovových vložek:<br>– všechny vlivy s výjimkou střídavého působení mrazu a rozmrzování, obrusu nebo chemicky agresivního prostředí;<br>pro beton s výztuží nebo se zabudovanými kovovými vložkami:<br>– velmi suché | beton uvnitř budov s velmi nízkou * vlhkostí vzduchu;<br>beton základů bez výztuže v prostředí bez vlivu mrazu;<br>beton bez výztuže uvnitř budov |
| **2 Koroze vlivem karbonatace** | | |
| Pokud beton obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky je vystaven ovzduší a vlhkosti, pak se stupeň vlivu prostředí musí určit následovně:<br>POZNÁMKA Vlhkostní podmínky se vztahují k betonové krycí vrstvě výztuže nebo jiných kovových vložek, ale v mnoha případech se mohou podmínky v betonové krycí vrstvě považovat za stejné jako v okolním prostředí. V takových případech může být přiměřené stanovit vliv podle okolního prostředí, ne však v případech, kdy je beton od okolního prostředí oddělen. | | |
| **XC1** | suché nebo stále mokré | beton uvnitř budov s nízkou ** vlhkostí vzduchu;<br>beton trvale ponořený ve vodě<br>části staveb uvnitř budov se střední vlhkostí vzduchu (včetně kuchyní, koupelen a prádelen v obytných budovách);<br>nesmáčené prvky mostních konstrukcí přístupné vzduchu |
| | | povrch betonu vystavený dlouhodobému působení vody; |
| **XC2** | mokré, občas suché | většina základů<br>části vodojemů |
| **XC3** | středně mokré, vlhké | beton uvnitř budov se střední *** nebo velkou **** vlhkostí vzduchu;<br>venkovní beton chráněný proti dešti<br>části staveb ke kterým má často nebo stále přístup vnější vzduch např.: haly, vnitřní prostory s velkou vlhkostí vzduchu (kuchyně pro hromadné stravování, lázně, prádelny, veřejné a kryté bazény, stáje a chlévy) |
| **XC4** | střídavě mokré a suché | povrchy betonu ve styku s vodou, které nejsou zahrnuty ve stupni prostředí XC2;<br>vnější části staveb z betonu přímo vystaveného srážkám |
| **3 Koroze vlivem chloridů, ne však z mořské vody** | | |
| Pokud beton s výztuží nebo s jinými zabudovanými kovovými vložkami přichází do styku s vodou obsahující chloridy, včetně rozmrazovacích solí, ze zdrojů jiných než z mořské vody, musí být vliv prostředí odstupňován následovně:<br>POZNÁMKA: Vlhkostní podmínky, viz také oddíl 2 této tabulky. | | |
| **XD1** | středně mokré, vlhké | povrchy betonů vystavené chloridům rozptýleným ve vzduchu<br>stavební části dopravních ploch, jednotlivé garáže |
| **XD2** | mokré, občas suché | plavecké bazény;<br>beton vystavený působení průmyslových vod obsahujících chloridy |
| **XD3** | středně mokré a suché | části mostů vystavené postřikům obsahující chloridy;<br>vozovky, betonové povrchy parkovišť<br>části mostů a inženýrských staveb vystavené postřikům obsahující chloridy |

| 4 Koroze vlivem chloridů z mořské vody | | |
|---|---|---|
| Pokud beton s výztuží nebo s jinými zabudovanými kovovými vložkami, přichází do styku s chloridy z mořské vody nebo slaným vzduchem z mořské vody, musí být vliv prostředí odstupňován následovně: | | |
| **XS1** | vystaven slanému vzduchu, ale ne v přímém styku s mořskou vodou | stavby blízko mořského pobřeží nebo na pobřeží |
| **XS2** | trvale ponořen ve vodě | části staveb v moři |
| **XS3** | smáčený a ostřikovaný přílivem | části staveb v moři |
| **5 Působení mrazu a rozmrazování s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich** | | |
| Pokud je mokrý beton vystaven značnému působení mrazu a rozmrazování (mrazovým cyklům), musí být vliv prostředí odstupňován následovně: | | |
| **XF1** | mírně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků | svislé betonové povrchy vystavené dešti a mrazu |
| **XF2** | mírně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky | svislé betonové povrchy konstrukcí pozemních komunikací vystavené mrazu a rozmrazovacím prostředkům rozptýleným ve vzduchu |
| **XF3** | značně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků | vodorovné betonové povrchy vystavené dešti a mrazu<br>otevřené nádrže na vodu; části staveb v zóně kolísání hladiny sladké vody, přelivná tělesa vodních staveb |
| **XF4** | značně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou | vozovky a mostovky vystavené rozmrazovacím prostředkům;<br>betonové povrchy vystavenému přímému ostřiku rozmrazovacími prostředky a mrazu;<br>omývaná část staveb v moři vystavená mrazu<br>lapoly a nádrže u komunikací, betonová svodidla |
| **6 Chemické působení** | | |
| Pokud je beton vystaven chemickému působení rostlé zeminy a podzemní vody podle tabulky 2 ČSN EN 206-1, musí být vliv prostředí odstupňován, jak je uvedeno dále. Klasifikace mořské vody závisí na geografické poloze a předpisech platných v místě použití betonu. | | |
| POZNÁMKA Ke stanovení příslušných stupňů vlivu může být potřebná zvláštní studie, pokud:<br>– jsou hodnoty mimo mezní hodnoty uvedené v tabulce 2 ČSN EN 206-1;<br>– jsou přítomny jiné chemikálie;<br>– je zemina nebo voda chemicky znečištěná;<br>– je vysoká rychlost vody v kombinaci s chemikáliemi podle tabulky 2 ČSN EN 206-1. | | |
| **XA1** | slabě agresivní chemické prostředí podle tabulky 2 ČSN EN 206-1 | nádrže čistíren odpadních vod, jímky odpadních vod (žumpy, septiky) základy staveb |
| **XA2** | středně agresivní chemické prostředí podle tabulky 2 ČSN EN 206-1 | části staveb v půdách agresivních vůči betonu, základy staveb |
| **XA3** | vysoce agresivní chemické prostředí podle tabulky 2 ČSN EN 206-1 | průmyslové čistírny odpadních vod s chemicky agresivními vodami; základy staveb, sklady chemických rozmrazovacích látek a umělých hnojiv<br>silážní jámy a krmné žlaby v zemědělství;<br>chladící věže s odvodem kouřových plynů |
| POZNÁMKA: Informativní dělení prostředí podle průměrné dlouhodobé realtivní vlhkosti vzduchu:<br>realtivní vlhkost vzduchu - velmi nízká méně než 30 %<br>nízká 30 % až 60 %<br>střední 60 % až 85 %<br>velká více než 85 % | | |

- Podle objemové hmotnosti (ve vysušeném stavu) se beton dělí na druhy:
  - obyčejný (2 000 až 2 600 kg.m$^{-3}$),
  - lehký (menší než 2 000 kg.m$^{-3}$),
  - těžký (větší než 2 600 kg.m$^{-3}$).

Rozdělení betonu podle pevnosti v tlaku se provádí do pevnostních tříd (např. pro obyčejný a těžký beton označovaných C 25/30 nebo v případě lehkých betonů LC 25/28) podle charakteristické pevnosti v tlaku ($f_{ck,cyl}$) uvedené v MPa a zjištěné na válcích o průměru 150 mm a výšce 300 mm (číslo před lomítkem) nebo charakteristické pevnosti v tlaku ($f_{ck,cube}$) uvedené v MPa a zjištěné na krychlích o hraně 150 mm (číslo za lomítkem) ve stáří betonu zpravidla 28 dnů (viz *tab. 4.* pro obyčejné a těžké betony a *tab. 4.* pro lehké betony). V některých případech se pevnost v tlaku zjišťuje až po 90 dnech.

Zvláštní kategorii tvoří vysokopevnostní betony s třídou pevnosti vyšší než C 50/6 pro obyčejný a těžký beton a vyšší než LC 50/55 pro lehký beton.

Pevnostní třídy obyčejného a těžkého betonu v tlaku [ČSN EN 206-1] *Tab. 4.81*

| pevnostní třída v tlaku | minimální charakteristická válcová pevnost $f_{ck,cyl}$ N.mm$^{-2}$ | minimální charakteristická krychelná pevnost $f_{ck,cube}$ N.mm$^{-2}$ |
|---|---|---|
| C -/5 | - | 5 |
| C -/7,5 | - | 7,5 |
| C 8/10 | 8 | 10 |
| C 12/15 | 12 | 15 |
| C 16/20 | 16 | 20 |
| C 20/25 | 20 | 25 |
| C 25/30 | 25 | 30 |
| C 30/37 | 30 | 37 |
| C 35/45 | 35 | 45 |
| C 40/50 | 40 | 50 |
| C 45/55 | 45 | 55 |
| C 50/60 | 50 | 60 |
| C 55/67 | 55 | 67 |
| C 60/75 | 60 | 75 |
| C 70/85 | 70 | 85 |
| C 80/95 | 80 | 95 |
| C 90/105 | 90 | 105 |
| C 100/115 | 100 | 115 |

Pevnostní třídy lehkého betonu v tlaku [ČSN EN 206-1] *Tab. 4.82*

| Pevnostní třída v tlaku | Minimální charakteristická válcová pevnost $f_{ck,\,cyl}$ (N.mm$^{-2}$) | Minimální charakteristická krychelná pevnost[a)] $f_{ck,\,cube}$ (N.mm$^{-2}$) |
|---|---|---|
| LC 8/9 | 8 | 9 |
| LC 12/13 | 12 | 13 |
| LC 16/18 | 16 | 18 |
| LC 20/22 | 20 | 22 |
| LC 25/28 | 25 | 28 |
| LC 30/33 | 30 | 33 |
| LC 35/38 | 35 | 38 |
| LC 40/44 | 40 | 44 |
| LC 45/50 | 45 | 50 |
| LC 50/55 | 50 | 55 |
| LC 55/60 | 55 | 60 |
| LC 60/66 | 60 | 66 |
| LC 70/77 | 70 | 77 |
| LC 80/88 | 80 | 88 |

a) Mohou se použít jiné hodnoty, pokud je vztah mezi nimi a referenční válcovou pevností zjištěn s dostatečnou přesností a je dokumentován.

Rozdělení betonu podle třídy objemové hmotnosti platí jen pro lehké betony pevnostních tříd LC 8/9 až LC 80/88 a odvozuje se z hodnoty objemové hmotnosti stanovené v suchém stavu (viz *tab. 4.83*).

Klasifikace lehkého betonu podle objemové hmotnosti [ČSN EN 206-1, 2003] *Tab. 4.83*

| Třída objemové hmotnosti | D 1,0 | D 1,2 | D 1,4 | D 1,6 | D 1,8 | D 2,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Rozsah objemové hmotnosti (kg.m$^{-3}$) | ≥ 800 a ≤ 1 000 | > 1 000 a ≤ 1 200 | > 1 200 a ≤ 1 400 | > 1 400 a ≤ 1 600 | > 1 600 a ≤ 1 800 | > 1 800 a ≤ 2 000 |

Poznámka: Objemová hmotnost může být také specifikována určenou hodnotou.

Rozdělení betonu podle konzistence (zpracovatelnosti) čerstvého betonu se provádí do stupňů podle jednotlivých zkušebních metod (viz tab. 4.84 až *tab. 4.87*), případně se stanovuje určenou hodnotou v jednotkách zkušební metody.

Stupně konzistence v uvedených tabulkách nejsou vzájemně srovnatelné ani převoditelné. Ve zvláštních případech, např. u betonů s nízkým vodním součinitelem (tzv. zavlhlých), u kterých se předpokládají zvláštní způsoby zhutňování, se konzistence neklasifikuje.

Konzistence některých speciálních betonů, např. samozhutnitelných se ověřuje i pomocí specifických metod v ČSN EN 12350-8 až 12 (2010), lépe vystihujících jejich základní charakteristiku.

Klasifikace podle sednutí kužele (ČSN EN 12350-2) *Tab. 4.84.*

| Stupeň | Sednutí mm |
|---|---|
| S1 | 10 až 40 |
| S2 | 50 až 90 |
| S3 | 100 až 150 |
| S4 | 160 až 210 |
| S5[1)] | ≥ 220 |

[1)] Citlivost metody: sednutí ≥ 10 mm a ≤ 210 mm

Klasifikace podle VeBe (ČSN EN 12350-3) *Tab. 4.85*

| Stupeň | Vebe čas (s) |
|---|---|
| V0[1)] | ≥ 31 |
| V1 | 30 až 21 |
| V2 | 20 až 11 |
| V3 | 10 až 6 |
| V4[1)] | 5 až 3 |

[1)] Citlivost metody: čas ≤ 30 sekund a > 5 sekund

Klasifikace podle zhutnitelnosti (ČSN EN 12350-4) *Tab. 4.86*

| Stupeň | Stupeň zhutnitelnosti |
|---|---|
| C0[1)] | ≥ 1,46 |
| C1 | 1,45 až 1,26 |
| C2 | 1,25 až 1,11 |
| C3 | 1,10 až 1,04 |

[1)] Citlivost metody: stupeň ≥ 1,04 a < 1,46

Klasifikace podle rozlití (ČSN EN 12350-5)*Tab. 4.87*

| Stupeň | Průměr rozlití mm |
|---|---|
| F1 [1)] | ≤ 340 |
| F2 | 350 až 410 |
| F3 | 420 až 480 |
| F4 | 490 až 550 |
| F5 | 560 až 620 |
| F6 [1)] | 630 až 750 |
| F7 | 760 až 850 |
| [1)] Citlivost metody: rozlití > 340 mm a ≤ 620 mm | |

Rozdělení betonu podle největší použité frakce kameniva se provádí podle jmenovité horní meze nejhrubší ve skladbě betonu použité frakce kameniva ($D_{max}$).

Rozdělení betonu podle způsobu (technologie) výroby je následující:

beton vyráběný přímo na staveništi (pro vlastní zpracování),

transportbeton (dodávaný v čerstvém stavu z centrální výrobny — viz *kap. 4.6.1.1*, nebo vyrobený na staveništi pro potřebu zpracovatele jiným subjektem).

Rozdělení betonu podle vyztužení:

prostý (neobsahuje výztuž se statickou funkcí),

železobeton (záměrně vyztužený ocelovými pruty nebo svařovanými sítěmi podle statického výpočtu – viz *kap. 4.6.5*),

předpjatý beton (ocelová výztuž je předem nebo dodatečně v betonu předepnuta – viz *kap. 4.6.5*),

vláknobeton (obsahuje rozptýlená vlákna různých materiálových druhů – viz *kap. 4.6.7.6*).

Rozdělení betonu podle účelu (funkce) použití:

konstrukční (plní statické požadavky),

výplňový.

Rozdělení betonu podle doplňkové funkce v betonové konstrukci:

vodostavební (se zvýšenou odolností vůči působení tlakové vody - viz *kap. 4.6.6.1*),

konstrukčně-izolační (např. pórobeton viz. *kap. 4.7.2.2* apod.),

silniční (např. cementobetonové kryty vozovek apod.),

drenážní (např. podkladní vrstvy vozovek apod.),

masivní (při tloušťce stěny větší než 1,0 m),

dekorační (pohledový hladký nebo s plastickým otiskem reliéfu matrice),

grafický/fotografický (speciální typ vymývaného pohledového betonu s otiskem fotografického vzoru na speciální fólii).

### 4.6.1.2 Specifikace betonu

Specifikací betonu se rozumí souhrn všech požadavků na vlastnosti nebo složení čerstvého i ztvrdlého betonu pro jeho návrh, výrobu, přepravu, ukládání, zhutňování, ošetřování nebo další úpravu (např. požadavek na architektonickou povrchovou úpravu). Specifikace je nedílnou součástí projektu každé betonové konstrukce i zadáním pro výrobce betonu, proto musí obsahovat:

- způsob použití čerstvého a ztvrdlého betonu,
- podmínky pro ošetřování betonu,
- údaje o rozměrech konstrukce (s ohledem na vývin hydratačního tepla),
- informace o působení vlivu prostředí, kterému bude beton vystaven,
- požadavky na úpravu povrchu (zejména pro pohledový beton),
- požadavky na max. jmenovitou horní mez frakce kameniva (s ohledem na krytí výztuže, nejmenší vzdálenost výztužných vložek a nejmenší rozměr konstrukce),
- omezení pro použití některých složek, vyplývající např. ze stupně vlivu prostředí (např. druh cementu, kameniva apod.).

Beton musí být specifikován buď jako typový, nebo jako beton předepsaného složení. Podkladem pro specifikaci jsou výsledky průkazních zkoušek, provedené podle metodiky v Příloze A ČSN EN 206-1 nebo to mohou být informace, získané zpravidla výrobcem betonu během jeho dlouhodobých zkušeností se srovnatelným betonem, kterými se prokazuje, že navrhovaný beton (ve formě nové receptury) vyhoví všem specifikovaným požadavkům na čerstvý i ztvrdlý beton pro zamýšlený účel, místo a čas použití.

#### 4.6.1.2.1 Specifikace typového betonu

Typový beton musí být objednatelem (tzv. specifikátorem) specifikován vždy základními požadavky a pokud je to zapotřebí i doplňujícími údaji pro daný účel použití.

Základní povinné požadavky pro obsah specifikace:

- beton musí vyhovovat ČSN EN 206-1 ve znění Změny 3,
- stupeň vlivu prostředí definující splnění mezních hodnot,
- pevnostní třída betonu v tlaku,
- max. jmenovitá horní mez frakce kameniva,
- kategorie obsahu chloridů,
- stupeň konzistence nebo určená hodnota konzistence (musí být splněna v době ukládání betonu nebo v případě transportbetonu v době jeho dodání na staveniště),
- údaje o požadovaném způsobu dopravy a ukládání do konstrukce.

Maximální obsah chloridů v betonu [ČSN EN 206-1, 2003] *Tab. 4.88*

| Beton | Obsah chloridů kategorie [a)] | Maximální obsah $Cl^-$ k hmotnosti cementu [b)] |
|---|---|---|
| Bez ocelové výztuže nebo jiných kovových vložek, s výjimkou korozivzdorných závěsných háků | Cl 1,0 | 1,00% |
| S ocelovou výztuží nebo jinými kovovými vložkami | Cl 0,4 | 0,40% |
| S předpjatou ocelovou výztuží | Cl 0,2 | 0,20% |

[a)] Pro specifické použití betonu závisí použitá kategorie na ustanoveních platných v místech použití betonu.

[b)] Pokud se používají příměsi druhu II, které se berou v úvahu pro obsah cementu, pak obsah chloridů se vyjadřuje jako procentní podíl chloridových iontů k hmotnosti cementu a celkové hmotnosti příměsí, které se berou v úvahu

U lehkého betonu (LC) vyráběného podle ČSN EN 206-1 se navíc specifikuje třída objemové hmotnosti (podle *tab. 4.*) nebo určená hodnota objemové hmotnosti.

U těžkého betonu se rovněž navíc k základním požadavkům specifikuje požadovaná objemová hmotnost.

Při stanovení objemové hmotnosti betonu určenou hodnotou se připouští tolerance ±100 $kg.m^{-3}$.

Doplňující požadavky pro skladbu betonu, pokud to vyžadují zvláštní podmínky stavby, se specifikují vlastnostmi složek či samotného betonu, nebo pomocí zkušebních metod pro kontrolu požadovaných vlastností betonu (viz *kap. 5.3*) například takto:

- zvláštním druhem nebo třídou cementu (např. použití cementu s nízkým hydratačním teplem nebo síranovzdorného cementu – viz *kap. 4.4.6.6*),
- zvláštním druhem nebo třídou kameniva (např. odolného alkalicko-křemičité reakci – viz *kap. 4.1.3.1.5*),
- odolností účinkům mrazu a rozmrazování nebo i proti rozmrazovacím látkám (např. min. obsah vzduchu při dodání čerstvého betonu),
- zvláštním požadavkem na teplotu čerstvého betonu,

- nárůstem pevnosti,
- vývinem tepla během hydratace,
- zpomalení tuhnutí (např. pro přepravu transportbetonu v letním období),
- odolností proti průsaku tlakové vody (důležité pro vodostavební betony – viz *kap. 4.6.6.1*),
- odolností vůči obrusu (pro mechanicky namáhané povrchy),
- pevností v příčném tahu a modulem pružnosti,
- odolností vůči vysokým teplotám,
- objemovou hmotností čerstvého betonu,
- obsahem vody v čerstvém betonu,
- odolností vůči odlučování vody,
- dobou zpracovatelnosti,
- zvláštními požadavky pro transportbeton a jinými technickými požadavky (např. na zvláštní povrchovou úpravu nebo zvláštní způsob ukládání.

Průběh nárůstu pevnosti betonu při 20 ºC [ČSN EN 206-1, 2003] *Tab. 4.89*

| Průběh nárůstu pevnosti | Předpokládaný pevnostní součinitel $f_{cm,2}/f_{cm,28}$ |
|---|---|
| Rychlý | $\geq 0,5$ |
| Střední | $\geq 0,3$ až $< 0,5$ |
| Pomalý | $\geq 0,15$ až $< 0,3$ |
| Velmi pomalý | $< 0,15$ |

U typového betonu jeho výrobce garantuje všechny specifikované vlastnosti pro čerstvý i ztvrdlý beton. Z tím účelem provádí během výroby kontrolní zkoušky pro posouzení shody se specifikací betonu min. v rozsahu a četnosti podle požadavků ČSN EN 206-1.

Při prokazování identity (shody) dodaného betonu na staveniště se postupuje vždy podle Přílohy B ČSN EN 206-1, pokud není jinými dokumenty ke stavbě dohodnuto jinak (např. větší četnost zkoušek).

Základní charakteristiky typového betonu lze uvádět i ve zkratkách (vhodných zejména do projektové dokumentace) v následující úpravě, ukázané na příkladu:

BETON ČSN EN 206-1

C 25/30 – XF2 (CZ, F.1) – Cl 0,20 – $D_{max}$22 – S3

- odkaz na normu, podle které bude beton vyroben a hodnocen,
- pevnostní třída v tlaku – C 25/30,
- mezní normativní hodnoty složení podle stupně vlivu prostředí – viz *tab. 4.*, v závorce zkratka názvu země, která stanovila předpisy pro mezní hodnoty složení a vlastnosti betonu pro předpokládanou dobu životnosti v tomto případě 50 let, nebo jiný souhrn požadavků – XF2 (CZ, F.1),

- max. obsah chloridů (kategorie obsahu $Cl^-$) viz *tab. 4.* – 0,20,
- max. jmenovitá horní mez frakce kameniva $D_{max}$ – 22 mm,
- konzistence čerstvého betonu zkouškou sednutí kužele (stupeň) – S3.

Označení typového betonu s doplňujícím požadavkem, např. na odolnost vůči průsaku tlakové vody a rozmrazovacím prostředkům, bude uvedeno včetně odkazu na příslušné zkušební metody takto:

BETON ČSN EN 206-1

C 25/30 – XF2 (CZ, F.1) – Cl 0,20 – $D_{max}$22 – S3

- – max. průsak 50 mm podle ČSN EN 12390-8,
- – max. odpad s povrchu 1 250 $g.m^{-2}$ / 75 cyklů podle ČSN 73 1326 metoda C

#### 4.6.1.2.2 Specifikace betonu předepsaného složení

Beton předepsaného složení musí být vždy specifikován základními požadavky a podle potřeby i doplňujícími údaji.

Základní povinné požadavky pro obsah specifikace:

- beton musí vyhovovat ČSN EN 206-1,
- obsah, druh a třída cementu,
- vodní součinitel nebo konzistence určená buď stupněm, nebo ve zvláštních případech stanovenou hodnotou v jednotkách zkušební metody – viz *tab. 4.*,
- druh, kategorie a maximální obsah chloridů v kamenivu; v případě lehkého nebo těžkého betonu minimální nebo maximální objemová hmotnost zrn kameniva,
- max. jmenovitá horní mez frakce kameniva a případná omezení pro zrnitost,
- druh a množství přísady nebo příměsi, pokud budou použity a jejich původ .

Doplňující údaje, které je možno podle potřeby specifikovat:

- původ všech nebo některých složek betonu,
- doplňující požadavky na kamenivo,
- požadavky na teplotu čerstvého betonu, pokud má být jiná než obvyklá (standardní teplota betonu při dodání nesmí být menší než +5 ºC),
- zvláštní požadavky pro transportbeton a jiné technické požadavky.

Tolerance pro určené hodnoty konzistence [ČSN EN 206-1, 2003] *Tab. 4.90*

| Tolerance pro určené hodnoty konzistence betonu | | | |
|---|---|---|---|
| Sednutí | | | |
| Určená hodnota (mm) | ≤ 40 | 50 až 90 | ≥ 100 |
| Tolerance (mm) | ± 10 | ± 20 | ± 30 |
| Vebe čas | | | |
| Určená hodnota (s) | ≥ 11 | 10 až 6 | ≤ 5 |
| Tolerance (s) | ± 3 | ± 2 | ± 1 |
| Stupeň zhutnitelnosti | | | |
| Určená hodnota | ≥ 1,26 | 1,25 až 1,11 | ≤ 1,10 |
| Tolerance | ± 0,10 | ± 0,08 | ± 0,05 |
| Průměr rozlití | | | |
| Určená hodnota (mm)<br>Tolerance (mm) | všechny hodnoty<br>± 30 | | |

U betonu předepsaného složení výrobce čerstvého betonu garantuje dodržení druhu a množství stanovených složek, dodržení max. jmenovité frakce kameniva, příp. poměr frakcí kameniva a požadovanou hodnotu vodního součinitele, příp. stupeň konzistence čerstvého betonu nebo určenou hodnotu konzistence.

Specifikátor je odpovědný za to, že specifikace je v souladu se všeobecnými požadavky uvedenými v ČSN EN 206-1, a že předepsaným složením je možno docílit požadovaných vlastností čerstvého i ztvrdlého betonu pro daný účel jeho použití. Specifikátor musí udržovat a aktualizovat veškerou související dokumentaci, týkající se návrhu betonu pro požadované vlastnosti a zabezpečuje kontrolní zkoušky betonu (výrobce betonu kontrolní zkoušky provádí pouze na objednávku specifikátora).

Hodnocení shody betonu předepsaného složení je založeno pouze na dodržení předepsaného složení, nikoli na prokazování jakékoli vlastnosti betonu jeho výrobcem. Prokázání vlastností betonu je v tomto případě povinností specifikátora, zpravidla to může být odběratel betonu.

### 4.6.2 Hlavní složky betonu

Základní složky betonu tvoří cement, kamenivo a voda. Doplňkovými složkami jsou přísady a příměsi.

Složky betonu nesmí obsahovat škodlivé látky v takovém množství, které by ohrozilo trvanlivost betonu nebo by bylo příčinou koroze výztuže a musí být vhodné pro daný účel použití betonu. Obecně vhodná složka (vyhovující kritériím příslušné výrobkové normy, např. pro kamenivo do betonu ČSN EN 12620+A1 nebo popílek ČSN EN 450-1+A1) nemusí vyhovovat pro každý typ a složení betonu pro zamýšlený účel jeho použití.

Pro výrobu betonu vyhovujícího ČSN EN 206-1 je dovoleno použití jen těch složek betonu, u kterých byla prokázána vhodnost pro specifikované použití (viz *kap. 4.6.1.2*), např. evropskou normou, evropským technickým osvědčením (ETAG) nebo příslušnou národní normou či předpisem, v kterých je výslovně uvedena možnost použití pro takový beton (tuto podmínku ovšem žádná česká norma neřešila, neboť všechny byly zpravidla vydány ještě před zavedením uvedeného předpisu).

### 4.6.2.1 Cement

Cement plní v betonu funkci pojiva. Smícháním s vodou vzniká cementový tmel, který postupně tuhne, tvrdne a mění se v cementový kámen. Tento proces může probíhat na vzduchu i pod vodou. Po zatvrdnutí si cement zachovává svoji pevnost a stálost, a to nejen ve vyschlém stavu, ale i při dlouhodobé expozici ve vodě (cement je výrazně hydraulickým pojivem).

Cementy se dělí druhově podle mineralogické skladby a podle pevnostní třídy. Podrobně je zpracováno v *kap. 4.4.6*.

Pro výrobu betonu je možno použít cementy, jejichž vhodnost je obecně prokázána splněním požadavků ČSN EN 197-1 a rovněž některé typy speciálních cementů (např. síranovzdorný podle ČSN 72 2103). Použitelnost jednotlivých druhů cementu pro stupně vlivu prostředí je podrobně v ČSN EN 206-1.viz *tab. 4.91*.

*Použitelnost cementů pro stupně vlivu prostředí [ČSN EN 206-1, 2003] Tab.4.91*

| Stupně vlivu prostředí | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cementy dle ČSN EN 197-1 | bez nebezpečí koroze nebo narušení | koroze způsobená karbonatací | | | | koroze způsobená chloridy (jinými než z mořské vody) | | | střídavé působení mrazu a rozmrazování | | | | chemicky agresivní prostředí | | | obrus | | |
| | X0 | XC1 | XC2 | XC3 | XC4 | XD1 | XD2 | XD3 | XF1 | XF2 | XF3 | XF4 | XA1 | XA2 | XA3 | XM1 | XM2 | XM3 |
| CEM I | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x [a) b)] | x [a) b)] | x | x | x |
| CEM II/A,B-S | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x [a) b)] | x [a) b)] | x | x | x |
| CEM II/A-D | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x [a) b)] | x [a) b)] | x | x | x |
| EM II/A,B-P,Q | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 0 | x | 0 | x | x [a) b)] | x [a) b)] | x | x | x |
| CEM II/A-V | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 0 | x | 0 | x | x [a) b)] | x [a) b)] | x | x | x |
| CEM II/B-V | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x | x [a) b)] | x [a) b)] | x | x | x |
| CEM II/A-W | x | x | x | x | x | x | x | x | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x | x [a) b)] | x [a) b)] | 0 | 0 | 0 |
| CEM II/B-W | x | x | x | x | x | x | x | x | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x | x [a) b)] | x [a) b)] | 0 | 0 | 0 |
| CEM II/A,B-T | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x [a) b)] | x [a) b)] | x | x | x |
| CEM II/A-L | x | x | x | x | x | x | x | x | 0 | x [c)] | x [c)] | x [c)] | 0 | 0 | 0 | x | x | x |
| CEM II/B-L | x | x | x | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CEM II/A-LL | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x [a) b)] | x [a) b)] | x | x | x |
| CEM II/B-LL | x | x | x | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CEM IIA-M | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x [c)] | x | x [c)] | x | x [a) b)] | x [a) b)] | x | x | x |
| CEM II/B-M | x | x | x | x | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x [c)] | 0 | 0 | 0 | x | x [d)] | x [c)] |
| CEM III/A | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x [a) b)] | x [a) b)] | x | x | x |
| CEM III/B | x | x | x | x | x | x | x | x | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x | x [a) b)] | x [a) b)] | x | x | x |
| CEM III/C | x | x | x | 0 | 0 | x | x | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | x | x [a) b)] | x [a) b)] | x | 0 | 0 |
| CEM IV/A,B | x | x | x | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x [c)] | 0 | x [c)] | x [c)] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CEM V/A,B | x | x | x | x [c)] | x [c)] | x [c)] | x [c)] | 0 | x [c)] | x [c)] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Legenda a poznámky k tabulce (v ČSN EN 206-1 označena F.4):
x - použitelný pro daný stupeň vlivu prostředí;
0 - použití pro daný stupeň vlivu prostředí je vyloučeno;
[a)] Při chemické síranové agresivitě se stupněm vlivu prostředí vyšším než XA1 se musí použít SVC cement podle ČSN 72 2103 - cement síranovzdorný;
[b)] Pokud se jedná o stupeň XA2 až XA3 vyvolaný $CO_2$ agresivním, nepoužijí se portlandské směsné cementy CEM II, které obsahují vápenec jako hlavní složku;
[c)] Odolnost vůči působení vlivu prostředí musí být ověřena průkazní zkouškou;
[d)] Přípustné jen v případě, že obsah příměsí nepřesáhne 40 kg/m$^3$.

Výběr druhu a pevnostní třída cementu musí být volena s ohledem na:

- konkrétní použití betonu a technologii provádění betonové konstrukce (např. pro vysokopevnostní betony se volí min. pevnostní třída 52,5),
- podmínky okolního prostředí specifikované stupněm vlivu prostředí, kterému bude beton v konstrukci vystaven (např. použití síranovzdorného cementu podle ČSN 72 2103 v chemicky agresivním síranovém prostředí klasifikovaném stupněm XA2 či XA3),
- podmínky ošetřování (např. proteplování),
- rozměry konstrukce (vývin hydratačního tepla),
- klimatické podmínky (vývoj pevnosti),
- potencionální reaktivnost kameniva s alkáliemi v cementu a ostatních složkách betonu (viz *kap. 4.1.3*).

Pro konstrukce z předpjatého betonu podle ČSN 73 2401 s předpínací výztuží chráněnou proti korozi pouze betonem, lze použít pouze portlandský cement CEM I a cement CEM II/A-S, u kterého musí být prokázána průkazní zkouškou betonu dostatečná alkalická rezerva. V případě, že je ochrana proti korozi předpínací výztuže řešena jiným způsobem než betonem, lze použít i jiné cementy podle ČSN EN 197-1 vyhovující pro vyztužený beton podle ČSN EN 206-1.

#### 4.6.2.2 Kamenivo

Kamenivo plní funkci pevné kostry v betonu, na kterou je obecně kladen požadavek minimální mezerovitosti (zaujímá 75 až 80 % objemu betonu), tedy požadavek na optimální zrnitost. Vlastnosti kameniva mají také velký vliv na trvanlivost betonu a ostatní mechanicko-fyzikální vlastnosti betonu. Pro výrobu betonu se používá široká škála petrografických druhů kameniv v různé mineralogické skladbě s různou velikostí zrn. Podrobně je zpracováno v *kap. 4.1.2*.

Vhodnost kameniva pro výrobu betonu podle ČSN EN 206-1 se obecně prokazuje:

- pro hutné a těžké kamenivo podle ČSN EN 12620+A1
- pro pórovité kamenivo podle ČSN EN 13055-1.

Při výběru druhu kameniva, zrnitosti (max. velikost zrna, množství jemných částic, tvar zrn) a jeho specifických vlastností (odolnost proti střídavému působení mrazu a rozmrazování, odolnost proti obrusu apod.), je nutno vzít v úvahu:

- konkrétní použití betonu a technologii provádění betonové konstrukce,
- podmínky okolního prostředí specifikované stupněm vlivu prostředí, kterému bude beton v konstrukci vystaven,
- případné požadavky na obnažené kamenivo povrchové úpravy nebo na kamenivo pro hlazený, broušený či jinak upravený povrch betonu.

Maximální jmenovitá horní mez frakce kameniva ($D_{max}$) musí být stanovena s ohledem na tloušťku betonové konstrukce, na nutnost vytvoření požadované krycí vrstvy betonu nad výztuží a na šířku minimální mezery mezi výztužnými pruty.

V případě dopravy betonu čerpáním na místo ukládky, je nutné zohlednit i průměr přepravních hadic. U dodávek transportbetonu jsou zpravidla horní mezí frakce kameniva zrna max. velikosti 22 mm.

Rozvoj technologie betonu na počátku minulého století byl provázen snahou o určení ideální zrnitosti kameniva v závislosti na velikosti max. zrna. Úvahy na toto téma vycházely z celkem přirozeného předpokladu, že ideální kamenivo, tedy kamenivo umožňující přípravu kvalitního betonu s minimální spotřebou cementového pojiva (malou mezerovitostí), musí být složeno tak, aby zrna kameniva obalená cementovým tmelem neponechávala v čerstvém betonu pokud možno žádný další prostor, vedoucí ke zvýšené spotřebě cementu.

Určitě nejznámějším řešením výplně prostoru různě velkými zrny je Fullerova čára zrnitosti, kterou lze vyjádřit pomocí vztahu:

$$y_i = 100.\sqrt{\frac{d_i}{D_{\max}}},$$

kde $y_i$ je celkový propad příslušející sítu o jmenovitém rozměru $d_i$,
$D_{max}$ je jmenovitý rozměr největšího síta použitého při konstrukci čáry zrnitosti.

Kameniva Fullerova typu používají k vyplňování mezizrnného prostoru postupně stále menší zrna a jejich zrnitost se proto označuje jako plynulá. Velmi dokonalého vyplnění prostoru lze však dosáhnout i při vynechání zrn střední velikosti.

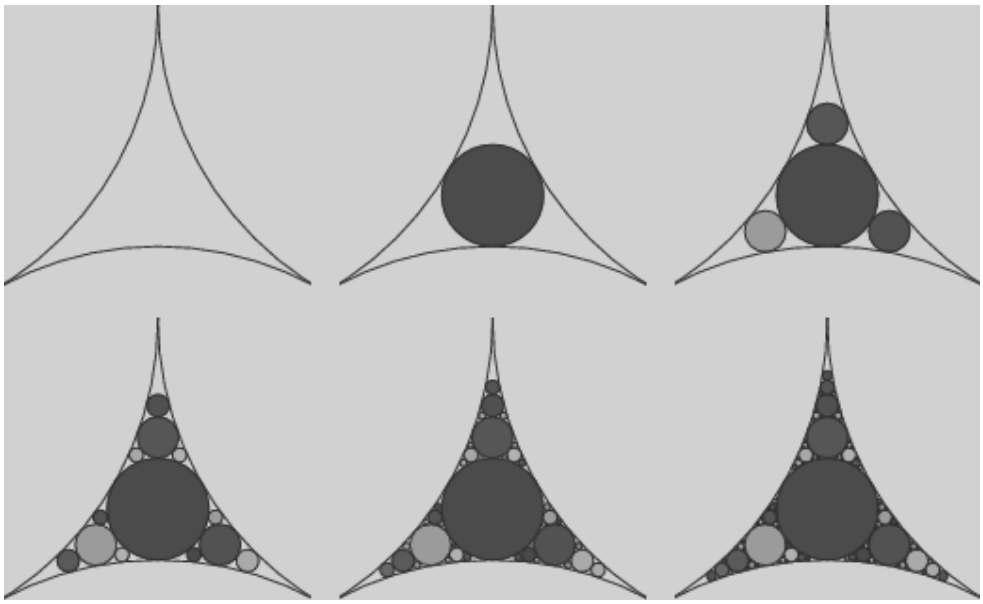
Zhutnění směsi s tzv. přetržitou zrnitostí (přetržkou) je sice energeticky náročnější, pro soudobou vibrační techniku to ale není problém.

Pravidlo, že křivka zrnitosti kameniva používaného pro konstrukční beton musí být složena nejméně ze dvou frakcí (z jednoho drobného a jednoho hrubého kameniva), je třeba chápat jako opravdu minimální požadavek. Výrazně lepší vlastnosti vykazují kameniva složená ze tří frakcí, přičemž jednu zastupuje vždy drobné kamenivo (písek) se zrny do 4 mm a druhé dvě by měly tvořit nejlépe úzké frakce hrubého kameniva (drť, štěrk).

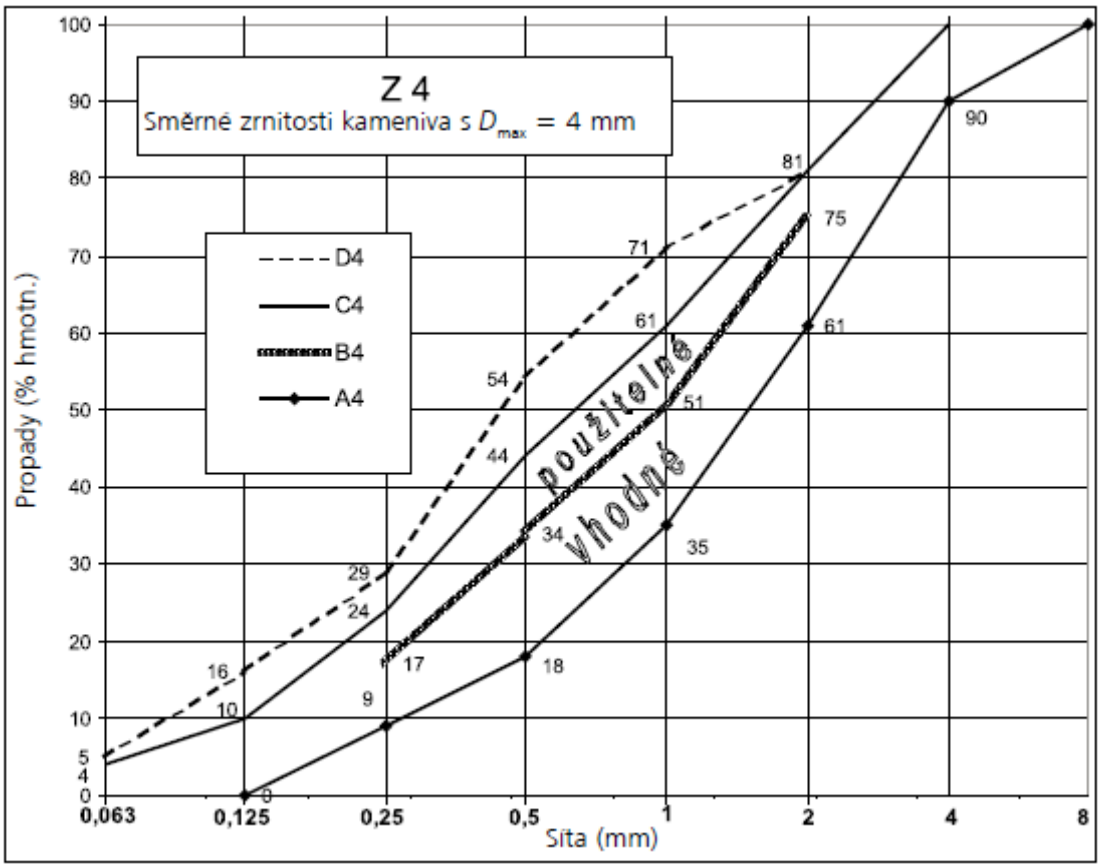
V některých metodikách návrhu skladby kvalitních betonů je uvažováno s pojmem pásma vzorové zrnitosti, které je chápáno jako oblast, uvnitř které by se vhodná čára zrnitosti kameniva pro výrobu těchto betonů měla pohybovat. Při obvyklém grafickém zobrazení se tato oblast vymezuje soustavou dvou hraničních čar (horní a dolní limitní čáry zrnitosti).

. Tyto zkušenosti byly zahrnuty i do Změny 3 ČSN EN 206-1, která v Příloze L (CZ) zobrazuje pásma směrné zrnitosti pro kameniva se zrnem $D_{max}$ 4, 8, 11, 16, 22, a 32 mm. Pro každé $D_{max}$ je uvedeno pásmo vhodné plynulé zrnitosti ($A_i$ až $B_i$) např. pro čerpatelné, vodonepropustné a pohledové betony a pásmo použitelné (ještě vyhovující) plynulé zrnitosti ($B_i$ až $C_i$).

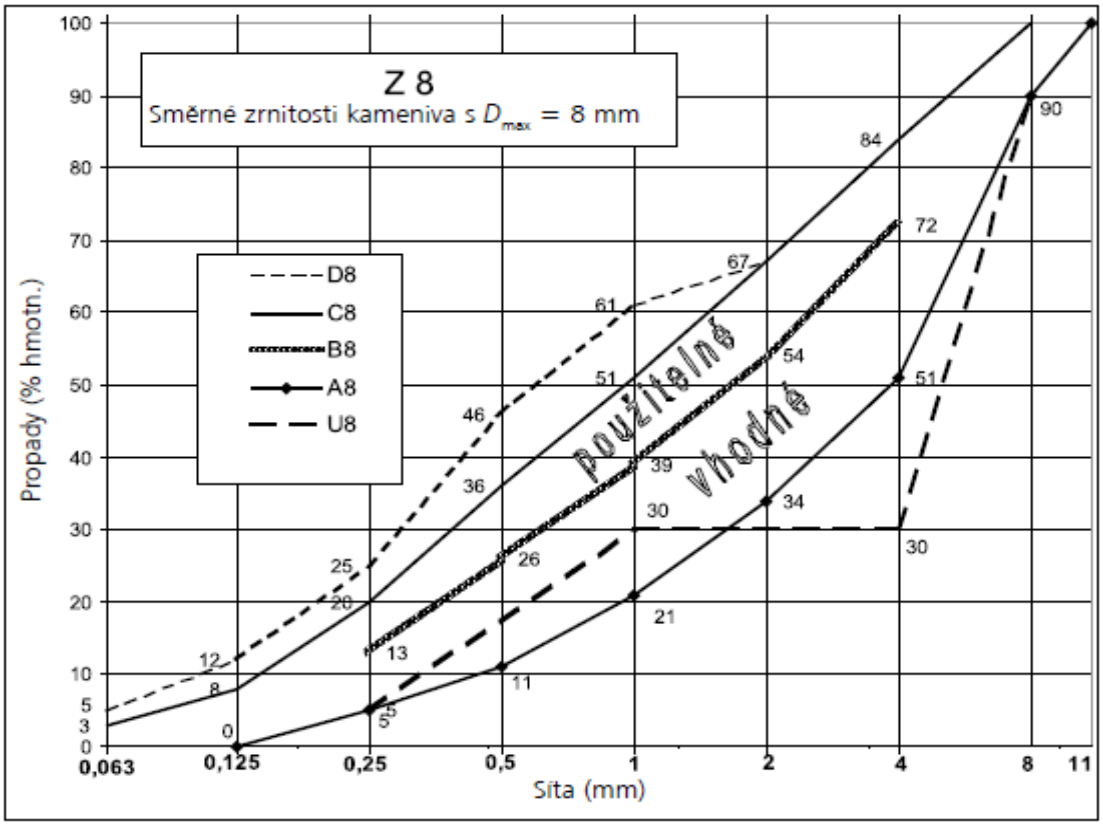
Za předpokladu použití účinných plastifikačních přísad nebo při malém obsahu cementu a příměsi lze mezní křivku $C_i$ nahradit mezní křivkou $D_i$. V případě použití přetržité zrnitosti kameniva se křivka $A_i$ nahrazuje mezní křivkou $U_i$. – viz *Obr. 4.70 - 4.75*.



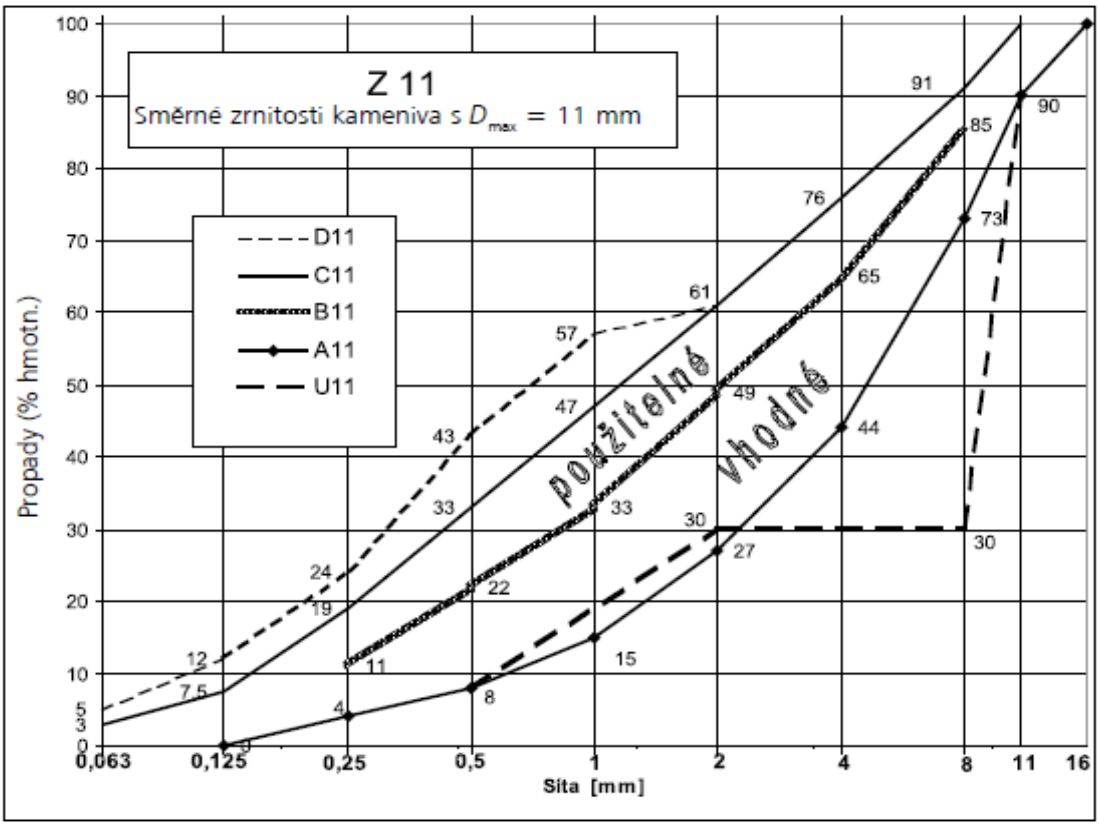
Obr. 4.69a Fraktální zobrazení ideálního vyplnění mezizrnnáho prostoru



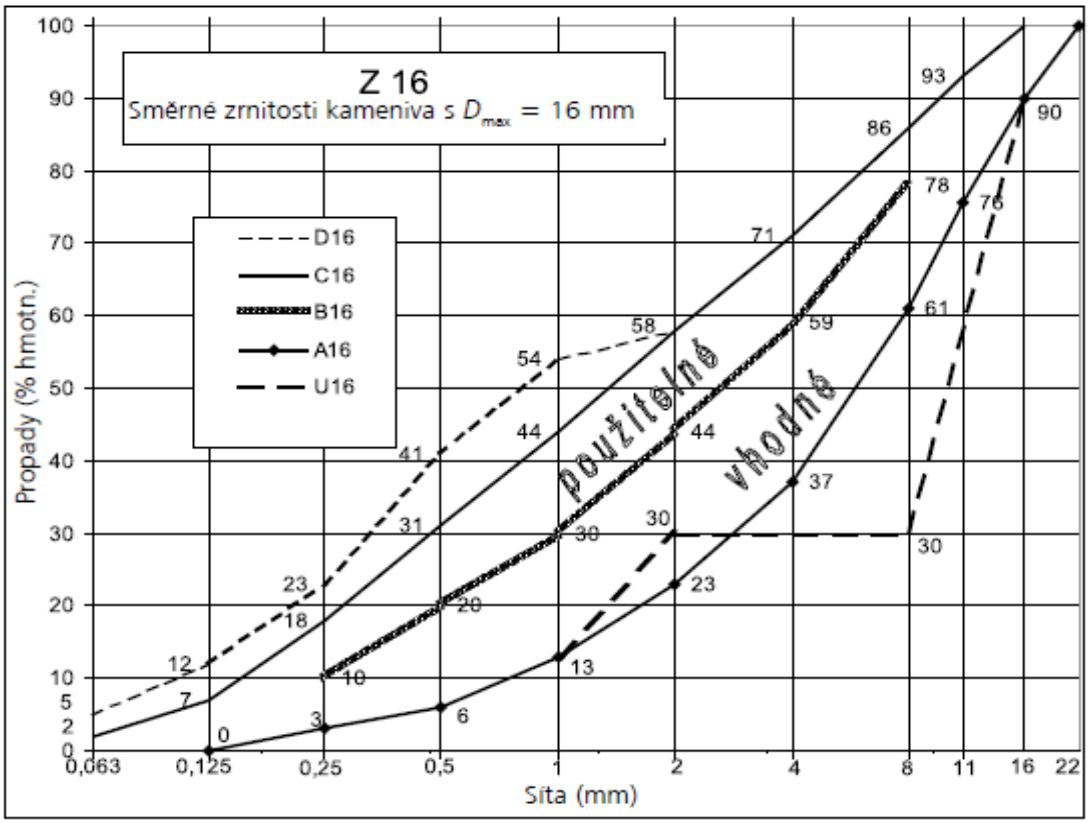

*Obr. 4.70*: Směrné křivky zrnitosti pro kamenivo $D_{max}$ 4 mm



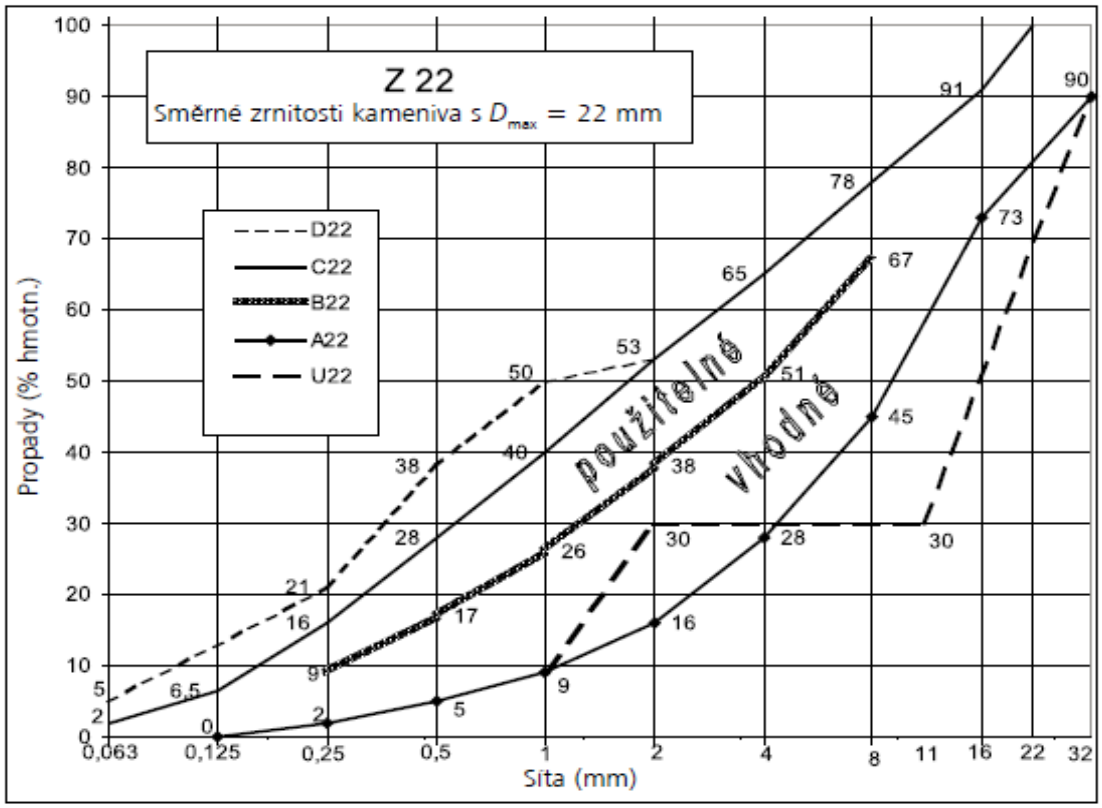

*Obr. 4.71*: Směrné křivky zrnitosti pro kamenivo $D_{max}$ 8 mm



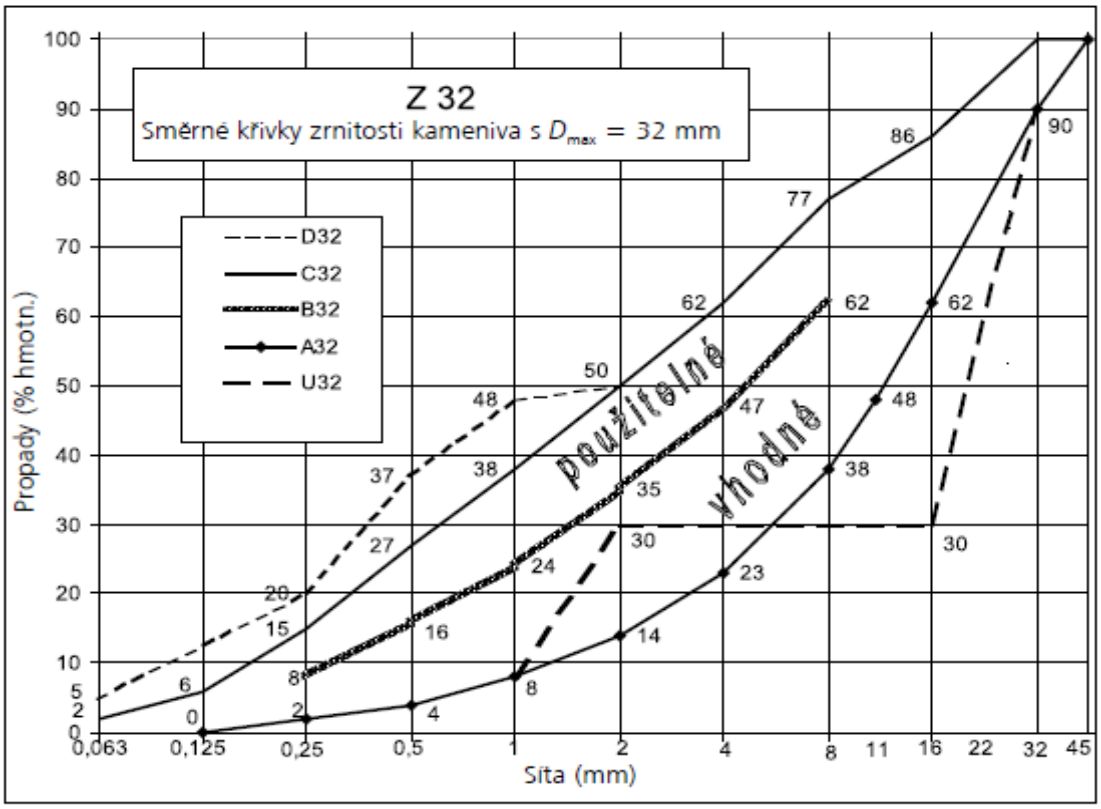

*Obr. 4.72*: Směrné křivky zrnitosti pro kamenivo $D_{max}$ 11 mm




*Obr. 4.73*: Směrné křivky zrnitosti pro kamenivo $D_{max}$ 16 mm




*Obr. 4.74*: Směrné křivky zrnitosti pro kamenivo $D_{max}$ 22 mm




*Obr. 4.75*: Směrné křivky zrnitosti pro kamenivo $D_{max}$ 32 mm

Návrh konkrétní skladby kameniva z momentálně dostupných frakcí je vícerozměrnou optimalizační úlohou, která má být řešena tak, aby zrnitost výsledné směsi odpovídala co nejlépe vzorové zrnitosti. K jejímu řešení byly zpracovány specializované výpočetní programy. Které lze s výhodou použít.

Štěrkopísek - směs drobného a hrubého kameniva (např. zpravidla netříděného těženého písku s valounky ve frakci 0/16 mm až 0/22 mm) je dovolen použít pouze do betonu pevnostní třídy v tlaku nejvýše C 12/15.

Do betonu je dovoleno opětovné použití i kameniva, získaného vypráním z čerstvého betonu (např. při čištění bubnů autodomíchávačů nebo čerpadel betonu po návratu na betonárnu). Znovu použité (recyklované) neroztříděné kamenivo s obvyklou velikostí zrn > 0,2 mm se nesmí použít ve větším množství než 5 % z celkového množství kameniva v záměsi nového čerstvého betonu . V případě, že se znovu použité kamenivo dávkuje ve větším množství než 5 %, musí být stejného druhu jako základní kamenivo (to bývá možné pouze na stejné betonárně), musí být rozděleno na hrubou a drobnou frakci a musí vyhovovat ČSN EN 12620+A1.

V současné praxi se recyklace kameniva ze zbytků čerstvého betonu realizuje na větších a technicky lépe vybavených výrobnách transportbetonu.

Použití recyklovaného kameniva ze stavebního recyklátu, připraveného např. rozdrcením betonu z demolované konstrukce, dosud nebylo možno pro konstrukční betony podle ČSN EN 206-1 použít.

Varianta zpětné recyklace vhodných stavebních materiálů je experimentálně ve stavebnictví ověřována již více než 50 let a postupně byla orientována od primárního zhodnocování cihelného střepu k přípravě na očekávaný nárůst demolic betonových konstrukcí. Kvalitativní požadavky a kritéria pro použití recyklátu z demoliční sutě k výrobě konstrukčního betonu stanovila až ČSN EN 206-1 ve Změna Z3 (2008) v Příloze L (CZ).

Je nutno ihned podotknout, že takto zpětně získané kamenivo nikdy nebude plnohodnotnou náhradou kameniv z přírodních zdrojů, zejména pro betonové konstrukce vystavené celé řadě agresivních vlivů okolního prostředí. Přesto je tak nyní otevřena nová technologická oblast pro další efektivní využití recyklovaných stavebních hmot z demolic, která může alespoň částečně uchránit cenné přírodní zdroje.

Bude-li beton v konstrukci vystaven trvale vlhkému prostředí, musí se preventivně prokázat odolnost kameniva škodlivým účinkům alkalicko-křemičité reakce, viz *kap. 4.1.3* a metodika TP 137 MDS ČR.

### 4.6.2.3 Voda pro výrobu betonu

Voda v čerstvém betonu plní dvě hlavní funkce:

- hydratační,
- reologickou.

Hydratační funkci plní voda tím, že se podílí na hydrataci cementu, tj. na chemických a fyzikálních pochodech, při kterých beton tuhne a tvrdne. Minimální množství vody pro hydrataci cementu je asi 23 až 25 % hmotnosti cementu.

Reologickou funkcí vody se rozumí její podíl na tvorbě tvárného čerstvého betonu, specifikovaného stupněm konzistence.

Technologicky se voda rozděluje na záměsovou (dávkovanou při výrobě čerstvého betonu) a na ošetřovací (voda dodávaná zpravidla ve formě kropení nebo mlžení po zatuhnutí betonu min. po určitou dobu požadovaného udržení betonu ve vlhkém stavu.

Záměsová voda musí splňovat požadavky ČSN EN 1008, která v roce 2003 nahradila ČSN 73 2028. Obě normy se v některých kritériích liší (viz *tab. 4.92* a *tab. 4.93*).

Kritériím uvedeným v ČSN EN 1008 voda pitná vyhovuje vždy, aniž by se musela přezkušovat.

Použitelná pro výrobu betonu může být též voda užitková, voda přírodní podzemní i povrchová, pokud neobsahuje nepřípustné množství solí a neobsahuje látky organického původu (cukry, huminové látky, rašelinu, částice uhlí) negativně ovlivňující hydrataci cementu.

Nepřípustné je rovněž znečištění vody tuky a oleji. Obsah škodlivin ve vodě, která není deklarována jako pitná, je nutno pravidelně kontrolovat zkouškami (viz *kap. 5.10.4*).

Požadavky na záměsovou vodu podle ČSN 73 2028 *Tab. 4.92*

| Parametr | Jednotka | Požadavek |
|---|---|---|
| Obsah nerozpuštěných látek (sušených při 105 °C) max. | $mg.l^{-1}$ | 2 000 |
| Ztráta nerozpuštěných látek žíháním (při 800 °C) max. | $mg.l^{-1}$ | 800 |
| Odparek (sušený při 105 °C) max. | $mg.l^{-1}$ | 3 000 |
| pH, ne nižší než | | 4 |
| Obsah síranů $SO_4^{2-}$ max. | $mg.l^{-1}$ | 1 500 |
| Obsah chloridů $Cl^-$ max. | $mg.l^{-1}$ | 500 |
| Obsah hořčíku $Mg^{2+}$ max. | $mg.l^{-1}$ | 500 |
| Manganistanové číslo oxidovatelnost manganistanem $O_2$ | $mg.l^{-1}$ | 15 |
| Pevnost zkušebních těles z cementové malty v porovnání s pitnou nebo destilovanou vodou | | snížení pevnosti nesmí přesáhnout mezní (dovolené) odchylky zkoušek [1)] |
| Začátek a celková doba tuhnutí cementu | | musí vyhovět normě jakosti pro daný cement [2)] |

[1)] Zkouška se provádí u vod podezřelých za znečištění odpadními látkami.

[2)] K přípravě cementové kaše se použije zkoušená voda.

Kritéria (limitní hodnoty) pro hodnocení záměsové vody podle ČSN EN 1008 *Tab. 4.93*

| Vlastnost | Použitelná bez zkoušky pevnosti v tlaku | Podmíněně použitelná, jestliže pevnost v tlaku vyhovuje |
|---|---|---|
| 1. barva | bezbarvá až slabě žlutavá | tmavá nebo barevná (červená, zelená, modrá) |
| 2. olej a tuk | pouze stopa | olejový film nebo emulze |
| 3. detergenty | nízký stupeň pěny, stálá do 2 minut | hodně pěny, která je stálá nad 2 minuty |
| 4. suspendované látky | $< 4\ cm^3$ | $> 4\ cm^3$ |
| 5. zápach | žádný až slabý | výrazný (např. $H_2S$) |
| 6. pH | $> 4$ | $< 4$ |
| 7. obsah chloridů ($Cl^-$): prostý beton<br>železobeton<br>předpjatý beton | $< 4\,500\ mg.l^{-1}$<br>$< 2\,000\ mg.l^{-1}$<br>$< 600\ mg.l^{-1}$ | $> 4\,500\ mg.l^{-1}$ |
| 8. sírany ($SO_4$) | $< 2\,000\ mg.l^{-1}$ | $> 2\,000\ mg.l^{-1}$ |
| 9. glukóza + sacharóza | $< 100 + < 100\ mg.l^{-1}$ | $> 100 + > 100\ mg.l^{-1}$ |
| 10. fosforečnany ($P_2O_5$) | $< 100\ mg.l^{-1}$ | $> 100\ mg.l^{-1}$ |
| 11. dusičnany ($NO_3$) | $< 500\ mg.l^{-1}$ | $> 500\ mg.l^{-1}$ |
| 12. zinek ($Zn^{2+}$) | $< 100\ mg.l^{-1}$ | $> 100\ mg.l^{-1}$ |
| 13. sirníky ($S^{2-}$) | $< 100\ mg.l^{-1}$ | $> 100\ mg.l^{-1}$ |
| 14. $Na^+ + K^+$ | $< 1\,000\ mg.l^{-1}$ | |
| 15. huminové látky | bledší než žlutohnědé | tmavší než žlutohnědé |

Nepoužitelné pro výrobu a ošetřování betonu jsou vesměs všechny vody odpadní a splaškové, vody slatinní, hladové apod. Některé průmyslové vody jsou použitelné podmínečně (musí být chemicky analyzovány a častěji kontrolovány).

Dovoluje se také používat i vodu recyklovanou (tzv. kalovou), získanou z výroby betonu (např. z uzavřeného technologického cyklu při výrobě transportbetonu), obdobně jako znovu používané kamenivo – z čištění bubnů autodomíchávačů, čerpadel a výplachu mísicího centra. Požaduje se ale pravidelná kontrola objemové hmotnosti kalové vody, která nemá být vyšší než 1 010 $kg.m^{-3}$.

V případě použití recyklované vody pro konstrukční betony nesmí tato voda obsahovat vyšší podíl cementového ani jiného kalu, zbytky provzdušňujících přísad, odstraňovačů ztvrdlého betonu a olejů. Periodicky musí být prováděn chemický rozbor této vody. Použití kalové vody musí být upraveno zvláštním předpisem pro výrobu betonu. Zásadně nesmí být používána v případě, bude-li dávkována do čerstvého betonu provzdušňující přísada nebo při výrobě vysokopevnostních betonů.

V záměsové vodě se připouští poměrně značné množství síranových iontů ($SO_4^{2-}$ do 2 000 $mg.l^{-1}$): To je množství, které by v případě, že by se jednalo o vodu následně působící na hotovou betonovou konstrukci, odpovídalo stupni vlivu prostředí XA2 a vyžadovalo by použití betonu se síranovzdorným cementem. V záměsové vodě však nemá takováto koncentrace síranových iontů žádný škodlivý účinek. Na počátku hydratace je v betonu přítomné podstatně významnější množství sádrovce, přidávaného do cementu úmyslně za účelem regulace rychlosti jeho tuhnutí .

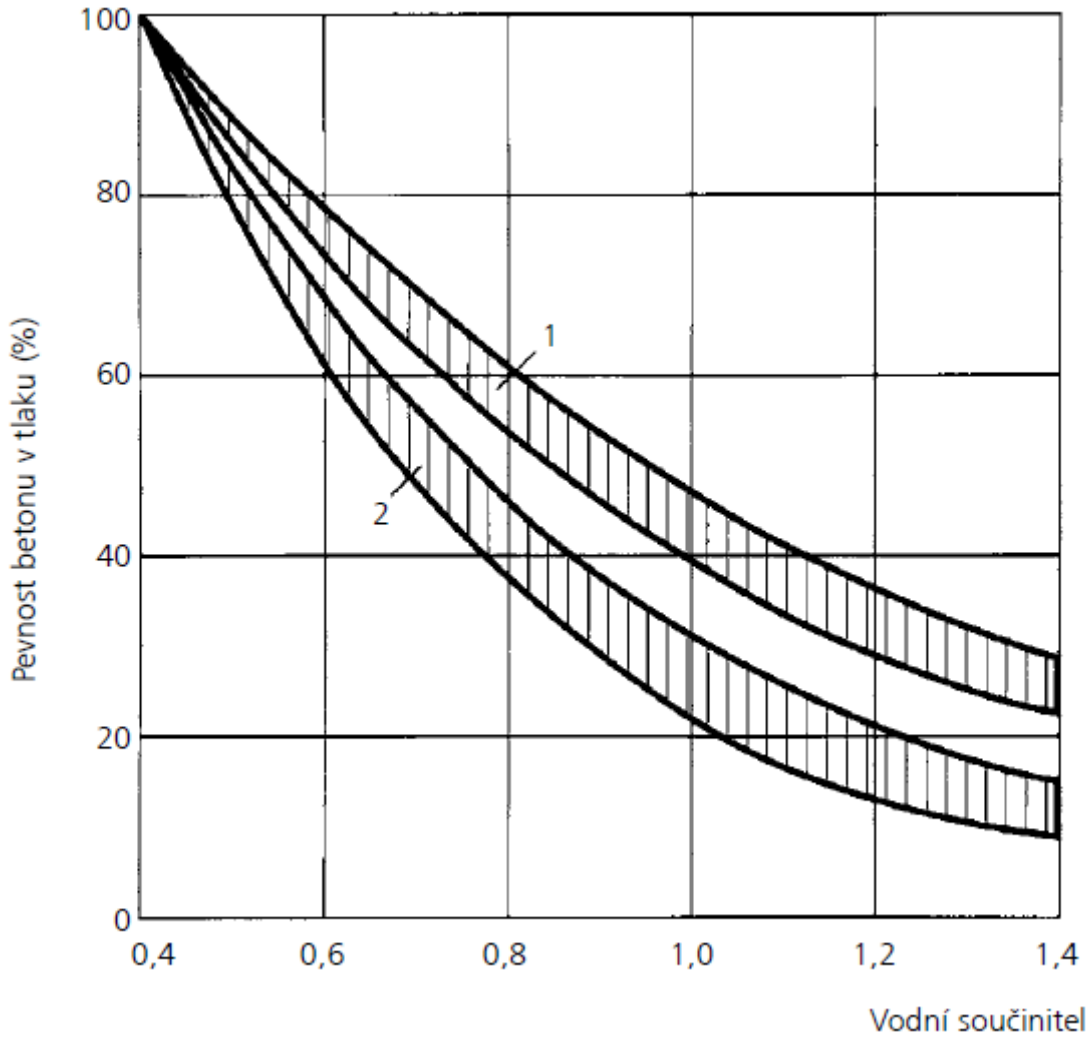
Při výrobě železobetonu a zejména předpjatého betonu se vyžaduje zvlášť pečlivě sledovat obsah chloridových iontů ve vodě (chloridy jsou schopny rychlé migrace – zavlečení do betonu ošetřující vodou nebo i z okolního prostředí). Povoleno je max. 0,05 % hmot. chloridů (tj. < 600 $mg.l^{-1}$) u vody pro předpjatý beton a pro železobeton < 2 000 $mg.l^{-1}$ (*tab. 4.94)*.

### 4.6.3 Návrh složení čerstvého betonu

Úkolem návrhu čerstvého betonu je provedení správného výběru základních, případně i doplňkových, obecně vhodných složek betonu a určení poměrů jejich mísení tak, aby čerstvý i ztvrdlý beton vyhověl zadané specifikaci v plném rozsahu požadavků (viz *kap. 4.6.1.2*) při dané technologii výroby betonu a podmínkách dopravy a zpracování.

#### 4.6.3.1 Vodní součinitel

Vodní součinitel (w/c) vyjadřuje koncentraci cementového tmelu a je určitým ukazatelem pevnosti i pórovitosti ztvrdlého cementového tmelu (cementového kamene). Je definován jako hmotnostní poměr účinného obsahu vody (w) k dávce cementu (c) v čerstvém betonu. Za předpokladu úplného zhutnění cementového tmelu, je obecně platné, že se zvyšující se hodnotou (w/c) klesá pevnost ztvrdlého cementového tmelu, z důvodu jeho zvyšující se porozity (celkového obsahu pórů).



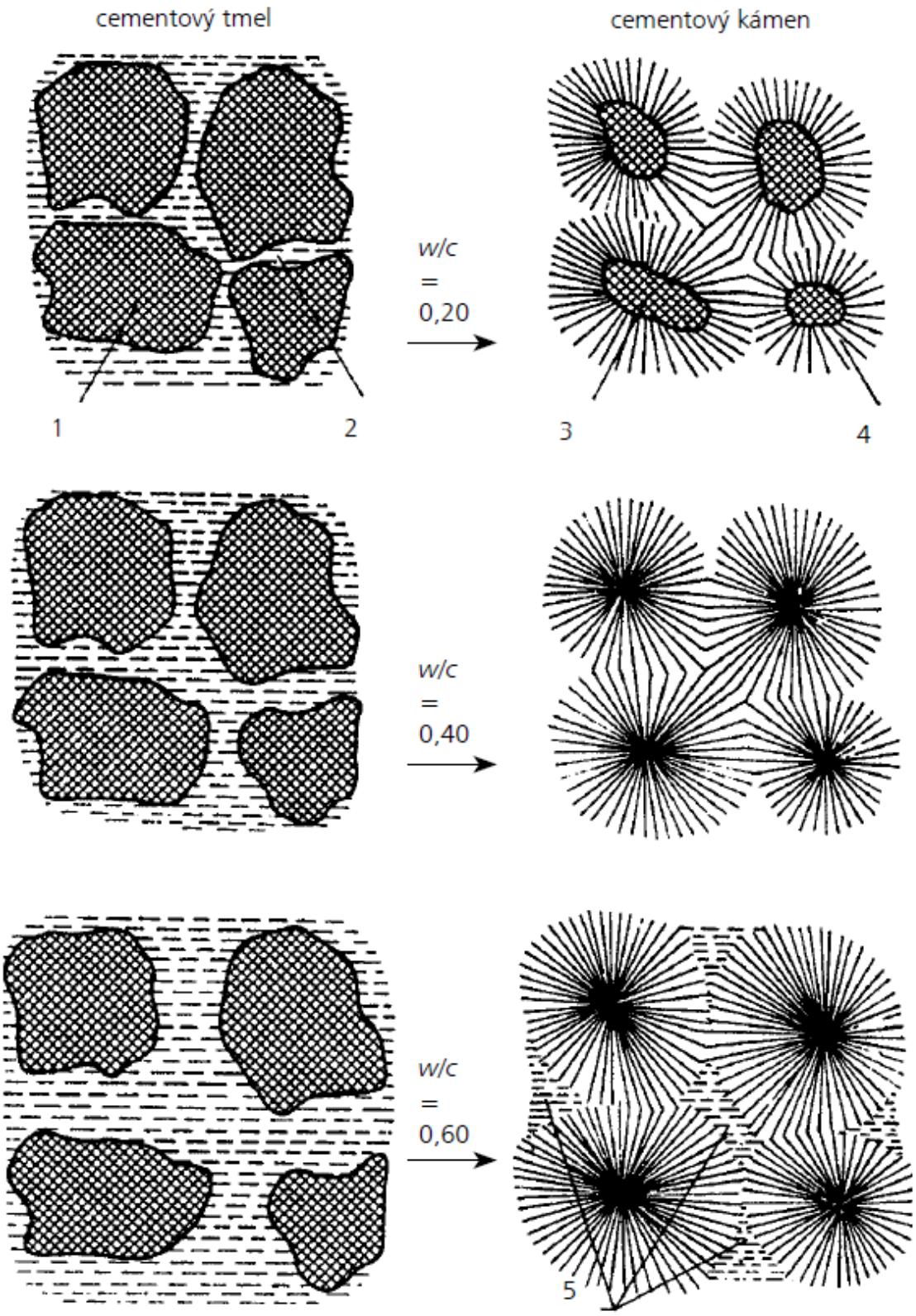

*Obr. 4.76* Vztahy mezi vodním součinitelem a pevností betonu [Schulze, W., 1984]

1 – oblast pevnosti v tahu za ohybu, 2 – oblast pevnosti v tlaku

Obvyklá hodnota (w/c) se v praxi při výrobě betonu pohybuje v rozmezí 0,35 až 0,8. Přitom cement potřebuje pro úplnou hydrataci asi 40 hmot. % záměsové vody. Z toho je cca 25 hmot. % vázáno chemicky a 15 hmot. % fyzikálně (voda v gelových a kapilárních pórech, která se může pouze částečně odpařit).

Při praktických aplikacích k úplné hydrataci cementu obvykle nedochází, neboť relativně velká zrna cementu > 50 μm nezhydratují až do jádra v důsledku nerovnoměrného rozptýlení záměsové vody, která se ještě navíc z betonu ztrácí předčasným odpařováním. Proto sehrává důležitou úlohu v procesu hydratace cementu a vývoje pevnosti betonu i voda ošetřovací.

Hydratace cementu v závislosti na hodnotě vodního součinitele je ukázána na *obr. 4.77*.




*Obr. 4.77* Hydratace cementu v závislosti na vodním součiniteli [Schulze, W., 1984]

1 – cementové zrno (slínek), 2 – voda, 3 – nezhydratovaný cement, 4 – zhydratovaný cement, 5 – kapilární póry

Na důležitost vodního součinitele pro složení a konečné vlastnosti ztvrdlého betonu je upozorněno v ČSN EN 206-1 stanovením jeho maximální hodnoty, která nesmí být překročena, s ohledem na specifikovaný stupeň vlivu prostředí, jemuž bude beton v konstrukci vystaven – viz *tab. 4.94*.

### 4.6.3.2 Matematické modely predikce pevnosti betonu

Složení betonu je možno vypočítat pomocí mnoha matematických modelů, v nichž se jejich autoři snažili postihnout co nejvíce proměnných veličin, daných druhovou četností a proměnlivostí řady vlastností obvyklých základních složek, s cílem dosažení zejména požadované pevnosti a případně i jiné vlastnosti betonu při konkrétní technologii jeho výroby a zpracování i pro definované okrajové podmínky pro konkrétní účel použití.

Všechny dosud publikované vzorce výpočtů mají v podstatě empirický charakter, protože jsou zatíženy různými koeficienty. Nikdy neobsahují všechny faktory, ovlivňující výsledné vlastnosti betonu, proto nemohou nikdy mít zcela obecnou platnost. Mohou však být určitým vodítkem pro formulování skladby betonu, kterou je v každém případě nutno následně ověřit experimentálně, to je metodou průkazní zkoušky v rozsahu požadavků Přílohy A ČSN EN 206-1.

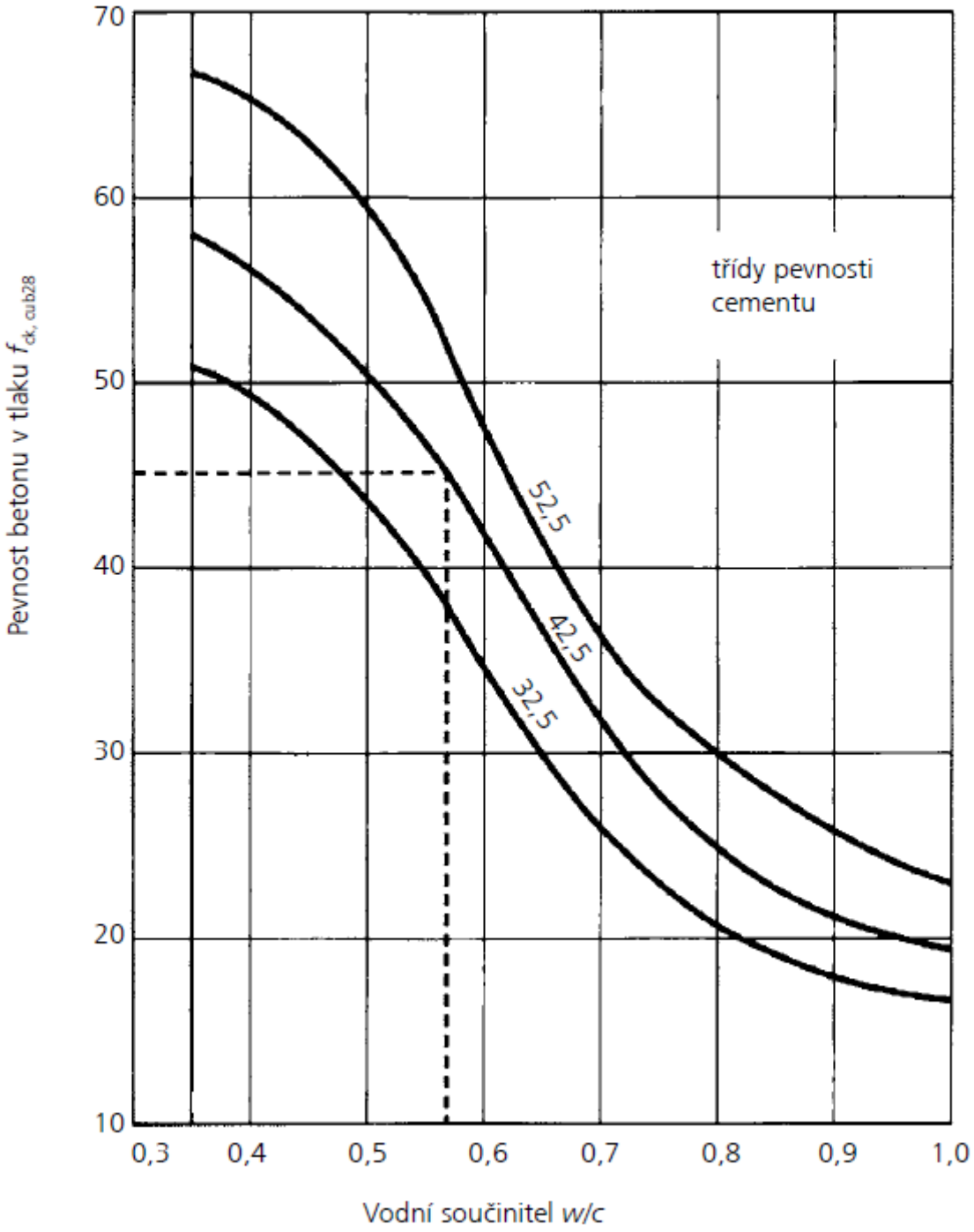
Ekonomickým kritériem pro skladbu betonu je dosažení jeho požadovaných vlastností při minimálních nákladech. To se týká především spotřeby cementu, který je zpravidla nejdražší a energeticky nejnáročnější složkou betonu.

Nejčastěji byla určujícím parametrem pro návrh složení betonu jeho pevnostní třída při specifikovaném stupni vlivu prostředí a požadované konzistenci čerstvého betonu. Změnou 3 ČSN EN 206-1 byly výše určující parametry zaměněny a nyní je hlavní důraz kladen na trvanlivost betonu, což v rozhodující míře ovlivňuje správná specifikace stupně vlivu prostředí nebo možná kombinace více vlivů na beton před pevnostní třídou betonu. Rozhodujícím parametrem z výčtu normativních mezních hodnot zůstává v obou případech vodní součinitel (w/c), od něhož je možno odvodit teoretickou pevnost betonu – viz *obr. 4.* [Schulze, W., 1984].

Obecně platí, že čím je nižší hodnota vodního součinitele, tím vyšší lze očekávat pevnost betonu. Předpokladem je zachování dobré zpracovatelnosti čerstvého betonu pro dostatečné zhutnění, s cílem minimalizace podílu vzduchových pórů ve struktuře betonu.

Pro informaci je zde názorně uveden jednoduchý způsob pro výpočet návrhu složení betonu, který vychází z empiricky odvozené dávky vody (resp. vodního součinitele).

Je-li např. požadována určitá hodnota pevnosti betonu v tlaku (třída pevnosti betonu v tlaku) pro specifikovaný stupeň vlivu prostředí, pak lze podle Walzových křivek – viz *obr. 4.* odečíst hodnotu vodního součinitele (w/c) z rozmezí 0,3 až 1,0 v závislosti na použité třídě pevnosti cementu (32,5 MPa až 52,5 MPa).




*Obr. 4.78* Walzovy křivky (vztah mezi w/c a pevností betonu v tlaku) [Schulze, W., 1984]

Potřebné množství kameniva je možno vypočítat z rovnice absolutních objemů, která vyjadřuje vztah mezi jednotlivými složkami betonu (nutná znalost hustoty, resp. objemové hmotnosti složek) a případným požadovaným obsahem vzduchových pórů v 1 $m^3$ zhutněného betonu.

$$1000 = \frac{C}{\rho_c} + \frac{V}{\rho_v} + \frac{K}{\rho_k} + p$$

kde *C* je dávka cementu v kg,

*V* – dávka vody v kg,

K – dávka kameniva v kg,

*p* – objem vzduchových pórů v $dm^3$,

$\rho_c$ – hustota cementu v $kg.dm^{-3}$,

$\rho_v$ – hustota vody v $kg.dm^{-3}$,

$\rho_k$ – objemová hmotnost kameniva v $kg.dm^{-3}$.

Příklad výpočtu:

Je zadán požadavek na návrh betonu:

pevnostní třídy C 30/37 pro prostředí se stupněm vlivu XC3 (středně mokré, vlhké - beton pro vnitřní nebo vnější konstrukce chráněný proti dešti).

při použití cementu CEM I 42,5 R ($\rho_c$ = 3,1 $kg.dm^{-3}$) v konzistenci čerstvého betonu S3 (sednutí 100 mm až 150 mm ),

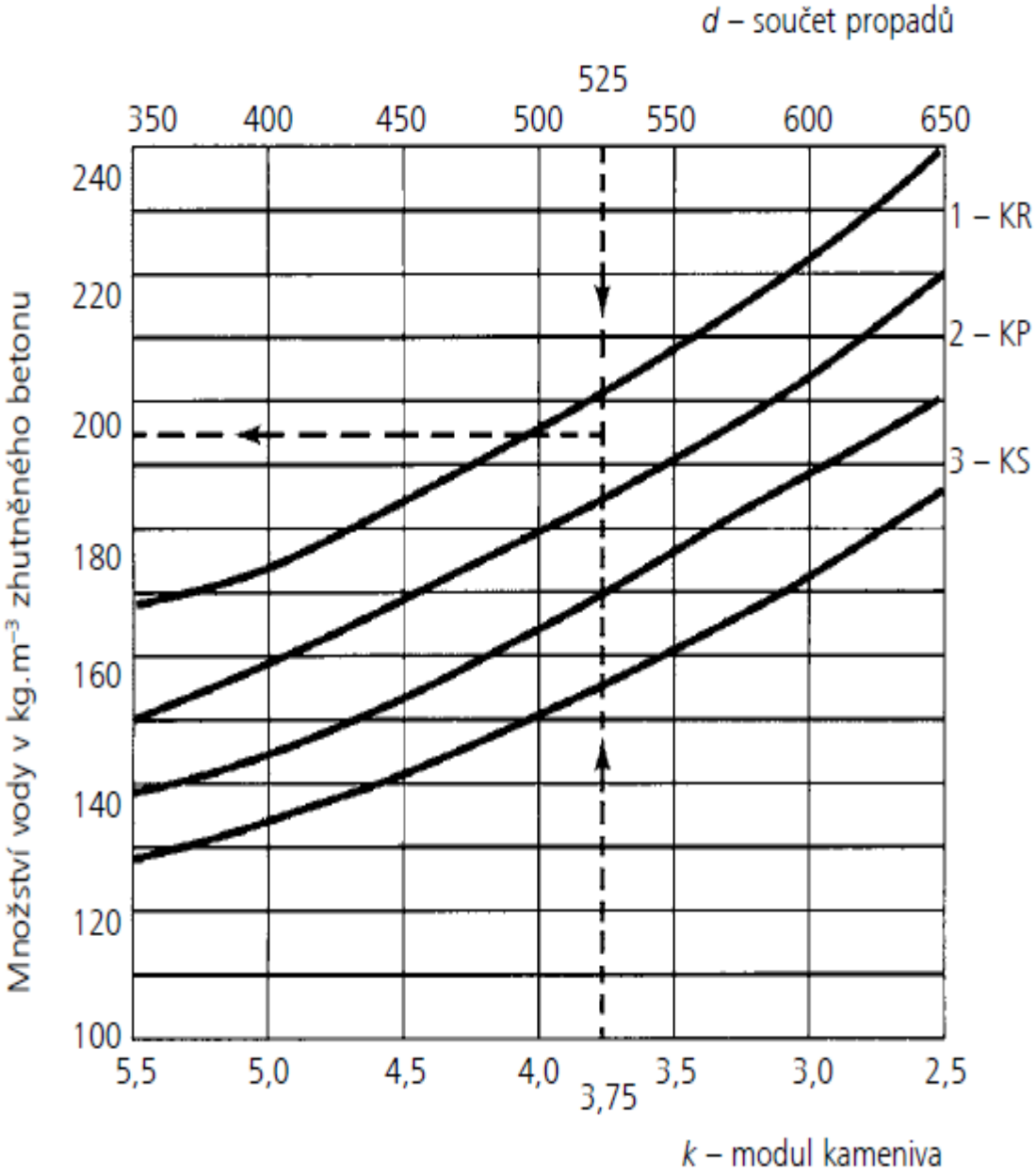
při použití kameniva (štěrkopísku) známé zrnitosti ve frakci 0/16 mm ($\rho_k$ = 2,65 $kg.dm^{-3}$), pro které byl stanoven výpočtem modul zrnitosti kameniva k = 3,75 (ze základní sady 9 sít v rozmezí 0,25 mm až 63 mm).

Při stanovení skutečné hodnoty (w/c) je nutno vycházet z tzv. návrhové pevnosti $f_{ck}$, která se stanoví navýšením charakteristické pevnosti pro požadovanou třídu betonu C 30/37 (37 + 8 = 45 MPa) o bezpečnostní přirážku min. 6 MPa až 12 MPa.

Zohledňuje se tím variabilita vlastností složek a další technologické vlivy při výrobě betonu vč. strojního vybavení betonárny a úrovně systému řízení a kontroly na betonárně, aby bylo zabezpečeno, že min. 95 % výsledků pevnosti betonu bude vyšších, než je požadováno pro danou třídu pevnosti .

Skutečná návrhová pevnost betonu potom činí 45 MPa, které odpovídá podle vztahu na *obr. 4.78* hodnota (w/c) = 0,57.

Směrnou dávku záměsové vody v množství 195 kg.m$^{-3}$ pro požadovanou konzistenci čerstvého betonu S3, lze orientačně odvodit ze známé hodnoty modulu kameniva (k = 3,75) pomocí vztahů na *obr. 4.79*.




*Obr. 4.79* Množství vody vztažené na povrchově suché kamenivo

1 – oblast konzistence měkká S3, 2 – oblast konzistence plastická S2, 3 – oblast konzistence zavlhlá S1

Skutečnou dávku vody pro experimentální ověření navrhované skladby (receptury) betonu je nutno volit s ohledem na další skutečnosti, které nelze v uvedeném postupu zcela zahrnout. Jedná se např. o úpravy:

- použitím drceného kameniva se zrnem > 8 mm se množství vody musí zvýšit o cca 5 hmot. %,
- použitím drceného kameniva se zrnem > 4 mm se množství vody musí zvýšit o cca 7 až 10 hmot. %,
- dávkou jemných podílů do velikosti zrna 0,25 mm (cement, kamenivo, příměsi) větší než 350 $kg.m^{-3}$, na každých 10 $kg.m^{-3}$ převyšujících uvedený limit je nutno zvýšit množství vody o cca 1 $kg.m^{-3}$,
- použitím provzdušňující přísady, na každé 1 obj. % vzduchu nad hodnotu 1,5 obj. % je možno snížit množství vody o cca 5 $kg.m^{-3}$,
- použitím běžné plastifikační přísady je množství vody možno snížit min. o 5 hmot. %, při použití superplastifikační přísady až o 15 % hmot.,
- dávku vody v důsledku vlhkosti použitého kameniva tj. množství vody vázané zpravidla na povrch kameniva, je nutno vždy zahrnout do celkového obsahu vody (současně je nutno provést korekci dávky kameniva o tuto hmotnost vody).

Dávka cementu bude pro sledovaný příklad vypočtena ze známého vztahu pro vodní součinitel:

$C = 195/0,57 = 340\ kg.m^{-3}$.

Množství kameniva se stanoví z rovnice absolutních objemů při zavedení teoretického předpokladu, že ve zhutněném betonu zůstane 1,5 obj. % vzduchových pórů (tj. 15 $dm^3$).

$1000 = 340/3,1 + 195/1,0 + K/2,65 +15$

$K/2,65 = 1000 – 110 – 195 – 15$

$K/2,65 = 680$

Výsledek na pravé straně rovnice odpovídá 680 $dm^3$ (objemu) kameniva na 1 $m^3$ zhutněného betonu.

Celková dávka kameniva (v tomto případě štěrkopísku) bude tedy činit 680 . 2,65 = 1 802 $kg.m^{-3}$. V případě použití více frakcí kameniva by bylo nutno tuto dávku ještě rozdělit na podíl drobného a hrubého kameniva se zohledněním objemové hmotnosti jednotlivých frakcí.

Zastoupení zrn v rozmezí směrných křivek zrnitosti pro výrobu betonu, se zohledněním max. použitého zrna od 4 mm do 32 mm – viz *4.6.2.2* a obr. 4.70 - 4.75.

### 4.6.3.3 Koncepce návrhu skladby betonu

Návrh složení čerstvého betonu musí vycházet z prioritního požadavku ČSN EN 206-1 ve znění Změny 3 (2008) na zajištění potřebné trvanlivosti betonu, tedy mechanicko-fyzikální a chemické odolnosti betonu pro daný stupeň vlivu prostředí – viz *tab. 4.xx* se zohledněním uvažované provozní životnosti betonové konstrukce (obvykle na 50 až 100 let). Toho je možno dosáhnout dvěma způsoby, označovanými jako *koncepce 1* a *koncepce 2*.

- 
- *Koncepce 1* je založena na použití normativních mezních hodnot pro složení betonu a na stanovených vlastnostech betonu:
  - dovolenými druhy a kategoriemi složek betonu,
  - maximálním vodním součinitelem,
  - minimálním obsahem cementu,
  - minimální pevnostní třídou betonu v tlaku,
  - minimálním obsahem vzduchu v betonu (je-li požadováno).

Výčet normativních mezních hodnot pro složení a vlastnosti betonu podle stupně vlivu prostředí a požadované trvanlivosti betonu při použití vhodných cementů (viz tab. 4.93) je uveden v Příloze F Změny Z3 ČSN EN 206-1 – viz *tab. 4. až 4.xx.*

Mezní hodnoty pro složení a vlastnosti betonu *Tab. 4.94*

| Stupně vlivu prostředí | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | bez nebezpečí koroze nebo narušení | koroze způsobená karbonatací | | | | koroze způsobená chloridy | | | | | | působení mrazu a rozmrazování | | | | chemicky agresivní prostředí | | |
| | | | | | | mořská voda | | | jiné chloridy než z mořské vody | | | | | | | | | |
| | X0 | XC1 | XC2 | XC3 | XC4 | XS1 | XS2 | XS3 | XD1 | XD2 | XD3 | XF1 | XF2 | XF3 | XF4 | XA1 | XA2 | XA3 |
| Maximální vodní součinitel | – | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,50 | 0,45 | 0,45 | 0,55 | 0,55 | 0,45 | 0,55 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,55 | 0,50 | 0,45 |
| Minimální pevnostní třída | C12/15 | C20/25 | C25/30 | C30/37 | C30/37 | C30/37 | C35/45 | C35/45 | C30/37 | C30/37 | C35/45 | C30/37 | C25/30 | C30/37 | C30/37 | C30/37 | C30/37 | C35/45 |
| Minimální obsah cementu ($kg.m^{-3}$) | – | 260 | 280 | 280 | 300 | 300 | 320 | 340 | 300 | 300 | 320 | 300 | 300 | 320 | 340 | 300 | 320 | 360 |
| Minimální obsah vzduchu (%) | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 4,0[a] | 4,0[a] | 4,0[a] | – | – | – |
| Jiné požadavky | | | | | | | | | | | | kamenivo podle ČSN EN 12620 s dostatečnou mrazuvzdorností | | | | – | síranovzdorný cement[b] | |

[a] Pokud není beton provzdušněn, mají se vlastnosti betonu zkoušet podle příslušné zkušební metody ve srovnání s betonem, u kterého byla prokázána odolnost proti mrazu a rozmrazování (mrazovým cyklům), pro příslušný stupeň vlivu prostředí.

[b] Pokud množství $SO_4^{2-}$ vyvolává stupeň vlivu prostředí XA2 a XA3, je nezbytné použít síranovzdorný cement. Pokud se cement klasifikuje s ohledem na síranovzdornost, pak mírně nebo vysoce síranovzdorný cement se má použít pro stupeň vlivu prostředí XA2 (a případně i pro stupeň vlivu prostředí XA1) a vysoce síranovzdorný cement se má použít pro stupeň vlivu prostředí XA3.

Mezní hodnoty složení betonu v případě požadavku vyšší předpokládané provozní životnosti betonových konstrukcí (100 let), byly specifikovány ve Změně 3 ČSN EN 206-1 – viz tab. 4.99 nebo mohou být ještě dále upraveny zvláštními předpisy [, aj.]

Mezní hodnoty pro složení a vlastnosti betonu platné v ČR (životnost 50 let) *Tab. 4.95*

| Stupně vlivu prostředí | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | bez nebezpečí koroze nebo narušení | koroze způsobená karbonatací | | | | koroze způsobená chloridy | | | působení mrazu a rozmrazování | | | | chemicky agresivní prostředí | | |
| | | | | | | jiné chloridy než z mořské vody | | | | | | | | | |
| | X0 | XC1 | XC2 | XC3 | XC4 | XD1 | XD2 | XD3 | XF1 | XF2 | XF3 | XF4 | XA1 | XA2 | XA3 |
| Maximální vodní součinitel | - | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,55 | 0,50 | 0,50 | 0,45 | 0,55 | 0,50 | 0,45 |
| Minimální pevnostní třída (doplňková specifikace) | C12/15 | C16/20 | C16/20 | C20/25 | C25/30 | C25/30 | C25/30 | C30/37 | C25/30 | C25/30 | C25/30 | C30/37 | C25/30 | C25/30 | C30/37 |
| Minimální obsah cementu ($kg.m^{-3}$) | - | 260 | 280 | 280 | 300 | 300 | 300 | 320 | 300 | 300 | 320 | 340 | 300 | 320 | 360 |
| Minimální obsah vzduchu (%) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 4,0[a] | 4,0[a] | 4,0[a] | - | - | - |
| Maximální průsak vody (mm)[c] | - | - | - | - | 50 | - | 50 | 20 | 50 | 50 | 35 | 35 | 50 | 35 | 20 |
| Odolnost mrazu/ rozmrazování metoda/počet cyklů/ odpad ($g.m^{-2}$) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | A/100/ 1250 C/75/ 1 250 | A/75/ 1250 C/50/ 1 500 | A/100/ 1000 C/75/ 1 000 | - | - | - |
| Jiné požadavky | | | | | | | | | kamenivo podle ČSN EN 12620 s dostatečnou mrazuvzdorností | | | | - | síranovzdorný cement[b] | |

[a] Beton nemusí být provzdušněn na předepsanou hodnotu (může být částečně provzdušněn anebo vůbec), pokud jsou provedena příslušná opatření (např. příměs křemičitého úletu současně s w/c nižším než 0,4) a vyhoví přitom kritériu odolnosti. Pokud beton bez provzdušnění nesplní kritéria odolnosti, je nutno beton provzdušnit (částečně provzdušnit).

[b] Pokud množství $SO_4^{2-}$ vyvolává stupeň vlivu prostředí XA2 a XA3, je nezbytné použít síranovzdorný cement (SVC).

[c] Hodnoty platí pro konstrukce vodohospodářských objektů, pokud nejsou ve specifikaci jiné. Nezkouší se u provzdušněného betonu. Při PZ musí být hodnoty o 20% nižší.

[d] Pevnost v tlaku lze předepsat při použití SVC a směsných cementů až po 90 dnech tvrdnutí.

[e] Pokud se vyskytuje pouze vliv XD3 a vliv XF je vyloučen, lze použít minimálně třídu betonu C 25/30.

## Mezní hodnoty pro složení a vlastnosti betonu pro dopravní a jiné významné stavby platné v ČR (životnost 100 let) *Tab. 4.96*

| Stupně vlivu prostředí | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Bez nebezpečí koroze nebo narušení | Koroze způsobená karbonatací | | | Koroze způsobená chloridy | | | působení mrazu a rozmrazování | | | | chemicky agresivní prostředí | | |
| | | | | | | | jiné chloridy než z mořské vody | | | | | | | | | |
| | | | X0 | XC1 | XC2 | XC3 | XC4 | XD1 | XD2 | XD3 | XF1 | XF2 | XF3 | XF4 | XA1 | XA2 | XA3 |
| Maximální vodní součinitel w/c | | | - | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,55 [k)] | 0,50 | 0,50 | 0,45 | 0,55 | 0,50 | 0,45 |
| Doplňková specifikace minimální pevnostní třídy betonu bez rozlišení životnosti konstrukce (konkrétně specifikace zvláštním předpisem) ** | | | C12/15 | C20/25 | C25/30 | C25/30 | C30/37 | C25/30 | C25/30 | C30/37 [i)] | C25/30 | C25/30 | C25/30 | C30/37 | C25/30 | C25/30 [h)] | C30/37 [h)] |
| Minimální obsah cementu v návrhu skladby (kg/m³) [g)] | | | - | 260 | 280 | 280 | 300 | 300 | 300 | 320 | 300 | 300 [d)] | 320 [d)] | 340 [d)] | 300 | 320 | 360 |
| Minimální obsah vzduch v ČB při zkoušce dle ČSN EN 12350-7 (%) [c)] | | zrno < 8 mm | - | - | - | - | - | - | - | - | 4,0 [f)] | 4,5 [f)] | 5,0 [a)] | 5,5 [a)] | --- | 5,5 [b)] | 5,5 [b)] |
| | | zrno < 16 mm | - | - | - | - | - | - | - | - | 3,0 [f)] | 3,5 [f)] | 4,0 [a)] | 4,5 [a)] | --- | 4,5 [b)] | 4,5 [b)] |
| | | zrno < 32 mm | - | - | - | - | - | - | - | - | 2,5 [f)] | 3,0 [f)] | 3,5 [a)] | 4,0 [a)] | --- | 4,0 [b)] | 4,0 [b)] |
| Min. obsah mikropórů $A_{300}$ ve ztvrdlém betonu při zkoušce dle ČSN EN 480-11 (%) [e)] | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,0 [i)] | 1,0 [i)] | 1,8 [i), n)] | - | - | - |
| Max. součinitel rozložení vzduchových pórů (L) (mm) | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,24 [i)] | 0,24 [i)] | 0,20 [i), n)] | - | - | - |
| Maximální průsak vody (mm) [e)] | | | - | - | - | 50 | 50 | 50 | 50 | 20 | 50 | 35 | 20 | 20 | 50 | 35 | 20 |
| Odolnost mrazu/rozmrazování [g), m)] metoda/počet cyklů/odpad (g/m²) | | | - | - | - | - | - | - | - | - | A/67/1250<br>C/50/1250 | A/100/1250<br>C/75/1250 | A/100/1250<br>C/75/1250 | A/100/1000<br>C/75/1000 | - | - | - |
| Kamenivo podle požadavků ČSN EN 12 620 — Drobné kamenivo a směs kameniva | Obsah jemných částic f [p)] | Těžené | $f_3$<br>$f_3$ deklarované [y),z)] | $f_3$ [v), x)] | | | | | | | | | | | | | |
| | | Drcené | $f_3$ [v)]<br>$f_{10}$ [x), aa)]<br>$f_3$ deklarované [y),z)] | $f_3$ [v)]<br>$f_{10}$ [x), aa)] | | | | $f_3$ | | | | | | | $f_3$ [v)]<br>$f_{10}$ [x), aa)] | | |
| | | Směs | $f_3$ [n)]<br>$f_{11}$ [x), aa)]<br>$f_3$ deklarované [y),z)] | $f_3$ [v)]<br>$f_{11}$ [x), aa)] | | | | $f_3$ | | | | | | | $f_3$ [v)]<br>$f_{11}$ [x), aa)] | | |
| | Odolnost vůči alkalicko-křemičité reakci [q)] | | deklarace podle čl. 5.2.3.4 ČSN EN 206-1, Z3 [ab), ah)] | | | | | | | | | | | | | | |
| | Humusovitost [u)] | | světlejší než etalon [ad)] | | | | | | | | | | | | | | |
| | Obsah lehkých znečišťujících částic [u)] | | max. 0,25 % [v)]<br>deklarace [x), p)] | max. 0,25 % [v)]<br>hodnoty se deklarují [x)] | | | | maximálně 0,25 % [v)] | | | | | | | max. 0,25 % [v)]<br>deklarace [x)] | | |
| Hrubé kamenivo | Souhrnné meze a tolerance kameniva $G_T$ [ac)] | Dfd < 4 | $G_T$ 15 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Dfd ≥ 4 | $G_T$ 17,5 | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tvarový index SI [af)] | | $SI_{20}$ [v)]<br>$SI_{40}$ [x)]<br>$SI_{55}$ [y)] | $SI_{20}$ [v)]<br>$SI_{40}$ [x)] | | | | $SI_{20}$ | | | | | | | $SI_{20}$ [v)]<br>$SI_{40}$ [x)] | | |
| | Objem jemných částic f [ag)] | | $f_{1,5}$ [v), x)]<br>$f_4$ [y)] | $f_{1,5}$ | | | | | | | | | | | | | |
| | Součinitel Los Angeles LA-těžené [ah)] | D ≤ 11 | $LA_{40}$ [v)]<br>$LA_{50}$ [x), y)] | $LA_{40}$ [v)]<br>$LA_{50}$ [x)] | | | | $LA_{40}$ | | | | | | | $LA_{40}$ [v)]<br>$LA_{50}$ [x)] | | |
| | | D > 11 | $LA_{35}$ [v)]<br>$LA_{50}$ [x), y)] | $LA_{35}$ [v)]<br>$LA_{50}$ [x)] | | | | $LA_{35}$ [v)] | | | | | | | $LA_{35}$ [v)]<br>$LA_{50}$ [x)] | | |
| | Součinitel Los Angeles LA-drcené [ah)] | D ≤ 11 | $LA_{30}$ [v)]<br>$LA_{35}$ [x)]<br>$LA_{40}$ [y)] | $LA_{30}$ [v)]<br>$LA_{35}$ [x)] | | | | $LA_{30}$ [v)] | | | | | | | $LA_{30}$ [v)]<br>$LA_{35}$ [x)] | | |
| | | D > 11 | $LA_{25}$ [v)]<br>$LA_{30}$ [x)]<br>$LA_{35}$ [y)] | $LA_{25}$ [v)]<br>$LA_{30}$ [x)] | | | | $LA_{25}$ [v)] | | | | | | | $LA_{25}$ [v)]<br>$LA_{30}$ [x)] | | |
| | Ohladitelnost PSV [al)] | | hodnoty se deklarují [v), al)] (mimo CB kryty) | | | | | | | | | | | | | | |
| | Nasákavost ČSN EN 1097-6 kap. 8<br>$WA_{24}$ [ak)] | | ≤ 1,5% [v)]<br>≤ 1,5% [al), x)]<br>≤ 2,5% [al), y)] | ≤ 1,5% [v)]<br>≤ 1,5% [al), x)] | | | | ≤ 1,5% | | | | | | | ≤ 1,5% [v)]<br>≤ 1,5% [al), x)] | | |
| | Odolnost proti zmrazování a rozmrazování F [am), an)] | | F1 [v)]<br>F2 [x)]<br>F4 [y)] | F1 [v)]<br>F2 [x)] | | | | F1 | | | | | | | F1 [v)]<br>F2 [x)] | | |
| | Zkouška síranem hořečnatým MS [ao), an)] | | $MS_{18}$ [v)]<br>$MS_{25}$ [x)]<br>$MS_{35}$ [y)] | $MS_{18}$ [v)]<br>$MS_{25}$ [x)] | | | | $MS_{18}$ [v)] | | | | | | | $MS_{18}$ [v)]<br>$MS_{25}$ [x)] | | |
| | Odolnost vůči alkalicko-křemičité reakci [q)] | | deklarace podle čl. 5.2.3.4 ČSN EN 206-1 Z3 [ap), aq)] | | | | | | | | | | | | | | |
| | Obsah lehkých znečišťujících částic [u)] | | max. 0,05 % [v)]<br>deklarace [x), y)] | max. 0,05 % [v)]<br>hodnoty se deklarují [x)] | | | | max. 0,05 % [v)] | | | | | | | max. 0,05 % [v)]<br>deklarace [x)] | | |
| Zmitost | | | křivky zmitosti podle grafů L.1 až L.6 ČSN EN 206-1 Z3 | | | | | | | | | | | | | | |
| Obsah chloridů [r)] | | | maximálně 0,02 % [ac)] | | | | | | | | | | | | | | |
| Obsah síranové síry [s)] | | | $AS_{0,2}$ [v), z)]<br>$AS_{0,8}$ [v), z)] | $AS_{0,2}$ | | | | | | | | | | | | | |
| Obsah veškeré síry [t)] | | | maximálně 1 % | | | | | | | | | | | | | | |
| Jiné požadavky | | | | | | | | | | | | | | | | | síranovzdorný cement [b), j)] |

Vysvětlivky a zpřesnění závazných požadavků na beton:

*) Jedná se o tab. NA F.1 ČSN EN 206-1 Z3 upravenou a doplněnou dle požadavků na vyšší životnost BK a dalších odlišností u dopravních a jiných významných staveb. Požadavky na pevnostní třídu betonu jsou doplňkově specifikovány ve zvláštních předpisech, např. **).

**) Kapitola 18 TKP Beton pro konstrukce (MD-OPS, č.j. 474/05-120-RS/1, Praha, 08/2005.

a) Beton nemusí být ve zvláštních případech stanovených v ZDS provzdušněn na předepsanou hodnotu (může být částečně provzdušněn anebo vůbec), pokud jsou provedena příslušná opatření (např. přímés křemičitého úletu současně s w/c nižším než 0,4) a vyhoví přitom kritériu odolnosti. Pokud beton bez provzdušnění nesplní při PZ kritéria odolnosti a vodonepropustnosti, je nutno beton provzdušnit (částečně provzdušnit).

b) Pokud množství $SO_4^{2-}$ vyvolává stupeň vlivu prostředí XA2 a XA3, je nezbytné beton provzdušnit a použít síranovzdorný cement (SVC). Pokud ese cement klasifikuje s ohledem na síranovzdornost, pak mírně nebo vysoce SVC se má použít pro stupeň agresivity XA2 (a případně i pro stupeň XA1), a vysoce SVC se má použít pro stupeň vlivu prostředí XA3.

c) Max. obsah vzduchu pro XF1 až XF4 může být nejvýše o 3 % vyšší než stanovené minimum. PZ odolnosti se u betonu XF1 při min. hodnotě předepsaného provzdušnění nebo při částečném provzdušnění provádí při min. navržené hodnotě obsahu vzduchu.

d) Nepřipouští se použití popílku.

e) Zkouší se dle ČSN EN 12390-8 při KZ i PZ, nezkouší se u provzdušněného betonu, při PZ musí být hodnoty průsaku o 20 % nižší.

f) Beton nemusí být provzdušněn na předepsanou hodnotu (může být částečně provzdušněn nebo vůbec), pokud je BK převážně v prostředí s přirozenou atmosférickou vlhkostí bez kapalných srážek a nebo s přirozenou atm. vlhkostí v dosahu slané mlhy (chloridů rozptýlených pouze ve vzduchu, částí hydroizolací chráněných mostních konstrukcí), a vyhoví přitom kritériu odolnosti. Pokud beton bez provzdušnění nesplní při PZ kritéria odolnosti a vodonepropustnosti, je nutno beton provzdušnit (částečně provzdušnit).

g) Zkouší se dle ustanovení zvláštních předpisůna **) na vývrtech ø 150 mm z konstrukce (dílce) nebo na tělesech (KZ) - metodika, kritéria a počet cyklů pro KZ i PZ jsou uvedena ve zvláštních předpisech **).

h) Pevnost v tlaku odpovídající C 30/37 a C 35/45 lze předepsat v případě použití SVC a směsných cementů až po 90 dnech tvrdnutí betonu.

i) Pokud se vyskytuje pouze vliv XD3 a vliv XF je vyloučen, lze použít min. třídu betonu C 25/30, pokud je beton provzdušněn dle bodu c).

j) V případě uhličité agresivity (≥ 15 mg/litr podzemní vody $CO_2$ agresivního) se použijí směsné cementy vyhovující tab. F4 ČSN EN 206-1 Z3.

[k)] Pro nosné konstrukce mostů se w/c připouští max. 0,5.

[l)] Při PZ musí být hodnoty (L) dosaženy o 20 % nižší a $A_{300}$ o 20 % vyšší, než je uvedeno ve zvláštním předpisu [**)]. Pokud je pro provzdušněný beton použito kombinace provzdušňující přísady a superplastifikátoru a/nebo plastifikátorů a/nebo zpomalovačů musí být hodnoty $A_{300}$ a L prokázány PZ, pokud není provedena vyhovující PZ vlivu kombinace přísad na charakteristiku vzduchových pórů.

[m)] Podrobně jsou požadavky pro zkoušení a parametry pro posouzení shody uvedeny ve zvláštním předpisu [**)].

[n)] L a A300 se u vlivu prostředí XF4 při PZ provzdušněných betonů prokazují vždy.

[o)] Min. obsah pojiva a A300 platí pro Dmax = 22 mm. Při zmu 32 mm mohou být hodnoty sníženy o 5 %, naopak při zmu max. 16 mm musí být zvýšeny o 5 %, při zmu max. 11 mm o 10 %, při zmu max. 8 mm o 15 % a při zmu max. 4 mm o 25 %. Nejmenší obsah pojiva se zaokrouhluje na 5 kg. Při betonáži pod vodou je min. množství pojiva 375 kg/m$^3$.

[p)] Čl. 4.3.6, tab. 11 ČSN EN 12 620.

[q)] Čl. 5.7.3, ČSN EN 12 620.

[r)] Čl. 6.2, ČSN EN 12 620.

[s)] Čl. 6.3.1, ČSN EN 12 620.

[t)] Čl. 6.3.2, ČSN EN 12 620.

[u)] Čl. 6.4.1, ČSN EN 12 620.

[v)] Použití pro betony s vysokými nároky na vlastnosti, vysokopevnostní beton, předpjatý beton, CB kryty, beton vystavený vyšším nárokům vlivu prostředí (XD, XF, XA), beton odolný proti abrazivním účinkům vody a splavenin (XM).

[x)] Použití pro betony s běžnými nároky na vlastnosti konstrukčních betonů, beton třídy C 16/20 až C 45/55, beton vystavený menším nárokům vlivu prostředí (X0 a XC).

[y)] Použití pro betony s min. nároky na vlastnosti betonu, beton třídy C 12/15 a nižší, beton vystavený vlivu prostředí X0.

[z)] V případě vyššího obsahu jemných částic než 3 % se posoudí jejich nevhodnost dle Př. D ČSN EN 12 620.

[aa)] Jakost jemných částic (podle čl. 4.7 ČSN EN 12 620 se určuje dle Př. D ČSN EN 12 620, s vyloučením postupu d).

[ab)] Pro betony v suchém prostředí se vlastnost nepožaduje v případech označených pozn. "x)" a "x)".

[ac)] Pro použití pro nevyztužené betony se připouští 0,1%.

[ad)] V případě, že zbarvení není světlejší než etalon, a v případě podezření na přítomnost cukrů musí se kamenivo vyzkoušet na malt. tělesech dle čl. 15.3 ČSN EN 1744-1. Začátek tuhnutí a pevnost v tlaku musí vyhovovat požadavkům v čl. 6.4.1 ČSN EN 12 620.

[ae)] Čl. 4.3.2, tab. 3 ČSN EN 12 620.

[af)] Čl. 4.4, tab. 9 ČSN EN 12 620.

[ag)] Čl. 4.6, tab. 11 ČSN EN 12 620.

[ah)] Čl. 5.2, tab. 12 ČSN EN 12 620.

[ai)] Čl. 5.4.1, tab. 15 ČSN EN 12 620.

[aj)] Deklaruje se pro určmé použití pro CB kryty.

[ak)] Čl. 5.5 ČSN EN 12 620.

[al)] V případě vyšší hodnoty nasákavosti je rozhodující odolnost proti zmrazování a rozmrazování.

[am)] Čl. 5.7.1, tab. 18 ČSN EN 12 620.

[an)] Pokud je požadována mrazuvzdornost, může být prokázána jedním z obou upúsobů.

[ao)] Čl. 5.7.1, tab. 19 ČSN EN 12 620.

[ap)] Pro betony v suchém prostředí se vlastnost nepožaduje v případech označených pozn. "p)".

[aq)] Další ustanovení ohledně AKR mohou být uvedena v jiných dokumentech, např. TKP apod.

Zkratky:
ZDS - zadávací dokumentace stavby
PZ - průkazní zkouška betonu
KZ - kontrolní zkouška betonu
TKP - technické kvalitativní požadavky

Mezní hodnoty pro složení a vlastnosti betonu v prostředí s pohyblivým mechanickým zatížením (obrusem) *4.97*

| | Koroze působená pohyblivým mechanickým zatížením (obrusem) | | | |
|---|---|---|---|---|
| Stupeň vlivu prostředí | XM1 | XM2 | | XM3 |
| Maximální vodní součinitel | 0,55 | 0,55 | 0,45 | 0,45 |
| Minimální pevnostní třída | C 30/37 [a)] | C 30/37 [a)] | C 35/45 [a)] | C 35/45 [a)] |
| Minimální obsah cementu [kg/m$^3$] | 300 | 300 | 320 | 320 |
| Jiné požadavky | - | speciální zpracování povrchu [b)] | - | úpravy povrchu odolnými materiály [c) d)] |

[a)] Při použití provzdušněného betonu je pevnostní třída o jeden stupeň nižší.

[b)] Například vakuováním nebo hlazením rotační hladičkou.

[c)] Například vsypy do betonu pro zušlechtění povrchu betonu a zvýšení jeho odolnosti proti obrusu.

[d)] Beton vrstev chránících vodohospodářské konstrukce proti účinkům obrušování a otloukání unášenými splaveninami nesmí obsahovat kamenivo drcené z uhličitanových hornin. Otlukovost kameniva stanovená dle ČSN EN 1097-2 nesmí překročit hodnotu 30 (požadavek ČSN EN 13670).

Je-li složení betonu ve shodě s normativními mezními hodnotami lze předpokládat, že beton v konstrukci bude splňovat požadavky na trvanlivost pro použití ve specifikovaných podmínkách prostředí po stanovenou dobu předpokládané životnosti pokud:

- bude správně uložen, zhutněn a ošetřován v souladu s ČSN EN 13670-1,
- bude dodržena min. krycí vrstva výztuže,
- byl správně vybrán příslušný stupeň vlivu prostředí nebo jejich kombinace,
- bude prováděna předpokládaná údržba.

- *Koncepce 2* spočívá v zabezpečení požadovaných vlastností betonu, určených příslušným parametrem vlastnosti (např. odlupování povrchu betonu při zkoušce střídavým zmrazováním a rozmrazováním nebo hloubka průsaku tlakové vody při zkoušce vodotěsnosti apod.). Pokyny pro tento způsob návrhu složení betonu jsou uvedeny v Příloze J (informativní) ČSN EN 206-1.

## 4.6.4 Přísady a příměsi

Přísady a příměsi jsou doplňkové složky, které se mohou přidávat během míchání do betonu (nebo i do malt – viz *kap. 4.5*) za účelem zlepšení některých jeho vlastností nebo k docílení zvláštních vlastností.

Vhodnost přísad do betonu podle ČSN EN 206-1 je obecně prokázána, pokud vyhoví ČSN EN 934-2.

Vhodnost příměsi druhu I (např. anorganických filerů či pigmentů) je obecně prokázána, pokud vyhoví ČSN EN 12620+A1, resp. ČSN EN 12878.

Vhodnost příměsi druhu II (např. popílek a křemičitý úlet) je obecně prokázána, pokud vyhoví ČSN EN 450+A1, resp. ČSN EN 13263-1+A1.

### 4.6.4.1 Přísady

Přísady jsou chemické látky používané za účelem modifikace vlastností čerstvého nebo ztvrdlého betonu. Nejčastěji se používají ve stavu kapalném, mohou být ale i práškové.

Sortiment přísad zaznamenal v posledních letech značný rozvoj a jen na českém trhu je nabízeno přes 600 výrobků patřících do této skupiny .

Přísady se podle ČSN EN 934-2 rozdělují na typy podle hlavního nebo převažujícího účinku působení:

- plastifikační (redukující vodu),
- superplastifikační (dříve – ztekucující, velmi redukující vodu),
- provzdušňující,
- stabilizační (zadržující vodu),
- zpomalující tuhnutí,
- urychlující tuhnutí a tvrdnutí betonu,
- těsnící (hydrofobizační - odpuzující vodu).

Ve stavební praxi se používají ještě další typy přísad, jejichž dělení do širšího spektra upravovala již zrušená ČSN 72 2320 (1993):

- plynotvorné,
- pěnotvorné,
- odpěňovací,
- expanzní,
- adhezní,
- protikorozní,
- biocidní.

Přísady působí fyzikálně-chemicky především na cementový tmel a jejich působení a konečný efekt je závislý nejen na druhu, ale i původu cementu (konkrétním mineralogickém složení). Přísady ovlivňují průběh hydratace cementu jednak formou rozpouštění slínkových minerálů, s kterými nevstupují, či naopak vstupují do chemické reakce, nebo svou aktivitou snižují napětí na povrchu zrn cementu či tvořících se krystalických novotvarů a zvyšují pohyblivost čerstvého betonu. Mohou mít i vedlejší účinky (vč. negativních). Jejich celkové působení se rovněž mění v závislosti na dávkovaném množství přísady, na složení betonu a podmínkách jeho výroby .

Při používání přísad nesmí být podle požadavku ČSN EN 206-1 překročeny maximální dávky doporučované jejich výrobci a při dávce přísady nad 50 $g.kg^{-1}$ cementu (5 hmot. %) musí být prokázáno, že nepříznivě neovlivňuje vlastnosti a trvanlivost betonu. Přísada v dávce menší než 2 $g.kg^{-1}$ cementu musí být vždy rozptýlena v části záměsové vody. Přesáhne-li celkové množství tekuté přísady 3 $l.m^{-3}$ betonu, musí být toto množství započteno do záměsové vody. Při aplikaci více než jedné přísady musí být zkouškou prokázána jejich vzájemná snášenlivost.

Přísady na bázi chloridů (dříve často používaný $CaCl_2$ jako urychlovač tuhnutí i tvrdnutí) se dnes již nesmějí použít do betonu s ocelovou výztuží či jinými kovovými vložkami nebo s předpínací výztuží.

#### 4.6.4.1.1 Plastifikační přísady

Redukují množství záměsové vody při zachování stejné zpracovatelnosti, nebo při zachování vodního součinitele (w/c) zlepšují zpracovatelnost čerstvého betonu. Patří mezi nejdéle a nejčastěji používané.

Základní funkcí plastifikační přísady je redukce (w/c), což se příznivě uplatňuje zejména u vodostavebních betonů (z důvodu nižší pórovitosti ztvrdlého cementového tmelu), rovněž u masivních betonů (úspora cementu vede ke snížení vývinu hydratačního tepla) i ve výsledné pevnosti a odolnosti betonu či v deformačních vlastnostech betonu (menší náchylnost ke smršťování). Používají se zejména při výrobě transportbetonu, pro zlepšení čerpatelnosti betonu, pro usnadnění zpracování (hutnění) čerstvého betonu a pro dosažení lepšího vzhledu pohledových ploch.

Účinkem plastifikační přísady musí být dosaženo snížení dávky vody o více jak 5 % při stejné konzistenci stanovené sednutím nebo rozlitím (viz *kap. 5.3.1*) a pevnost v tlaku jejím přidáním má vzrůst za 7 a 28 dní nejméně na 110 % proti referenčnímu betonu složeném a vyrobeném podle ČSN EN 480-1.

Základem plastifikačního efektu plastifikátorů je jejich povrchová aktivita. Plastifikátory jsou vesměs tvořené molekulami s relativně dlouhými (polymerními) řetězci zakončenými silně polární skupinou.

Ve vodném roztoku se chovají jako tensidy a absorbují se na povrchu cementových zrn tak, že jejich polární zakončení převládají na vnějším povrchu plastifikátorem „upraveného“ zrna. Interakcí s okolními molekulami vody dochází ke vzniku elektrické dvojvrstvy, která obaluje cementová zrna a způsobuje, že se chovají jako uniformně nabité částice. Navzájem se tedy odpuzují.

Odpudivé elektrické síly snižují tření mezi zrny a zvyšují pohyblivost cementové kaše. Ke zvýšené pohyblivosti přispívá i mechanický efekt vodního obalu, který působí jako sterická zábrana, nedovolující vzájemné zaklesnutí zrn a tvorbu cementových vloček.

Prakticky použitelný plastifikátor musí nejen vykazovat plastifikační efekt, ale musí být navíc stabilní v silně alkalickém prostředí a v prostředí s nadbytkem vápenatých iontů. Nesmí vytvářet nerozpustné sloučeniny ($Ca^{2+}$ soli), které by blokovaly hydratační pochody a nesmí mít nežádoucí vliv na vlastnosti betonu po zatvrdnutí.

Při míchání čerstvého betonu nesmí mít tyto přísady nadměrný provzdušňující účinek (nesmí vytvářet mikropěnu) a musí být inertní vůči ocelové výztuži.

První plastifikační přípravky používané u nás ve větším měřítku byly založeny na povrchové aktivitě sulfitových výluhů, odpadajících při zpracování celulózy pro papírenské účely. S jejich používáním se u nás setkáváme od poloviny padesátých let. Hlavní účinnou složkou těchto výluhů je lignosulfonan vápenatý, který je v cementové kaši stálý a nemá nežádoucí vedlejší účinky. Určité problémy s tuhnutím betonu však mohou působit sacharidy vznikající hydrolýzou dřevné hmoty. V modernějších plastifikačních preparátech se proto tyto sacharidy předem odstraňují, s výhodou za použití kvasných technologií.

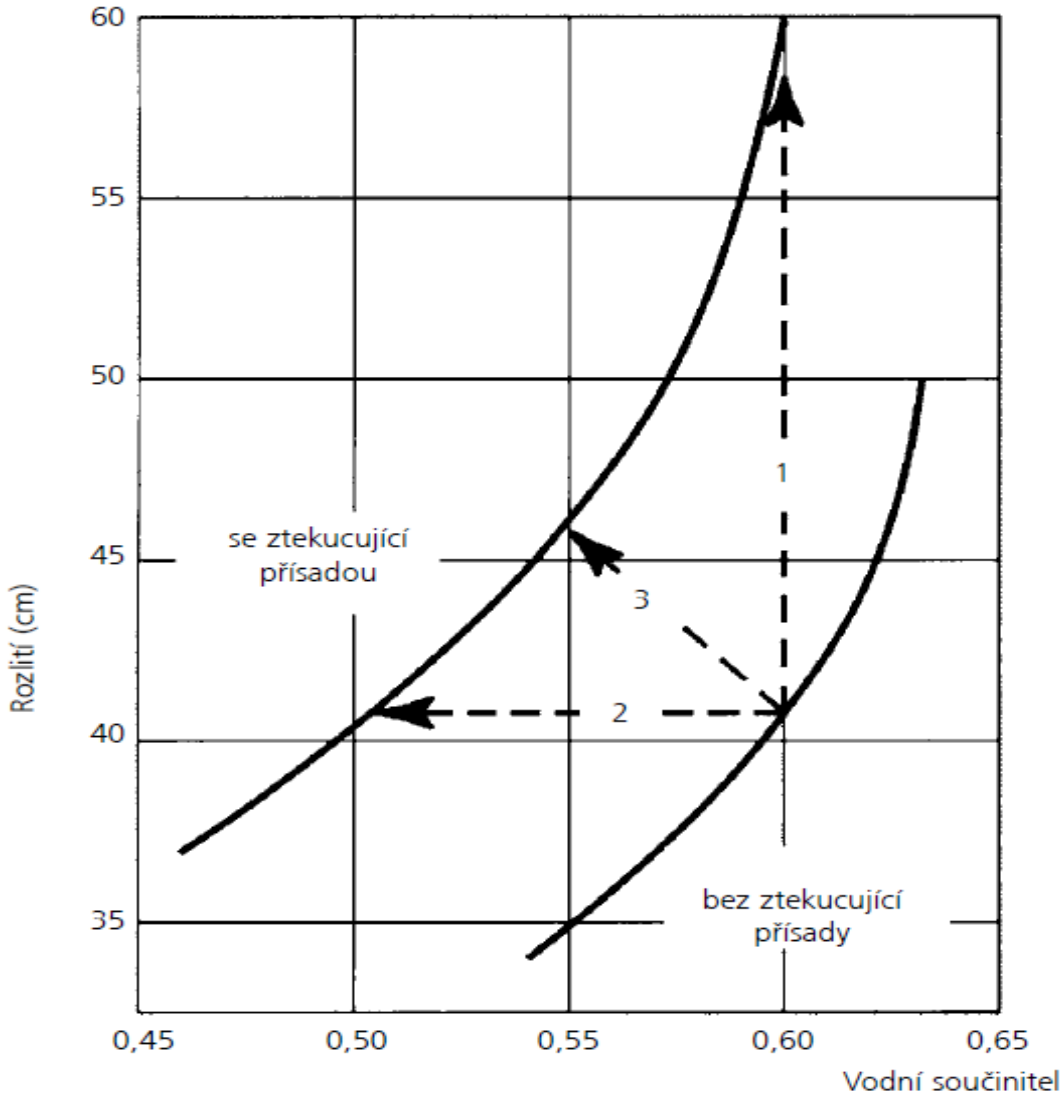
Ve snaze o získání produktu stálé kvality se z vyčištěného lignosulfonanového výluhu dnes často izolují pouze výšemolekulární podíly, které jsou nejúčinnější a takto získaný plastifikátor se pak označuje jako modifikovaný lignosulfonan (MLS).

Třetí skupinu plastifikátorů tvoří výrobky na bázi hydrolyzovaného škrobu (zejména kukuřičného) obsahující 3 – 150 glykosidových jednotek. U nás nejsou nijak rozšířené, ale v USA jsou běžné.

Plastifikační účinek vykazují samozřejmě i další látky. Jako použitelné plastifikátory je možné jmenovat například polyglyceroly, polyakrylamidy, i polyakrylové kyseliny a sodné soli karboxylových hydroxykyselin. Setkáváme se s nimi však spíše ve formulacích prefabrikovaných malt, jejich význam při přípravě betonu je zatím malý.

#### 4.6.4.1.2 Superplastifikační přísady

Superplastifikační přísady jsou v podstatě plastifikační přísady s velmi silným ztekucujícím účinkem, který ale zpravidla trvá jen určitou krátkou dobu (proto se obvykle přidávají do betonu podle zvláštních pravidel až v místě použití krátce před uložením). Mají velmi silný vodoredukující účinek. Umožňují širší manipulaci s množstvím vody a dávkou cementu, jak ukazuje pro tři způsoby použití *obr. 4.80*.




*Obr. 4.80* Závislost vodního součinitele a rozlití čerstvého betonu [Schulze, W., 1984]

- Ztekucení čerstvého betonu z konzistence F2 až na F5 při zachování stejného w/c (směr 1):
  - výrazné zjednodušení ukládání čerstvého betonu,
  - výroba samozhutnitelného betonu (viz *kap. 4.6.6.5*).
- Úsporu vody (redukce w/c) při zachování stejné konzistence (směr 2):
  - zlepšení jakosti betonu (počáteční i konečná pevnost, trvanlivost, deformační vlastnosti betonu),
  - výroba vysokopevnostního betonu (viz *kap. 4.6.6.4*).
- Úsporu vody (snížení w/c) při současném ztekucení (směr 3):
  - jednoduché ukládání čerstvého betonu při současném zlepšení jakosti betonu,
  - nejčastější využití ve všech oblastech výroby betonových konstrukcí vč. technologie vláknobetonu (viz *kap. 4.6.7.6*).

Účinkem superplastifikační přísady musí být dosaženo snížení dávky vody o více jak 12 % při stejné konzistenci čerstvého betonu stanovené sednutím kužele nebo rozlitím – viz *kap. 5.3.1.1* a pevnost v tlaku v důsledku této významné redukce vody má přitom vzrůst za 1 den nejméně na 140 % a za 28 dní nejméně na 115 % proti referenčnímu betonu složenému a vyrobenému podle ČSN EN 480-1.

Konzistence čerstvého betonu se superplastifikátorem nesmí za 30 min. po jeho přidání klesnout pod původní hodnotu konzistence. Při srovnání s referenčním betonem musí konzistence čerstvého betonu vzrůst po přidání superplastifikátoru o 160 mm při zkoušce rozlitím proti původní hodnotě (350 ±20) mm rozlití nebo vzrůst o 120 mm při zkoušce sednutím Abramsova kužele proti původní hodnotě (30 ±10 mm).

Superplastifikační přísady se na trhu objevily počátkem sedmdesátých let ve dvou modifikacích. Byly připraveny buď kondenzací sulfonovaného naftalenu s formaldehydem (typ SNF) nebo na bázi sulfonované melaminformaldehydové pryskyřice (typ SMF). Možné bylo použití i kombinace obou typů přísad (SNF + SMF).

Zejména v německy psané literatuře se používá alternativní označování melaminformaldehydových plastifikátorů zkratkou MFS a naftalensulfonových plastifikátorů zkratkou SNS.

U SMF plastifikátorů nelze vzhledem k jejich struktuře počítat s výrazným smáčecím účinkem. Kapilární aktivita SMF je zanedbatelná a plastifikátory SMF proto nemají téměř žádný provzdušňující účinek.

Třetí skupinu superplastifikátorů tvoří polykarboxylové estery (polykarboxyláty). Někdy jsou považovány za zcela samostatnou skupinu (jakousi další generaci superplastifikátorů označovanou jako hyperplastifikátory).

Polykarboxyláty (PCL) mají plastifikační účinky především díky sterickým zábranám, vyvolaným hřebenovitou strukturou jejich molekul. Zuby „molekulárních hřebínků“ polykarboxylátů adsorbovaných na povrchu cementových zrn udržují zrna v optimální vzdálenosti.

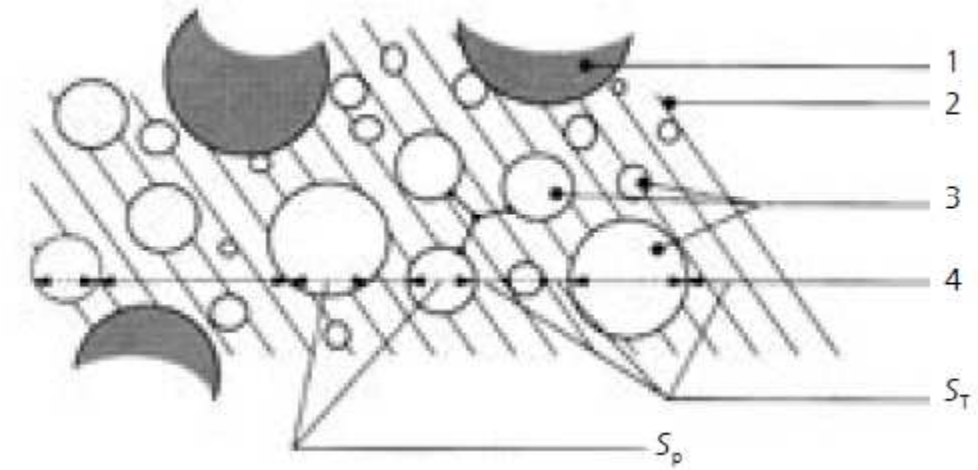
Díky této struktuře není ztekucující efekt polykarboxylátů provázen příliš výrazným rozmíšením čerstvého betonu. S pomocí PCL je proto možné připravit betony natolik tekuté, že nevyžadují zhutňování (viz *kap. 4.6.6.5*).

#### 4.6.4.1.3 Provzdušňující přísady

Při mísení se účinkem jejich vlivu disperguje v čerstvém betonu vzduch ve formě velmi malých, stabilních a vzájemně oddělených bublinek, které zůstávají v betonu i po jeho ztvrdnutí.

Důležitým faktorem pro trvanlivost betonu vystaveného mrazu a rozmrazování případně i účinku rozmrazovacích solí, je pravidelné rozmístění uměle vytvořených vzduchových kulovitých mikropórů o velikosti 10 až 300 μm a jejich vzájemná vzdálenost, označovaná jako součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů *L*, která má být menší než 0,200 mm (dříve označovaná jako Spacing factor).

Ověření součinitele prostorového rozložení vzduchových pórů je velmi náročné, a proto se zpravidla provádí pouze při průkazní zkoušce betonu. Tato zkouška se provádí podle ČSN EN 480-11. Výsledkem je rovněž stanovení celkového obsahu mikropórů $A_{300}$ (%) ve ztvrdlém betonu.




*Obr. 4.81* Schéma měření pórů pro stanovení součinitele prostorového rozložení vzduchových pórů *L* (mm)

1 - zrno kameniva, 2 - cementový kámen, 3 - vzduchové póry, 4 - měřicí rovina mikroskopu,

$S_T$ - měřená délka tuhé látky

$S_p$ - měřená délka pórů

Velikost i distribuce vzduchových pórů ve hmotě ztvrdlého cementové tmelu jsou nezbytným předpokladem pro to, aby póry byly pro celý betonový kompozit přínosem, proto nesmí dojít k jejich zániku při nadměrném zhutňování (vibrování) čerstvého betonu během ukládání do konstrukce.

Přítomnost pórů ve struktuře betonu má ale určitý negativní dopad na mechanické vlastnosti betonu, pevnost v tlaku se snižuje o cca 4 až 5 % na každé procento provzdušnění.

Vlivem přidání provzdušňující přísady nesmí klesnout pevnost betonu po 28 dnech o více jak 25 % proti pevnosti referenčního betonu složeného a vyrobeného podle ČSN EN 480-1, přičemž nárůst obsahu vzduchu v čerstvém betonu musí být větší min. o 2,5 objemových %.

Hlavním účelem cíleného provzdušnění je vytvoření soustavy odolnější proti objemovým změnám. Tento efekt vzniká přerušením přirozené sítě vodou zaplněných kapilár, tvořící se běžně při hydrataci cementového tmelu, velkým množstvím provzdušňujících bublinek.

Prostor v pórech zůstává zaplněn vzduchem díky hydrofobnímu účinku provzdušňující přísady a zlepšuje odolnost betonu proti účinkům ledu, který se tvoří zmrznutím určité části vody v otevřených kapilárách cementového kamene (změna skupenství vody je provázena cca 9 % nárůstem objemu), i proti růstu krystalů chemických solí (v důsledku působení rozmrazovacích posypových solí, příp. účinkem mořské vody).

Vzduchové póry vytvářejí jakýsi záložní prostor pro expandující mrznoucí vodu v kapilárách a snižují hydrostatický tlak působící v pórové struktuře, a tím i riziko vzniku trhlinek ve ztvrdlém cementovém tmelu. Provzdušněný beton má menší objemovou hmotnost oproti neprovzdušněnému, cca o 24 $kg.m^{-3}$ na každé procento objemu vzduchu.

Dávka přísady se volí v takovém množství (zpravidla se pohybuje jen v hodnotě 0,05 až 0,5 % z hmotnosti cementu), aby bylo dosaženo obsahu vzduchu v čerstvém betonu v rozmezí 4,0 až 5 ,5 % (současně se doporučuje zohlednit max. použité zrno kameniva).

Použití provzdušňujících přísad je výhodné zejména u betonů, které budou vystaveny vodě a působení mrazových cyklů a účinkům chemických rozmrazovacích látek (CHRL). Pro některé typy konstrukcí (např. v dopravním stavitelství) je podle ČSN 73 6123-1 nebo předpisu TKP 18 MDS ČR jejich užití povinně vyžadováno.

Po stránce chemické jsou provzdušňující přísady tvořeny solemi přírodních pryskyřičných a mastných kyselin nebo syntetickými tenzidy.

Při jejich přípravě je možné vycházet z kalafuny nebo z talového oleje vznikajícího při sulfátovém zpracování celulózy. Takto připravená provzdušňující činidla obsahují soli kyseliny abietové a pimarové spolu s další látkami fenolického charakteru. Dodávají se ve formě roztoku obsahujícího 5 – 20 % výše uvedených solí.

Stálejší provzdušňující přísady, připravované například z kokosového oleje, obsahují sodné nebo draselné soli kyseliny olejové a kaprinové. K jejich výhodám patří kompatibilita s lignosulfonáty a solemi hydroxykarboxylových kyselin, což umožňuje přípravu aditiv s kombinovaným plastifikačně-provzdušňujícím účinkem.

Kombinovaný účinek provzdušňující a plastifikační účinek vykazují také syntetické sulfonanové tenzidy (dodecylsulfonan sodný, cetylsulfonan sodný, dodecylbenzensulfonan sodný).

Intenzivní provzdušňující účinek mají neionogenní tenzidy typu ethoxylovaných fenolů, zejména ethoxylovaný nonylfenol.

K provzdušnění betonu se vyrábějí také mikrodutinky, což jsou duté tenkostěnné polymerní granulky o velkosti 0,02 – 0,08 mm, přidávané do betonu ve formě vodní pasty.

Při dávce 1 – 3,5 kg na 1 $m^3$ betonu vytvářejí dostatečně hustý systém pórů (součinitel prostorového rozložení < 0,15 mm). Za výhodu mikrodutinek je možné považovat zaručenou velikost vytvářených pórů.

#### 4.6.4.1.4 Stabilizační přísady

Stabilizační přísady redukují odmísení chemicky nevázané (volné) vody ze suspenze cementového tmelu (známé jako bleeding – krvácení betonu), které v některých případech nastává při sedimentaci tuhých částic tmelu. Používají se pro zlepšení jakosti (odolnosti) povrchu betonové konstrukce a ke zvýšení soudržnosti betonu s výztuží.

Pevnost betonu v tlaku po 28 dnech se stabilizační přísadou nesmí klesnout o více než 20 % oproti referenčnímu betonu složenému a vyrobenému podle ČSN EN 480-1 a současně musí být dosaženo nejméně 50 % redukce odlučování vody.

Přísada přispěje tím více ke stabilitě čerstvého betonu, čím více sníží obsah volné vody a zvýší celkový měrný povrch tuhých částic.

Stabilizační přísady mohou být organického nebo anorganického původu. Jejich účinkem se buď pouze zvětšuje měrný povrch tuhých částic v jednotce objemu čerstvého betonu, nebo v druhé fázi reagují s volnou vodou a vážou ji fyzikálně nebo chemicky.

#### 4.6.4.1.5 Přísady zpomalující tuhnutí

Přísady zpomalující tuhnutí brzdí proces hydratace cementového tmelu a prodlužují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického stavu do stavu tuhé látky.

Používají se pro prodloužení doby zpracovatelnosti čerstvého betonu (při dopravě transportbetonu na velké vzdálenosti v letním období), pro omezení pracovních spár při betonáži velkých celků nebo při realizaci vodostavebných konstrukcí (snížení rizika průsaků vody), pro ovlivnění vývinu hydratačního tepla a omezení vzniku trhlinek (u masivních konstrukcí). Jejich retardační účinek může trvat od několika hodin až po několik dnů.

#### 4.6.4.1.6 Přísady urychlující tuhnutí a tvrdnutí

Přísady urychlující proces hydratace cementového tmelu zkracují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického stavu do stavu tuhé látky. Začátek tuhnutí nastává zpravidla o 1 až 3 hodiny dříve a průběh tuhnutí je obvykle kratší o 1 hodinu.

Používají se pro dosažení vysokých počátečních pevností betonu (např. jako ochrana proti zmrznutí povrchu, v technologii stříkaného betonu, nebo ve speciální úpravě, pro utěsnění výronů vody s časem tuhnutí počítaným v minutách).

#### 4.6.4.1.7 Těsnící přísady

Těsnící přísady zvyšují hutnost cementového kamene a snižují jeho pórovitost (objem makropórů). Vytvářejí nerozpustné krystalické sloučeniny, které zmenšují průřez kapilár nebo je zcela zatěsňují. Některé typy na cementové bázi se dají aplikovat i dodatečně ve formě nátěru na beton pro zabezpečení jeho vodotěsnosti nebo plynotěsnosti (např. při sanaci betonové konstrukce).

Speciální kategorii tvoří hydrofobizační přísady, které se používají pro omezení kapilární elevace vody v pórech ztvrdlého betonu a pro snížení nasákavosti povrchových vrstev betonu.

#### 4.6.4.1.8 Ostatní přísady

Pro speciální účely se používají i některé další typy přísad, které ovšem neuvádí ČSN EN 934-2. Jejich vhodnost do betonu podle ČSN EN 206-1 pro konkrétní použití musí být proto prokázána zkouškou.

Protikorozní přísady (inhibitory koroze) snižují korozivní napadení ocelové výztuže v betonu. Vytvářejí na povrchu oceli účinnou pasivační vrstvu, důležitou zejména při karbonataci povrchu betonu vlivem kyselých dešťů a vzdušných oxidů (zejména $CO_2$).

Biocidní přísady omezují biologickou korozi betonu vlivem působení mikroorganizmů (baktérie, plísně, řasy, lišejníky). Přísady musí mít pH alespoň 8, musí být zdravotně nezávadné a nesmějí nepříznivě ovlivňovat vlastnosti čerstvého betonu.

Plynotvorná přísada chemicky reaguje s cementovým tmelem, přičemž se uvolňuje plyn nakypřující beton. Používání hliníku, jehož nakypřující efekt spočívá ve tvorbě vodíku, zůstává omezeno na výrobu pórobetonu (viz *kap. 4.7.2.2*).

Pro injektáže kanálků se přísady uvolňující vodík nesmí používat z důvodu rizika mezikrystalové koroze ocelové výztuže. K tomuto účelu se proto používají přísady uvolňující dusík.

Pěnotvorná přísada způsobuje, že během míchání se fyzikální cestou dostává do betonu velké množství dostatečně pevných a stálých vzduchových bublin a vzniká pěnobeton.

Odpěňovací přísada odstraňuje z čerstvého betonu nadměrné množství vzduchu vneseného např. použitím méně vhodného kameniva či vedlejším účinkem jiné přísady (např. plastifikační).

Expanzní přísada způsobuje v průběhu hydratace cementu trvalé a nevratné rozpínání.

Adhezní přísada se používá pro zlepšení přídržnosti betonu (malty) k podkladu stejného druhu nebo k jiným materiálům.

Protizmrazovací přísada umožňuje betonování při záporných teplotách tím, že snižuje bod mrazu kapalných složek betonu a současně urychluje tvrdnutí betonu. Nesmí být založena na chloridové bázi, aby nezvyšovala riziko koroze výztuže.

### 4.6.4.2 Příměsi

Příměsi jsou pevné jemně práškovité látky používané za účelem ovlivnění některých vlastností čerstvého i ztvrdlého betonu nebo pro získání betonu speciálních vlastností. Při výrobě betonu vyhovujícího ČSN EN 206-1 je možno použít:

- příměsi druhu I, působící v procesu hydratace cementového tmelu téměř inertně
    - kamenné moučky – filery vyhovující ČSN EN 12620+A1,
    - práškové pigmenty barevných tónů vyhovující ČSN EN 12878,
- příměsi druhu II, pro které jsou charakteristické pucolánové vlastnosti nebo latentní hydraulicita projevující se chemicko-fyzikální aktivitou při hydrataci cementového tmelu
    - popílek vyhovující ČSN EN 450-1+A1,
    - křemičitý úlet vyhovující ČSN EN 13263-1+A1.

Příměsi se obvykle dávkují ve větších množstvích než přísady (> 2 hmot. % z dávky cementu), proto musí být vždy započítávány do objemové skladby betonu.

#### 4.6.4.2.1 Jemné podíly plniva

Jedná se o mleté horniny nebo přírodní moučky (filery) s velikostí zrn do 0,125 mm (resp. max. do 0,25 mm). Používají se jako příměs druhu I především ke zlepšení křivky zrnitosti kamenné kostry betonu, a tím i ke zlepšení reologických vlastností čerstvého betonu (např. čerpatelnosti) a pro jeho lepší zhutnění. Větší hutností ztvrdlého betonu lze docílit vyšší odolnosti betonu vůči vlivům prostředí (např. vodotěsnosti).

Jemné podíly kameniva zvyšují přídržnost betonu k podkladu (např. ke starému betonu), zlepšují soudržnost čerstvého betonu (jsou nepostradatelné při výrobě samozhutnitelných betonů – viz *kap. 4.6.6.5*). Bez použití plastifikačních přísad ale vyžadují zvýšené množství vody, což částečně snižuje pevnosti betonu a zvyšuje jeho náchylnost k většímu smršťování. Při volbě dávky se doporučuje zohledňovat max. použité zrno kameniva.

Pigmenty anorganického původu se používají rovněž jako příměs druhu I k probarvení betonu. Jejich předností je dlouhá trvanlivost, stálobarevnost a alkalivzdornost (oproti pigmentům organického původu). Přidávané množství nesmí zásadním způsobem ovlivnit potřebu záměsové vody, neboť by došlo k negativnímu ovlivnění vlastností ztvrdlého betonu.

Nejvýraznější efekt barevnosti lze dosáhnout při použití bílého cementu. Velmi časté je použití barevných pigmentů pro výrobu zámkové dlažby nebo prvky zahradní architektury.

#### 4.6.4.2.2 Popílek

Létavý popílek (fly ash) je produktem spalování uhlí a v podobě velmi jemně zrnitého prášku (cca 0,09 mm) je zachycován v odlučovačích z plynů topenišť.

Jedná se o kulovité sklovité částice sestávající převážně z $SiO_2$ a $Al_2O_3$ a obsahující nejméně 25 % aktivního $SiO_2$, který zajišťuje pucolánovou aktivitu (latentní hydraulicitu) podobnou chování cementu. Kvůli této schopnosti může být popílek počítán mezi příměsi druhu II.

Popílek je možné používat s výhodou jako částečnou náhradu cementu, ale nevylučuje se ani jeho použití jako inertního plniva (příměsi druhu I) bez vlivu na dávkování cementu.

Přestože je popílek v podstatě odpadní látkou (a jako každý odpad může vykazovat proměnlivé chemické, mineralogické, granulometrické složení v závislosti na druhu spalovaného uhlí, typu topeniště, technickém řešení spalování i způsobu odlučování), musí pro každé použití do betonu podle ČSN EN 206-1 splňovat požadavky ČSN EN 450-1+A1 nebo ČSN EN 12620+A1.

Popílek jako doplňkovou složku betonu lze s výhodou použít v mnoha účelech:

- ve formě fileru (druh příměsi I) optimalizuje křivku zrnitosti kameniva, zvyšuje podíl jemných částic pro dobrou čerpatelnost čerstvého betonu, zlepšuje zpracovatelnost a soudržnost čerstvého betonu, zmenšuje náchylnost na rozmíšení čerstvého betonu při dopravě a zpracování,
- s prokázanou pucolánovou aktivitou (druh příměsi II) může v určitých případech nahradit část dávky cementu bez ovlivnění konečných pevností betonu,
- při betonáži masivních betonových konstrukcí příznivě ovlivňuje proces tuhnutí a tvrdnutí včetně vývinu hydratačního tepla, omezuje proces reversibilního smršťování betonu,
- zvyšuje odolnost betonu v chemicky agresivním prostředí,
- příznivě ovlivňuje hutnost cementového tmelu a těsnost povrchových vrstev ztvrdlého betonu proti působení tlakové vody, zpomaluje proces karbonatace povrchu ztvrdlého betonu.

Použití popílku v betonu má však i určitá rizika, která je nutno respektovat a zohlednit při výběru konkrétního typu popílku a při volbě jeho dávky:

- vysoký obsah oxidu vápenatého (CaO) v popílku způsobuje objemové změny čerstvého a tuhnoucího betonu, způsobuje vnitřní napětí s rozvojem trhlin v cementovém tmelu, snižuje pevnost ztvrdlého betonu zejména v tahu za ohybu, případně může způsobit i destrukci struktury,
- vysoký obsah oxidu sírového ($SO_3$) zpravidla vyjadřovaný jako obsah celkové síry v popílku způsobuje síranovou korozi ztvrdlého betonu a jeho objemové změny,
- vysoký podíl spalitelných látek, především obsahu neshořelého zbytkového uhlíku v popílku, ovlivňuje negativně obsah vzduchu v provzdušněném čerstvém betonu, narušuje (zpomaluje) proces tuhnutí a tvrdnutí čerstvého betonu, snižuje trvanlivosti betonu, např. způsobuje odlupování povrchu ztvrdlého betonu,
- vysoký obsah chloridů ($Cl^-$) v popílku může ovlivnit jejich celkové množství v betonu s rizikem koroze uložené ocelové výztuže,
- nepřiměřená dávka popílku ovlivňuje obsah skutečně potřebné záměsové vody, mění reologické vlastnosti čerstvého betonu, obvykle způsobuje tzv. bleeding – odlučování vody na povrchu uloženého betonu s rizikem následného snížení trvanlivosti ztvrdlého betonu (odolnosti vodě a rozmrazovacím prostředkům, cyklům mrazu a tání), zvyšuje propustnost struktury betonu při působení tlakové vody,
- není vhodné používat popílek při betonáži za nízkých teplot.

Použití konkrétního typu popílku pro výrobu betonu a jeho maximální množství musí být vždy ověřeno průkazní zkouškou. ČSN EN 206-1 zavádí možnost použití tzv. *k*-hodnoty. Zavedení tohoto parametru dovoluje vzít v úvahu pro výpočet vodního součinitele (w/c) upravený vztah ve formě:

$$w/c = \frac{voda}{cement + (k.popílek)},$$

respektive umožňuje redukci minimálního obsahu cementu, případně mezní normativní hodnoty dávky cementu, stanovené podle Přílohy F ČSN EN 206-1 ve znění změny Z3 (2008 ).

Základní požadavky na popílek do betonu *Tab. 4 98.*

| Vlastnost podle způsobu užití popílku | Jednotka | Pucolánová příměs druhu II | Filer jako kamenivo příměs druhu I |
|---|---|---|---|
| | | ČSN EN 450 | ČSN EN 12620 |
| Ztráta žíháním | % hmot. | max. 5,0[1)] | – |
| Obsah $SO_3$ | % hmot. | max. 3,0 | max. 0,8 |
| Obsah celkové síry | % hmot. | – | 1,0 |
| Obsah chloridů v přepočtu na Cl- | % hmot. | max. 0,10 | 0,03/0,06/0,15[6)] |
| Obsah volného CaO | % hmot. | max. 1,0[2)] | – |
| Jemnost, zbytek na sítě 0,045 mm | % hmot. | max. 40[3)] | – |
| Sítový rozbor, propad na sítě:<br>2 mm<br>0,125 mm<br>0,063 mm | % | – | <br>100<br>85 – 100<br>70 – 100 |
| Obsah aktivního $SiO_2$ | % hmot. | min. 25 | – |
| Objemová stálost (roztažnost) | mm | max. 10[2)] | – |
| Index účinnosti po 28 (90) dnech | % | min. 75 (85) | – |
| Měrná hmotnost (tolerance) | $kg.m^{-3}$ | max. ±150[4)] | – |
| Hmotnostní aktivita $Ra^{226}$ | $Bq.kg^{-1}$ | max. 200[5)] | – |

Vysvětlivky k tabulce z odkazů a poznámek uvedených norem:

1) Na národní úrovni je dovoleno používat popílky se ztrátou žíháním až do 7% hmotnosti.
2) Popílek s obsahem volného oxidu vápenatého více než 1,0% hmotnosti, ale méně než 2,5% hmotnosti je přijatelný za předpokladu, že vyhoví požadavkům na objemovou stálost.
3) Jemnost mletí popílku nesmí kolísat o více než ±10% z průměrné hodnoty, která je stanovena za předem dané časové období výrobcem.
4) Tolerance od průměrné hodnoty uváděné výrobcem.
5) Limit hodnoty stanovený vyhláškou SÚJB č. 184/1997 Sb.
6) Maximální hodnoty pro předpjatý, železový a prostý beton vodou rozpustných $Cl^-$ k hmotnosti celkového kameniva.

Maximální množství popílku jako příměsi druhu II, které lze uvažovat u výpočtu s použitím *k*-hodnoty pro cementy CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S a CEM III/A musí vyhovovat hmotnostnímu poměru w/c ≤ 0,33.

Bude-li do betonu přidáno na základě výsledků průkazní zkoušky větší množství popílku než je uvedený limit, pak se přebývající část nesmí brát v úvahu pro výpočet vodního součinitele ani pro stanovení minimálního obsahu cementu pro daný stupeň vlivu prostředí.

Pro beton s cementem CEM I 32,5 je dovoleno použít hodnoty $k = 0,2$. Stejné hodnoty $k = 0,2$ a upravený vztah pro výpočet vodního součinitele (w/c) je dovoleno použít i pro beton s cementy CEM II/A-S, CEM II/B-S a CEM III/A pro všechny stupně vlivu prostředí s výjimkou XF2 a XF4. Pro beton s cementem CEM I 42,5 a vyšší třídy je dovoleno použití hodnoty $k = 0,4$.

Při úpravě skladby betonu zavedením *k*-hodnoty se musí respektovat podmínka, že množství (cement + popílek) nesmí být menší, než je minimální obsah cementu požadovaný pro specifikované prostředí.

Pro beton obsahující kombinaci popílku se síranovzdorným cementem CEM I podle ČSN 72 2103 pro stupně vlivu prostředí XA2 a XA3 se síranovým působením, se použít koncepce *k*-hodnoty nedoporučuje.

#### 4.6.4.2.3 Křemičitý úlet

Křemičitý úlet (silica fume) je jemná amorfní minerální příměs, která je odpadem některých hutnických provozů. Stále častěji se však tato látka označuje jako mikrosilika nebo ještě jednodušeji silika.

Mikrosilika obsahuje až 98 % amorfního $SiO_2$ ve tvaru kulovitých zrn o průměru menším jak 0,001 mm. Vyznačuje se mimořádně velkým měrným povrchem (obvykle 20 000 až 60 000 $m^2.kg^{-1}$) a dobrými pucolánovými vlastnostmi. Proto též patří do příměsí druhu II.

Běžné dávkování v sypkém stavu činí 3 až 5 hmot. % z dávky cementu (u cementů směsných platí nižší hodnota pro zachování dostatečné alkality betonu pro pasivaci ocelové výztuže). Osvědčilo se dávkování křemičitého úletu ve vodní suspenzi.

Mikrosilika příznivě ovlivňuje pórovou strukturu betonu, a tím i některé vlastnosti ztvrdlého betonu:

- zvyšuje pevnost betonu i při současné redukci dávky cementu (používá se např. pro výrobu vysokopevnostních betonů – viz *kap. 4.6.6.4*),
- zvyšuje trvanlivost betonu, odolnost vůči působení agresivních činitelů vnějšího prostředí,
- omezuje alkalický rozpad kameniva,
- snižuje rychlost karbonatace povrchových vrstev betonu,
- zlepšuje soudržnost (kohezi) čerstvého betonu (osvědčila se v technologii stříkaných betonů, kde bylo sledováno snížení odpadu stříkaného betonu vlivem jeho zpětného odrazu).

Použití křemičitého úletu pro výrobu betonu a jeho maximální množství musí být vždy ověřeno průkazní zkouškou. ČSN EN 206-1 zavádí možnost použití tzv. koncepce *k*-hodnoty, obdobně jako pro popílek i pro mikrosiliku vyhovující ČSN EN 13263-1+A1. Maximální množství křemičitého úletu jako příměsi druhu II, které lze vzít v úvahu pro výpočet (w/c) a výpočet obsahu cementu, musí vyhovovat požadavku hmotnostnímu poměru: křemičitý úlet/cement ≤ 0,11.

Bude-li do betonu přidáno na základě výsledků průkazní zkoušky větší množství křemičitého úletu, než je uvedený limit, pak se přebývající část nesmí brát v úvahu při koncepci *k*-hodnoty.

Pro beton obsahující cement CEM I s určeným vodním součinitelem ≤ 0,45 je dovoleno použít hodnoty $k = 2,0$. Pro určený vodní součinitel > 0,45 je dovoleno rovněž použití hodnoty $k = 2,0$, s výjimkou pro všechny stupně vlivu prostředí XC a XF, kdy musí být použita hodnota $k = 1$.

Množství (cement + $k$ x křemičitý úlet) nesmí být menší, než je doporučený minimální obsah cementu, resp. stanovená mezní normativní hodnota (pro příslušný stupeň vlivu agresivity prostředí podle Přílohy F ČSN EN 206-1 ve znění Změny 3 (2008).

Minimální obsah cementu nesmí být snížen více než o 30 $kg.m^{-3}$ betonu použitého pro stupně vlivu prostředí, které vyžadují min. obsah cementu ≤ 300 $kg.m^{-3}$.

### 4.6.5 Transportbeton

V současnosti je zcela převládajícím způsobem přípravy betonu jeho výroba ve formě transportbetonu.

Transportbetonem je zpravidla nejčastěji nazýván čerstvý beton vyrobený v centrální betonárně, ale může se také jednat o beton vyrobený přímo na staveništi např. v mobilní betonárně jiným subjektem než odběratelem. Na staveniště či po staveništi je přepravován převážně nákladními auty se speciální nástavbou, tzv. autodomíchávači (při konzistenci S2 a větší) nebo vanovými přepravníky (při konzistenci S1 a zavlhlé).

Výroba monolitických betonových a železobetonových konstrukcí v pozemním i dopravním stavitelství je v dnešní době téměř výlučně realizována formou dodávek transportbetonu. Na jeho výrobu se specializovala řada stavebních společností, které plně pokrývají celé území ČR.

Výroba transportbetonu je plně mechanizovaná a v moderních výrobnách již i plně automatizovaná. Centrální betonárny jsou schopny podle předem ověřených receptur (formou průkazní zkoušky) v krátké době vyrábět velká množství čerstvého betonu (16 až 90 $m^3.h^{-1}$) při zachování jeho homogenity (stejnorodosti). Tabulkový výkon míchacích zařízení je ve skutečnosti ještě větší (120 $m^3.h^{-1}$), skutečná produkce však klesá s ohledem na diskontinuity v přistavování autodomíchávačů.

Autodomíchávače (auta s nástavbou otáčivého bubnu o užitném objemu 4 až 12 $m^3$ čerstvého betonu) jsou konstrukčně vybaveny tak, aby nedocházelo při dopravě k rozměšování čerstvého betonu a zůstalo zachováno jeho stejnoměrné složení. To je umožněno optimalizovanými rovnoměrnými otáčkami bubnu během přepravy čerstvého betonu na staveniště.

Za určitých velmi omezených provozních podmínek mohou fungovat i jako *automíchače*, tedy jako pojízdné míchačky, kdy do předem nadávkovaných suchých složek betonu dodají potřebný objem záměsové vody z vlastního zásobníku a provedou homogenizaci čerstvého betonu během přepravy nebo až na místě stavby. V případě zvláštních požadavků ve specifikaci betonu, umožňují po dojezdu na staveniště dodatečné rozmíchání přísady s krátkou dobou účinnosti nebo vláken pro vytvoření vláknobetonu – viz *kap. 4.6.7.6*).

Měnit složení transportbetonu při dodání na staveniště je obecně zakázáno. Výjimkou může být přidání určitého omezeného množství vody nebo plastifikační přísady za účelem úpravy konzistence, pokud nebudou překročeny mezní hodnoty dávek uvedené ve specifikaci a toto přidání bylo součástí návrhu skladby betonu.

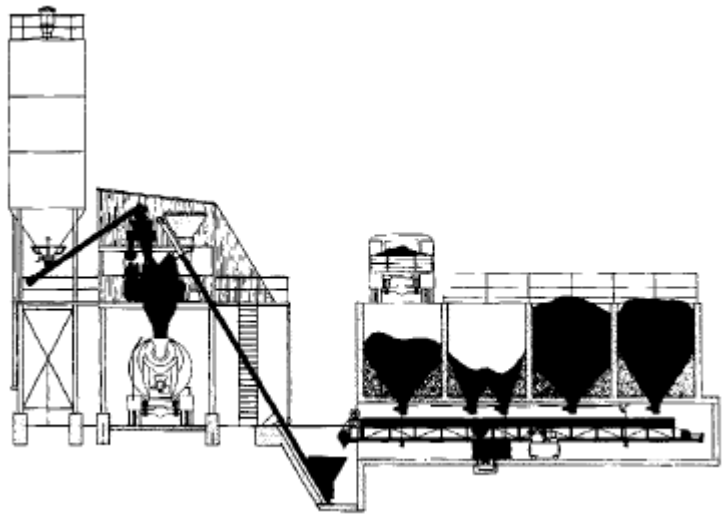
V žádném případě není dovoleno přidání vody, pokud nejsou předem ověřeny vlastnosti betonu s vyšší dávkou vody při průkazní zkoušce. Každá změna složení musí být zaznamenána v dodacím listě transportbetonu a za kvalitu betonu (konečné vlastnosti betonu) je zodpovědný ten, kdo rozhodl o jeho úpravě. K tomuto účelu by měla být vyrobena zvláštní sada zkušebních těles. Pro úspěšnou regulaci vlastností transportbetonu již při jeho návrhu složení, je dnes k dispozici poměrně široký výběr chemických přísad – viz *kap. 4.6.4.1.5*.

Maximální doba přepravy transportbetonu je závislá na složení čerstvého betonu, vývoji jeho pevnosti (viz *tab. 4.*) a na klimatických podmínkách. Zpravidla by doba přepravy autodomíchávačem neměla překročit 90 minut a přepravníkem s korbou 45 minut od prvního styku cementu s vodou, což odpovídá obvyklým dopravním vzdálenostem cca do 35 km.

Dodávky čerstvého betonu ve formě transportbetonu na staveniště zpravidla ve velmi rovnoměrné jakosti zjednodušují jeho ukládání i zpracování a v konečném efektu dávají předpoklad k dosažení velmi dobré kvality betonových konstrukcí.

Centrální betonárna je vybavena velínem, mísicím centrem (míchačkou) a skladovacími prostory pro složky betonu. Pojiva jsou vždy uložena v silech, jednotlivé frakce kameniva (zpravidla bývají 2 až 3) podle typu betonárny také v silech, nebo častěji jsou uložena jen volně na řízených skládkách na zpevněném odvodněném podloží (v oddělených kójích, boxech apod.). Většina chemických přísad je používána v tekutém stavu, proto musí být při skladování chráněna před mrazem. Příklad uspořádání betonárny je na *obr. 4.* 82.

Při skladování všech složek musí být vždy zabezpečeno, aby nedocházelo k jejich znečištění, vzájemnému promíchávání nebo jinému znehodnocení. Složky musí být v místě uložení také řádně označeny. Při skladování hrubého kameniva v široké frakci (štěrkopísku), je třeba zabránit odmísení hrubých zrn. Vlastnosti základních složek musí být na betonárně pravidelně kontrolovány s ohledem na zcela přirozené kolísání jejich kvality, aby se toto nemohlo projevit do výsledné kvalitě vyrobeného betonu. Rozsah a četnost kontrol složek betonu, výrobního zařízení a výrobních postupů stanovuje ČSN EN 206-1.



*Obr. 4.82 Centrální betonárna – uspořádání skládek cementu a kameniva, kamenivo v boxech s nájezdovou rampou (odběr spodní) [Nedbal, F., 1998]*

Základem pro výrobu transportbetonu je specifikace betonu (viz *kap. 4.6.1.2*) předaná specifikátorem, zpravidla odběratelem betonu, která musí být doplněna informacemi a místu, datu, času a četnosti dodávek a také případně informacemi o speciálních podmínkách přepravy a ukládání na staveništi. Zpětně musí výrobce betonu pro každou dodávku předložit odběrateli dodací list s údaji v rozsahu stanoveném ČSN EN 206-1.

Odběratel může v předstihu od výrobce požadovat informace o výsledcích zkoušek dodávaného betonu z předchozího období, o druhu a původu složek včetně hodnoty vodního součinitele a nárůstu pevnosti, aby mohl předem zajistit vhodné ukládání a ošetřování čerstvého betonu, např. s ohledem na průběh nárůstu pevnosti betonu..

### 4.6.6 Železobeton a předpjatý beton

Beton je konstrukční materiál vyznačující se především vysokou pevností v tlaku a malou pevností v tahu, která dosahuje obvykle jen asi 8 % až 10 % hodnoty pevnosti v tlaku. Beton je též při lomu relativně velmi křehký a náchylný k tvorbě trhlin. Odstranění tohoto nedostatku bylo řešeno od samého počátku rozvoje technologie betonu hledáním vhodného způsobu vyztužení, které by bylo s vlastnostmi betonu trvale kompatibilní.

Vlastní provedení je zjednodušeno tvárností betonu v čerstvém stavu, takže výztužné vložky lze vložit přímo do struktury betonu, a právě do těch míst, kde budou plně staticky využity.

### 4.6.6.1 Železobeton

Železobeton je stavivo, které vzniká spojením čerstvého betonu s ocelovými pruty nebo svařenými sítěmi (betonářskou výztuží) při vytváření monolitické stavební konstrukce či její části nebo vytváří stavební prvek ve formě prefabrikátu. Tvrdnutím betonu dochází k dokonalému spojení ocelových vložek s betonem v jeden celek se vzájemným statickým spolupůsobením proti vlivu účinků vnějších sil. Přitom každý z obou konstrukčních prvků přispívá svými dobrými mechanicko-fyzikálními vlastnostmi k celkové pevnosti železobetonu ve všech směrech možného působení zatížení. Ocel se v tomto případě uplatňuje především svou velkou pevností v tahu a beton svou velkou pevností v tlaku.

Použití oceli jako výztuže do betonu pro zachování trvalého a dokonalého spojení i vzájemného spolupůsobení obou materiálů vychází z následujících podmínek:

- vzájemné dobré soudržnosti (přilnavosti), kterou lze dále zvýšit úpravou povrchu oceli (např. vystupujícími žebírky = žebírková výztuž), úpravou kotvení výztuže (háky, kotevní desky) nebo složením čerstvého betonu s dostatečným množstvím cementu a jemných podílů kameniva,
- vzájemně velmi blízké hodnoty tepelné roztažnosti $\alpha_t$ (beton $12.10^{-6}$ $K^{-1}$, ocel 10-$12.10^{-6}$ $K^{-1}$), čímž je zajištěno, že nenastane porušení soudržnosti vlivem účinků změn teploty,
- vzájemné snášenlivosti betonu a oceli bez vzniku korozivních reakcí.

Správným zabetonováním ocelové výztuže do betonu se dociluje stavu, při kterém beton převážně přenáší tlaková napětí a vložená ocelová výztuž tahová napětí.

Vzájemnou soudržností obou materiálů je bráněno smršťování betonu v běžných atmosférických podmínkách. Jejich dobré spolupůsobení musí být zajištěno dostatečnou hutností a pevností ztvrdlého betonu.

Uložená výztuž musí být chráněna dostatečnou krycí vrstvou betonu, který ji díky své vysoké alkalitě (pH > 12) zajišťuje ochranu (pasivaci) proti korozi (vlivem působení vlhkosti a vzdušných oxidů).

Umístění výztuže do průřezu stavebních konstrukcí je různé. Je určeno způsobem statického namáhání vnějším zatížením, které může působit tlakem, tahem za ohybu, prostým tahem, smykem i kroucením. Ocelovou výztuž je možno vkládat i do tlačených průřezů (sloupů a stěn), za účelem zvýšení jejich únosnosti i a zabezpečení stability (vzpěrné pevnosti). V železobetonovém průřezu namáhaném ohybovým momentem je staticky využita jen určitá část plochy betonu poskytující rovnováhu vnitřních sil (v betonu a výztuži) Určitou nevýhodou železobetonu je poměrně vysoká hmotnost konstrukcí nebo dílců, která se ovšem částečně odstraňuje zaváděním výroby vysokopevnostních betonů.

Beton se vyztužuje betonářskou tyčovou ocelí, nebo ocelovými svařenými sítěmi – viz *kap. 4.8.1.2.4*. Tato výztuž může být případně doplněna nebo v některých vhodných případech zcela nahrazena rozptýlenou výztuží (vláknobeton – viz *kap. 4.6.7.6*). Železobeton má velmi široké uplatnění ve všech oblastech stavebnictví, ať už ve formě monoliticky provedených konstrukcí (odlévaných do bednění), nebo ve formě montovaných konstrukcí z továrně vyrobených dílců (prefabrikátů).

### 4.6.6.2 Předpjatý beton

Předpjatý beton je výsledkem postupného zvyšování kvality betonu i kvalitativních parametrů výztužných ocelí, při kterém se plně uplatňují jejich rozdílné mechanicko-fyzikální vlastnosti při zatížení v tlaku či tahu. Současně se plně využívá podmínek jejich velmi dobrého vzájemného spolupůsobení (soudržnosti), které bylo základem rozvoje železobetonových konstrukcí.

Myšlenka předpjatého betonu pochází od Lunda a Koena již z roku 1905. Při jejich pokusné aplikaci došlo ovšem ke ztrátě vneseného předpětí v důsledku nízké pevnosti použitého betonu a použitím oceli s velkou průtažností. Tato jejich negativní zkušenost ve ztrátě tlakového napětí vývoj předpjatých konstrukcí pozdržela. K dalšímu rozvoji přispěl Freyssinet, který ukázal na nezbytnost použití kvalitních materiálů, tedy betonu s velkou pevností, malým smršťováním a dotvarováním a výztuže o malé průtažnosti.

Základní charakteristikou předpjatého betonu je vnesení napětí v tlaku do betonového prvku, a to především do míst, kde by jinak účinkem zatížení vznikala napětí v tahu. Vytvořené tlakové napětí musí ve všech částech prvku a za všech okolností montážního i provozního stádia stavby převyšovat ohybová napětí vyvozená působícím zatížením (včetně vlastní hmotnosti ).

Vlivem předpětí a zatížení prvku dochází ke kombinaci tlaku s ohybem jako u kleneb (obdoba rovné klenby). V předpjatém betonu je tak vyloučen vznik trhlinek v tažené oblasti betonu.

Předpjatý beton plně využívá velmi dobré únosnosti betonu v tlaku, což staticky vede k lepšímu využití celého průřezu a k odhmotnění betonových konstrukcí při větších rozpětích.

Nejčastějším a nejúčinnějším způsobem je předpínání pomocí vysokopevnostní předpínací výztuže. Používají se tzv. patentované dráty (buď jako jednoduché struny, nebo složené v pramence), lana či kabely anebo tyčová předpínací výztuž - viz *kap. 4.8.1.2.6*.

Předpjaté betony lze podle způsobu předpínání rozdělit na:

- předem předpjaté,
- dodatečně předpjaté.

Při výrobě předem předpjatých konstrukčních prvků se nejdříve stanovenou silou napne výztuž, zakotví se v čelech tuhé formy, nebo v kotevních blocích, a následně se provede betonáž. Po ztvrdnutí betonu se výztuž uvolní z kotev a při její spontánní snaze zkrátit se na původní délku dochází vlivem její soudržnosti s betonem k žádanému předepnutí betonu (vnesení tlakového napětí).

Jako předpínací výztuž se používají obvykle tenké dráty (struny – strunobeton), které jsou v betonu kotveny pouhou soudržností (bez zvláštních kotevních prvků). Tímto způsobem se zhotovují např. stropní a střešní desky, dutinové panely a některé nosníky. Vyrábějí se obvykle v délce několika prvků a teprve následně se rozdělují řezem nebo přepálením výztuže v nevybetonovaných mezerách.

Jiným způsobem lze předem vnášet předpětí pomocí elektroohřevu při použití tyčové předpínací výztuže s upraveným povrchem. Používá se pro výrobu stropních panelů předepjatých pouze částečně.

Při dodatečném předpínání se nejprve vybetonuje dílec, v kterém se vytvoří soustava průběžných kanálků, např. vložením ohebných trubek. Obvykle až po dostatečném ztvrdnutí betonu se do kanálků vloží přepínací dráty (kabely), na jedné čelní straně se zakotví (do kotevní desky) a na druhé straně se pomocí napínacího lisu (tzv. pistole) do nich zavede požadované napětí a napnuté se rovněž zakotví (do kotevní desky).

Napjatá výztuž přitahuje k sobě kotevní desky na obou koncích prvku a ty vnášejí předpínací sílu do betonového prvku. Zbylý prostor v kabelových kanálcích se zpravidla tlakově zainjektuje (těsně vyplní) cementovou kaší (injektážní maltou). Tato injektáž má za úkol chránit předepnutou výztuž před korozí.

Dodatečně předpínání se používá především v mostním stavitelství při spojování betonových segmentů nebo při monolitickém způsobu provádění konstrukcí na velká rozpětí (tzv. letmá betonáž – betonáž po dílech krakorcovitě od podpor).

Předpjaté konstrukce jsou z hlediska materiálové spotřeby úsporné. Uvádí se, že oproti železobetonovým konstrukcím lze docílit úsporu betonu 20 až 30 %, oceli 50 až 70 % a bednění až 40 % . Při cenovém porovnání naopak zase vyžadují vyšší kvalitu betonu (zpravidla CEM I 52,5), vysokohodnotnou ocel a specifické technologické vybavení.

Předpjatý beton je považován za určitý vrchol betonového stavitelství. Jako každá významná vědecká oblast, je rozvíjen a zdokonalován. Jeho použití je velmi široké od běžných stropních desek až po mnohdy zcela ojedinělé a monumentální projekty zastřešení nebo mostních konstrukcí.

### 4.6.7 Speciální betony

Do kategorie speciálních betonů se zařazují především takové betony, u nichž některý z klíčových parametrů nabývá (alespoň ve srovnání s betonem pro běžné použití) neobvyklé hodnoty. Do této kategorie tedy patří betony s garantovanou vodotěsností (betony vodostavební), neobvyklou objemovou hmotností (lehké a těžké betony), mimořádnou pevností (vysokopevnostní betony) a zvýšenou zpracovatelností (samozhutnitelné betony).

Je možné sem dále zahrnout betony, jejichž formulace se výrazněji liší od běžně používaného betonu. Jedná se o betony s drobným plnivem (cementové potěry), betony s obsahem rozptýlené výztuže (vláknobetony, drátkobetony) a betony s odlišným pojivovým systémem (polymercementové betony, polymerbetony).

#### 4.6.7.1 Vodostavební beton a beton pro masivní konstrukce

Vodostavební beton je speciálním druhem trvanlivého betonu, u něhož byla zvláštními postupy zabezpečena dostatečná odolnost proti účinkům tlakové vody (vodotěsnost) do té míry, že na vodou nezatížené straně nevznikají viditelné průsaky ani vlhké skvrny.

Z vodostavebních betonů se převážně budují železobetonové konstrukce, které jsou dlouhodobě jednostranně vystaveny vodě a vodnímu tlaku, případně i proudící vodě, a současně je požadována jejich odolnost vlivům agresivity prostředí nebo střídavému působení mrazu a tání. Konkrétní použití může být velmi rozmanité:

- vodní díla, gravitační přehrady, části zemních hrází,
- úpravny a čistírny vod (ČOV),
- vodojemy a nádrže všeho druhu,
- trubní rozvody a dílce pro kanalizační systémy,
- vyztužené skořepiny trupů říčních plavidel,
- ostění tunelů realizované v technologii stříkaných betonů,
- podzemní objekty nebo části konstrukcí vystavené účinkům vody, resp. i zemní vlhkosti, které nemají běžnou vrstvu vodotěsné izolace - tzv. „bílé vany“.
-
    - Provádění podzemních částí běžných objektů z vodostavebního betonu namísto klasického vkládání hydroizolace je dnes velmi rozšířeno. Firmy, které zvládly technologii vodostavebního betonu, se k izolacím fóliemi či asfaltovými pásy vracejí jen v případě radonového rizika.

Do kategorie vodostavebních betonů se zařazují i betony zhotovované zvláštními postupy při ukládání pod vodou - viz *kap. 4.6.7.2* .

Základní požadavky na provádění vodohospodářských a masivních konstrukcí z vodostavebního betonu jsou specifikovány v ČSN EN 13670, kam byly přeneseny po zrušení normy ČSN 73 1209. Obecně vyplývají z polohy betonu v konstrukci při zohlednění hladiny omývající vody, z rozměru konstrukce (tenkostěnná nebo masivní) a ze statické funkce.

Podle účelu použití se specifikují speciální vlastnosti ztvrdlého betonu, a to odolnost tlakové vodě (vodotěsnost), odolnost proti korozi, mrazuvzdornost a odolnost proti abrazivnímu působení vodou unášených splavenin.

Nejnižší přípustná třída betonu vystaveného dlouhodobým účinkům proudící vody je stanovena C 20/25. Proti extrémním účinkům obrušování a otloukání povrchu betonu unášenými splaveninami anebo proti nárazům plovoucích hmot, musí být betonová konstrukce vodohospodářské stavby chráněna vrstvou betonu tloušťky nejméně 300 mm provedenou z pevnostní třídy min. C 35/45. Beton této vrstvy nesmí obsahovat kamenivo drcené z uhličitanových hornin a otlukovost použitého kameniva stanovená podle ČSN EN 1097-2 nesmí překročit hodnotu 30. Mezní hodnoty pro složení a vlastnosti betonu v prostředí s pohyblivým mechanickým zatížením (obrusem) jsou uvedeny v *kap. 4.6.3.2*.

Ochranu proti obrušování a otloukání povrchu betonu je možno řešit rovněž zvláštní vrstvou z jiné hmoty (např. dlažbou, polymerbetonovou vrstvou apod.).

Vodotěsnost vlastního betonu (odhlédne-li se od možných vad způsobených při betonáži) závisí především na pórové struktuře ztvrdlého cementového tmelu danou četností, tvarem, velikostí a vzájemným propojením kapilárních pórů a makropórů.

Cementový kámen zhotovený s vodním součinitelem w/c ≤ 0,4 je možno považovat za téměř nepropustný, s (w/c) v rozmezí hodnot 0,4 až 0,6 je obvykle dosahováno ještě vyhovující vodotěsnosti betonu. Vodní součinitel w/c > 0,6 je možno použít pouze pro masivní betonové konstrukce.

Beton vyrobený podle ČSN EN 206-1 je považován za vodotěsný, nepřesáhne-li maximální hloubka průsaku vody požadavek mezní hodnoty ve vazbě na stupeň vlivu prostředí a předpokládanou životnost betonu.

Maximální dovolené hloubky průsaku tlakové vody jsou stanoveny v rozmezí hodnot 20 mm až 50 mm při zkoušce podle ČSN EN 12390-8 – viz *kap. 5.3.2.5*.

Vodotěsnost železobetonových konstrukcí je ovšem rozhodujícím způsobem ovlivňována vlastním dispozičním a statickým návrhem konstrukce, včetně vhodného umístění i provedení pracovních a dilatačních spár a dostatečné dimenze výztuže pro zabránění vzniku trhlin.

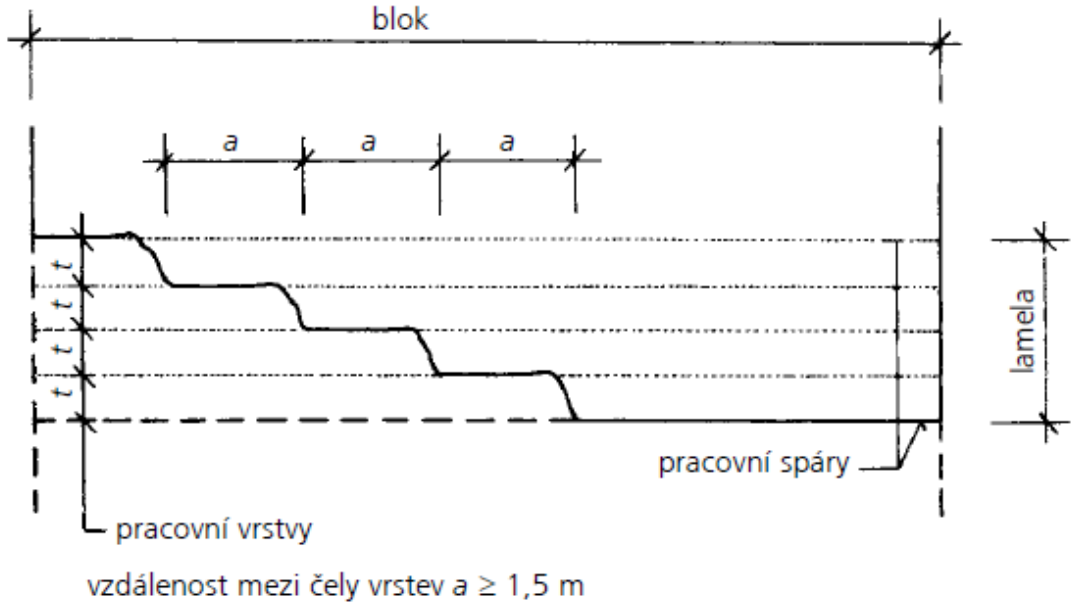
K tvorbě trhlin dochází tehdy, jsou-li napětí v tahu vyvozená teplotou či objemovou změnou betonu větší, než je v daném čase pevnost betonu v tahu. To je nutno technologicky zohlednit především při provádění masivních konstrukcí vhodným složením betonu (druhem a koncentrací složek – viz *tab. 4.87*), řízeným postupem betonování (po vrstvách – lamelách tloušťky od 300 do 500 mm podle max. zrna kameniva – viz *obr. 4.*) a zabráněním nadměrného odpařování vody s povrchu betonu. Náhodnému vzniku trhlin se zabraňuje např. vložením prvků pro tvorbu řízených („vynucených“) spár, které je ovšem nutno následně vhodně zatěsnit.

Doporučené složení vodostavebního betonu *Tab. 4.99*

| Složení vodostavebního betonu | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Velikost největšího zrna $D_{max}$ (mm) | 8 | 16 | 22 | 32 | 63 | 125 |
| Počet frakcí kameniva | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 |
| Tuhé částice do 0,25 mm[1)] ($kg.m^{-3}$) | 525 | 450 | 420 | 400 | 325 | 300 |
| Obsah vzduchu (%) | - | 6,2 – 7,5 | 6 – 7 | 5 – 5,5 | 4 – 4,5 | 3,5 – 4 |

Poznámka:
[1)] Včetně dávky cementu

Specifické podmínky provádění masivních konstrukcí s ohledem na jejich vodotěsnost a trvanlivost stanovuje ČSN EN 13670.




*Obr. 4.83* Schéma postupu betonování masivní konstrukce

### 4.6.7.2 Lehký beton

Do skupiny lehkých betonů (light-weight concrete) LC se zařazují betony vylehčené buď dutinami nebo větším množstvím pórů přímo v textuře betonu, které byly vyrobeny zcela nebo z části za použití pórovitého kameniva – viz *kap. 4.1.3.4* či pomocí plynotvorných a pěnotvorných přísad – viz *kap. 4.6.4.1.8*. Případně též betony vyrobené kombinací obou variant vylehčení. Jako plniva je možno za určitých podmínek použít i různých upravených průmyslových odpadů. Oproti obyčejnému betonu se vyznačují sníženou objemovou hmotností pod hodnotu 2 000 kg.m$^{-3}$ v suchém stavu a jejich konečné vlastnosti lze rovněž snadno cíleně upravovat skladbou základních i doplňkových složek.

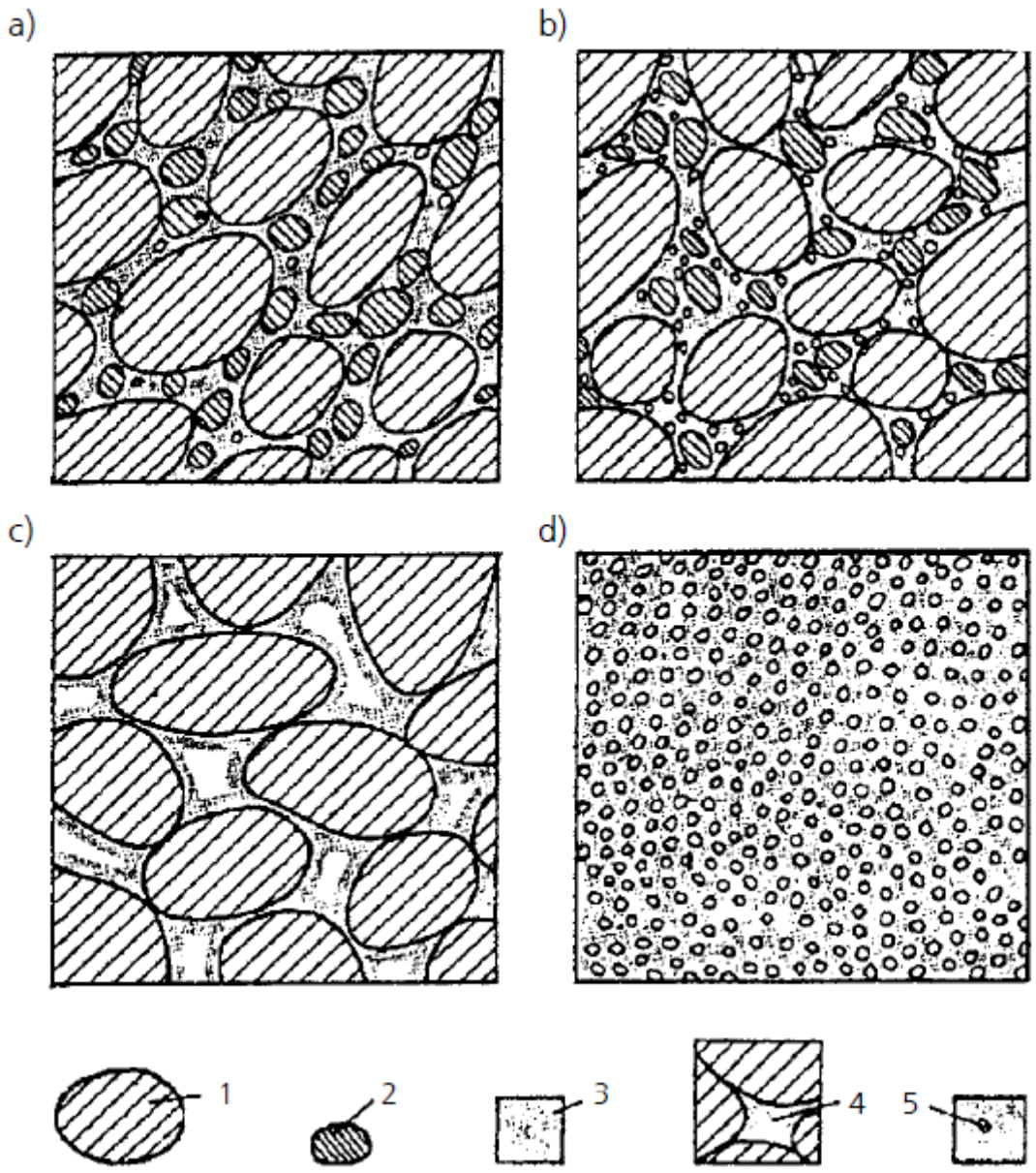
Použitím lehkých betonů lze snížit vlastní hmotnost konstrukcí. Využívá se především jejich příznivějších tepelně izolačních vlastností pro technicky hospodárnou realizaci stavebních konstrukcí.

#### 4.6.7.2.1 Rozdělení a obecné vlastnosti lehkých betonů

Objemová hmotnost lehkých betonů (LC) v suchém stavu se obvykle pohybuje v rozmezí již od 200 kg.m$^{-3}$ do 2 000 kg.m$^{-3}$. Pro lehké betony vyhovující ČSN EN 206-1 je požadovaná spodní hranice objemové hmotnosti min. 800 kg.m$^{-3}$. Pevnostní třídy těchto betonů jsou v rozmezí od LC 8/9 do LC 80/88 – viz *tab. 4.*. Vyšších pevností v tlaku může být dosaženo pouze použitím velmi kvalitního pórovitého kameniva vyhovujícího ČSN EN 13055-1.

Podle způsobu vylehčení se lehké betony rozdělují na:

- mezerovité (s využitím mezerovitosti kameniva),
- hutné nepřímo lehčené pomocí pórovitého kameniva,
- přímo lehčené vytvořenými póry při výrobě hmoty (pórobetony).




*Obr. 4.84* Schematické znázornění druhů lehkých betonů

a) hutný lehký beton, b) hutný lehký beton s pórovitým cementovým kamenem, c) mezerovitý beton, d) pórobeton

1 – hrubé zrno kameniva ($d$ > 4 mm), 2 – střední zrno kameniva ($d$ = 2 až 4 mm), 3 – cementový kámen, 4 – velké vzduchové dutiny ($d$ > 1 mm), 5 – póry v cementovém kameni do 1 mm

Jednotlivé varianty vylehčení lze rovněž vzájemně kombinovat za účelem získání požadovaných konečných vlastností ztvrdlého lehkého betonu.

Nejčastěji používané anorganické pórovité kamenivo může být i pro některé speciální účely přípravy lehkého betonu nahrazeno plnivem organickým na přírodní bázi (dřevěné piliny, třísky, štěpky apod.), nebo na syntetické bázi (kuličky pěnového polystyrénu nebo recyklovaná drť z polystyrénového odpadu).

Lehký beton je možno rozdělit podle účelu použití na:

- konstrukční lehký beton, používaný pro ukládání do bednění (lze ho i čerpat) nebo ve formě prefabrikátů v pozemním stavitelství, může být vyztužený obyčejnou nebo dokonce i předpjatou výztuží (pozemní, dopravní a průmyslové stavitelství),
- konstrukčně-tepelně izolační lehký beton, především ve formě tvárnic a dílců z mezerovitého betonu, betonu s pórovitým kamenivem, z pórobetonu a plynobetonu,
- tepelně izolační lehký beton, kterým mohou být plynobetony, pěnobetony a lehké betony s organickým plnivem s velmi nízkou objemovou hmotností (zpravidla pod hranicí 800 $kg.m^{-3}$).

Nejčastějším plnivem lehkých betonů je umělé kamenivo vyrobené na bázi expandovaného jílu - liapor (dříve známé pod původním firemním názvem keramzit) , popřípadě i spékané popílky (někdejší kamenivo agloporit připravované ze spékaného popílku se u nás v současnosti již nevyrábí).

Hlavními sledovanými vlastnostmi z hlediska deklarace lehkých betonů jsou pevnost v tlaku a objemová hmotnost v suchém stavu. Podle těchto kritérií se klasifikují do tříd zavedených v ČSN EN 206-1. Uvedená klasifikace neplatí pro pórobetony, pěnobetony, betony s otevřenou strukturou (mezerovité – monofrakční) a betony s objemovou hmotností menší než 800 $kg.m^{-3}$. (Klasifikace tříd pórobetonu - viz *kap. 4.7.2*).

Obecné vlastnosti lehkých betonů *Tab. 4.100*

| Druh lehkého betonu | Součinitel tepelné vodivosti ($W.m^{-1}.K^{-1}$) | Pevnost v tlaku (MPa) |
|---|---|---|
| konstrukční | nepředepisuje se (bývá < 1) | > 15 |
| konstrukčně-tepelněizolační | 0,25 až 0,50 | 3 až 15 |
| tepelněizolační | < 0,25 | < 3 |

#### 4.6.7.2.2 Vyztužování lehkých betonů

Hutné lehké betony lze vyztužovat stejně jako beton obyčejný. U ostatních typů, s ohledem na jejich pórovitou strukturu, je nutno výztuž chránit nátěrem či povlaky před účinky korozivních činitelů (vlhkost, $CO_2$ a další látky) a rovněž je nutno zajistit vhodnou úpravou tvaru výztuže (kotevní háky, desky apod.) její dostatečnou soudržnost s betonem.

#### 4.6.7.2.3 Mezerovitý lehký beton

Vylehčení je dosaženo vynecháním některých drobných frakcí hutného nebo pórovitého kameniva při současném snížení obsahu cementového tmelu. Hrubá zrna kameniva jsou pak obalena pouze tenkou vrstvou tmelu, který je vzájemně spojuje jen v místech dotyku.

Největšího objemu mezer ve směsi kameniva lze docílit při co možná stejné velikosti zrn – tzv. monofrakční (jednozrnný) beton.

Mezerovité betony nezajišťují dostatečnou ochranu výztuže před účinky koroze, lze je vyztužovat jen za dodržení určitých speciálních podmínek. Používají se např. pod označením kamenivo stmelené cementem (KSC) nebo drenážní beton pro podkladní filtrační vrstvy vozovek (ČSN 73 6124).

Pevnost v tlaku mezerovitého betonu se zpravidla pohybuje od 1 MPa do 10 MPa při objemové hmotnosti 900 až 1 400 $kg.m^{-3}$.

Pevnost mezerovitého betonu v podstatě závisí na smykové pevnosti pojivového tmelu obalujícího zrna a lze ji proto výrazně zvýšit, pokud se namísto cementového pojiva použije pojivo polymercementové nebo jen čistě polymerové – viz *kap. 4.6.9*.

Monofrakční drenážní beton s polymercementovým pojivem byl úspěšně použit jako pojízdná vrstva vozovek, kolejových přejezdů, chodníků. Díky otevřené pórové struktuře povrch z monofrakčního betonu účinně tlumí dopravní hluk, a přispívá tak ke zklidnění okolního prostředí. Jeho další předností je velká a rychlá propustnost vody do podloží, takže se na něm při dešti netvoří kaluže a snižuje se tak riziko aquaplaningu (úspěšně byl použit např. na závodních drahách vozů F1). Nevýhodou je ovšem vyšší cena oproti standardnímu cementovému pojivu.

#### 4.6.7.2.4 Hutný lehký beton z pórovitého kameniva

Jde o beton nepřímo lehčený pomocí plniva. Plnivem jsou různé druhy pórovitého kameniva, které mohou být podle původu:

- přírodní vulkanické (láva, přírodní pemza) nebo sedimentované horniny (tufy, spongility aj.),
- umělé z průmyslových odpadů – upravená škvára z roštových topenišť, předrcená zpěněná vysokopecní struska, drcený keramický střep aj.
- umělé záměrně vyráběné - kamenivo z přírodních materiálů (z expandovatelných jílů, z expandovaného perlitu, z expandované břidlice).

Hutný lehký beton z pórovitého kameniva se vyrábí podobně jako obyčejný beton pouze s tím rozdílem, že je nutno zohlednit obvykle vysokou nasákavost zrn pórovitého kameniva, která způsobuje odnímání záměsové vody a tím zhoršování zpracovatelnosti i čerpatelnosti čerstvých betonů. Proto je nutné buď množství záměsové vody zvýšit o krátkodobou nasákavost, nebo lépe zpracovávat toto kamenivo ve stavu nasyceném vodou. Nadměrná dávka záměsové vody však může způsobit nežádoucí vyplavování zrn kameniva a rozmísení čerstvého betonu.

Běžné hutné lehké betony mohou dosáhnout pevnost v tlaku až 45 MPa při objemové hmotnosti v suchém stavu 1 000 až 2 000 $kg.m^{-3}$. Z kvalitního pórovitého kameniva lze pomocí moderních technologií, přísad a příměsí vyrobit lehké betony v kategorii vysokopevnostních betonů, označované LWAC (Light-weight-aggregate concrete) s pevností v tlaku 70 až 90 MPa při objemové hmotnosti do 2 000 $kg.m^{-3}$.

#### 4.6.7.2.5 Přímo lehčený beton

Přímého vylehčení se dosahuje záměrným vytvořením pórů v jemnozrnné čerstvé maltě z křemičitého písku nebo elektrárenského popílku a z cementu nebo jeho směsi s vápnem. Vytvoření pórů se dociluje buď řízeným průběhem pro vyvolání chemické reakce vložením hliníkového prášku nebo pasty (autoklávovaný *pórobeton* – viz *kap. 4.7.2*), nebo vmíšením dostatečně stabilní pěny (pěnotvorné přísady – viz *kap. 4.6.4*) při následném zrání za normálních podmínek (*pěnobeton*).

Pěnobeton lze dodávat i ve formě transportbetonu a s výhodou se používá např. pro vyrovnávací vrstvy podlah nebo pro tepelně izolační vrstvy střešního pláště apod.

Pevnost v tlaku pěnobetonů zpravidla dosahuje 0,3 MPa až 1,0 MPa při objemové hmotnosti v suchém stavu 250 až 800 $kg.m^{-3}$.

#### 4.6.7.2.6 Lehký beton s organickým plnivem

Tvoří samostatnou skupinu speciálních lehkých betonů, u nichž je běžné anorganické pórovité kamenivo nahrazeno organickým plnivem, buď na bázi přírodních materiálů (dřevěné štěpky, hobliny, piliny, třísky, rostlinná vlákna jako např. pazdeří – odpad při zpracování lnu), anebo hmotou syntetického původu (nejrozšířenější je použití polystyrénových granulí nebo drtě z recyklovaných obalů).

Z betonu obsahujícího mineralizované dřevěné štěpky či úzké hoblovačky se vyrábějí např. desky používané jako ztracené bednění při odlévání monolitických konstrukcí nebo v sendvičové úpravě s polystyrenem. Blíže o těchto výrobcích pojednává kap. *4.11.6.7.1*.

Beton s polystyrenovým plnivem (polystyrenbeton) se používá pro tepelně izolační vrstvy podlah i střech, nebo též jako ztracené bednění obvodových panelů. Při výrobě se používají přísady pro snížení „lepivosti“ polystyrenového plniva (vyvolané elektrostatickým nábojem) nebo je toto plnivo dodáváno se speciální povrchovou úpravou. Polystyrenbeton lze přepravovat i jako transportbeton a při vyšších objemových hmotnostech ho lze ukládat čerpáním.

Pevnost v tlaku polystyrenbetonu při objemové hmotnosti v suchém stavu 200 až 900 $kg.m^{-3}$ dosahuje od 0,2 MPa do 5,0 MPa.

### 4.6.7.3 Těžký beton

Těžký beton je charakterizován podle ČSN EN 206-1 kritériem objemové hmotnosti v suchém stavu větší než 2 600 kg.m$^{-3}$.

Uplatnění těžkých betonů je především při stínění rentgenového záření, radioaktivního záření typu γ a neutronového záření.

Pro těžký beton platí obecná pravidla jako pro obyčejný beton s některými odlišnostmi. Zejména je nutno vždy použít kamenivo s vysokou objemovou hmotností – viz *kap. 4.1.3.2*. S ohledem na zpravidla ne zcela vhodný tvar zrn tohoto kameniva se doporučuje přidávat i normální hutné kamenivo.

Celková objemová hmotnost směsi kameniva by měla v průměru činit 4 600 kg.m$^{-3}$. Nejčastěji se jako plniva používá magnetit, limonit, baryt, ferofosfor nebo upravené kusy oceli (ocelové odřezky nesmí být znečištěny olejem, rezavý povrch nevadí).

Kamenivo se doporučuje volit a míchat i podle zvláštních požadavků na speciální absorpci betonu, jelikož některé typy mají odlišné vlastnosti. Např. baryt je poměrně málo odolný vůči obrusu. Pro odstínění neutronů lze použít sloučenin bóru (colemanit nebo borkalcit), které však mají vliv na zpomalení tuhnutí. Obvyklá dávka sloučenin bóru ve frakci drobného kameniva je 125 až 175 kg.m$^{-3}$ .

Těžký beton se obtížně zpracovává. V důsledku rozdílné objemové hmotnosti zrn zejména ve frakci hrubého kameniva, velmi často dochází k odměšování nejtěžších zrn. Proto se vodní součinitel (w/c) omezuje na hodnotu max. 0,6 (důvodem je i snížení rizika trhlin v konstrukci vlivem smršťování betonu). Pro zajištění vhodné konzistence čerstvého betonu je nutno používat plastifikační (ztekucující) přísadu (viz *kap. 4.6.4*).

Těžký beton se ukládá buď normálním způsobem jako obyčejný beton, nebo v případě obzvláště těžkých betonů dvoufázově – způsobem Prepact, Colcrete (viz *kap. 4.6.7.2*) nebo Puddel (kladení těžkého kameniva do vrstvy jemnozrnného betonu s následným účinným zhutněním.

### 4.6.7.4 Vysokopevnostní beton

Vysokopevnostní beton – HSC (High Strenght Concrete) patří do skupiny tzv. vysokohodnotných betonů – HPC (High Performance Concrete), pro něž je charakteristická pevnost v tlaku vyšší jak 65 MPa.

Vysokopevnostní betony se vyznačují velmi rychlým nárůstem pevnosti v tlaku. Za 24 hodin dosahují již asi 50 MPa a v normových podmínkách zrání za 28 dní pevnosti 80 až 180 MPa.

Vysokopevnostní beton díky specifickému složení vyniká vysokou hutností cementového kamene (omezením tvorby kapilárních pórů), což se příznivě projevuje v jeho odolnostech vůči vnějším vlivům prostředí (agresivitě), mrazovým cyklům, a tedy i ve zvýšené trvanlivosti.

Další předností HSC je možnost zmenšení průřezů nosných prvků včetně zmenšení množství výztuže, což se promítá do možného rozšíření půdorysné dispozice staveb a do snížení hmotnosti vlastní nosné betonové konstrukce.

Skladba vysokopevnostního betonu je založena na maximálním snížení vodního součinitele (w/c) pod hodnotu 0,35 při současném použití účinných superplastifikátorů (viz *kap. 4.6.4.1.2*) pro dosažení dobré zpracovatelnosti i čerpatelnosti čerstvého betonu.

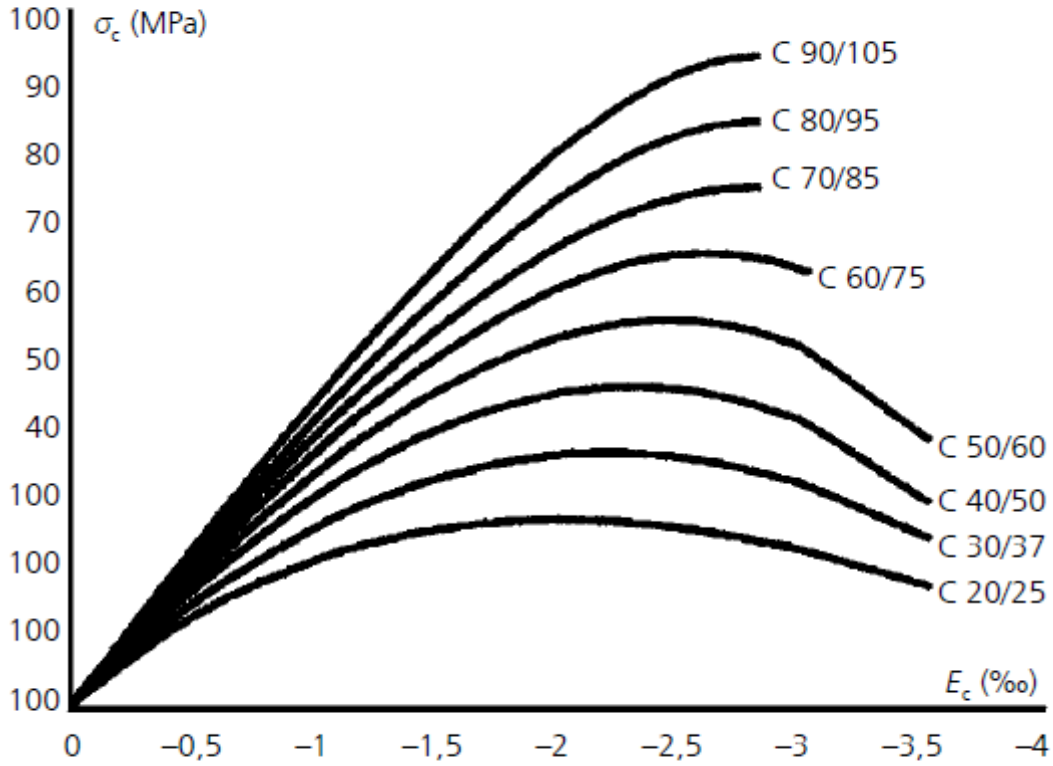
Jako superplastifikátory se pro HSC používají převážně sulfonované melaminformaldehydové nebo naftalenformaldehydové kondenzáty (SMF, SNF) v dávkách nad 1,5 % hmotnosti cementu pro dosažení optimální konzistence rozlití F5 a více. Rovněž se používají i přísady na bázi polykarboxyéterů.

Pro zvýšení hutnosti i pevnosti cementového kamene a jeho soudržnosti s povrchem zrn kameniva i výztuže se přidává při výrobě čerstvého betonu křemičitý úlet (silica fume), které obsahuje 80 až 98 % amorfního křemene s velmi vysokým měrným povrchem. Křemičitý úlet je aktivním plnivem cementového kamene (příměs druhu II – viz *kap. 4.6.4.2.3* a zvyšuje pevnost v důsledku pucolánové reakce za tvorby kalciumhydrosilikátů (CSH).

Maximální dávka křemičitého úletu se s ohledem na zachování potřebné imunity oceli krycí vrstvou betonu (pH ≥ 12) doporučuje do 5 % z hmotnosti cementu. Křemičitý úlet se přidává zpravidla ve formě vodní suspenze (1 :1), což usnadňuje rovnoměrné rozptýlení a omezuje tvorbu nežádoucích shluků částic křemičitého úletu.

Pro výrobu HSC se používá CEM I 52,5 v množství 400 až 500 $kg.m^{-3}$. Kamenivo se používá obvykle s maximálním zrnem 16 mm.

Vysokopevnostní beton je velmi pevný v tlaku a v tahu. Je ale velmi křehký při lomu. Jak ukazuje *obr. 4.85*, s rostoucí pevností tohoto betonu v tlaku se snižuje jeho mezní přetvoření (duktilita). Pro zvýšení duktility a snížení křehkosti se v některých případech osvědčilo použití rozptýlené výztuže (vláken).




*Obr. 4.85* Porovnání pracovních diagramů různých tříd betonů

### 4.6.7.5 Samozhutnitelný beton

Samozhutnitelný beton – SCC (Self-Compacting Concrete) druhově patří do skupiny vysokohodnotných betonů stejně jako výše uvedené betony HSC.

Hlavní charakteristikou SCC je schopnost pohybu čerstvého betonu bez působení vnějších dynamických sil při současné odolnosti proti rozměšování a segregaci hrubých zrn kameniva a schopnost dostatečného zhutnění při ukládání pouze svou vlastní hmotností.

Vhodným složením betonu se zabezpečuje vyplnění forem (bednění) i přes uloženou armovací výztuž, aniž by bylo zapotřebí obvyklé vibrace či jiné metody k hutnění.

Samozhutnitelný beton se rovněž vyznačuje rychlým nárůstem pevnosti a obvykle se s ním docilují i kvalitní pohledové povrchy. Tyto jeho výhodné vlastnosti výrazně snižují pracnost na staveništi, zrychlují betonáž při omezení možného negativního vlivu lidského faktoru. Proto i přes vyšší materiálové náklady jsou SCC předurčeny k širšímu rozšíření v betonářské praxi . Tuto skutečnost dokládá zpracování samostatných předpisů – *Evropské směrnice pro samozhutnitelný beton* – Specifikace, výroba a použití (2005) a TP 187 Samozhutnitelný beton pro mostní objekty pozemních komunikací (TP MD), které doplňují základní betonářský předpis ČSN EN 206-1.

Přes původní cenovou relaci (představující zpravidla více než dvojnásobek ceny obyčejného betonu) se SCC u nás již prosadily na stavbách mostů, tunelů a zejména tam, kde velká hustota výztuže a tvar konstrukce nedávaly předpoklad pro úspěšné vibrování běžného betonu, např. pohledové monolitické desky moniérek skládaného obvodového pláště architektonicky výrazných objektů. Současné cenové navýšení vůči obyčejnému betonu už zdaleka není tak výrazné a pohybuje se okolo 30 %.

Skladba SCC vyžaduje použití kvalitního, nejlépe přírodního kameniva se zvýšeným podílem frakce 0/4 mm a s max. zrnem kameniva do 16 mm resp. do 20 mm (podle typu a vyztužení konstrukce).

Základním požadavkem je, aby nedocházelo k blokování spontánního průtoku čerstvého betonu kolem armovací výztuže při jeho ukládání. Tokové vlastnosti SCC se proto testují pomocí speciálních přípravků (např. L-Box, J-Ring, V-Funel-Test) nebo se používá jednodušší upravená metoda rozlití Abramsova kužele, která je vhodná i pro kontrolu dodávek transportbetonu na staveništi – viz *kap. 5.3.1*. Uvedené zkušební postupy jsou nyní podrobně popsány v ČSN EN 12350-8 až 12.

Zvláštním požadavkem pro zabezpečení dobré homogenity čerstvého SCC je potřeba vyššího množství jemnozrnných příměsí (fine fillers) – viz *kap. 4.6.4.2.1*, které rovněž snižují náchylnost k segregaci zrn hrubého kameniva. Při max. zrnu 16 mm by měl podíl částic < 150 μm činit cca 500 $kg.m^{-3}$.

Základem hybnosti a plasticity čerstvého SCC jsou speciální superplastifikační (ztekucující) přísady - viz *kap. 4.6.4.1.2*. Jejich vývoj neustále probíhá a dnes je pro ně stále častěji užíván termín hyperplastifikační přísady. Jsou vyráběny zpravidla na bázi polykarboxylátu a umožňují snížení dávky záměsové vody o 30 až 40 % při zachování optimálního poměru (w/c) v rozmezí 0,4 až 0,5. Optimální hodnota konzistence čerstvého SCC, stanovená zkouškou rozlití podle ČSN EN 12350-5, by měla činit 630 mm až 850 mm, což odpovídá stupni F6 až F7. - viz *kap. 5.3.4.1* .

SCC dosahují pevnosti v tlaku 30 až 60 MPa při obvyklé objemové hmotnosti 2 200 až 2 400 $kg.m^{-3}$, v závislosti na výběru složek a jejich skladbě. V důsledku většího množství jemných částic se u nich ale projevuje větší náchylnost k autogennímu smršťování. Ověřování odolnosti vůči agresivitě prostředí a trvanlivosti SCC je stále předmětem experimentálního ověřování.

### 4.6.7.6 Vláknobeton

Vláknobetony jsou speciální typy konstrukčních betonů, u kterých se již při jejich výrobě k běžným složkám přidávají vhodná vlákna plnící funkci rozptýlené výztuže. Rovnoměrným rozptýlením vláken ve struktuře betonu mohou být významným způsobem ovlivněny některé jeho vlastnosti. Je to především schopnost lépe odolávat účinkům objemových změn betonu vlivem smršťování při tuhnutí a tvrdnutí a vlivem působení okolního prostředí . Vhodné typy vláken s vyšším modulem pružnosti mohou plnit tuto funkci i později po ztvrdnutí betonu.

Vláknobetony obecně lépe odolávají účinkům tahových napětí vlivem mechanického namáhání a zmírňují obvyklý křehký charakter porušení betonu.

Při návrhu a výrobě betonu s vlákny, je třeba nejen zvolit vhodný druh vlákna (materiál, délku) a jeho optimální množství (pro dosažení požadovaných vlastností betonu), ale také odpovídajícím způsobem zvládnout technologii jeho výroby.

Vlákna s vysokou ohybovou tuhostí a charakteristickým jehlicovitým geometrickým tvarem se svými vlastnosti zásadně odlišují od ostatních složek čerstvého betonu a při výrobě vláknobetonu se obtížněji mísí.

V konečné fázi je nutno vhodným způsobem dávkování zajistit rovnoměrné rozptýlení vláken ve struktuře betonu a zamezit vytváření jejich nepravidelných shluků (toto riziko je specifické pro ocelová vlákna). Proto je potřeba při realizaci konstrukcí věnovat zvýšenou pozornost technologickému zpracování betonu s ocelovými drátky.

Rozdělení vláken podle funkce v betonu:

- ocelová, alkalickovzdorná skleněná, uhlíková (dříve i azbestová)
  - vyznačují se dostatečnou pevností, ohybovou tuhostí a vysokým modulem pružnosti,
  - zlepšují pevnost ztvrdlého betonu v tahu (cca o 50 až 100 %) a částečně i pevnost v tlaku (cca o 10 %), tím se omezuje nebo zamezuje vzniku trhlin,
  - snižují riziko křehkého lomu ztvrdlého betonu (zvyšují odolnost při dynamickém zatížení).
- organická vlákna přírodní nebo syntetická (nejčastěji polypropylénová)
  - vyznačují se obvykle malou mechanickou pevnosti a nízkým modulem pružnosti,
  - zvyšují odolnost tuhnoucího betonu proti vzniku a šíření smršťovacích trhlin.

Vyztužení betonu vlákny může výrazně změnit nebo ovlivnit vlastnosti čerstvého i ztvrdlého betonu, avšak účinnost tohoto vyztužení obvykle nemůže konkurovat klasickému vyztužení prutovou výztuží nebo sítěmi.

Z hlediska dosažení trvalých změn vlastností ztvrdlého betonu jsou pro jeho vyztužování nejvíce používaná ocelová vlákna – drátky viz *kap. 4.8.1.2.7* (drátkobeton). V případě štíhlých nebo tvarově modelovaných prvků vyráběných technologií stříkání se uplatňují i vlákna z alkalickovzdorného skla (sklocement).

Pro úpravu reologických vlastností čerstvého betonu v počáteční fázi tuhnutí se nejčastěji používají vlákna polypropylénová (PP) s nízkým modulem pružnosti.

Drátkobetony se osvědčily zejména při vytváření velkých betonových podlahových ploch např. ve skladových provozech pro vyšší provozní zatížení, kde se naplno může uplatnit velká produktivita snadného strojního hlazení. K použití na štíhlé a průhybem namáhané konstrukce vhodné nejsou.

Zvláštní skupinou jsou vláknobetony s extrémně vysokým obsahem vláken – SIFCON (Slurry Infiltrated Fibre Concrete). Jsou to v podstatě organizované shluky zpravidla ocelových vláken vyplněné pouze cementovou jemnozrnnou kaší .

## 4.6.8 Zpracování a ošetřování betonu

Zpracování čerstvého betonu se po fázi homogenizace, tj. smísení složek, rozděluje na fázi dopravy a ukládání do bednění, forem nebo na předem připravenou plochu a fázi zhutňování. Hlavním cílem je dosažení stejnorodosti (homogenity) ztvrdlého betonu v konstrukci v požadované kvalitě. Za tímto účelem je též nutno beton v raném stáří vhodně chránit a ošetřovat.

### 4.6.8.1 Dávkování a mísení složek betonu

Cement, kamenivo, příměsi a práškové přísady se dávkují vždy hmotnostně. Záměsová voda, pórovité kamenivo, přísady a tekuté příměsi (např. barevné pigmenty v suspenzi) se mohou dávkovat hmotnostně i objemově.

Toleranci pro dávkování složek na 1 $m^3$, příp. na dávku složenou z několika záměsí uvádí *tab. 4.*.101

Tolerance při dávkování složek betonu *Tab. 4.101*

| Složka betonu | Tolerance |
|---|---|
| Cement | ± 3 % požadovaného množství |
| Voda | |
| Kamenivo celkem | |
| Příměsi v množství > 5 % hmotnosti cementu | ± 5 % požadovaného množství |
| Přísady a příměsi v množství ≤ 5 % hmotnosti cementu | |

Poznámka: Tolerancí se rozumí rozdíl mezi požadovanou a změřenou hodnotou.

Dávka vody v receptuře pro každou záměs musí být operativně korigována v závislosti na okamžité vlhkosti kameniva, která musí být zejména při jeho volném skladování pravidelně kontrolována v četnosti odpovídající povětrnostním podmínkám v průběhu výroby betonu.

Dávkování přísad bývá specifické s ohledem na typ a účinek přísady, způsob, optimální a max. množství a čas dávkování musí být předem určen ve výrobním předpisu betonu včetně ověření průkazní zkouškou – viz kap*. 4.6.1.2*.

Zpravidla se přísady dávkují v tekutém stavu speciálními dávkovači spolu se záměsovou vodou, výjimkou může být dávkování urychlující či zpomalující přísady nebo superplastifikační přísady – viz *kap. 4.6.4.1.2*.

Míchání složek se provádí v míchačce po určenou optimální dobu, za kterou bude zabezpečeno dosažení stejnorodosti betonu při požadované konzistenci (závisí na typu a objemu míchačky a skladbě betonu).

Moderním způsobem přípravy čerstvého betonu je výroba v centrálních výrobnách – betonárnách (transportbeton – viz *kap. 4.6.1.1*), které mohou být buď stabilní (převážná část) nebo mobilní.

Složení čerstvého betonu po vyprázdnění z míchačky, automíchače, autodomíchávače se obecně nesmí upravovat (zejména dodatečným přidáním vody pro úpravu konzistence, pokud není průkazní zkouškou ověřen vliv na konečné vlastnosti betonu).

### 4.6.8.2 Doprava a ukládání čerstvého betonu

Čerstvý beton se má zpracovat co nejdříve po zamíchání složek, transportbeton okamžitě po dodání na stavbu.

Čerstvý beton je možné dopravovat:

- kontinuálně (dopravní pásy, šnekové dopravníky),
- pneumaticky nebo hydraulicky (čerpadla),
- přetržitě (kontejnery, vozíky, přepravníky, autodomíchávače).
-
    - Doprava pásy se příliš neosvědčila a dnes se běžně nepoužívá.

    Výjimkou je ukládání betonu pomocí dopravního pásu, který je přímo namontován k nástavbě autodomíchávače. Nejčastěji se dnes čerstvý beton dopravuje speciálními čerpadly.

Čerpání čerstvého betonu je známé již od třicátých let minulého století, k výraznému nárůstu této technologie dochází však až od let osmdesátých. Rozvoj souvisí s postupným zdokonalením čerpací techniky. Soudobá čerpadla umožňují přemisťovat a ukládat beton v širokém rozsahu konzistence (rozlití 380 - 700 mm) a jsou mnohem operativnější než původní stacionární čerpadla.

Stacionární čerpadla se dnes používají jen na opravdu velkých stavbách. V ostatních případech se dává přednost čerpadlům mobilním, umístěným buď přímo na autodomíchávači, nebo (v případě výkonnějších čerpadel) na samostatném automobilovém podvozku.

Čerpatelnost betonu ovlivňuje mnoho faktorů. Kromě kvalitního a vhodného čerpacího zařízení je potřebné těsné a správně dimenzované potrubí, zkušená obsluha a správně formulovaný čerpatelný beton.

Skladba čerpatelného betonu musí být taková, aby při čerpání nedocházelo v potrubí k nadměrnému tření nebo k zaklínění jednotlivých zrn kameniva. Čerpatelný beton proto musí obsahovat potřebné množství jemných zrn.

Jemná zrna (zrna velikosti do 0,25 mm ke kterým se počítá i cement) společně s vodou vytvářejí jemnou maltu, sloužící při čerpání jako mazivo. Konzistence této jemné malty má být měkká až plastická. Zatuhlá jemná malta nemá žádný mazací účinek. Příliš řídká jemná malta nedrží na kamenivu a odlučuje vodu. Může pak dojít i k ucpání potrubí.

Minimální obsah jemných zrn by měl činit 400 $kg.m^{-3}$ pro beton s maximálním zrnem o velkosti 32 mm, 450 $kg.m^{-3}$ pro beton s maximálním zrnem o velkosti 16 mm a 525 $kg.m^{-3}$ pro beton s maximálním zrnem o velkosti 8 mm.

Mazivo nemusí být tvořeno pouze cementovou kaší. K doplnění jemných zrn se proto používají příměsi (popílek, kamenné moučky).

Vodní součinitel (w/c) se v případě čerpatelných betonů pohybuje v rozmezí 0,42 – 0,65 (se superplastifikační přísadou může být i menší). Doporučená konzistence čerstvého betonu měřená rozlitím, by měla být větší než 420 mm (min. stupeň F3).

Zvýšenou pozornost je třeba věnovat i křivce zrnitosti kameniva. Osvědčuje se plynulá křivka ležící v pásmu zrnitosti vymezeném směrnými křivkami $A_i$ až $B_i$ podle ČSN EN 206-1 Změna 3 – viz *kap. 4.6.6.2*. Dobře čerpatelné jsou však i čerstvé betony s přetržitými čarami zrnitosti, u nichž chybí frakce 4/8 mm. Přetržka však nesmí být široká (chybět smí pouze jedna frakce).

Hladký povrch kulatých zrn těženého kameniva je z hlediska čerpání výhodnější než deskovitý nebo hrubý povrch drceného kameniva. Kameniva, která vykazují otevřenou pórovitost (vápenec, lehká kameniva), je třeba před použitím máčet, aby při zvýšeném tlaku vyvolaném čerpáním neodebírala vodu z pojivové malty.

Jmenovitý průměr dopravního potrubí má být asi dvakrát větší, než je největší čerpané zrno, zároveň však záleží i na množství nejhrubší frakce. Potrubím o jmenovitém průměru 125 mm lze například čerpat beton, v němž podíl zrn 32/63 mm nepřesahuje 20 %.

Jako kritérium pro hodnocení čerpatelnosti čerstvého betonu je dobře použitelný modul zrnitosti – viz *kap. 4.1.3.1.1*. Při stanovení na sadě sít 0,25-0,5-1-2-4-8-16-32-63 mm nemá být modul zrnitosti kameniva pro čerpatelný beton:

větší než 4,3 při maximálním zrnu 16 mm,

větší než 5,0 při maximálním zrnu 32 mm,

větší než 5,6 při maximálním zrnu 63 mm.

Běžné přísady dávkované v obvyklém množství nemají na čerpatelnost betonu podstatný vliv. Při čerpání na velké vzdálenosti se někdy používají zpomalující a plastifikační (ztekucující) přísady k tomu, aby se doba čerpatelnosti prodloužila.

Zatímco normálně provzdušněný beton je čerpatelný dobře, přílišné provzdušnění betonu (nad 5 % mikropórů) čerpatelnost zhoršuje. Vzduch tvořící mikropóry je stlačitelný a působí v celé délce potrubí jako jedna velká bublina. Tím se ztrácí část výtlačného zdvihu. Nebezpečné rázy vzniklé při změně tlaku pak v krajním případě mohou i poškodit čerpací soupravu.

Před začátkem vlastní betonáže se musí potrubím nejprve přečerpat mazací směs. Pro kratší potrubí se připravuje ze samotného cementu a vody v poměru 1 : 1 hmotnostních dílů.

Pro čerpací soustavy s potrubím delším než 100 m se používá směs připravená z cementu, drobného kameniva a vody v poměru 2 : 1 : 1 hmotnostních dílů. Konzistence mazací směsi měřená rozlitím má být cca 340 mm. Tato směs nesmí být uložena do betonované konstrukce, slouží pouze k vytvoření filmu na stěnách čerpací soustavy. Její přebytky se musí zachytit a vhodně zlikvidovat.

Při přepravě a zpracování čerstvého betonu nesmí docházet k rozměšování (segregaci hrubých zrn kameniva), k odlučování vody, ztrátě cementového tmelu a jiným škodlivým změnám.

Výška volně padajícího čerstvého betonu při ukládání by neměla být větší než 0,5 m (dříve se v ČSN 73 2400 uvádělo max. 1,5 m). Proto se používají různé skluzy nebo pružné hadice, které lze nasměrovat do požadovaného místa uložení. I tak je splnění tohoto požadavku mnohdy dosti obtížné, jde však o opatření pro kvalitu betonu významné.

Čerstvý beton se zpravidla ukládá do forem nebo bednění, které musí být odborně zhotovené, tvarově přesné a dostatečně tuhé. Bednění z deskového řeziva připravované na stavbě se už téměř nepoužívá (většinou jenom jako doplněk nebo pohledová vystýlka). Zcela převládají různá stavebnicová bednění (tzv. systémová) s kvalitní úpravou bednicích ploch (vodovzdorné překližky, plast, ocel), která neodnímají čerstvému betonu vodu a mají řadu jiných předností (variabilita sestav, opakovatelnost použití, rychlé spojování, tvarová přesnost a těsnost spojů).

Pokud se někde ojediněle použije dřevěné bednění, musí se předem dostatečně navlhčit vodou (to platí i o pohledové dřevěné vystýlce). Vodovzdorné pláště systémového bednění se musí opatřit souvislým filmem odbedňovacího prostředku (nadměrná dávka může způsobit vytvoření nežádoucích struktur a barevných efektů na povrchu ztvrdlého betonu i vzduchové dutinky). Při ukládání čerstvého betonu je třeba zabránit velkým otřesům na bednění a podpůrný systém.

Plochy bednění musí být čisté, dobře slícované, aby nevznikaly vzhledově nevyhovující a těžko opravitelné přetoky ztvrdlého betonu. Zvláštní pozornost se musí věnovat povrchu bednění při požadavku na vytvoření pohledového betonu. Vzorované povrchy pohledového betonu se vytvářejí například otiskem vložených pryžových nebo plastových matric či pouhým otiskem povrchu prken a latí.

Ukládání a zpracování betonu má probíhat kontinuálním způsobem „čerstvý do čerstvého“. Musí být tak rychlé, aby se zabránilo špatnému spojení při betonáži po vrstvách, a tak pomalé, aby se zabránilo přetěžování bednění a podpůrných konstrukcí. K tomu se musí přizpůsobit výška bednění, tloušťka betonovaných vrstev i konzistence betonu.

Za klimaticky extrémních podmínek je nutno používat přísady zpomalující, nebo naopak urychlující tuhnutí. V zimě se rovněž dává při výrobě betonu přednost rychleji tuhnoucímu CEM I.

Zejména je nutno zabraňovat vzniku nechtěných pracovních spár (míst s nedokonalým spojením vrstev beton), které mohou ovlivnit vodotěsnost betonu i statiku konstrukce.

Před uložením betonu musí být provedena též kontrola armovací výztuže (typ, poloha, vložení distančních tělísek, čistota povrchu pro zabezpečení soudržnosti s betonem) a její přejímka.

V době betonování má být teplota povrchu pracovní spáry vyšší než 0 ºC, spára nesmí obsahovat úlomky, led, sníh, stojatou vodu. Teplota betonu při ukládání nesmí být nižší než +5 ºC.

Během ukládání a následně zhutňování se musí beton chránit proti nepříznivému slunečnímu záření, silnému větru, mrazu, vodě, dešti a sněhu.

Beton se ukládá podle předem připraveného projektu, který obvykle rozděluje konstrukci do pracovních záběrů (taktů), určuje místa pracovních a dilatačních spár, i způsoby jejich konstrukčního provedení (důležité zejména pro vodotěsné konstrukce).

Mezi zvláštní technologie betonování patří stále více používaný stříkaný beton (torkret), kdy je čerstvá směs speciálního složení vrhána na tuhý podklad pomocí stlačeného vzduchu (tzv. suchý způsob) nebo hustým proudem (tzv. mokrý způsob). Tato technologie je vhodná zejména pro hrubé vyrovnávky a tvorbu stěn v tunelech, úspěšně byla použita i k opravám silně poškozených povrchů betonových nádrží nebo hrází přehrad.

Dále je to rovněž velmi často používané injektování (vtlačování) jemnozrnné cementové malty do dutin, trhlin, kanálků pro předpjatou výztuž, i do zemin při zpevňování podloží, a dvoufázové betonování. Při tomto postupu se do předem rozprostřeného zhutněného štěrku s malým podílem jemných frakcí vhání přetlakem cementová malta (metoda Colcrete nebo Prepact). Tyto metody jsou naopak ve stavební praxi již méně používané.

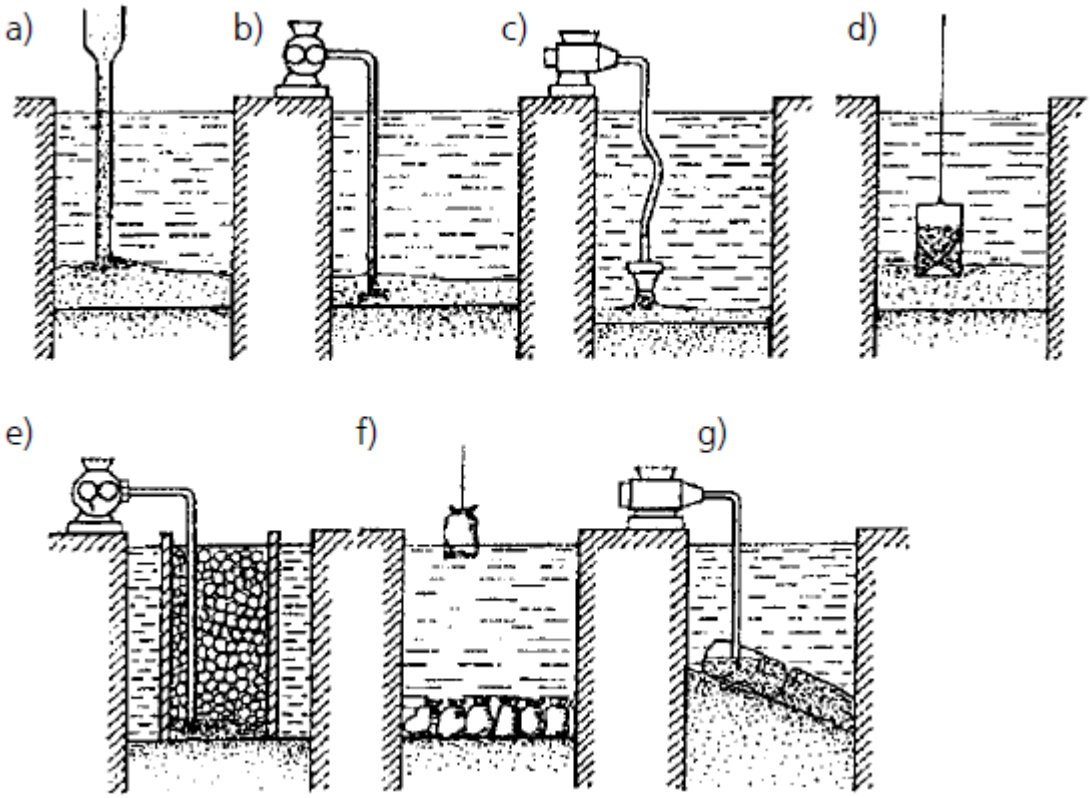
Technicky zcela odlišná je technologie betonování pod vodou, která vyžaduje zvláštní opatření k zamezení rozplavování ukládaného čerstvého betonu. Nejpoužívanější metody jsou uvedeny na *obr. 4.86.*

### 4.6.8.3 Zhutňování čerstvého betonu

Procesem zhutňování se zabezpečuje co možná nejhutnější struktura ztvrdlého betonu (minimalizace vzduchových pórů v betonu), což pozitivně ovlivňuje jeho mechanické (pevnost) i speciální vlastnosti (vodotěsnost, odolnost vlivu agresivity prostředí a trvanlivost). Při hutnění nesmí nastat odmíšení složek čerstvého betonu (segregace zrn hrubého kameniva) a odlučování cementového tmelu.

Zhutňování se provádí:

- staticky (lisováním, válcováním, extrudováním),
- dynamicky (dusáním, střásáním, propichováním, vibrováním),
- kombinovaně (vibrolisování, vibroválcování),
- chemicko-fyzikálně (vakuování – odsávání přebytečné vody, plastifikace – samozhutňující efekt).




*Obr. 4.86* Metody betonování pod vodou

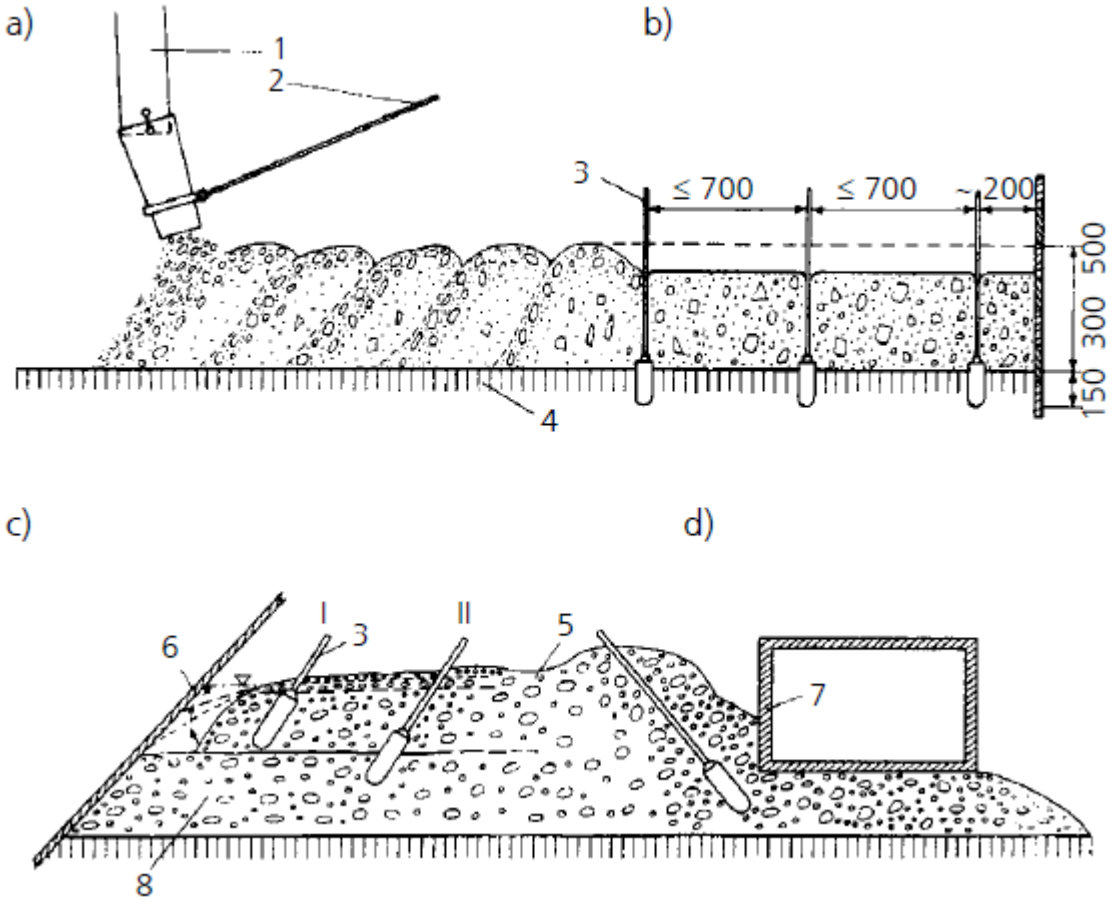
a) čerstvý beton je dopravován svislou násypkou (metoda kontraktor), b) čerstvý beton je dopravován potrubím vyústěným pod úrovní vrstvy betonu, c) diskontinuální betonování hadicí s tuhým vyústěním (metoda s hydroventilem), d) betonování s uzavíratelným košem – kontejnerem, e) dvoufázové betonování metodou Colcrete nebo Prepact, f) ukládání čerstvého betonu baleného do průlinčitých pytlů (pytlovací metoda), g) vybetonování plastových nebo geotextilních vaků na šikmém podloží

Způsoby zhutňování se volí podle konzistence čerstvého betonu a jeho reologických vlastností se zohledněním tuhosti použitého bednění. Za mezní způsoby hutnění lze označit dusání u zavlhlých směsí (S1) a propichování u tekutých směsí (S4). Výjimkou jsou speciální typy nových betonů se samozhutňujícím efektem, označované jako samozhutnitelné (viz *kap. 4.6.6.5*).

Nejčastějším a nejuniverzálnějším způsobem zhutňování čerstvého betonu na staveništi je vibrování za použití ponorných vibrátorů, případně příložných vibrátorů. Na čerstvý beton uvnitř jeho struktury se působí kmitavými pohyby, čímž se uvedou jednotlivé částice do vzájemného pohybu a systematickým postupem se uspořádávají do hutné struktury při vytlačování zadrženého vzduchu vneseného mícháním nebo při ukládání do konstrukce.

Vibrování se provádí po vrstvách (menších než výška použitého ponorného vibrátoru) s částečným převibrováním povrchu předchozí vrstvy cca do třetiny výšky, čímž dojde k dobrému spojení obou vrstev.

Vibrátor se pod povrch čerstvého betonu ponořuje vždy velmi rychle, krátce se ponechá ve spodní poloze a poté se pomalu vytahuje. Tímto postupem lze dosáhnout nejúčinnějšího vypuzení vzduchu. Obráceným postupem se zhutní pouze horní část vrstvy, která potom brání unikání vzduchu ze spodní části, což má za následek nehomogenitu ztvrdlého betonu v konstrukci. Vpichy vibrátoru se musí překrývat. *Obr. 4.* znázorňuje schéma vpichů ponorného vibrátoru.




*Obr. 4.87 Schéma vpichů ponorným vibrátorem [, 57]*

a) správné ukládání čerstvého betonu, b) správné vzdálenosti vpichů vibrátorů, c) omezení tvorby vzduchových pórů při vibraci šikmo bedněných ploch (šipky ukazují předpokládaný pohyb čerstvého betonu), d) hutnění čerstvého betonu pod vestavbou

1 – násypka (zakončení betonovacího potrubí), 2 – držadlo k usměrnění násypky, 3 – ponorný vibrátor, 4 – zhutněná vrstva, 5 – nasypaný čerstvý beton, 6 – šikmé bednění, 7 – vestavba (kanál), 8 – spodní zhutněná vrstva

I – použití vibrátoru pro přesun čerstvého betonu u šikmého bednění (přesun dovolen pouze pro malé vzdálenosti), II – správné provázání spodní a horní vrstvy čerstvého betonu částečným převibrováním spodní vrstvy

Doba vibrace závisí úměrně na konzistenci čerstvého betonu, druhu a množství použité plastifikační či provzdušňovací přísady. Čím je čerstvý beton tekutější, tím kratší musí být doba hutnění, jinak by došlo k rozměšování nebo u záměrně provzdušněných betonů k nežádoucímu vypuzení požadovaného obsahu vzduchu. Dostatečné zhutnění se pozná ustáleným tónem vibrátoru. Zhutněný beton již viditelně nesedá, přestávají vystupovat vzduchové bublinky a cementová vrstvička tmelu na povrchu se uzavírá a stává se matně lesklou.

Během hutnění se vibrátor nesmí dotýkat výztuže, aby se zabránilo jejímu rozkmitání v již tuhnoucích spodních vrstvách, což by způsobilo snížení její soudržnosti s betonem. Rovněž se nesmí dotýkat bednění, neboť by došlo k lokálnímu rozmísení betonu. Ponorný vibrátor se nemá používat k přemísťování čerstvého betonu na větší vzdálenosti.

Jiným způsobem vibrace je použití povrchových vibrátorů (válce, desky, lišty), které se používají např. při hutnění podlah. Dále to mohou být příložné vibrátory a vibrační stolice, používané zejména při tovární výrobě dílců.

### 4.6.8.4 Ošetřování čerstvého betonu

Beton je nutno po určitou dobu od uložení ošetřovat a ochránit zejména proti přímým účinkům povětrnostních vlivů (extrémně kladných i záporných teplot, dešti a větru), proti škodlivým otřesům, nárazům a jiným poškozením za účelem:

- minimalizace plastického smršťování (vlivem rychlého vysychání a vzniku nežádoucích tahových napětí způsobujících vznik trhlinek),
- dosažení požadovaných vlastností (zabezpečení nerušené hydratace cementového tmelu pro vývoj konečné pevnosti),
- zabezpečení dostatečné odolnosti a trvanlivosti povrchové vrstvy (zejména bude-li beton v konstrukci vystaven vlivu agresivity prostředí).

Povrch uloženého betonu je nutno bez odkladu během tuhnutí a na počátku tvrdnutí za normální teploty vnějšího prostředí udržovat ve vlhkém stavu vlhčením a vhodným způsobem chránit, např.:

- těsným překrytím plastovou fólií nebo vlhkou tkaninou či jiným zvlhčeným materiálem,
- ponecháním v bednění delší dobu než by bylo staticky nutné,
- nástřikem speciálními prostředky snižujícími odpařování vody s povrchu.

Betony, které budou vystaveny působení prostředí se stupněm vlivu X0 nebo XC1, musí být ošetřovány nejméně 12 hodin, jestliže doba jejich tuhnutí není delší než 5 hodin a teplota povrchu betonu se rovná nebo je větší než +5 ºC. Betony pro prostředí s jinými stupni vlivu se musí ošetřovat tak dlouho, dokud pevnost jejich povrchové vrstvy nedosáhne 50 % stanovené pevnosti v tlaku. V těchto případech lze postupovat podle ČSN EN 13670.

*Nejkratší doba ošetřování pro stupně vlivu prostředí podle ČSN EN 206-1 jiné než X0 a XC1 Tab. 4.102*

| Teplota povrchu betonu $t$, (°C) | Nejkratší doba ošetřování (dny)[1), 2)] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Vývoj pevnosti betonu [4)] ($f_{cm2}/f_{cm28}$) | | | |
| | rychlý $r \geq 0{,}50$ | střední $r = 0{,}30$ | pomalý $r = 0{,}15$ | velmi pomalý $r < 0{,}15$ |
| $t \geq 25$ | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 3,0 |
| $25 > t \geq 15$ | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 5 |
| $15 > t \geq 10$ | 2,0 | 4,0 | 7 | 10 |
| $10 > t \geq 5$[3)] | 3,0 | 6 | 10 | 15 |

1) Plus doba tuhnutí přesahující 5 hodin.
2) Mezi hodnotami v řádcích je přípustná lineární interpolace.
3) Pro teploty nižší než 5 °C se může doba ošetřování prodloužit o dobu rovnou trvání teploty nižší než 5 °C.
4) Vývoj pevnosti betonu je poměr průměrné pevnosti v tlaku po 2 dnech k průměrné pevnosti v tlaku po 28 dnech stanovených z průkazních zkoušek nebo založených na známém chování betonu s porovnatelným složením (ČSN EN 206-1).

Bude-li beton vystaven obrusu či jiným nepříznivým podmínkám, doporučuje se dobu ošetřování prodloužit, dokud se nedosáhne určených vyšších poměrů pevnosti.

Teplota vody pro ošetřování betonu může být maximálně o 10 ºC vyšší, než je teplota povrchu betonu. Při teplotách prostředí nižších než +5 ºC se tvrdnoucí beton nevlhčí.

Ochranné prostředky, které nejsou plně odstranitelné před následným postupem betonáže (např. parafínové nástřiky), se nesmí aplikovat v místech pracovních spár na povrchy, které budou dále povrchově upravovány nebo kde se požaduje soudržnost s jinými materiály. Vhodné jsou prostředky na bázi modifikovaných styrenakrylátových disperzí nebo syntetických pryskyřic.

Teplota povrchu betonu nesmí klesnout pod 0 ºC, dokud povrch betonu nedosáhne pevnosti v tlaku, při které může odolávat mrazu bez poškození (obvykle když $f_c > 5$ MPa). Do této doby je nutno přijmout opatření k ochraně betonu proti poškození mrazem (např. zakrytí izolační rohoží, vyhřívání).

Pro zamezení nepříznivých účinků na užitné vlastnosti betonu nesmí teplota uvnitř betonované části přestoupit +65 ºC (nutno respektovat při urychlování tvrdnutí betonu proteplováním a při výrobě masivních konstrukcí).

## 4.6.9 Cementový potěr

Cementový potěr (CP) je vrstva ze ztvrdlého jemnozrnného betonu nebo obyčejného betonu s plnivem obvykle do maximální velikosti zrna 16 mm (podle tloušťky vrstvy), pokládaná přímo na stavbě za účelem dosažení předepsané výšky či umožnění konečné úpravy povrchu podlahy (vyrovnávací a podkladní vrstvy podlahy) nebo přímo vytvářející nášlapnou vrstvu podlahy (konečnou povrchovou úpravu).

Základní definice, charakteristiky a technické požadavky na CP jsou uvedeny v ČSN 74 4505 a zejména v ČSN EN 13318 a ČSN EN 13813.

Zvláštním druhem jsou samonivelační CP, zhotovené z čerstvého betonu s přídavkem vhodných příměsí a superplastifikační (silně ztekucující) přísady – viz *kap. 4.6.4.1.2*, které umožňují při správném složení snadné rovnoměrné rozprostření a případně i dostatečné zhutnění vlastní hmotností.

Podle konstrukčního provedení se CP rozdělují na:

- spřažené (spojené s podkladem),
- oddělené od podkladu separační vrstvou (např. hydroizolací),
- oddělené od podkladu tlumicí vrstvou (např. akustickou či tepelnou izolací – tzv. „plovoucí potěry“.
-

### 4.6.9.1 Klasifikace cementových potěrů

Klasifikace základních vlastností a obecných požadavků na CP v čerstvém i ztvrdlém stavu pro použití v interiérech staveb je uvedena v ČSN EN 13813. Podle jednotlivých kritérií se CP rozdělují na třídy (viz *kap. 4.6.21 až 29*).

*Třídy cementových potěrů podle pevnosti v tlaku (ČSN EN 13892-2) Tab. 4.103*

| Třída | C5 | C7 | C12 | C16 | C20 | C25 | C30 | C35 | C40 | C50 | C60 | C70 | C80 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pevnost v tlaku (MPa) | 5 | 7 | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |

*Třídy cementových potěrů podle pevnosti v tahu za ohybu (ČSN EN 13892-2) Tab. 4.104*

| Třída | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | F10 | F15 | F20 | F30 | F40 | F50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pevnost v tahu za ohybu (MPa) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 |

*Třídy cementových potěrů podle odolnosti obrusu - metoda Böhme (ČSN EN 13892-3) Tab. 4.105*

| Třída | A22 | A15 | A12 | A9 | A6 | A3 | A1,5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Množství obrusu ($cm^3$/50 $cm^2$) | 22 | 15 | 12 | 9 | 6 | 3 | 1,5 |

*Třídy cementových potěrů podle odolnosti obrusu – metoda BCA (ČSN EN 13892-4) Tab. 4.106*

| Třída | AR6 | AR4 | AR2 | AR1 | AR0,5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Maximální hloubka obrusu (μm) | 600 | 400 | 200 | 100 | 50 |

*Třídy cementových potěrů podle odolnosti proti opotřebení valivým zatížením (ČSN EN 13892-5) Tab. 4.107*

| Třída | RWA 300 | RWA 100 | RWA 20 | RWA 10 | RWA 1 |
|---|---|---|---|---|---|
| Množství obrusu ($cm^3$) | 300 | 100 | 20 | 10 | 1 |

*Třídy cementových potěrů s podlahovou krytinou podle odolnosti proti opotřebení valivým zatížením (ČSN EN 13892-7) Tab. 4.108*

| Třída | RWFC 150 | RWFC 250 | RWFC 350 | RWFC 450 | RWFC 550 |
|---|---|---|---|---|---|
| Zatížení (N) | 150 | 250 | 350 | 450 | 550 |

*Třídy cementových potěrů podle tvrdosti povrchu (ČSN EN 13892-6) Tab. 4109.*

| Třída | SH30 | SH40 | SH50 | SH70 | SH100 | SH150 | SH200 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tvrdost povrchu (MPa) | 30 | 40 | 50 | 70 | 100 | 150 | 200 |

*Třídy cementových potěrů podle modulu pružnosti (ČSN EN ISO 178) Tab. 4.110*

| Třída | E1 | E2 | E5 | E10 | E15 | E20 | vyšší v násobku 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Modul pružnosti v tahu za ohybu (MPa) | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 – 30 atd. |

*Třídy cementových potěrů podle přídržnosti (ČSN EN 13892-8) Tab. 4.111*

| Třída | B0,2 | B0,5 | B1,0 | B1,5 | B2,0 |
|---|---|---|---|---|---|
| Přídržnost (MPa) | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Specifikace požadovaných vlastností na CP musí vždy vycházet z konkrétního účelu jeho použití a dosahuje se vhodným druhem a složením CP. Technické požadavky jsou uvedeny v ČSN 74 4505.

Ověřování skutečných vlastností CP pro kontrolu shody se řídí zkušebními postupy v souboru norem ČSN EN 13892-1 až 8 v návaznosti na konkrétní technické požadavky podle výše uvedené normy.

### 4.6.9.2 Použití cementových potěrů

Obecně mají CP široké uplatnění jak v bytové, tak i v průmyslové výstavbě, kde se může uplatnit jejich dobrá odolnost obrusu, přirozená drsnost (příp. snadná opracovatelnost povrchu) a požadovaná škála pevností.

Spřažené potěry se používají především na konečnou úpravu povrchu konstrukcí, u nichž není možné dosáhnout konečné úpravy přímo při betonáži, nebyla dosažena požadovaná rovinnost povrchu konstrukce nebo bude podlaha vystavena velkému zatížení a součástí povrchové úpravy je provedení speciální obrusné vrstvy (např. zahlazovaný korundový vsyp). Předpokladem pro kvalitní spřažení CP s podkladem je vhodné zdrsnění podkladu, odstranění nečistot a separačních látek, nejlépe otryskáním vysokotlakým vodním paprskem, příp. opískováním. Doporučuje se podklad předem vlhčit min. po dobu 48 hodin a těsně před nanesením CP aplikovat spojovací (adhezní) můstek např. na bázi akrylátové disperze, která ale nesmí předčasně zaschnout.

Tloušťka spřaženého CP by obecně měla být nejméně třikrát větší, než je použité největší zrno kameniva, resp. při návrhu skladby nebo výběru vhodného typu předmíchané suché směsi CP je nutno zohlednit realizovanou tloušťku vrstvy.

Potěry na oddělovací (separační) mezivrstvě se používají v případě pokládky na hydroizolační vrstvu nebo na vrstvu parozábrany.

Plovoucí potěry se zhotovují zpravidla na vrstvu stlačitelné tepelné nebo zvukové izolace a tvoří samostatný konstrukční celek ve skladbě podlahy. Proto musí být dimenzovány s ohledem na provozní zatížení (v některých případech se doporučuje jejich vyztužení svařovanou sítí).

### 4.6.9.3 Složky cementového potěru

Pro výrobu CP se používají stejné základní i doplňkové složky jako pro obyčejný beton – viz *kap. 4.6.2* a *4.6.4*.

Jako pojiva je možno použít všechny druhy cementů vyhovujících ČSN EN 197-1 – viz *tab.* , zpravidla se používají druhy CEM I a CEM II třídy 32,5 nebo při požadavku rychlejšího nárůstu pevnosti a vyšší konečné pevnosti CP třídy 42,5. Dávka cementu by neměla překročit 450 $kg.m^{-3}$.

Maximální zrno kameniva se volí podle tloušťky CP, do tloušťky 40 mm se používá zrno max. 8 mm, nad 40 mm max. 16 mm. V případě zvláštních požadavků na zvýšenou odolnost CP proti obrusu a otěru se používá tvrdé kamenivo nebo se při pokládce CP zahlazuje do zavadlého povrchu např. korundový vsyp.

Dávka vody se volí co nejnižší, doporučovaná konzistence u klasicky pokládaných potěrů je F2 (rozlití 350 až 410 mm. Pro zlepšení zpracovatelnosti se doporučuje používat plastifikační nebo superplastifikační (ztekucující) přísady, umožňující buď čerpání čerstvého betonu pro CP nebo samonivelační efekt.

V případě vystavení CP účinkům vody a mrazu při působení CHRL (např. v prostoru garáží) se doporučuje použít při jejich výrobě provzdušňující přísady – viz *kap. 4.6.4.1.3*.

Proti rychlému vysychání a pro zlepšení zpracovatelnosti i pevnostních charakteristik se mohou přidávat disperze plastických hmot v dávkách cca 15 hmot. % sušiny na hmotnost cementu - viz *kap. 4.6.9*. U běžné disperze se sušinou 50 % to znamená dávku cca 30 hmot. % disperze z hmotnosti cementu.

### 4.6.9.4 Technické požadavky na cementové potěry

Vrstvu CP je třeba zhotovit tak, aby bylo umožněno její přetvoření vlivem reologických účinků objemových změn a vlivem teploty bez vzniku podružných napětí a nevznikaly akustické mosty. Proto je třeba zamezit vzniku jakýchkoli silových spojení (těsného kontaktu) CP se stěnami a prostupujícími sloupy vložením izolačního (separačního) pásku např. z pěnového polyetylenu min. tl. 5 mm přes celou výšku vrstvy CP (*obr. 4.xx*).

Vrstva CP musí respektovat všechny dilatace v nosné konstrukci. Doporučuje se vkládat dilatační lišty již při provádění CP. Dilatační spára musí být vyplněna hmotou umožňující pohyb vrstev. Rovněž je nutno v pravidelném rastru provádět v CP smršťovací spáry za účelem eliminace nekontrolovaného vzniku „divokých“ smršťovacích spár vlivem objemových změn CP.

Vzdálenost spár závisí např. na konzistenci směsi, na dávce cementu a na řadě dalších faktorů ovlivňujících velikost smršťování CP. Smršťovací spáry se vytvářejí řezem do 24 hodin po realizaci vrstvy CP do cca 2/3 její výšky.

Rastr smršťovacích spár se obvykle provádí pravoúhlý, nejlépe čtvercový. V případě obdélníkového tvaru by poměr stran neměl být větší než 1 : 4. Jako max. vzdálenostech spár se doporučuje hranice 6 m a velikost oddělovaných ploch by v žádném případě neměla překročit 40 $m^2$.

Při podlahovém vytápění je vhodnější vzdálenosti spár zmenšit.

V ČSN 74 4505 jsou předepsány min. návrhové tloušťky nevyztužených vrstev plovoucích CP (i na bázi síranu vápenatého) podle stlačitelnosti podkladních vrstev a v závislosti na jejich uvažovaném zatížení.

V bytové výstavbě s běžným plošným zatížením podlahy 2,0 $kN.m^{-2}$ bez podlahového vytápění se doporučuje provádět CP v tloušťce od 35 mm do 45 mm při dosažení třídy pevnosti v tahu za ohybu F7, resp. F4. Stlačitelnost izolačních hmot při zatížení nesmí být větší než 10 %, v případě stlačitelnosti větší než 5 mm je třeba zvýšit tloušťku CP min. o 5 mm. V místnostech a provozech s předpokládaným větším užitným zatížením, je nutno tloušťku CP zvětšit podle statického výpočtu. Zvláštní pozornost je třeba věnovat složení CP při podlahovém vytápění z důvodu vyšších objemových změn betonu.

Mechanická odolnost a stabilita CP v bytové nebo občanské výstavbě se hodnotí zejména prostřednictvím pevnosti v tahu za ohybu. Požadavky na úroveň pevnosti v tahu za ohybu CP jsou specifikovány v ČSN 74 4505 pevnostní třídou F4 až F7, tj. min. 2,0 MPa až 3,5 MPa podle ČSN EN 13813 (viz tab. 4.106) a zejména u plovoucích CP v závislosti na velikosti plošného či bodového zatížení.

Dosažení těchto předepsaných pevností se kontroluje na tělesech vyrobených přímo na staveništi nebo odebraných z hotových vrstev CP. Alternativně lze pevnost CP ověřit pomocí odtrhové zkoušky povrchových vrstev, kdy pro třídu pevnosti F4 musí být průměrná pevnost v tahu větší než 1,25 MPa (pro nepojížděné podlahy), u třídy F5 větší než 1,75 MPa a u třídy F7 větší než 2,25 MPa.

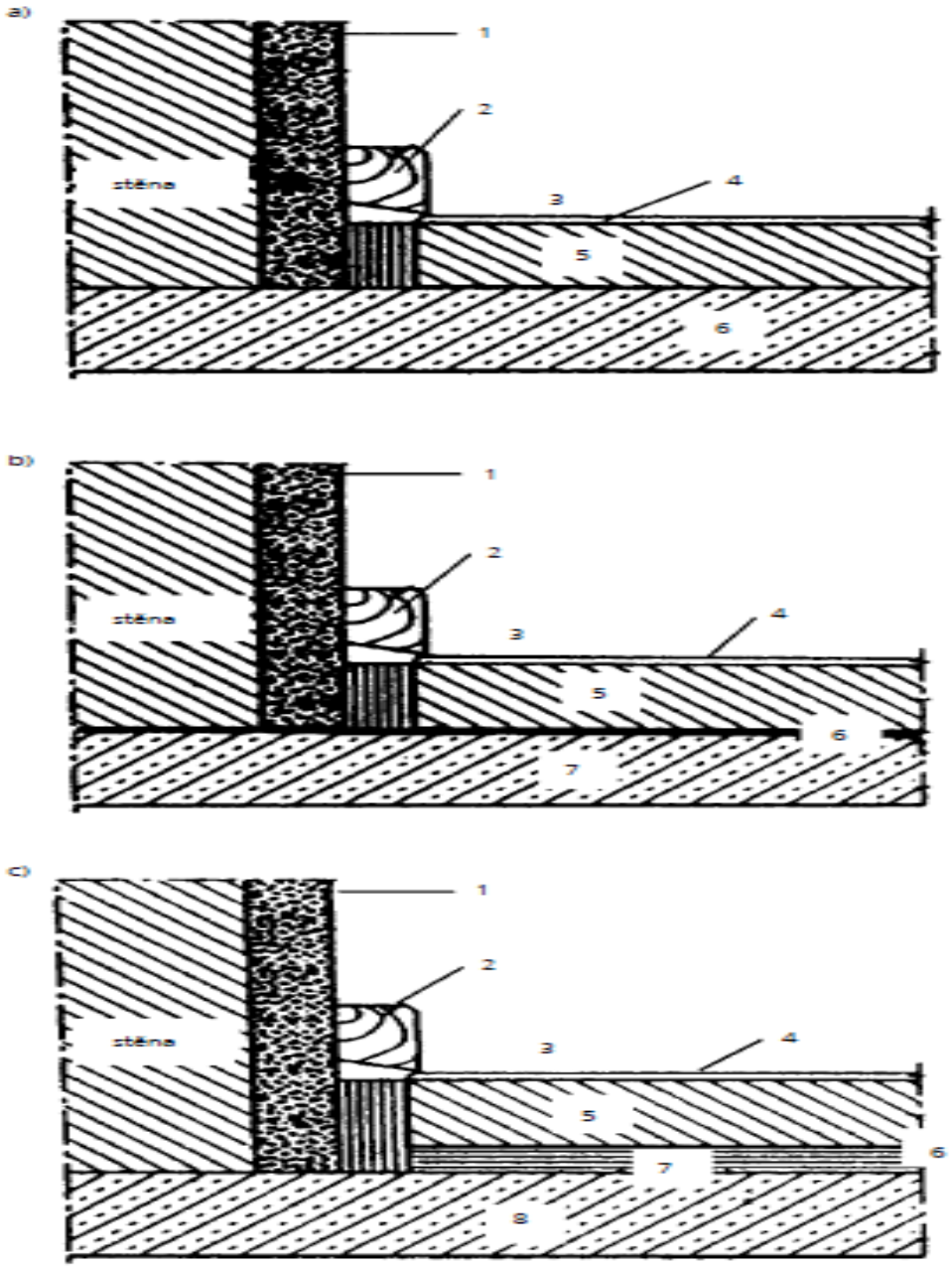
Pro průmyslové podlahy se požaduje, aby kvalita podkladní nebo přímo pojížděné vrstvy odpovídala nejméně pevnostní třídě C20/25 podle ČSN EN 206-1, případně pevnostní třídě, která byla stanovena statickým výpočtem.

Pohledová úprava cementového potěru, která umožňuje použít cementový potěr jako finální nášlapnou vrstvu se provádí broušením.

Broušením se zviditelní zrna přítomného kameniva a v podstatě platí, že různobarevné plošky tvořené obroušenými kamennými zrny se zvětšují s rostoucí hloubkou obrusu a jejich počet s hloubkou obrusu roste.

Po očištění obroušeného povrchu se musí provést sanace (utěsnění) otevřených pórů. K sanaci pórů se používá bezbarvý krystalizační impregnant (densifikátor) a zpevněný povrch se následně přeleští.

Broušený cementový potěr s kvalitní povrchovou úpravou může funkčně nahradit dlažbu. Při probarvení ve hmotě může splňovat individuální požadavky na barevné pojetí stavby a díky snížení hodnoty obrusu podle ČSN EN 13892-4 až pod hodnotu 15 µm bude dobře sloužit i v náročných podmínkách.




Obr. 4.88 Cementový potěr

a) spřažený cementový potěr

1 – omítka, 2 – lišta, 3 – separační pásek (pěnový polyetylen), 4 – podlahovina, 5 – potěr, 6 – podkladní železobetonová konstrukce

*b) oddělený potěr na separační mezivrstvě*

1 – omítka, 2 – lišta, 3 – separační pásek (pěnový polyetylen), 4 – podlahovina, 5 – potěr, 6 – separační nebo izolační vrstva, 7 – podkladní železobetonová konstrukce

*c) oddělený plovoucí potěr*

1 – omítka, 2 – lišta, 3 – separační pásek (pěnový polyetylen), 4 – podlahovina, 5 – potěr, 6 – separační vrstva (lepenka, fólie), 7 – tepelně nebo akusticky izolační vrstva, 8 – podkladní železobetonová konstrukce

### 4.6.10 Polymercementové betony

Jedná se o betony obvyklého složení, u nichž bylo použito určitého vhodného polymeru jako druhotné modifikující složky. Takto připravené betony se označují symbolem PCC (Polymer Cement Concrete). Polymer se přidává jako příměs do čerstvého betonu, kde ale nevstupuje přímo do chemické reakce s cementem. Ke vzájemnému spolupůsobení dochází jen v rámci mezimolekulárních sil.

Polymery se používají pro zlepšení zpracovatelnosti čerstvého betonu při částečné úspoře záměsové vody a zejména pro zvýšení pevnosti ztvrdlého betonu v tahu i pro zvýšení jeho přilnavosti k podkladu.

S ohledem na tyto skutečnosti se polymercementové směsi uplatňují při formulaci reprofilačních malt, cementových lepicích hmot a potěrových vrstev sloužících jako podlahy.

Polymerní složka se do polymercementové hmoty může jednoduše přidat ve formě vodní disperze (spolu se záměsovou vodou). Nejčastěji se používají tyto látky:

- polyvinylacetát (PVAC) a jeho kopolymery – v alkalickém prostředí podléhá hydrolýze, proto je nevhodný do vlhkého prostředí,
- akryláty (A) a metakryláty (MA) – více odolávají alkalické hydrolýze i slabšímu chemicky agresivnímu prostředí (XA1),
- styrenakryláty – v současné době pro přípravu PCC asi nejrozšířenější typ.

Určitou úpravou lze získat i práškové redispergovatelné polymery, které se s výhodou používají do speciálních cementových malt (např. pro sanaci betonových konstrukcí) nebo do cementových lepidel pro kladení keramiky.

Některé polymerní disperze (zejména styrenakrylátové) se používají i jako přísada do konstrukčních betonů. Nacházejí uplatnění při výrobě továrních betonových komínů se zvýšenou odolností proti kouřovým plynům, dále při výrobě betonového potrubí s vyšší chemickou odolností a při provádění betonových ploch odolávajících ropným produktům nebo slabším roztokům organických kyselin.

Zlepšená rázová houževnatost polymercementových betonů se využívá při výrobě betonových pilot, které je možné zatloukat do půdy beranidlem.

Řádově vyšší tahová pevnost polymercementového pojiva umožňuje také vyrobit natolik soudržné polymercementové mezerovité betony, že z nich mohou být zhotovovány povrchy vozovek. Výhodou těchto vozovek je rychlé vysychání po dešti vlivem vysoké propustnosti vody tímto betonem do podloží a zvýšený útlum hluku způsobeného dopravou. Pro příznivé akustické vlastnosti se mezerovité polymercementové betony někdy používají na úseky silnic v bezprostřední blízkosti nemocnic či sanatorií. Širšímu uplatnění brání vyšší cena než u běžných mezerovitých betonů s cementovým pojivem.

Polymerní disperze se mohou použít i dodatečně pro impregnaci ztvrdlého betonu (pro omezení propustnosti kapilár a zvýšení odolnosti povrchových vrstev proti karbonataci). Impregnace se provádí nátěrem nebo nástřikem. V takovém případě se polymerní disperze obvykle používají ve zředěné formě, obsahující pouze cca 10 % sušiny, aby na povrchu betonu nedocházelo ke vzniku souvislého parotěsného filmu.

Od výše uvedené impregnační technologie (která je fakticky pouze povrchovou úpravou) je třeba rozlišovat technologii tlakové impregnace betonu reaktoplastickými polymerními pojivy (zpravidla epoxidovými), která vede ke vzniku nové kompozitní struktury. Materiál vzniklý tlakovou impregnací se od běžného polymercementového kompozitu značně liší, a proto jsou betony připravené tlakovou impregnací chápány jako samostatná skupina a jsou označovány samostatným symbolem PIC (Polymer Impregnated Concrete).

Hloubková tlaková impregnace (prostřednictvím relativně husté řady vrtů) se používá jako sanační opatření, sloužící k revitalizaci pevnostně problematického betonového prvku. Je to ovšem vysoce individuální zákrok, značně náročný na odbornost provádějící firmy.

Pro úplnost je třeba uvést, že pokud polymerní pojivo (nejčastěji pojivo reaktoplastického typu) zcela nahrazuje cement, označuje se vzniklý kompozitní materiál jako PC (Polymer Concrete) či polymerbeton. Stále živý je i starší název plastbeton. Blíže je o polymerbetonu pojednáno v *kap. 4.10*.

### 4.6.11 Beton pro 3D tisk

Betonový tisk 3D lze použít k výrobě konstrukčních prvků.. Je-li správně navržen. vytváří příležitosti ke snížení času a nákladů.

Klíčovou složkou úspěchu je optimalizovaná směs betonu nebo malty, která zajistí správné posuny, umístění a vytvrzování během procesu 3D tisku.

Tiskárna používá chemicky modifikovanou směs betonu nebo malty, která je čerpána do trysky, která je pečlivě posunivána ve třech rozměrech.

Celý extrudér je řízen počítačovým portálovým systémem a vytiskne součásti a struktury vrstvou po vrstvě.

Klíčovým prvkem takového systému je betonové čerpadlo, vytlačovací stroj, optimalizovaná betonářská směs a počítačový portálový systém.

V ruce 2O17 společnosti ze San Francisca trvalo postavení malého moderního domku (tedy spíše modelu domku) o rozměrech 38 $m^2$ pouhých 24 hodin**.** Tiskárnu stačilo pouze zásobovat betonem, o zbytek se postarala sama. To vše za neuvěřitelně nízkou cenu, v přepočtu necelých 250 tisíc korun.

## 4.7 Silikátová kusová staviva

Vynikající vlastnosti silikátových hydraulických pojiv jsou využívány při průmyslové výrobě různých kusových staviv. Výhodou průmyslových postupů je práce za stále stejných vnějších podmínek a větší možnosti při tvarovém zpracování a zhutňování výchozí kompozitní hmoty.

V podmínkách průmyslové výroby je navíc možné vytvrzování tepelně urychlovat (UTB technologie používaná pro betonové prefabrikáty), nebo vhodným (hydrotermálním) ohřevem v pojivu dokonce vyvolávat i vznik nové struktury (autoklávované výrobky).

### 4.7.1 Betonové prefabrikáty

K nejvýznamnější kusovým silikátovým stavivům patří výrobky z betonu. Průmyslově se dnes z betonu vyrábí především velké množství různých stavebních dílců, které je možno třídit podle různých hledisek (velikosti, účelu, rozměru).

Podle funkce můžeme prefabrikáty pro pozemní stavby rozdělit na dvě velké skupiny a to na prefabrikáty pro hrubou výstavbu a na prefabrikáty dokončovacích prací.

Do první skupiny patří betonové zdicí prvky, betonové a železobetonové prefabrikáty základové, stěnové, stropní dílce plné či dutinové (předpjaté nebo nepředpjaté) deskového nebo TT tvaru, stropní dílce pro ztracené bednění, překlady, sloupy, nosníky, průvlaky, dílce pro konstrukce krovů, dílce schodišťové, balkónové a další prvky panelového typu.

Do druhé skupiny řadíme všechny výrobky ostatní jako podlahové dílce, instalační prefabrikáty, zámkovou dlažbu, prvky zahradní architektury, oplocení a jiné.

Samostatnou skupinu tvoří prefabrikáty pro inženýrskou výstavbu kam patří odvodňovací systémy (štěrbinové trouby), kanalizační trouby, šachtové skruže, prostorové prefabrikáty žump z vodotěsného betonu, propustky a další tvarové kusy.

V současnosti nabývají na významu především malé prefabrikáty (zdící prvky, dlažba, tašky), které se dnes vyrábějí nejčastěji vibrolisováním na automatických strojních linkách.

#### 4.7.1.1 Betonová krytina

První betonové tašky se vyráběly v již roce 1901 jednoduchým odléváním cementové malty do formy.

Současná vibrolisovací technologie vychází z čerstvého betonu s velmi nízkým obsahem vody (u kterého není klasifikována konzistence), který se do ocelových forem příslušného tvaru lisuje pod velkým tlakem 18 až 20 MPa. Asi po 16 hodinách, kdy proběhne hydratace cementového tmelu, může být výrobek odformován a vyvezen z haly na vnější prostranství za účelem nabytí konečných vlastností

Betonová taška, dnes už naprosto rovnocenná alternativa klasické tašky pálené, s níž sdílí zařazení v kategorii tzv. těžkých skládaných krytin, se rozšířila po českých střechách s takovou samozřejmostí, že není žádného důvodu upírat jí právo na existenci.

Svými vlastnostmi za pálenou krytinou ostatně v ničem nezaostává.Těžko se od ní na první pohled rozezná, má podobné profilování, obdobnou barevnou škálu, ale navíc i některé přednosti. Je rozměrově přesnější a pro pokládku tedy snazší.

Ač by tomu první dojem nenasvědčoval, ve velkoformátových a většinou také ve standardních modelech jsou betonové tašky srovnatelná s pálenou krytinou i hmotností (38 až 54 $kg.m^{-2}$). V profilu bobrovek je ale betonová krytina nejtěžší krytinou vůbec (více než 80 $kg.m^{-2}$), značně zatěžuje krov a pro rekonstrukce je nejméně vhodná.

Betonová krytina se vyrábí z portlandského cementu CEM I, křemičitého písku a barevných pigmentů na bázi oxidu železa, které ji kromě základní šedé tónují do několika dalších barev: cihlově červené, červenohnědé, tmavohnědé, památkově červené, světle zelené, tmavě zelené, tmavě modré a břidlicově černé.

Betonové tašky jsou většinou opatřeny dvojitým akrylátovým nástřikem, nověji též povrchovou úpravou pětivrstvou; méně častý je granulovaný povrch.

Plocha betonové krytiny, která je vystavena vlivům počasí, by měla být taková, aby hotová střecha v celkovém pohledu působila harmonicky. Malé barevné rozdíly způsobené výrobou jsou přípustné. Vlivem působení počasí dochází ke změnám barvy a vzhledu betonové krytiny.

Evropská norma ČSN EN 490 z roku 2005 rozeznává tyto druhy tašek:

tašku žlábkovou, tj. úžlabní tašku, která se používá tam, kde na sebe navazují dvě střešní plochy svírající úhel,

tašku drážkovou, tj. profilovanou nebo rovnou tašku, která má boční drážky nebo boční i čelní drážky,

tašku bezdrážkovou, tj. profilovanou nebo rovnou tašku bez drážkování,

zvláštní tašku tj. tvarovku, která v krytině splňuje zvláštní funkci, např. hřebenáč, prvky pro nároží a žlaby, hákový klenák, prvky pro převislé střechy.

Norma dále rozeznává střešní tašky s pravidelnou nebo nepravidelnou přední hranou. Některé modely tašek mají plánovitě, např. z estetických důvodů, nepravidelnou přední hranu. Na ně se pak některé dále uvedené požadavky nevztahují.

#### 4.7.1.1.1 Požadavky a typové zkoušky

Pro betonovou krytinu s pravidelně se měnící závěsnou délkou se nesmí při kontrole podle ČSN EN 491: 2004 závěsná délka odchylovat o více než ±4 mm od deklarovaných hodnot. Při kontrole pravoúhlosti betonové krytiny s jmenovitou konstantní závěsnou délkou nesmí být rozdíl závěsných délek na krajích tašky větší než 4 mm.

Krycí šířka tašky drážkové s udanou vůlí krycí šířky musí při zkoušce podle ČSN EN 491 splňovat následující podmínky:

- jedna desetina krycí šířky 10 tašek v roztaženém stavu musí být rovna nebo větší než jmenovitá krycí šířka tašky plus zadané „plusová vůle v krycí šířce“,
- jedna desetina krycí šířky 10 tašek ve sraženém stavu musí být rovna nebo menší než jmenovitá krycí šířka tašky minus zadané „minusové vůle v krycí šířce“.

Pro tašky bez uvedené vůle v krycí šířce a tašky bez vůle v krycí šířce udané výrobcem se smí odchýlit střední (průměrná) hodnota krycí šířky nejvíce o ±5 mm od hodnot deklarovaných výrobcem. U tašek bez drážek se může střední krycí šířka odchylovat nejvíce ±3 mm od deklarovaných hodnot.Toto ustanovení neplatí pro tašky navržené jako nerovné.

Rovinnost se určuje přiložením na rovnou plochu a podle výše uvedené zkušební normy nesmí být mezera mezi jmenovitými body dotyku a rovnou srovnávací plochou větší než 3 mm nebo jedna setina jmenovité krycí šířky tašky (zaokrouhleno na celé mm), přičemž určující je nejvyšší hodnota.

Průměrná hodnota hmotnosti musí splňovat následující požadavky:

- pro tašky o hmotnosti max. 2 kg smí činit odchylka od hodnoty deklarované výrobcem maximálně ±0,2 kg;
- pro tašky o hmotnosti větší něž 2 kg smí činit odchylka od hodnoty deklarované výrobcem maximálně ± 10%.

Při zkoušce únosnosti podle zkušební normy ČSN EN 491 nesmí být hodnota $F_c$ menší než příslušné hodnoty uvedené v tabulce.

Tašky zkoušené dříve než 28 dní ode dne výroby vyhovují ustanovení normy ČSN EN 490, pokud jejich únosnost činí nejméně 80% hodnoty uvedené v tabulce a výrobce může statisticky dokázat, že hodnoty, podle uvedené tabulky, dosáhne za 28 dnů.

Minimální hodnoty charakteristické únosnosti $F_c$ *Tab. 4.112*

| Charakteristický rozměr | Tašky drážkové | | | | | | Tašky bez drážek |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Výška profilu | profilované tašky | | | | rovné tašky | | |
| | $d > 20$ mm | | $20 \text{ mm} \geq d \geq 5$ mm | | $d < 5$ mm | | |
| Jmenovitá krycí šířka (mm) | ≥ 300 | ≤ 200 | ≥ 300 | ≤ 200 | ≥ 300 | ≤ 200 | |
| $F_c$ (N) | 2000 | 1400 | 1400 | 1000 | 1200 | 800 | 550 |

Poznámka: Pro profilované drážkové tašky, jejichž krycí šířka je mezi 200 mm a 300 mm, je třeba zjistit charakteristickou únosnost pomocí lineární interpolace mezi hodnotami uvedenými v tabulce.

Při zkoušce prosákavosti podle výše uvedené normy se smí na spodním povrchu tašky nebo úžlabní tašky objevit během zkoušky kapka vody, ale před uplynutím kontrolní doby 20 hodin nesmí odkápnout. Může být použita i jiná kontrolní metoda, pokud je prokázána uspokojující statistická souvislost s výsledky zkoušek provedených podle zkušební normy ČSN EN 491.

Po provedení zkoušky mrazuvzdornosti (trvanlivosti) podle zkušební normy (25 zmrazovacích cyklů) musí krytina vyhovět požadavkům na prosákavost a únosnost. Zkoušky prosákavosti vody se provádějí proto, aby se zjistilo, že střídání mrazu a rosy nezpůsobí na krytině žádné poškození.

Střešní tašky s ozuby se zkoušejí podle zkušební normy. Ozuby musejí držet tašky ve zkušební poloze po stanovenou zkušební dobu.

Tašky a žlábkové tašky z betonu odpovídají požadavkům ČSN EN 490, pokud je možné statisticky prokázat, že nejméně 95% výrobků splňuje požadavky této normy.

Střešní tašky mají být vyrobeny tak, aby je bylo možné připevnit na střešní konstrukci nebo na jiných částech konstrukce obvyklými, pro tento účel zvláště vyrobenými, prostředky.

Obvyklé mechanické připevňovací prostředky jsou hřebíky, šrouby, háky, svorky, spojovací drát atd.

Mechanické připevňovací prostředky (nezbytné pro velké sklony nad 45°) by nem ěly negativně ovlivňovat funkčnost a použitelnost betonové krytiny.

#### 4.7.1.1.2 Použitelnost betonové krytiny

Výrobci betonové střešní krytiny deklarují, že s touto krytinou lze provést i ty architektonicky nejnáročnější střechy se sklonem od 12° do 90°.

Za bezpečný minimální sklon střechy s betonovou krytinou se však považuje sklon 22°. P ři tomto sklonu krytina bezpečně odvádí srážkovou vodu bez nutnosti jakýkoliv dalších opatření (tab. 4. 113).

Bezpečný sklon šikmých střech z betonových tašek *Tab.4.113*

| Krytina betonová | Druh tašky | Způsob krytí | Bezpečný sklon |
|---|---|---|---|
| Drážková | | | |
| s boční drážkou vyvýšenou (Bramac Alpská, Max, Moravská) | profilovaná | jednoduché | 22° |
| s boční drážkou sníženou (Bramac Tegalit) | rovná | jednoduché | 25° |
| Bez drážkování | | | |
| bobrovka (168 × 420 mm) | rovná | dvojité:<br>• korunové<br>• šupinové | 30° |
| | | jednoduché s podložením | 40° |

Jsou-li však na zastřešení kladeny zvýšené požadavky z důvodu sklonu střechy, náročných klimatických podmínek či využívání podkroví pro obytné účely, je při projektování a montáži nutno provést doplňkové konstrukce.

V případě těsného podstřeší (bednění a izolační fólie pod kontralatěmi) může být bezpečný sklon menší než 22°, ale větší nebo rovný 16°. V případě vodotěsného podstřeší (bednění a hydroizolace přes kontralatě) může být bezpečný sklon ještě menší než 16°, ale větší nebo rovný 12°.

Soudobá betonová krytina je mrazuvzdorná, vhodná do všech klimatických podmínek. Výrobci na ni poskytují záruční lhůtu 30 let, přičemž životnost se odhaduje na 100 let.

#### 4.7.1.1.3 Sortiment betonových krytin

Základní tašky drážkové jsou cenově nejvýhodnější. Dražší barevné odstíny jsou však až o 25 % dražší než tašky obyčejné. Dražší jsou tašky s akrylátovým nástřikem nebo pětivrstvou povrchovou úpravou a speciálními barvami jako zelená, modrá a černá. Za luxusní provedení je možné považovat černou metalízu. Nákladnější je i tak zvaná alpská taška, která má povrch chráněný nástřikem granulátu. Nejdražší betonovou krytinou je taška bobrovka (obr. 4.80).

Je třeba si také uvědomit, že (stejně jako u pálené krytiny) zvýší nutné zvláštní a žlábkové tašky cenu krytiny i na více než dvojnásobek. Vedle hřebenáčů, okrajových, úžlabních, protisněhových a dalších zvláštních tašek (tvarovek) se na tom podílejí zejména tašky větrací.

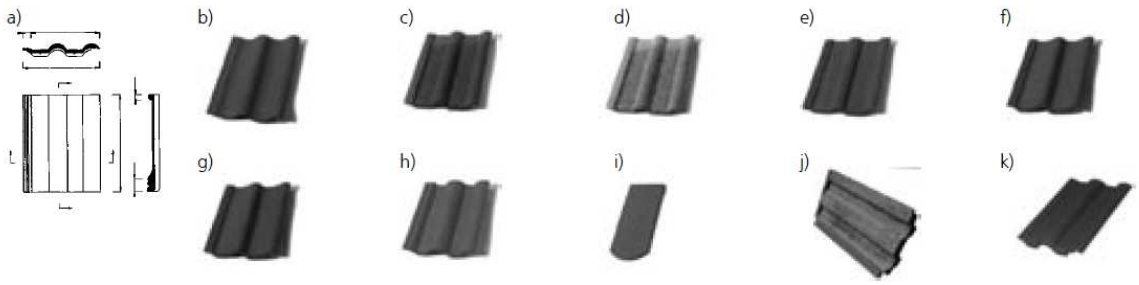
Výrobci poskytují bezplatný servis výpočtu střešních prvků a finančních nákladů, někteří umožňují vlastní kalkulace přímo na svých internetových stránkách.

Standardní betonová taška má typický rozměr 420x330 mm, ze kterého vyplývá krycí šířka 295 mm. Hmotnost tašky je 4,5 kg a spotřeba u běžné střechy 10 ks.m$^{-2}$.

Jako příklad velkoformátové tašky je možné uvést tašku s rozměry 480x365 mm, hmotností 5 kg, a spotřebou 7,5 ks.m$^{-2}$.

Základní provedení z neprobarveného přírodního betonu nachází uplatnění zejména u hospodářských a průmyslových staveb. Na venkov a rekonstrukce v historické zástavbě je vhodná červená probarvená taška vyrobená z betonu probarveného v celé hmotě nebo s povrchovou úpravou.

Orientační únosnost standardní betonové tašky je 3,0 až 3,5 kN, nasákavost 4 až 6% hmotnosti, mrazuvzdornost 25 cyklů.




*Obr.4.89* Přehled základních betonových tašek

### 4.7.1.2 Betonové dlaždice

Vibrolisované betonové dlaždice jsou určeny především pro zhotovování pozemních komunikací, tzn. vozovek, parkovišť, odstavných ploch apod. Protože jsou extrémně namáhány zatížením, obrusem a klimatickými vlivy, jsou na jejich vlastnosti kladeny poměrně vysoké nároky. Obecně vzato, normy pro betonové prvky vnější architektury neuvádějí žádné závazné nebo pevné rozměry a tvary těchto výrobků, ale pouze definují požadavky na jejich vlastnosti.

Požadavky ,zkušební metody a způsoby prokazování shody pro betonové dlažební bloky,betonové deskové dlaždice,pro betonové obrubníky a betonové prvky pro odvodnění (žlaby,žlábky aj.) jsou uvedeny v nových evropských normách ČSN EN 1338, 1339 a 1340 (2005).

Požadavky na betonové vibrolisované dlaždice, jejichž největší půdorysný rozměr (délka) není větší než čtyřnásobek tloušťky uvádí ČSN EN 1338. Základním požadavkem pro kontrolu jakosti těchto dlaždic není podle této normy pevnost betonu dlaždic v tlaku (dříve min. 50 MPa), ale pevnost v příčném tahu (průměrně min. 3,6 MPa,jednotlivě min. 2,9 MPa).

Výšková tolerance tloušťky dlaždic je zmenšena z původních 5 mm na pouhé 3 mm. Další a poměrně nejvýznamnější změna nastala při hodnocení odolnosti povrchu betonových výrobků jednak posuzováním odolnosti proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek (CHRL), jednak odolnosti povrchu proti obrusu.

Obě vlastnosti se prokazují novými zkušebními postupy (podle výše uvedených norem), které jsou naprosto odlišné od dřívějšího zkoušení podle ČSN 73 1326 metodou automatického cyklování (tj. metodou A nebo C), kdy úbytek hmoty po 100 zmrazovacích cyklech nesměl překročit 1000 gramů z metru čtverečního plochy výrobku. Změny se týkají především teplotního režimu cyklování a doby jednoho cyklu,dále pak vlastní přípravy zkušebního tělesa.

Výrobky vystavené pouze mrazu musí být vyrobeny z obyčejného betonu pevnostní třídy nejméně C 30/37 podle ČSN EN 206-1 a jeho nasákavost nesmí překročit hodnotu 6% hmotnosti. Stejný postup při hodnocení jakosti a prokazování shody s požadavky předepisuje ČSN EN 1339, která platí pro deskové dlaždice, jejichž největší půdorysný rozměr (délka) je větší než čtyřnásobek jmenovité výšky. Základním kriteriem hodnocení jakosti těchto dlaždic je jejich rozměrová přesnost a pevnost betonu v tahu za tříbodového ohybu.

Kritéria pro obrusnost a odolnost povrchu betonu proti působení vody a CHRL jsou stejná jako u dlaždic podle ČSN EN 1338. Poslední normou je ČSN EN 1340, která platí pro obrubníky a výrobky sloužící k odvodnění komunikací. Požaduje,aby beton těchto výrobků dosahoval min. pevnosti 6,0 MPa v tahu za ohybu, beton zahradních a parkových obrubníků min. 5,0 MPa.

Pro nejširší použití v exteriéru, tzn. na vydláždění chodníků, veřejných prostranství, nádvoří, teras a zahradních cest je vhodná betonová dlaždice s reliéfem (např. rozměrů 500x500x45 mm a hmotnosti 26,5 kg), vyráběná technologií vibračního lití do plastových forem nebo klasická hladká dlaždice (např. rozměrů 500x500x50 mm a hmotnosti 28 kg nebo 300x300x35 mm a hmotnosti 6,8 kg).

V současné době jsou většinou vibrolisované (v kovových formách ) dlaždice vyráběny jako dvouvrstvé s pohledovou nebo nášlapnou vrstvou o tloušťce několika milimetrů. ČSN EN 1338 předepisuje tloušťku nášlapné vrstvy nejméně 4 mm. Dvouvrstvá technologie umožňuje spojit dohromady velmi pevný jádrový obyčejný beton a esteticky působící nášlapnou nebo pohledovou vrstvu (např. beton s dekorativním kamenivem z křemene, žuly apod.).

Dvouvrstvá technologie výroby umožnila i ekonomické probarvování nášlapné vrstvy dlaždic, takže lze zakoupit dlaždice v celé řadě barevných odstínů včetně probarvení nášlapné vrstvy směsí barev, které v konečném efektu vizuálně napodobuje například vzhled podzimního padaného listí.

Novinkou posledních let je provádění speciálních úprav povrchu dlaždic vymýváním, tryskáním, brokováním, otloukáním apod. Takto upravené povrchy jsou esteticky velmi působivé a vzhledem se již velmi přibližují štípanému přírodnímu kameni. Sortiment běžných dlaždic doplňují vodopropustné dlaždice, které propouští srážkovou vodu do podloží, dlaždice s bočními výstupky, které vytvářejí široké spáry pro vegetaci a dlaždice s výstupky na povrchu pro chodníky sloužící nevidomým a zrakově postiženým osobám.

Nejznámějším a nejrozšířenějším vibrolisovaným výrobkem jsou betonové dlaždice označované jako zámkové. Tento název se používá pro dlaždice s členitými boky, které do sebe navzájem zámkově zapadají. Vyskládáním jednotlivých zámkových dlaždice se vytvoří souvislá deska, kde vzájemnou vazbou a třením dochází ke spolupůsobení jednotlivých prvků.

V České republice se vyrábějí zámkové dlaždice v tloušťce 40,60,80 a 100 mm. Dlaždice o tl. 40 mm jsou určeny pro nemotoristické komunikace, dále pro zpevnění zahradních a parkových ploch, pro cyklistické stezky apod. Dlaždice o tl. 60 mm lze použít pro méně zatížené motoristické komunikace, veřejné chodníky, parkoviště osobních vozidel pod. Dlaždice o tl. 80 mm jsou vhodné pro veškeré motoristické komunikace, městské komunikace, parkoviště. Dlaždice o tl. 100 mm jsou určeny pro extrémně zatížené plochy jako jsou kontejnerová překladiště.

Počátkem roku 2004 se na českém trhu objevily barevné dlaždice impregnované vodní emulzí oligomerních siloxanů. Tato impregnace zabraňuje vsakování kapalin do betonu a umožňuje odstraňování skvrn od ropných produktů z povrchu dlaždic.

Siloxany impregnované dlaždice mají v podstatě vlastnosti srovnatelné s přírodním kamenem zejména z hlediska odolnosti vůči působení klimatických vlivů.

Zámkové dlaždice se kladou do čistého těženého říčního štěrkopísku frakce 4/8, popř. 2/5, jehož tloušťka je 30 až 50 mm. Podkladem štěrkopískové vrstvy může být (podle druhu zatížení) zhutněné drcené kamenivo od frakce 32/63; 16/32; 11/22; 8/16 nebo podkladní beton vyztužený sítí.

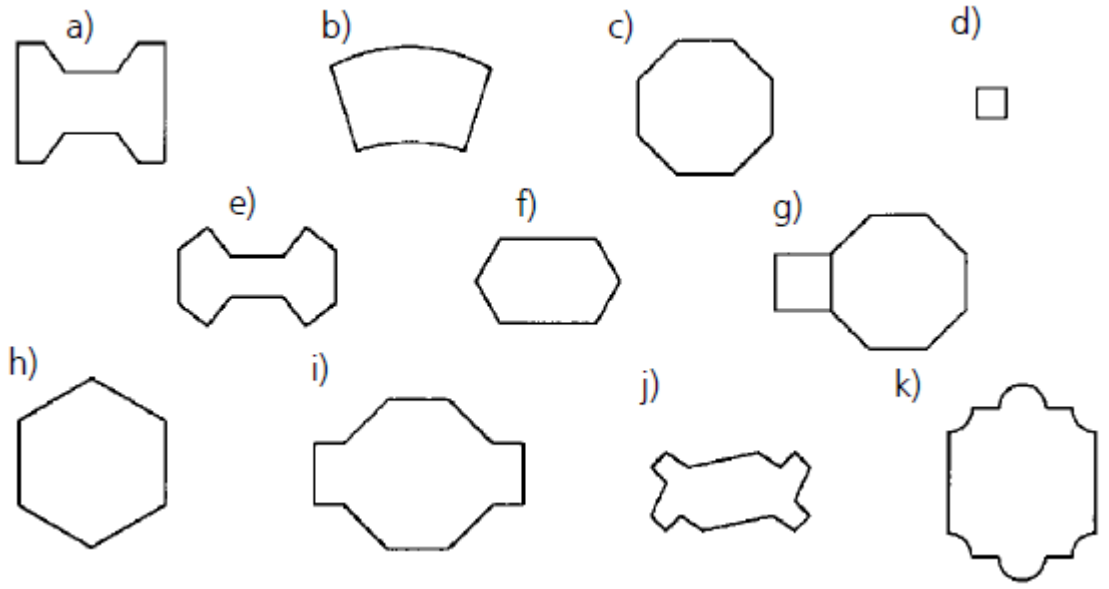
Zámková dlažba vykazuje pevnost v tlaku 35 až 60 MPa. Tvary jednotlivých dlaždic zámkové dlažby jsou na následujícím obrázku 4.7.2. Ukázka výrobků zámkové dlažby je na obrázku 4.7.3.

Z hlediska kvality celého stavebního díla je velmi důležitou částí správné provedení podkladové vrstvy. Ani nejkvalitnější dlažba nenahradí špatné provedení podkladové vrstvy.

Novinkou v sortimentu jsou broušené tvarovky 390x190x45 mm (hmotnosti 9,0 kg) použitelné pro plošnou dlažbu v exteriéru i interiéru. Tyto broušené tvarovky se lepí na betonový podklad.

V exteriéru se nejprve na podkladovou vrstvu ze zhutněného štěrkopísku frakce 0/8 a geotextilie vybetonuje deska z betonu třídy C 12/15 vyztužená sítí v tloušťce 100 mm.

Na přesně vyrovnanou betonovou plochu se nanáší tmel na dlažbu buď mrazuvzdorný (v exteriéru) nebo nemrazuvzdorný (v interiéru). Broušené tvarovky se pokládají do tmelu celou plochou. Spárování se provádí stejným tmelem pomocí pistole s kartuší. Tuto plošnou dlažbu je nutno dilatovat podle příslušných předpisů.




*Obr. 4.90* Prvky betonové dlažby

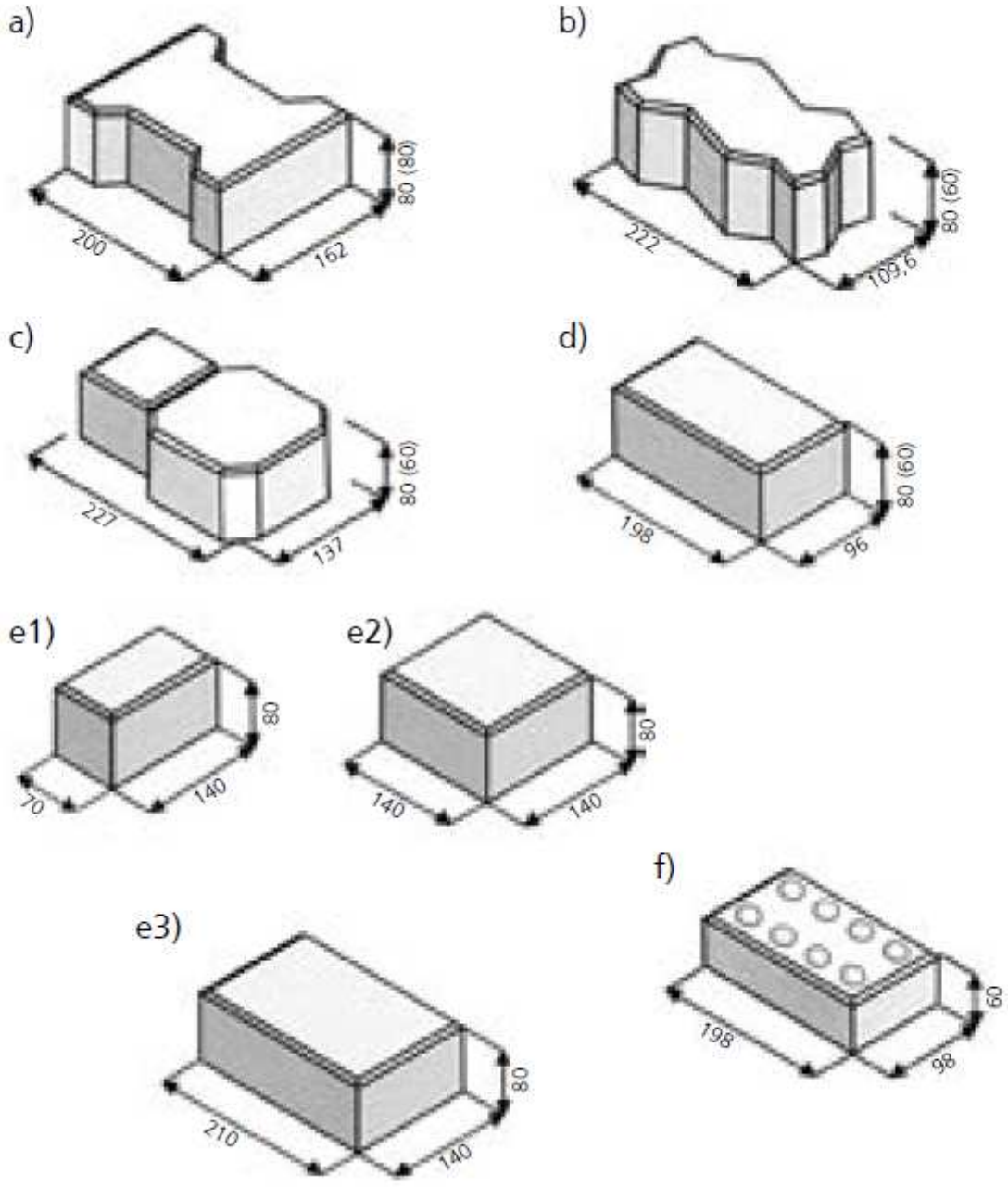
### 4.7.1.3 Betonové tvárnice

Používání betonových tvárnic má ve světě, zejména v USA a Francii, dlouholetou tradici. U nás se začaly ve větší míře používat až v posledním období v důsledku toho, že některé firmy zakoupily výkonná zahraniční zařízení na jejich výrobu.

Betonové tvárnice jsou vhodné pro výstavbu bytových a občanských staveb. Nacházejí uplatnění i pří rekonstrukcích. V současné době tvoří sortiment betonových tvárnic ucelený systém, umožňující velkou variabilitu stavění.

V ČR vyráběné tvárnice mají většinou pevnost v tlaku vztaženou na celou ložnou plochu vyšší než 5 MPa. Vyrábějí se obvykle z betonu C 25/30 vibrolisováním do ocelových forem, proto jsou přesné. Jsou nehořlavé, mrazuvzdorné, zdravotně nezávadné, dobře zvukově izolují. Tepelný odpor a další tepelně technické vlastnosti jsou závislé na vlastní konstrukci zdiva (zdivo jednovrstvé, vícevrstvé, druh tepelné izolace a její umístění v konstrukci).

Dutinové tvárnice (v různých barevných odstínech) jsou buď hladké, nebo drážkové, příp. režné (štípané), které kladou vysoké nároky na kvalitu zdění. Někteří výrobci vyrábějí betonové tvárnice s pevně zabudovanou polystyrénovou vložkou. Dalším druhem jsou tvárnice tvořící tzv. „ztracené“ bednění, neboť do jejich dutin lze uložit beton a výztuž (obrázek 4.83). Dutinové betonové tvárnice jsou velmi dobrými zdícími prvky.




*Obr. 4.91* Přehled výrobků zámkové dlažby

a)Uni kost, b) Uni stone, c) Uni dekor, d) Holand, e 1,2,3) Vyšehrad, f) Holand pro nevidomé

Objemová hmotnost tvárnic ve vysušeném stavu se pohybuje od 1050 až do více než 2000 $kg.m^{-3}$ a jejich maximální nasákavost od 8% do 24%.

Americké normy rozdělují betonové tvárnice plné a dutinové do dvou jakostních stupňů. Jakostní stupeň specifikuje souhrn vlastností tvárnic vyhovujících v hotovém stavebním díle požadavkům různé úrovně (pevnost, mrazuvzdornost, odolnost proti účinkům vlhkosti atd.).

U tvárnic I. jakostního typu se vlhkost kontroluje a dodržuje od okamžiku expedice z výroby až do zabudování do stěny. U tvárnic II. jakostního typu se vlhkost nekontroluje. Tato skutečnost má pak značný vliv na vlastní konstrukční uspořádání, tzn. na rozmístění dilatačních spár ve zděné konstrukci z důvodu předcházení poruchám způsobeným objemovými změnami betonu. Dilatační spáry v obou směrech musí být umístěny v závislosti na jakostním typu tvárnice v předepsaných vzdálenostech, ve stanovených místech na konstrukci a musí mít předepsané konstrukční provedení.

Pro výrobu tvárnic z lehkého betonu se místo hutného kameniva používá pórovité kamenivo. Nejrozšířenějším a nejvýznamnějším je keramické kamenivo z expandovaného přírodního jílu (keramzit), které má optimální pórovitou strukturu se slinutým povrchem.

Expandovaný jíl je lehký (sypná hmotnost pro výrobu tvárnic začíná od 300 $kg.m^{-3}$), má značnou pevnost v tlaku, nízkou tepelnou vodivost (asi 0,1 $W.m^{-1}.K^{-1}$ při ustálené hmotností vlhkosti 5%), malou nasákavost (přes vysokou vnitřní pórovitost), je mrazuvzdorný, mechanicky a chemicky stálý, kyselinovzdorný, žárovzdorný, zdravotně nezávadný a ekologický.

Rozměrově přesné tvárnice vyráběné vibrolisovací technologií z betonu obsahujícího keramzitové kamenivo mohou být plné (cihly) nebo dutinové s mezerovitou až hutnou strukturou o objemové hmotnosti 600 až 1200 $kg.m^{-3}$, s pevností v tlaku od 2 do 12 MPa.

Výrobní program prvků z keramzitového betonu pro zdění hrubé stavby je komplexní, neboť zahrnuje tvárnice pro vnitřní nosné a suterénní stěny, příčkovky, doplňkové bloky, komínovky atd. a tepelně izolační tvárnice pro vnější stěny koncipované tak, aby vnější stěna splnila požadavek na tepelný odpor větší než 2,0 $m^2.K.W^{-1}$.

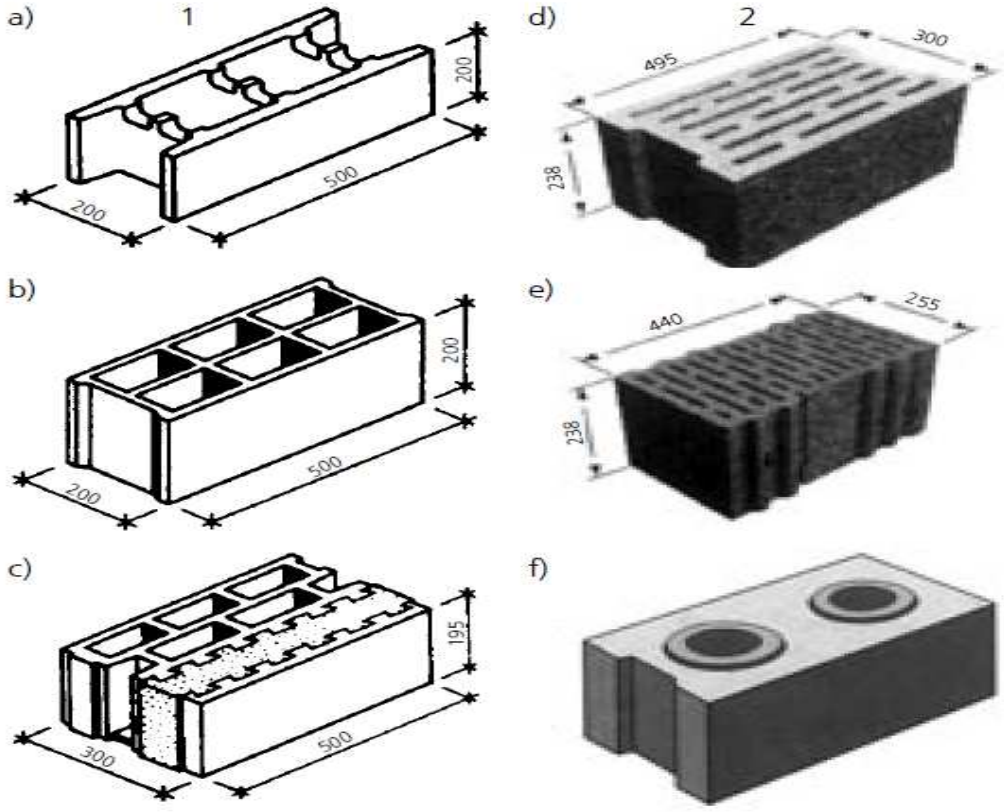
Novinkou jsou thermoakustické tvárnice Liapor SL, jejíž dutiny jsou zaplněny tepelně izolační hmotou na minerální bázi. Při tloušťce neomítnutého zdiva 365 mm. (z tvárnic 247 x 365 x240 mm,pevnostní značky P2, objemové hmotnosti 500 kg. $m^{-3}$ ) vyzděného na maltu Thermovit byl při praktické vlhkosti naměřen tepelný odpor R= 3,8 $m^2.K.W^{-1}$, vážená stavební neprůzvučnost $R'_w$= 52 dB.

Po létech vývoje uvádí společnost Lias Vintířov na trh kalibrované (broušené) tvárnice Liapor KSL (247 x 365 x 248 mm), které mají vodorovné plochy ložné spáry zbroušené do roviny s přesností 0,2 mm na speciální brousící lince. To umožňuje vyzdívání na maltu pro tenké spáry o tl. 2 mm. Použití kalibrovaného výrobku oproti standardnímu umožňuje vyšší produktivitu zdění, zvyšuje tepelný odpor zdiva (odstraněním tepelných mostů), snižuje vlhkost ve zdivu (až o 90% méně technologické vody v maltě potřebné pro spojení výrobků, což má příznivý vliv na smršťování a dotvarování zdiva) související s úsporou zdící malty vlivem snížení tloušťky ložné spáry. Od dubna 2007 rozšířila společnost svůj výrobní program o tvárnice pro pohledové zdivo Liapor R 400 x 100 nebo 195 x 200 mm, P4-1050.

Vedle výše uvedených vlastností mají zdicí prvky z keramzitového betonu též nízkou vzlínavost, velmi dobrou vzduchovou neprůzvučnost i zvukovou pohltivost, výbornou propustnost vodních par, a zejména vysokou objemovou stálost při změnách teploty a vlhkosti. Drsný povrch keramzitbetonových tvárnic umožňuje výbornou přídržnost omítky.

Z drcených granulí expandovaného jílu vhodnou křivkou zrnitosti se vyrábějí i malty a omítky, které celý keramzitový sortiment vhodně doplňují.

Tvárnice tzv. suchého zdění (jsou spojovány bez malty pomocí vyčnívajících prstenců v ložné ploše, zapadajících do kónických dutin) jsou dnes vyráběny nejčastěji z mezerovitého betonu z hutného kameniva nebo ze škvárobetonu (dříve z agloporitbetonu). Obvodové stěny vytápěných budov vyzděné z těchto tvárnic vyžadují vždy přídavnou tepelnou izolaci. Mrazuvzdorné tvárnice (25 cyklů) mají pevnost v tlaku v rozmezí 3 až 6 MPa, nasákavost max. 24% hmot. a rozměry v násobku 150 mm.




*Obr. 4.92* Tvárnice z obyčejného a lehkého betonu

1 – z obyčejného betonu s hutným kamenivem:

a – tvárnice ztraceného bednění běžná, b – tvárnice nosného zdiva, c – tvárnice tepelně izolační IZO PLUS běžná

2 – z lehkého betonu s pórovitým kamenivem:

d – liaporbetonová tvárnice 300, e – tvárnice Liatherm 440 Plus, f – tvárnice z lehkého betonu pro tzv. suché zdění

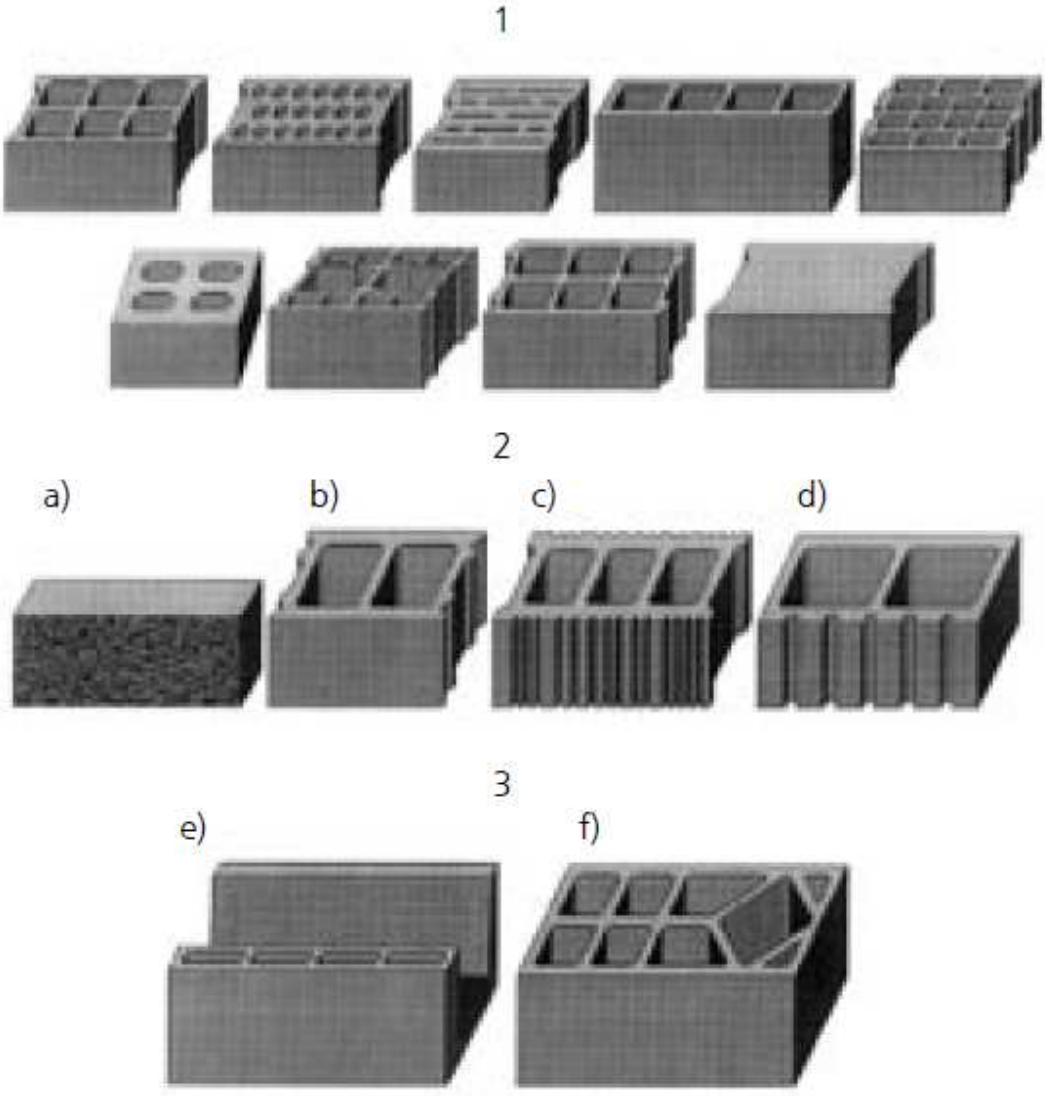
V Evropě je platná norma EN 771-3 Specifikace zdících prvků - Část 3: Betonové tvárnice s hutným a pórovitým kamenivem z roku 2003. Rozeznává tvárnice kategorie I (u nichž pravděpodobnost, že se nedosáhne deklarovaná pevnost v tlaku, je menší než 5%) a tvárnice II (u kterých se předpokládá, že nesplní podmínku požadovanou u prvků kategorie I). Požadavky na tolerance jmenovitých rozměrů podle tří kategorií, z nichž některou může deklarovat výrobce, jsou uvedeny v tab. 4.103.

Mezní odchylky betonových tvárnic v mm *Tab.4.114*

| Krytina betonová | Druh tašky | Způsob krytí | Bezpečný sklon |
|---|---|---|---|
| Drážková | | | |
| s boční drážkou vyvýšenou (Bramac Alpská, Max, Moravská) | profilovaná | jednoduché | 22° |
| s boční drážkou sníženou (Bramac Tegalit) | rovná | jednoduché | 25° |
| Bez drážkování | | | |
| bobrovka (168 × 420 mm) | rovná | dvojité:<br>• korunové<br>• šupinové | 30° |
| | | jednoduché s podložením | 40° |

Počáteční zkoušky nové tvárnice musí zahrnovat zkoušky těchto vlastností:
rozměry a tolerance,
tvar a uspořádání výrobku (tvárnice),
objemová hmotnost v suchém stavu,
mechanická pevnost (v tlaku a v tahu za ohybu),
kapilární nasákavost,
vlhkostní přetvoření,
reakce na oheň,
tepelně-technické vlastnosti,
propustnost vodních par,
přídržnost.

Tvary a uspořádání betonových tvárnic z obyčejného nebo lehkého betonu jsou na obrázku 4.93.




*Obr. 4.93* Příklady tvarů betonových tvárnic

1 – tvárnice z obyčejného nebo lehkého betonu, běžné tvárnice pro vnitřní a vnější stěny,

2 – lícové tvárnice pro vnitřní a vnější stěny,

a – štípaný povrch, b – hladký povrch, c – rýhovaný povrch, d – kanelury,

3 – doplňkové tvárnice,

e – věncovka, tvárnice pro překlady, f – rohová tvárnice

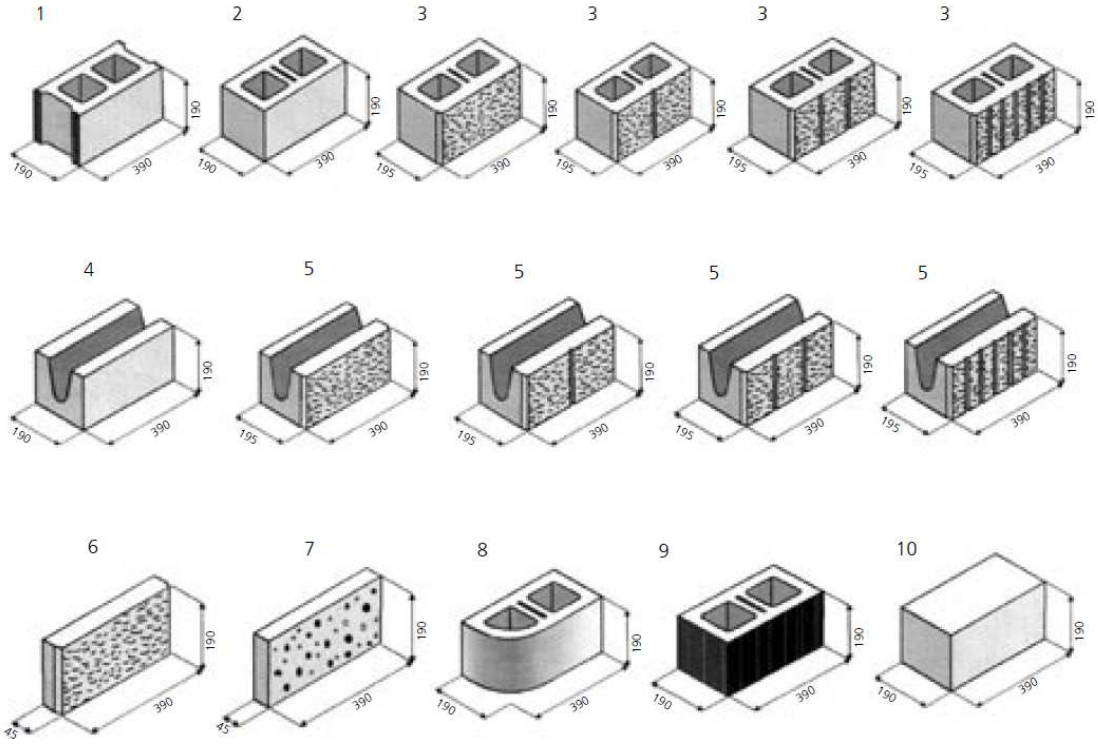
#### 4.7.1.3.1 Zdění z přesných tvárnic

Při zdění z přesných vibrolisovaných tvárnic se využívá zejména vyšší pevnosti v tlaku betonu a trvanlivosti povrchu vibrolisovaných zdicích prvků. Celý systém využití vibrolisovaných betonových tvárnic se u nás rozvíjí od roku 1992 a v současnosti je nabízeno několik ucelených řad zdicích prvků s různými variantami povrchové úpravy. Od hladkého povrchu přes štípaný, škrábaný až po broušený.

Tento stavební systém představuje komplexní systém modulového zdění, který lze aplikovat prakticky u všech typů staveb, jako jsou rodinné domy a obytné budovy, průmyslové, zemědělské a skladové haly, jednotlivé i řadové garáže, zděné ploty a opěrné zdi.

Realizace staveb z přesných vibrolisovaných tvárnic je náročná na přesnost zdění. Tvárnice se kladou na vrstvu cementové malty M 10 nebo malty doporučené výrobcem prvku. Tloušťka ložné spáry je 8 až 10 mm, spárování se provádí průběžně při zdění. Dutiny ve tvárnicích je podle potřeby možné probetonovat speciálním betonem, který může být vyztužen ocelovou výztuží.

Tvarovky skladebné šíře 200 mm, které tvoří páteř celého zdicího systému, jsou na obr. 4.94. Hmotnost tvárnice se pohybuje od 18,3 kg do 21 kg. Cena závisí na provedení povrchové úpravy a na vlastní barvě tvárnice (bílá je nejdražší).



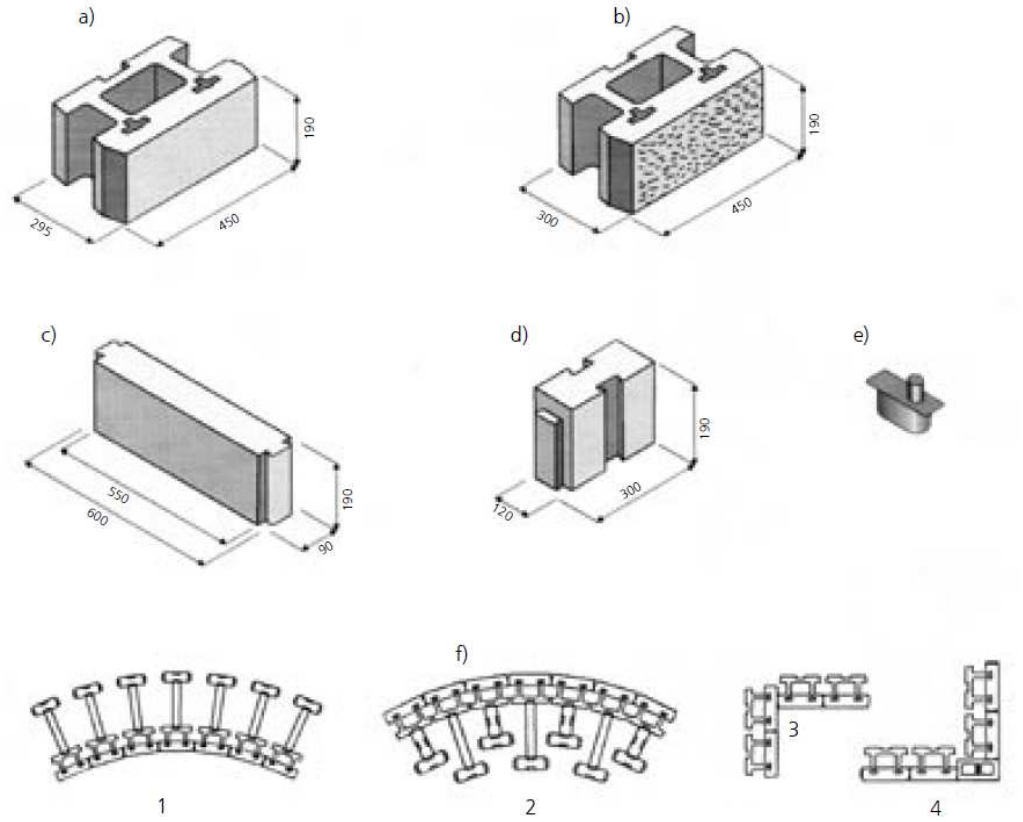

*Obr. 4.94* Přehled hlavních typů vibrolisovaných tvárnic

1 – tvárnice hladká běžná, 2 – tvárnice hladká dělitelná, 3 – tvárnice štípaná dělitelná, 4 – věncovka hladká, 5 – věncovka štípaná, 6 – tvarovka obkladová štípaná, 7 – tvarovka obkladová broušená, 8 – tvárnice s kulatým rohem (dělitelná), 9 – tvárnice škrábaná ze čtyř stran (dělitelná), 10 – tvárnice plná

### 4.7.1.3.2 Stavba opěrných zdí z přesných tvárnic

Zcela originální využití přesných vibrolisovaných prvků představují tvárnice pro stavbu opěrných zdí (půdorysně jakéhokoliv tvaru) bez mokrého procesu. Tvárnice a tvarovky z vibrolisovaného betonu se v tomto případě spojují nasucho pomocí tvarového zámku a jednotlivé vrstvy se spojují plastovými trny vkládanými do otvorů v tvárnicích.

Vhodnou volbou jednotlivých tvárnic lze vytvářet rozmanitá barevná a výtvarná řešení líce opěrné zdi. Tvary tvárnic systému gravitačních opěrných zdí jsou na obr. 4.95.

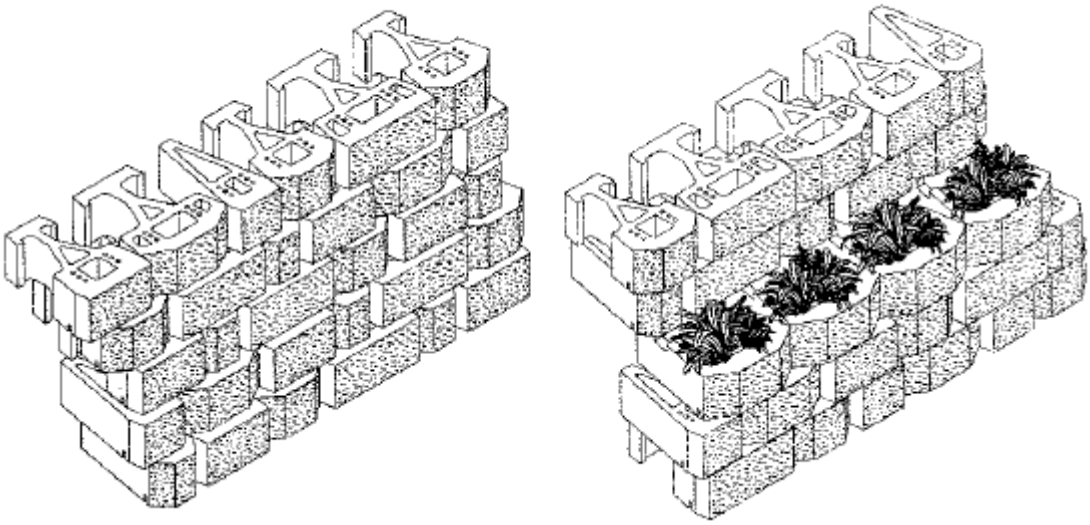



*Obr. 4.95* Prvky pro stavbu opěrných zdí

1 – pohledový prvek hladký, 2 – pohledový prvek štípaný, 3 – kotevní trámek, 4 – kotevní prvek, 5 – spojovací kolíček, 6 – skladby gravitačních opěrných zdí

a – vnitřní oblouk zdi, b – vnější oblouk zdi, c – vnitřní roh, d – vnější roh

Novinkou na českém i evropském trhu od r. 2007 je konstrukční systém Geostone. Je určen především pro vytváření velkých opěrných svislých a stupňovitých zdí s možností jejich vyztužení geomříží ( i zemních svahů), ale je možné ho použít také pro stavbu malých zídek a opěrných zahradních stěn. Používá v zásadě čtyři hlavní betonové prvky,které je možné mezi sebou kombinovat a tak vytvářet různé varianty opěrných stěn svislých a sklonitých,půdorysně libovolně zakřivených. Zejména pro opěrné stěny vyztužené geomřížemi se používá prvek FLAT (s plochým čelním lícem) a prvek BENT (se zalomenou čelní plochou). Pro vytváření svahů a v kombinaci s výše uvedenými prvky se používají betonové prvky primárně určené pro osázení květinami a rostlinami označené jako POT a SHELF (s čelními zalomenými plochami a bez dna). Prvky mohou být vyrobeny v šesti základních barvách a v povrchových úpravách buď jako hladké nebo štípané. Možné skladby opěrných zdí jsou na následujícím obr. 4.96.



*Obr. 4.96* Ukázky možné skladby opěrných zdí

(vlevo z kombinovaných prvků BENT a FLAT, vpravo z kombinovaných prvků BENT a FLAT s vloženou řadou z prvků SHELF,které jsou určené pro osázení rostlinami)

### 4.7.1.4 Betonové stropní prefabrikáty

Z malých stropních prefabrikátů je nutné uvést betonové plné nebo čtyřdutinové stropní vložky s ozubem, které se ukládají na ploché železobetonové trámky s vyčnívající ocelovou prostorovou příhradovinou. Rozměry stropních vložek jsou 545 x 200 x 40 (plné) nebo 150, 180, 230 mm (dutinové), hmotnost 11, 16, 17, 20 kg. Výška plochých trámků je 40 mm, výška příhradoviny 160, 190, 240 mm, délka 2400 až 8600 mm. Tloušťka nadbetonované vrstvy z betonu C 16/20 je podle rozpětí 40, 50 a 60 mm.

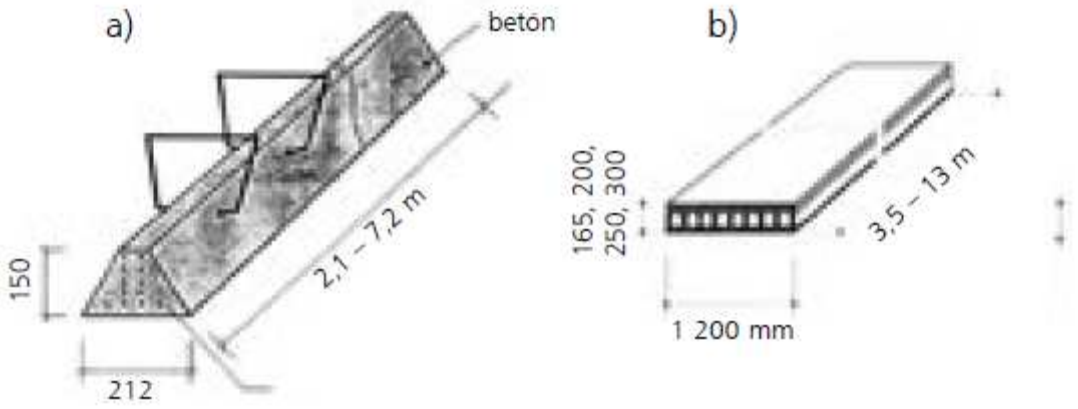
Rozšířeným středně velkým stropním prefabrikátem je předpínaný železobetonový nosník o průřezu rovnoramenného lichoběžníku vhodný pro montované stropy z keramických vložek nebo hurdisek. Nosníky tohoto provedení jsou určeny pro vytváření stropů v bytové, občanské, průmyslové i zemědělské výstavbě. Jsou vyráběny ve skladebných délkách po 300 mm, a to od 2100 do 6300 mm. Na objednávku lze vyrobit nosníky jakýkoliv délek až do 7200 mm (*obr. 4.87*) prefabrikáty. Spodní plocha těchto nosníků bývá opatřena cihelnou drtí nebo keramickými destičkami.

Na českém trhu se ve stále větší míře uplatňuje stropní konstrukce tvořená montovaným železobetonovým systémem z předpjatých dutinových panelů výšky 165, 200, 250 a 300 mm v závislosti na rozponu a zatížení.

Tyto panely (*obr. 4.97*) je možné ukládat na zdivo nebo na železobetonový či ocelový skelet. Proto jsou vhodné pro stropní konstrukce rodinných a bytových domů, občanských a průmyslových objektů. Umístění prostupů, požadavky na zatížení a požární odolnost i posouzení podporových konstrukcí jsou záležitostí projektanta.

Návrh optimalizované skladby stropu (v součinnosti s projektantem) včetně statického posouzení panelů s následnou realizací hrubé stavby včetně tzv.

šéfmontáže (letmé montáže) je možné přenechat výrobci panelů.




*Obr. 4.97* Stropní prefabrikáty
1 – NOSNÍK HAT-TRICK, 2 – STROPNÍ PANELY SPIROLL

### 4.7.1.5 Ostatní betonové prefabrikáty

K nejběžnějším malým betonovým prefabrikátům patří betonová cihla plná klasického formátu 290 x 140 x 65 mm (hmotnost 5,3 až 5,9 kg) s pevností v tlaku 25 MPa nebo plná cihla rozměru podle DIN 240 x 115 x 71 mm (hmotnost 4,0 kg).

Pro svou pevnost, mrazuvzdornost a odolnost vůči vodě (nasákavost 4 až 6 % hmotnosti) se používá na zdění jímek, energovodů, podzemních částí budov, garáží, sloupků a podezdívek oplocení, rozvaděčů, překrývání kabelů apod. Velmi dobře se též uplatňuje na nechráněné fasádní zdivo, a to zejména pro vícevrstvé obvodové pláště (tzv. dutinové zdivo). Pro tento účel se vyrábí vedle klasické plné cihly též cihla dvoudutinová (svisle děrovaná – dělivka).

S ohledem na cementové pojivo v betonu nejsou výkvěty ani odchylky v barevném provedení u betonových cihel považovány za vadu výrobků.

K dalším drobným betonovým výrobkům patří kabelový žlábek, krycí deska na kabelový žlábek, kabelová deska sloužící k překrývání kabelů ve výkopech, příkopový žlábek pro odvod srážkové vody.

Komplexní skupinu prefabrikátů tvoří betonové prvky vnější architektury.

Pomocí těchto výrobků lze sestavit velmi variabilní konstrukce vnější architektury (terénních úprav) s vyloučením nebo minimální potřebou monolitického betonu a zajištěním srovnatelné životnosti a jednotného vzhledu všech prvků celé konstrukce.

Pro kompletaci celé stavby jsou z vibrolisovaného betonu kromě dlažeb dále nabízeny :

silniční, parkové a zahradní obrubníky,

palisády, tj. tyčové prvky různého průřezu sloužící k oddělování ploch s různými výškovými úrovněmi,

dlažba pro vytváření vodicích nebo výztužných bílých pruhů podél obrub vozovek a komunikací,

žlaby a příložné desky,

zatravňovací tvarovky, tj. deskové prvky se čtvercovými otvory, sloužící ke zpevnění ploch zatížených maxim. pojezdem vozidel do celkové hmotnosti 3500 kg,

prvky opěrných stěn, např. vázy,

schodnice pro vytváření terénních schodů,

plotové tvárnice a plotové stříšky,

obkladové desky.

Požadavky na betonové obrubníky jsou uvedeny v ČSN EN 1340. Vlastnosti ostatních betonových výrobků se řídí ČSN EN 13369, ve které jsou uvedeny obecné požadavky na betonové prefabrikáty a postupy ověřování jakosti betonových prefabrikátů.

Pro obrubníky, palisády, žlaby, zatravňovací tvarovky apod. je požadováno, aby pevnost betonu v tahu za ohybu dosahovala hodnotu nejméně 6 MPa.

Vibrolisované betonové výrobky jsou až na výjimky vyráběny pouze z prostého nevyztuženého betonu, který splňuje požadavky na dosažení vysokých pevností jak v tlaku, tak i v tahu za ohybu.

### 4.7.2 Autoklávované a vláknocementové výrobky

K výrobě silikátových prefabrikátů je možné využít také hydrotermální vytvrzování, tedy vytvrzovací proces probíhající za zvýšené teploty ve vlhkém prostředí. Potřebné podmínky pro toto vytvrzování se vytváří v autoklávech, což jsou válcovité nádoby, v nichž je možné přetlakem zvýšit teplotu nasycené vodní páry nad 100 ℃.

Zatímco v obyčejném betonu či maltě je vznik pevné hmoty podmíněn hlavně fyzikálními vazbami mezi plnivem a cementovým tmelem, hydrotermálním procesem je možné reakcí mezi kyselým (převážně křemičitým) plnivem a zásaditým (vápenatým či cementovým) pojivem vytvořit chemické vazby. k dosažení chemické aktivity musí být vybrány suroviny s co možná vysokým měrným povrchem.

Běžný cement nebo popílek mají jemnost dostatečnou, vápno a křemičitý písek se musí mlít.

Z vápenopískové směsi se tvoří vápenné hydrosilikáty podle obecného vzorce $(CaO)_x.(SiO2)_y.(H_2O)_Z$ podle schematické rovnice:

$$x\ Ca(OH)_2 + y\ SiO_2 + n\ H_2O \rightarrow (CaO)_x.(SiO_2)_y.(H_2O)_{(x+n)}\ .$$

Podobně reakcí mezi hydroxidem vápenatým a aluminátovými složkami vznikají hydroaluminát typu $(CaO)_x.(Al_2O_3)_y.(H_2O)_z$.

Za nositele pevnosti se považuje minerál tobermorit, který vzniká v dostatečně vlhkém prostředí při teplotě kolem 180 ℃. k tomu, aby nasycená vodní pára dosá hla teploty 180 ℃, je t řeba přetlak asi 0,8 MPa. To je osminásobek atmosférického tlaku a autokláv je tedy dosti náročnou tlakovou nádobou. Mívá proto kruhový průřez a vypouklá čela.

Ve výrobnách pórobetonu mívají autoklávy průměr 2,4 až 3,6 m. Délka bývá mezi 15 až 40 m. Čela jsou opatřena odklápěcími víky, jimiž je autokláv plněn a vyprazdňován.

Autoklávování je energeticky náročný proces, jehož průběh musí být pečlivě optimalizován. Skládá se z doby ohřevu a vzestupu tlaku, doby průběhu izotermického děje a doby chladnutí spojené s poklesem tlaku. Celková doba autoklávování činí zpravidla 16 – 18 hodin.

Autoklávováním získávají výrobky konečnou pevnost a ostatní vlastnosti. Autoklávování umožňuje používat i vzdušná pojiva, jako je vápno, k výrobě materiálů s dostatečnou pevností i jistou odolností vlhkému prostředí.

Možnost vytvoření pevné hmoty na základě chemické vazby mezi pojivem a plnivem dalo podklad k výrobě řady stavebních materiálů. Různou skladbou vstupních surovin a úpravou technologie výroby se tak dají vyrobit různé výrobky, z nichž nejznámější jsou dále popsány.

### 4.7.2.1 Vápenopískové zdicí prvky

Vápenopískové zdicí prvky se vyrábějí převážné ze směsi vápna a přírodních křemičitých materiálů (písku, drceného nebo nedrceného křemičitého štěrku, nebo horniny nebo jejich směsi) a jsou vytvrzovány vysokotlakou párou.

Výchozí surovinová směs obsahující zhruba jeden díl vápna na deset dílů křemičitého plniva se po homogenizaci lisuje do podoby budoucího výrobku, který se následně podrobuje hydrotermálnímu procesu.

Výroba vápenopískových zdicích prvků ze směsi, v níž převládají jiné křemičité materiály, je přípustná, pokud tyto materiály nemají škodlivý vliv na vlastnosti těchto prvků. Přítomnost takového materiálu musí být deklarována.

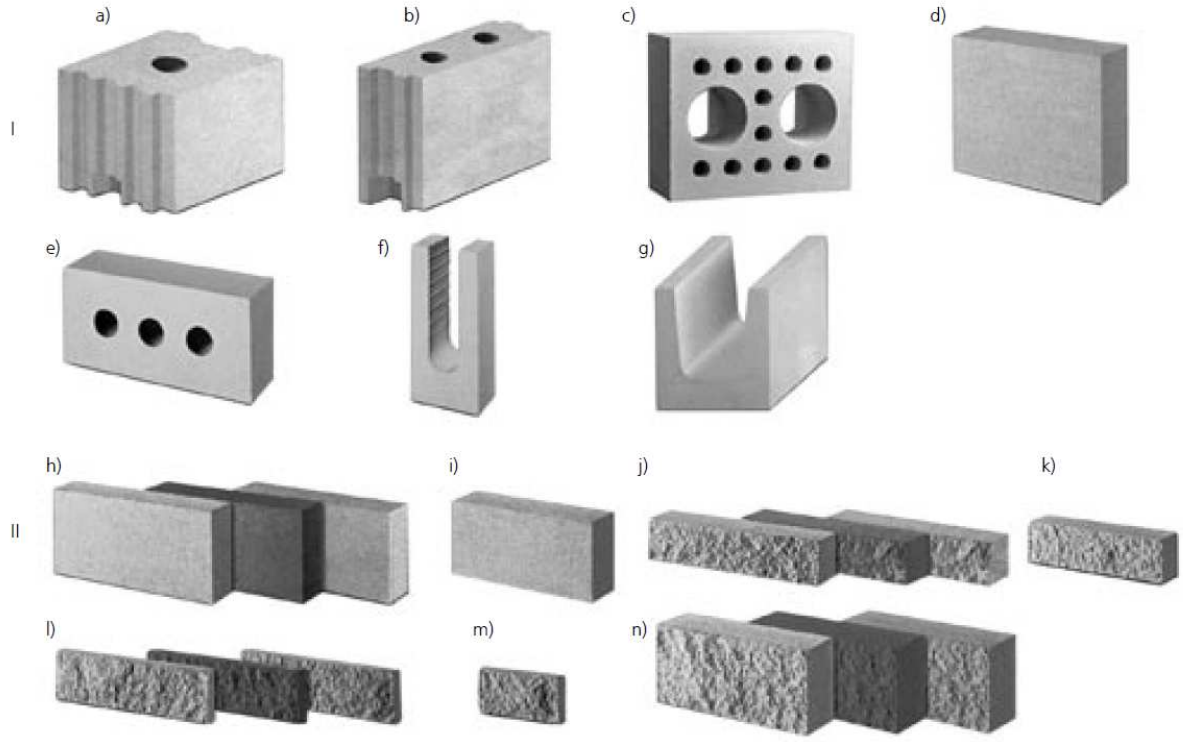
Evropská norma ČSN EN 771– 2 stanovuje charakteristiky (vlastnosti) vápenopískových zdicích prvků a funkční požadavky na vlastnosti těchto prvků, určených pro zhotovování zděných konstrukcí, zejména vnitřních stěn, podzemních stěn a vnějšího zdiva komínů.

I když se vápenopískové výrobky vyznačují dobrou odolností vůči škodlivým vlivům agresivních a kyselých látek, jsou citlivé na účinek solí. Přítomnost posypových chloridových solí (používaných jako ochrana proti námraze) nebo použití obyčejné malty s příměsí solí, jílů a jiných organických nečistot může mít za následek „vykvétání“ povrchu (tvorbu map).

Pevnostní značky cihel, bloků a kvádrů jsou P15, P20, P25, P30, P35 a P40 (kde čísla v těchto značkách vyjadřují podle dřívějšího označování průměrnou pevnost v tlaku udanou v MPa).

Objemová hmotnost se pohybuje od 1300 do 2000 $kg.m^{-3}$. Výrobky jsou mrazuvzdorné na 25 a 50 zmrazovacích cyklů (M25 a M50). Jejich nasákavost je 10 – 18 % hmotnosti (průměrně 15 % hmotn.), součinitel tepelné vodivosti při praktické vlhkosti 2 % činí 0,86 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Klasický sortiment vápenopískových výrobků je uveden včetně základních charakteristik na *obr. 4.98*




*Obr. 4.98* Vápenopískové výrobky a jejich charakteristiky

1 – blok 8DF, 2 – blok 4DF, 3 – kvádr děrovaný 5DF, 4 – kvádr plný 5DF, 5 – děrovaná cihla, 2DF, 6 – U-profil 2DF, 7 - U-profil 8DF

1 – velký formát VF, 2 – normální formát NF, 3 – štípaná cihla formát VF, 4 – štípaná cihla formát NF, 5 – obkladový pásek velký, 6 – obkladový pásek malý, 7– obkladová cihla

#### 4.7.2.1.1 Požadavky na vápenopískové zdicí prvky

K výhodám vápenopískových zdicích prvků patří možnost jejich výroby v relativně přesných rozměrech. Výrobce musí deklarovat rozměry vápenopískového zdicího prvku (v mm) v tomto pořadí: délka, šířka a výška. Jako deklarované rozměry se uvádějí jmenovité rozměry.

Měřením zjištěné odchylky průměrných hodnot délky, šířky a výšky prvků odebraného vzorku od jmenovitých rozměrů a měřením zjištěné odchylky jednotlivých hodnot délky, šířky a výšky od průměrných hodnot prvků odebraného vzorku nesmí být větší než mezní odchylky uvedené v tab. 4.104.

Rozměrové tolerance vápenopískových zdicích prvků (v milimetrech) *Tab. 4.115*

| Rozměry | Vápenopískové zdicí prvky pro použití ve zdivu se spárami vyplněnými | |
|---|---|---|
| | obyčejnou maltou nebo maltou s lehkým kamenivem | maltou pro tenké spáry |
| Průměrná výška prvků ve vzorku | jmenovitá výška ±2 | jmenovitá výška ±1 |
| Průměrná délka prvků ve vzorku | jmenovitá délka ±2 | jmenovitá délka ±2 |
| Průměrná šířka prvků ve vzorku | jmenovitá šířka ±2 | jmenovitá šířka ±2 |
| Jednotlivá výška | průměrná výška prvků ve vzorku ±2 | průměrná výška prvků ve vzorku ±1 |
| Jednotlivá délka | průměrná délka prvků ve vzorku ±2 | průměrná délka prvků ve vzorku ±2 |
| Jednotlivá šířka | průměrná šířka prvků ve vzorku ±2 | průměrná šířka prvků ve vzorku ±2 |

Poznámka: Definice obvčejné malty, malty s lehkým kamenivem a malty pro tenké spáry jsou uvedeny EN 998-2: 2003.

Vápenopískové zdicí prvky se mohou klasifikovat podle tříd objemové hmotnosti prvků v suchém stavu (tab. 4.116). Pro potřeby akustických výpočtů se tato objemová hmotnost prvků (stanovená podle EN 772-13) násobí součinitelem 1,04, aby se ve výpočtu přihlíželo k rovnovážnému stavu vlhkosti.

Klasifikace vápenopískových zdicích prvků podle objemové hmotnosti v suchém stavu *Tab. 4.116*

| Třída objemové hmotnosti v suchém stavu | Interval objemové hmotnosti ($kg.m^{-3}$) |
|---|---|
| 2,4 | > 2200 |
| 2,2 | 2 010 – 2 200 |
| 2 | 1 810 – 2 000 |
| 1,8 | 1 610 – 1 800 |
| 1,6 | 1 410 – 1 600 |
| 1,4 | 1 210 – 1 400 |
| 1,2 | 1 010 – 1 200 |
| 1 | 905 – 1 000 |
| 0,9 | 805 – 900 |
| 0,8 | 705 – 800 |
| 0,7 | 605 – 700 |
| 0,6 | 505 – 600 |
| 0,5 | <500 |

Vápenopískové zdicí prvky se mohou klasifikovat podle tříd normalizované pevnosti v tlaku uvedených v tab. 4.106. Normalizovaná pevnost v tlaku se rovná součinu pevnosti v tlaku, součinitele 0.8, který vyjadřuje vliv změny vlhkosti v sušárně na vlhkost v laboratorním prostředí, a součinitele tvaru, jehož hodnoty jsou uvedeny v příloze B normy EN 772-1.

Klasifikace vápenopískových zdicích prvků podle normalizované pevnosti v tlaku *Tab. 4.117*

| Třída pevnosti v tlaku | Normalizovaná pevnost v tlaku ($N.mm^{-2}$) |
|---|---|
| 5 | 5 |
| 7,5 | 7,5 |
| 10 | 10 |
| 15 | 15 |
| 20 | 20 |
| 25 | 25 |
| 30 | 30 |
| 35 | 35 |
| 40 | 40 |
| 45 | 45 |
| 50 | 50 |
| 60 | 60 |
| 75 | 75 |

#### 4.7.2.1.2 Použití vápenopískových zdicích prvků

V České republice se vápenopískové cihly vyrábějí již od roku 1912. V současné době tvoří výrobní sortiment cihly, bloky a kvádry s velmi přesnými rozměry a hladkým povrchem. Vápenopískové kvádry jsou plné či děrované s hladkými bočními plochami nebo děrované s bočními drážkami a pery. Standardní odstín vápenopískových zdicích prvků je bílý, po přidání železitých barevných pigmentů lze vyrábět prvky červené a pískovcové (žluté).

Pohledové, neomítané (lícové, režné) zdivo z vápenopískových cihel je výrazným architektonickým prvkem stavby v exteriéru i interiéru. Jeho neutrální bílá barva se dobře hodí k dalším, především přírodním, materiálům jako je dřevo a kámen. Případné nečistoty povrchu jsou po aplikaci hydrofobizačního nátěru méně nápadné, stejně jako nepravidelnosti ve spáře. Vápenopískové výrobky se ovšem hodí i pro omítané zdivo.

Dlouhodobě se osvědčuje suterénní zdivo z vápenopískových zdicích prvků, které díky své rozměrové přesnosti a rovné ploše tvoří velmi dobrý podklad pro svislé (i vodorovné) hydroizolace. Vnější zdivo nadzemních konstrukcí vytápěných budov vyžaduje vždy přídavnou tepelnou izolaci.

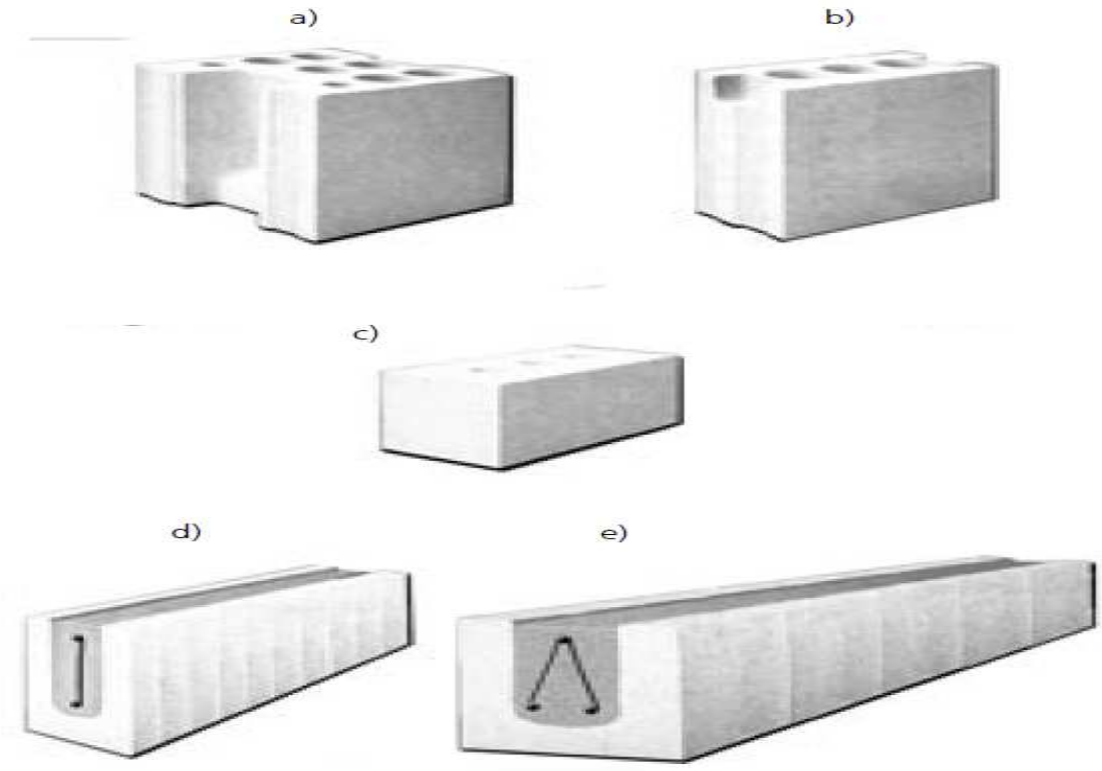
Dostatečně izolující (nízkoenergetický) systém představuje vícevrstvé (dutinové) zdivo tloušťky více jak 360 mm buď s kontaktním omítkovým systémem s minerální či polystyrénovou izolací, nebo jako provětrávaný systém s neomítnutou lícovou přizdívkou a minerální izolací.

Hlavu komínů (tj. část komínu vyčnívající nad střechu) s vnější vrstvou z vápenopískových cihel se doporučuje obložit (chránit) tak, aby mezi obkladem a cihlou vznikla větraná vzduchová mezera.

. Vápenopískové kvádry (*obr. 4.89*) s perem a drážkou se zdí na obyčejnou maltu, kdy ložná spára je rovnoměrně a rychle maltována pomocí maltového dávkovače nebo na maltu pro tenké spáry, kdy malta (lepidlo) se dávkuje přesnou lžící. Systém „lepení“ vápenopískových kvádrů snižuje pracnost při vyzdívání stěn, objem spotřeby maltových směsí a cenu zdiva.

Zdící prvky SENDWIX jsou doplněny o přesný kvádr 16 DF-LD, který se vyzdívá na lepidlo Flex SX-L (plnoplošné promaltování ložné spáry tl. 2 mm).

Pro vyřezání drážek ve zdivu je vhodná elektrická diamantová pila, pro dělení cihel, bloků a kvádrů se používá štípačka.




*Obr. 4.99* Vápenopískové kvádry s perem a drážkou

1 – kvádr 8DF, 2 – kvádr 4DF, 3 – cihla 2DF, 4 – překlad VP2R, 5 – překlad VP8R

### 4.7.2.2 Autoklávovaný pórobeton

Pórobeton (autoklávovaný pórobeton) je nejvýznamnějším druhem přímo lehčeného betonu (což je silikátový kompozit, pro který jsou charakteristické makropóry vytvořené přímo v jemnozrnné maltě). Podle použitého pojiva se pórobetony původně rozdělovaly na cementem pojené plynobetony a na vápenopískové plynosilikáty. Dnes se používá pouze termín pórobeton (ČSN EN 12602).

Stavivo z pórobetonu je především lehké, křehké, pórovité, a tím dobře tepelně izolační, jednoduše zpracovatelné a univerzální, umožňující jednoduché a přehledné konstrukce. Obsahuje až 80 % objemu uzavřených makropórů o průměru 0,5 až 2,5 mm.

Vzhled výrobků je v zásadě dvojí:

- převážně bílý, je-li plnivem jemný křemičitý písek (pískový pórobeton),
- v menší míře šedý, je-li plnivem elektrárenský popílek (popílkový pórobeton).

Pro klasifikaci výrobků z pórobetonu se používá především charakteristická minimální pevnost v tlaku (MPa) a maximální průměrná objemová hmotnost v suchém stavu ($kg.m^{-3}$). Pórobeton se pak označuje číselnou dvojicí složenou z hodnot obou charakteristik (např. P2-400 je pórobeton s minimální charakteristickou tlakovou pevností 2 MPa a maximální průměrnou objemovou hmotností v suchém stavu 400 $kg.m^{-3}$).

V současné době v ČR převládá výroba bílého pórobetonu, v SR naopak převažuje pórobeton šedý, jehož šedavé zbarvení je způsobeno hlavně koloidním uhlíkem z použitého popílku. V zahraničí se někdy přidává jako křemičitá surovina i mletá granulovaná struska nebo křemenná důlní hlušina.

Za počátek výroby pórobetonu se považuje postup podle A. Ericsona používaný od roku 1924.K širokému použití této technologie došlo ve Švédsku, Dánsku, Polsku a v zemích bývalého SSSR.

U nás se za první počátky výroby pórobetonu považuje produkce z malého pokusného závodu z roku 1958 v Plaveckém Čtvrtku (dnes SR), ve větší míře byl šedý pórobeton vyráběn od roku 1959 v Zemianských Kostolanech (dnes rovněž SR).

Kromě této technologie byla v Šaštínských Strážích (SR) v roce 1963

zprovozněna licenční výroba pískového (bílého) pórobetonu na cementové bázi.

Při výrobě pórobetonu se dnes postupuje tak, že křemičité látky se podle druhu technologie samostatně nebo i společně velmi jemně melou, mísí a homogenizují s páleným vápnem nebo i s cementem a eventuálně i s dalšími přísadami. Používá se mletí za sucha i mletí mokré.

Potom se surovinová směs rozmísí obyčejně ve speciálních míchačkách s vodou, přerostovým kalem a plynotvornou látkou na tekutou kaši. Ta se potom vylije do forem, v nichž proběhne nejprve vlastní nakypření – kynutí a potom zatuhnutí. Zde hovoříme o zrání hmoty.

Povrch směsi ve formách se potom zarovná seříznutím hmoty přesahující její okraj – přerostu. Běžným způsobem zpracování takto odpadajícího přerostu je jeho vracení do výroby ve formě přídavku k výchozí surovinové směsi.

Je-li to potřeba, zatuhlá hmota se rozřeže na potřebné tvary, načež se autoklávuje. Autoklávování je podle druhu technologie prováděno buď přímo ve formách, lamelách, anebo dnes moderně na roštech či bočnicích.

Jako plynotvorná látka se nejčastěji používá hliník v množství 250 – 500 g na 1 $m^3$ pórobetonu. Plynný vodík, který vyvolává nakypření pórobetonové směsi, vzniká podle této rovnice:

$2\ Al + 3\ Ca(OH)_2 + 6\ H_2O \rightarrow 3\ CaO\ .\ Al_2O_3.\ 6\ H_2O + 3\ H_2$

K tvorbě vodíku při nakypřování pórobetonu je možné použít také vápník, zinek, hořčík, baryum a lithium. U nás se používá výlučně hliník ve formě prášku nebo pasty.

### 4.7.2.2.1 Suroviny pro výrobu pórobetonů

Pro výrobu pórobetonů se používají 4 základní druhy surovin, k nimž ještě přistupuje voda. Základní druhy surovin jsou:

pojivo – vápno a cement, které určují druh pórobetonu,

křemičité látky,

látky plynotvorné a pěnotvorné,

suroviny pomocné.

Pálené mleté vápno je hlavním pojivem pro výrobu pórobetonů. Musí to být čisté vzdušné vápno. Používá se čerstvé a nehašené, což umožňuje využít jeho hydratační teplo pro technologický proces. V neposlední míře snižuje sedimentaci směsi.

U nás je jakost vápna pro výrobu pórobetonů předepsána ČSN EN 459-2 a stanovené požadavky jsou velmi přísné. Je to z toho důvodu, že nedostatečná a kolísavá jakost vápna je jedním z největších problémů při výrobě autoklávovaných pórobetonů.

Vápno pro výrobu pórobetonů má splňovat tyto požadavky:

musí mít stejnorodé složení chemické a mineralogické a musí být vyráběno z jednoho druhu vápence (z jedné lokality),

musí být středně až tvrdě pálené a nesmí obsahovat přepal,

má být dostatečně vydatné a jeho obsah nerozhasitelných součástí nemá být větší než 12 %,

obsah celkového CaO (celková alkalita) musí být alespoň 90 % (ve vyžíhaném stavu), přičemž co nejvíce ho má být ve volném aktivním stavu,

obsah MgO nesmí být větší než 3 %,

obsah sirníkové síry nesmí být větší než 0,2 %,

ztráta žíháním se má pohybovat mezi 3 - 6 %, z toho obsah $H_2O$ nesmí být větší než 3 % (tomu odpovídá obsah $Ca(OH)_2$ maximálně 12,3 %) a obsah $CO_2$ nesmí být větší než 5 % (tomu odpovídá obsah $CaCO_3$ maximálně 11,4 %),

rychlost a teplota hašení musí být minimálně 60 ℃ a v mezích 4 -12 min (při 50 g vápna a 170 ml vody).

Pro autoklávované pórobetony se používají všechny druhy cementů na bázi portlandského slínku. Pro autoklávování jsou vhodné i cementy o menší aktivitě. Jinak svou jakostí musí vyhovět požadavkům normy ČSN P ENV 197-1. Pro autoklávované pórobetony stačí obyčejně třída cementu 32,5, ovšem z hlediska dodržení výrobního taktu se většinou používá CEM I 42,5 R.

Ze speciálních požadavků je důležité, aby cementy určené pro výrobu autoklávovaného plynobetonu obsahovaly určité množství alkálií v rozpustné formě, a to cca 0,8 až 1,0 % $K_2O$ a 0,2 až 0,5 % $Na_2O$, které jsou nutné pro vznik dostatečné alkality potřebné pro dokonalý vývoj plynu z hliníkového prášku.

Křemičitý písek pro výrobu autoklávovaných pórobetonů může být různého původu. V ČR se používají jednak písky váté a jednak písky odpadající při plavení kaolinu. Jinak se též mohou používat různé křemičité písky říční, pískovcové a jiné. Písek pro autoklávovaný pórobeton má být čistý s obsahem $SiO_2$ nad 90 %.

Obsah alkálií $K_2O$ + $Na_2O$ ve formě slídy a živců smí činit nanejvýš 1,5 %, z toho dle ČSN 73 1358-1 obsah ve vodě rozpustného $Na_2O$ má být max. 0,2 %, jinak obsah slídy nemá překročit 0,5 % (při vyšších množstvích nastává sklon k výkvětům). Jakost písku snižují též příměsi pyritu, síranů (síra celková jako $SO_3$ max. 1 %).

Obsah humusových látek smí při kolorimetrické zkoušce poskytnout nanejvýš sytě žluté zabarvení.

Používané písky (zejména kaolinové) mívají jílovitost často větší, než je žádoucí. Množství jílu větší než 1,5 % má vždy již za následek zpomalené tuhnutí směsí a snížení pevnosti pórobetonu. Větší příměsi jílu způsobují trhlinkovatění výrobků, které je výraznější u výrobků větší tloušťky, vyráběných ve vyšších formách.

Pro pevnost vyráběných pórobetonů má podstatný význam jemnost surovin. Písek je proto třeba ve výrobně domílat, aby se zvětšil jeho měrný povrch (minimálně na 200 $m^2.kg^{-1}$), čímž se zintenzivní hydrotermální reakce.

Jemně mletý písek méně sedimentuje a i to je při výrobě důležité. Nemletý přírodní křemičitý písek je možno při výrobě autoklávovaných pórobetonů používat nanejvýš jen jako příměs nebo pro pórobetony výplňové bez větších požadavků na pevnost.

Popílky z tepelných elektráren mohou být další křemičitou surovinou pro výrobu pórobetonu. Takto by mohlo být zpracováváno poměrně velké množství, ale podíl popílku na celkové výrobě pórobetonu se snižuje. Tato skutečnost je ekologicky nepříznivá a rozvoji popílkové technologie by měla být věnována pozornost.

Pro popílky je význačná vysoká chemická aktivita, která souvisí s jejich sklovitou fází bohatou na oxid křemičitý. Sklovitý stav popílku přitom vznikl rychlým ochlazením v proudících kouřových plynech, kdy jejich jemně dispergované částice přešly z tekutého stavu do metastabilní zamrzlé rovnováhy. To jsou příznivé faktory pro vytvoření pevné C-S-H struktury. Mimoto popílky při výrobě pórobetonu, díky své pórovité struktuře a nízké měrné hmotnosti, dávají za jinak stejných podmínek nižší objemovou hmotnost výrobků než při použití písku.

Ve vhodném popílku činí obsah $SiO_2$ minimálně 45 % a popílek obsahuje maximálně 2 % MgO, 35 % $Al_2O_3$ a 18 % $Fe_2O_3$ . Ztráta žíháním se připouští do hodnoty 7 % a nejvyšší přípustný obsah celkové síry vyjádřený jako $SO_3$ je limitován hodnotou 0,2 %.

Obsah vlhkosti u popílků dopravovaných pneumaticky nebo jiným suchým způsobem nesmí překročit 0,5 %. Popílek je však možno za určitých okolností používat i ve formě kalu tak, jak se získá při bezprašném hydraulickém odkalování.

V současné době je výroba popílkových pórobetonů na ústupu. Na vině je spíše vkus zákazníků, kteří preferují výrobky bílé barvy. Technické vlastnosti obou typů jsou v zásadě srovnatelné a soudobý popílkový pórobeton plně vyhovuje i z hlediska měrné aktivity (150 Bq . $kg^{-1}$), stanovené pro stavební materiál používaný pro stavby obytných budov nebo jiných objektů s pobytovým prostorem.

Sádrovec se používá jako přísada zlepšující pevnosti výrobků a regulující tuhnutí směsi. Zpožďuje průběh hašení vápna (resp. jeho vyvločkování – aglomeraci ve formě $Ca(OH)_2$) a jako elektrolyt podporuje vznik thixotropní struktury. Zlepšuje i mrazuvzdornost pórobetonu.

S výhodou se při výrobě pórobetonu používá odpadní energosádrovec z odsiřovacích jednotek nebo odpadní chemosádrovec z neutralizačních jednotek různých chemických výrob.

Sádra nebo i anhydrit se používá k regulaci časového průběhu tuhnutí autoklávovaných plynobetonů, které je třeba přizpůsobit plynotvorné reakci hliníkového prášku. k dosažení dostatečného regulačního účinku se používá sádra mletá na jemnost srovnatelnou s jemností cementu.

Hliníkový prášek používaný jako plynotvorná přísada má mít obsah aktivního hliníku má být nejméně 94 % a tento obsah nemá kolísat o více než 1 %. Specifický povrch se má pohybovat mezi 700 a 1200 $m^2.kg^{-1}$ a prášek se má skládat z rovnoměrně velkých stříbrošedých částic šupinového tvaru.

Hliníkový prášek nesmí obsahovat slepené hrudky nebo zrna kulovitá, která mají relativně malý reaktivní povrch. Ani část prášku nesmí tvořit zrna o větším průměru, protože se na nich vyvíjejí příliš velké plynové bublinky a struktura pórobetonu by potom byla nerovnoměrná.

Obsah tuku nemá překročit 1,3 %, aby nenastávaly potíže při odmašťování a zbytky mastnoty nezpůsobovaly pozdní vývoj plynu. Vlhkost Al prášku nemá být větší než 0,2 %.

Voda používaná při výrobě pórobetonů má vyhovovat betonářským hlediskům pro záměsovou vodu. S ohledem na cenové náklady se dnes již nepoužívá pitná voda a výrobci si vodu zabezpečují pokud možno ze svých zdrojů (vlastní vrt).

Používaná voda má mít především přibližně neutrální reakci a nízký obsah chloridů, které by jinak zvyšovaly nebezpečí koroze výztuže. Voda se zpravidla používá ohřátá na 35 až 59 ℃, což se řídí jednak podle druhu výrobků a jednak podle teploty směsi, které se má dosáhnout při odlevu do forem.

Používání kondenzátu od autoklávování jako záměsové vody se při výrobě pórobetonů v poslední době rozšířilo. Kondenzát je silně alkalický a vrací se do výroby po zředění neutrální vodou. Ke snížení nákladů je možné podobně použít i povrchovou vodu z vodních toků pokud její kvalita vyhoví.

Poslední složkou používanou při výrobě pórobetonu jsou krystalizační zárodky. Jejich přísada se doporučuje pro zvětšení pevnosti autoklávovaných pórobetonů, resp. pro zkrácení doby autoklávování. Jsou to vlastně krystalické kalciumsilikáthydráty připravené jemným pomletím hydratačních produktů autoklávované cementové kaše. Podobně mohou sloužit i mleté autoklávované pórobetonové zmetky, které je možno takto částečně využít. Zároveň se tak snižují i jinak nezbytné skládkovací náklady.

#### 4.7.2.2.2 Výztuž v pórobetonu

Vyztužování stavebních dílců z lehkých pórobetonů ocelí musí brát především ohled na menší pevnosti i modul pružnosti, větší průhyby a dlouhodobé deformace. Mimoto je zde nutné zajišťovat dostatečnou ochranu proti korozi výztuže, která zde nastává daleko snadněji než u betonů.

Dnes se ve všech výrobnách při výrobě armovaného pórobetonu používá pouze přímá ochrana výztuže vhodnou ochranou vrstvou, která se na výztuž nanáší před jejím uložením do pórobetonu.

Osvědčily se zejména vodné disperze akrylátů. Používá se hlavně antikorozní barva V 2022 nebo V 2036. Barva se nanáší namáčením ve dvou vrstvách v celkové tloušťce cca 0,1 mm, a to vždy po zaschnutí předchozí vrstvy. Z důvodu zamezení tvorby kapek v místech spojů jednotlivých prutů se po namáčení síť vytahuje z lázně šikmým způsobem.

Do pórobetonu se doporučuje používat ocel taženou za studena, a nikoliv válcovanou za tepla a antikorozní barvy je nutno aplikovat na dobře očištěnou výztuž. Upevnění výztuže ve formě musí být vždy takové, aby během nakypřování směsi nemohlo dojít k jejímu posunu. Proto dnes jsou daleko častější tzv. košové výztuže, které se upevňují jednodušeji a rychleji.

### 4.7.2.2.3 Výrobky z pórobetonu a jejich vlastnosti

Mezi hlavní výrobky patří tvárnice, bloky, příčkovky, překlady, bednicí prvky, komínové dílce, stropní vložky, příčkové, stěnové, stropní a střešní panely, tepelně izolační desky. Největší velikost výrobků je dána velikostí používaných forem a způsobem krájení zatuhlé pórobetonové hmoty. Z pórobetonu se dnes vyrábějí především nevyztužené výrobky, zatímco vyztužených stěnových, stropních a střešních dílců se vyrábí poměrně méně. Únosnost stropních vložek je min 6,0 kN.

V dnešní době jsou nejrozšířenějším výrobkem tvárnice různých rozměrů, u nichž se především sleduje dodržení výrobních odchylek.

Pod pojmem tvárnice se zpravidla rozumí zdicí prvek, který je sice zjevně větších rozměrů než cihla, ale který ještě je ručně manipulovatelný. Jak však vyplývá z tab. 4.107, jsou v nové normě ČSN EN 771 – 4 mezi pórobetonové tvárnice počítány i prvky, jejichž hmotnost přesahuje 250 kg.

Na plochách nevyztuženého výrobku se smí vyskytovat otisky po roštnicích do hloubky nejvýše 5 mm nebo otisky po vodicích jehlách řezacích drátů šířky nejvýše 20 mm a hloubky nejvýše 5 mm. Vzhled výrobků se hodnotí také podle poškození rohů. Z hlediska rozměrové přesnosti se rozlišují výrobky běžné a výrobky přesné, které mají rozměry se zaručenou tolerancí.

Evropská norma ČSN EN 771-4 stanovuje charakteristiky pórobetonových tvárnic a funkční požadavky na vlastnosti těchto tvárnic, určených zejména pro různé druhy nosných a nenosných zděných stěn – jednovrstvých, dutinových, příček, opěrných zdí, suterénních stěn, stěn pod úrovní terénu, včetně stěn protipožárních, tepelně a zvukově izolačních stěn a pro zdivo komínů.

Tato norma definuje funkční vlastnosti, které souvisí s pevností, objemovou hmotností, rozměrovou přesností, tepelnou vodivostí, vlhkostními objemovými změnami a mrazuvzdorností. Jejich hodnoty se stanovují podle příslušných zkušebních metod uvedených ve zvláštních evropských normách. Obsahuje rovněž ustanovení pro hodnocení shody výrobků s touto evropskou normou.

Je nutno poznamenat, že uvedené zkušební metody nejsou obvykle použitelné pro zdicí prvky zvláštního tvaru a pro doplňkové prvky. Pro hodnocení shody výroby musí výrobce v dokumentaci pro řízení výroby definovat kritéria shody.

Výrobce musí deklarovat rozměry pórobetonové tvárnice (v mm) v tomto pořadí: délka, šířka a výška a může uvést i rozměry skladebné. Rozměry pórobetonových tvárnic jsou pak zkoušeny podle ČSN EN 772-16. Odchylky měřených rozměrů od rozměrů deklarovaných nesmí být větší než hodnoty odchylek uvedených v tabulce mezních odchylek rozměrů pórobetonových tvárnic. Deklarované jmenovité rozměry nesmí být větší než rozměry uvedené v tab. 4.107.

Největší rozměry pórobetonových tvárnic pravidelného tvaru *Tab. 4.118*

| Rozměry (mm) | |
|---|---|
| Délka | 1500 |
| Šířka | 600 |
| Výška | 1000 |

Mezní odchylky rozměrů jednotlivých pórobetonových tvárnic jsou uvedeny v následující tabulce pro malty, které jsou specifikovány v ČSN EN 998-2.

Mezní odchylky rozměrů pórobetonových tvárnic pravidelného tvaru v mm *Tab.4.119*

| Rozměry | Pórobetonové tvárnice určené pro zdění s ložnými spárami vyplněnými | | |
|---|---|---|---|
| | obyčejnou maltou nebo lehkou maltou | maltou pro tenké spáry | |
| | | TLMA | TLMB |
| Délka | 3 | ±3 | ±3 |
| | –5 | | |
| Výška | 3 | ±2 | ±1 |
| | –5 | | |
| Šířka | ±3 | ±2 | ±2 |

Výrobce často deklaruje i menší mezní odchylky u jednoho nebo více rozměrů než uvádí tab. 4.119.

Například přesné pískové pórobetonové tvárnice P4-500 mají rozměrové tolerance: délka ±1,5 mm; šířka ±1,5 mm; výška ±1,0 mm; zakřivení hran max. 1,5 mm; odchylka pravoúhlosti 3 mm/m. Tyto tvárnice jsou určeny pro zdění jednovrstvých stěnových konstrukcí na maltu pro tenké spáry, bez vnitřních podélných styčných spár.

Ložné spáry u takovýchto přesných tvárnic mají tloušťku 1 mm až 3 mm. Příčné styčné spáry jsou buď rovinné a jsou vyplněny maltou pro tenké spáry, nebo nejsou vyplněny maltou (snížení pracnosti). Styčné plochy tvárnic jsou profilovány tak, aby se vytvořilo spojení na péro a drážku (na sucho).

Běžné tvárnice, které se nejčastěji vyrábějí jako šedé, spojení na péro a drážku nemívají, neboť jejich výrobní tolerance rozměrů a zakřivení se pohybují od ±5 mm do ±6 mm podle deklarování výrobcem. Spojují se v ložných a styčných spárách (ti. 8 až 12 mm) na obyčejnou maltu pro zdění.

Pracnost a spotřeba malty u zdiva z běžných tvárnic je pak mnohem větší než u zdiva z přesných tvárnic. Mnohem větší je i riziko nekvalitního provedení zdiva. V poslední době se proto vyrábějí i přesné popílkové pórobetonové tvárnice, které se spojují v ložných a styčných spárách na maltu pro tenké spáry.

Tvar pórobetonových tvárnic pravidelného tvaru není třeba specifikovat. U ostatních tvárnic se musí specifikovat tvar těchto tvárnic a objem, směr a tvar děr a dutin, přičemž se buď použijí termíny a definice uvedené v této normě, nebo se uvede odkaz na grafické znázornění.

Objemová hmotnost pórobetonové tvárnice za sucha se deklaruje v $kg.m^{-3}$. Průměrná objemová hmotnost za sucha pórobetonových tvárnic pravidelného tvaru se stanoví podle ČSN EN 772-13 zkoušením vzorků tvárnic. Nalezená hodnota se používá pro potřeby výpočtů zatížení, vzduchové neprůzvučnosti, tepelně technických charakteristik a reakce na oheň. Třídy objemové hmotnosti jsou v tab. 4.120.

Třídy objemové hmotnosti podle ČSN EN 12602 *Tab. 4.120*

| Třída objemové hmotnosti | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Průměrná objemová hmotnost v suchém stavu $\rho_m$ ($kg.m^{-3}$) | >250<br><300 | >300<br><350 | >350<br><400 | >400<br><450 | >450<br><500 | >500<br><550 | >550<br><600 | >600<br><650 |
| Třída objemové hmotnosti | 700 | 750 | 800 | 850 | 900 | 950 | 1 000 | |
| Průměrná objemová hmotnost v suchém stavu $\rho_m$ ($kg.m^{-3}$) | >650<br><700 | >700<br><750 | >750<br><800 | >800<br><850 | >850<br><900 | >900<br><950 | >950<br><1 000 | |

Pokud je to významné pro použití, pro které je pórobetonová tvárnice uváděna na trh, a vždy, když se tvárnice osazují do konstrukčních prvků a do prvků, na něž se kladou požadavky vzduchové neprůzvučnosti, výrobce musí deklarovat objemovou hmotnost materiálu pórobetonové tvárnice za sucha v $kg.m^{-3}$. Průměrná objemová hmotnost materiálu za sucha pórobetonových tvárnic pravidelného tvaru se stanoví podle ČSN EN 772-13. Obvykle se pohybuje v rozmezí od 300 $kg.m^{-3}$ do 1000 $kg.m^{-3}$. Od deklarované hodnoty objemové hmotnosti se skutečně naměřená hodnota nesmí odchylovat o více než 50 $kg.m^{-3}$.

Výrobce musí deklarovat průměrnou pevnost v tlaku. Tato pevnost nesmí být nižší než 1,5 MPa. Pokud jsou vzorky pórobetonových tvárnic odebrány z dodávky a zkoušeny podle ČSN EN 772-1, tlačné plochy těles upraveny a vzorky kondicionovány podle dále uvedeného postupu, nesmí průměrná pevnost v tlaku být menší než deklarovaná hodnota a žádná jednotlivá hodnota této pevnosti nesmí být menší než 0,8násobek deklarované hodnoty. Výrobce smí navíc deklarovat normalizovanou pevnost v tlaku $f_b$.

Minimální pevnost tvárnic (zdicích prvků) stanovená podle ČSN EN 772-1 musí odpovídat normalizované pevnosti nejméně 2,5 MPa v zónách s malou seismicitou a v zńách s větší seismicitou musí normalizovaná pevnost činit nejméně 5 MPa (ČSN EN 1998-1/Z2).

Deklarace musí obsahovat údaj o určené orientaci pórobetonových tvárnic ve zdivu totožnou s jejich orientací při zkoušce a údaj o způsobu úpravy tlačných ploch.

Vzorky tvárnic odebrané z dodávky musí být kondicionovány na 6 % ±2 % vlhkosti vzduchu podle ČSN EN 772-1 a podle této normy se musí upravit i jejich povrchy.

Pokud se nezkoušejí celé tvárnice, vyřezávají se z nich tělesa. Výrobce musí deklarovat rozměry těchto těles. Třídy pevnosti v tlaku pórobetonu jsou uvedeny v tab. 4.121.

Pokud je to významné pro použití, pro které je tvárnice uváděna na trh, musí výrobce předložit informaci o tepelně technických vlastnostech pórobetonových tvárnic, včetně odkazu na ČSN EN 1745.

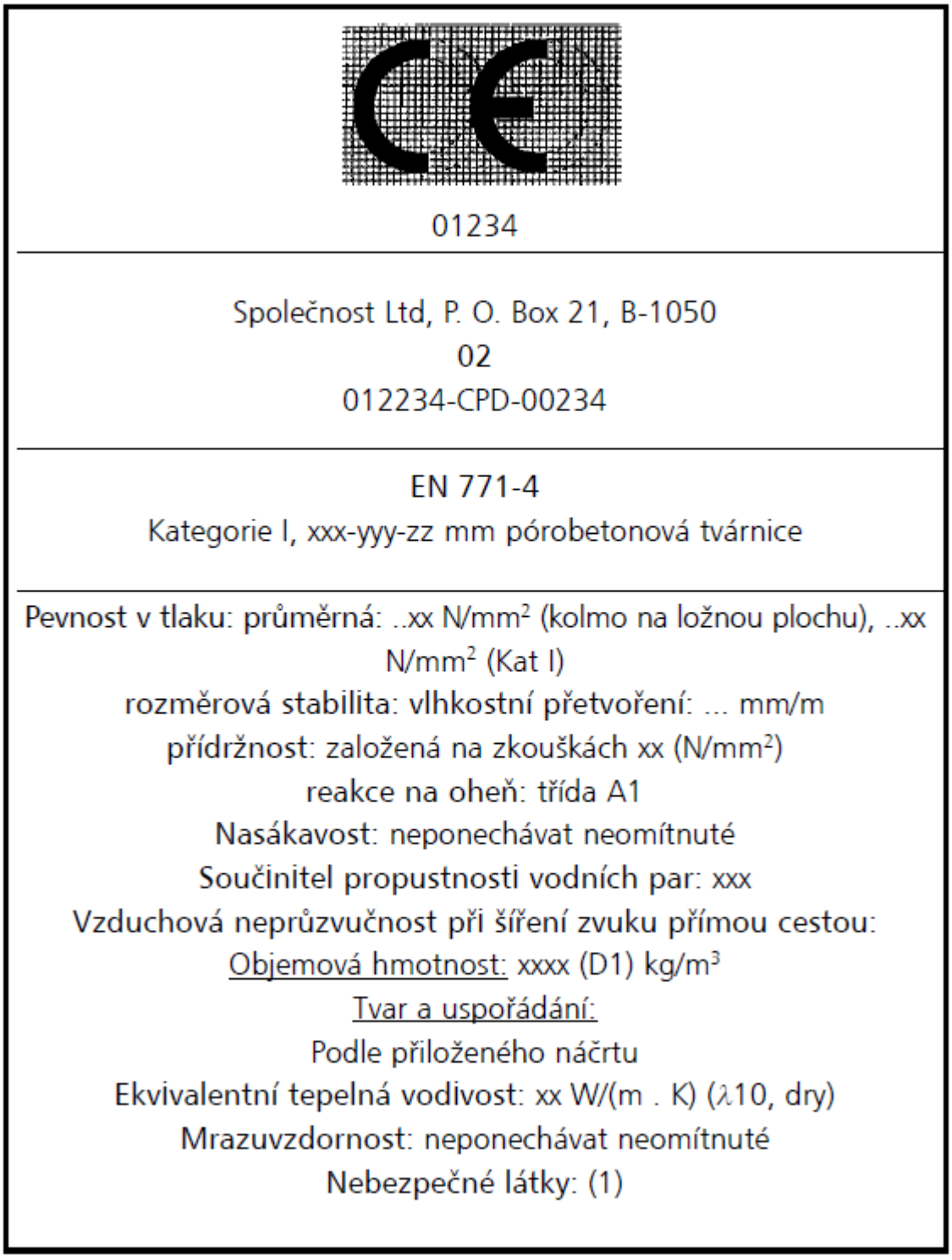
Třídy pevnosti v tlaku pórobetonu v MPa podle ČSN EN 12602 *Tab. 4.121*

| Pevnostní třída | PB1,5 | PB2 | PB2,5 | PB3 | PB3,5 | PB4 | PB4,5 | PB5 | PB6 | PB7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_{ck}$ | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 6 | 7 |

K dalším požadavkům patří, obdobně jako u vápenopískových zdicích prvků, trvanlivost, vlhkostní přetvoření (smrštění podle EN 680), propustnost vodních par (ČSN EN 1745 a EN ISO 12572), nasákavost (po 10, 30 a 90 minutách podle ČSN EN 772-11), reakce na oheň (viz vápenopískové zdicí prvky), přídržnost (deklarace založená na stanovených hodnotách nebo na zkouškách podle ČSN EN 998-2 nebo podle ČSN EN 1052-3) a pevnost v tahu za ohybu (tvárnic spojených maltou).

Výrobce musí prokázat shodu svého výrobku s požadavky evropské normy ČSN EN 771-4 a s deklarovanými hodnotami vlastností výrobku pomocí počáteční zkoušky výrobku a systému řízení výroby u výrobce (obr. 4.90).

Počet prvků podrobených zkouškám se musí řídit příslušnými ustanoveními, výsledky počátečních zkoušek se musí zaznamenávat.




*Obr. 4.100* Příklady informací doplňující označení CE u pórobetonu

Hodnoty fyzikálně-mechanických vlastností přesných pískových pórobetonových tvárnic *Tab. 4.122*

| Vlastnost | | Jednotka | Pevnostní třída tvárnic | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | P2-400 tepelně-izolační nosná | P2 -500 tepelně-izolační nosná | P4-500 tepelně-izolační nosná | P4-600 nosná | P6-700 nosná |
| Zaručená minimální pevnost v tlaku | | MPa | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 |
| Výpočtová pevnost zdiva | | MPa | 0,5 | 0,6 | 1 | 1,1 | 1,3 |
| Maximální průměrná objemová hmotnost (při 0 % vlhkosti) | | $kg.m^{-3}$ | 400 | 500 | 500 | 600 | 700 |
| Meze průměrné objemové hmotnosti | | $kg.m^{-3}$ | 350 – 400 | 450 – 500 | 450 – 500 | 550 – 600 | 650 – 700 |
| Objemová hmotnost zdiva na maltu pro tenké spáry pevnostní značky min. 5,0 při praktické vlhkosti 6 % | | $kg.m^{-3}$ | 550 – 450 | 650 – 550 | 550 | 660 | 850 |
| Součinitel tepelné vodivosti ve vysušeném stavu | | $W.m^{-1}.K^{-1}$ | 0,10 | 0,12 | 0,12 | 0,15 | 0,18 |
| Výpočtový součinitel tepelné vodivosti při praktické vlhkosti | vnitřní konstrukce | $W.m^{-1}.K^{-1}$ | 0,118 | 0,147 | 0,151 | 0,167 | 0,2 |
| | vnější konstrukce | | 0,13 | 0,165 | 0,172 | 0,19 | 0,22 |
| | vnější konstrukce s větranou vzduchovou mezerou | | 0,127 | 0,16 | 0,155 | 0,18 | 0,21 |
| Vzlínavost | | $g.10^{-2}.mm^{-2}$ | | | 3,2 | | |
| Nasákavost | | % hmotnosti | | | 71 | | |
| Součinitel difuze vodní páry | | $10^{-9}.s$ | 0,0244 | 0,019 | 0,021 | 0,014 | 0,0129 |
| Faktor difuzního odporu | | – | 7,5 | 9,84 | 8,63 | 12,82 | 14,14 |
| Informativní průměrná hodnota sorpční vlhkosti $w_{ms}$ | | % | | 9,0 | 9 | 2,34 | |
| Průměrná hodnota měrné tepelné kapacity c | | $J.kg^{-1}.K^{-1}$ | | | | 834 | |
| Třída hořlavosti | | | | | A1 Nehoř. | | |
| Zdravotní nezávadnost hmotnostní aktivita přírodních radionuklidů $^{226}Ra$ [1)] | | $Bq.kg^{-1}$ | < 15 | 21 | 25 | 20 | 17 |

[1)] Závazná hodnota je 150 $Bq.kg^{-1}$ pro stavby s bytovým prostorem.

Objemové změny hydratační u autoklávovaných pórobetonů nezaznamenáváme, protože u těchto látek se hydratace ukončuje autoklávováním, tedy ještě během vlastní výroby. Na hotových výrobcích z pórobetonu tedy můžeme pozorovat pouze objemové změny pohydratační. Ty jsou způsobeny změnami vlhkosti, teploty, působením chemicky agresivního prostředí nebo působením trvalého napětí.

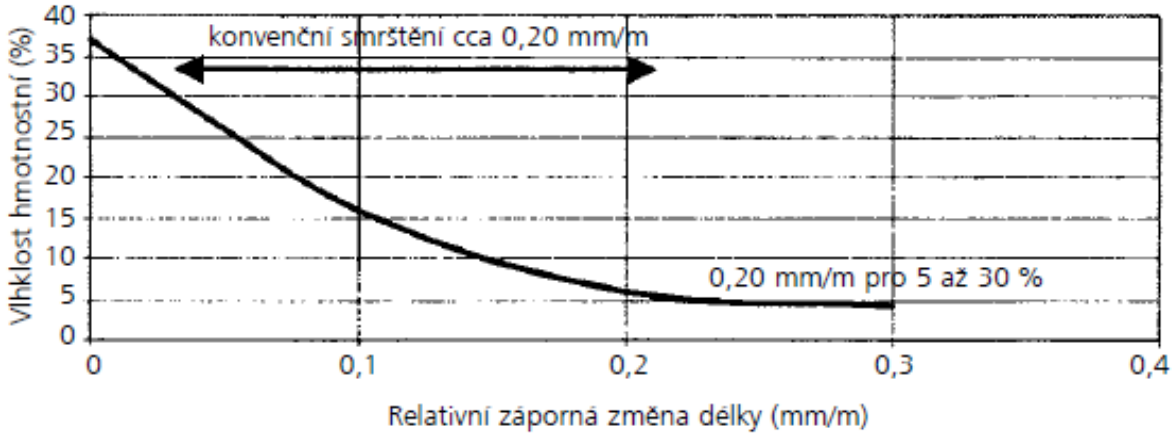
Nejčastější objemové změny vlhkostní jsou spojeny s vysycháním a navlháním a jsou reverzibilní. Tyto objemové změny jsou představovány délkovým smršťováním výrobků při vysychání ze stavu výrobní vlhkosti (asi 30 % hmotnostních) do ustálené vlhkosti (cca 4,5 % hmotnostních) (obr. 4.91).

Hodnoty konvenčního smrštění (od stavu nasyceného vodou do zcela vysušeného stavu) bývají u šedého pórobetonu 0,29 mm.m$^{-1}$ až 0,34 mm.m$^{-1}$, u pórobetonů na bázi písku 0,15 až 0,25 mm.m$^{-1}$.

Nověji se ukázalo, že smršťování pórobetonů závisí nejen na rozmezí vlhkosti, ale i na relativní vlhkosti vzduchu, teplotě, velikosti zkušebních vzorků i době, po kterou vysychání probíhá. Smršťování navíc neprobíhá lineárně.

Na smršťování má vliv také výběr použitých surovin. V soudobých výrobnách je proto možné vyrobit prvky s menším smršťováním.

Metodika zkoušení smršťování pórobetonů se provádí dle ČSN EN 680. Obyčejně se sleduje smršťování hranolů o rozměrech 40 x 40 x 160 mm (min. 150 mm). Podrobněji je o zkoušení pórobetonu pojednáno v kapitole 5.8.

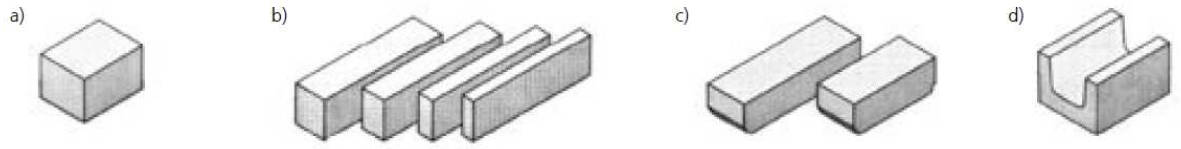



*Obr. 4.101* Délková změna pórobetonu dle ČSN EN 680

#### 4.7.2.2.4 Použití pórobetonu

Pórobetony se dnes vyrábějí převážně v podobě tvárnic pro suché zdění. Přesné rozměry těchto tvárnic umožňují spojování tenkou vrstvou tmelu. I když je používaný tmel vodou ředitelný, nemá toto lepení charakter mokrého procesu. Pórobeton je lehký, snadno opracovatelný a manipulovatelný.

K výhodám pórobetonu bezesporu patří možnost vytvořit s jeho použitím téměř celou hrubou stavbu. Použití uceleného systému od jednoho výrobce přináší výhodu vzájemné sladěnosti jednotlivých prvků a zprůhledňuje otázku záruky za zhotovené dílo.Charakteristiky přesných pískových pórobetonových tvárnic jsou uvedeny v tab. 4.111 - 4.114. Ukázka sortimentu šedých a bílých pórobetonových výrobků jen na obr. 4.102, 4.103 a 4.104.




*Obr. 4.102* Ukázka sortimentu šedých pórobetonových výrobků

a – přesná tvárnice hladká nebo běžná tvárnice hladká, b – příčovky přesné - hladká nebo běžná hladká, c – stropní vložky s úkosem vkládané mezi železobetonové předpjaté nosníky Hat-trick či železobetonové nosníky HF, d – věncovka (U – profil), plnící též funkci ztraceného bednění překladu

Hodnoty tepelného odporu $R$ ($m^2.K.W^{-1}$) obvodových stěn z přesných pískových pórobetonových tvárnic na maltu pro tenké spáry M 10 *Tab. 4.123*

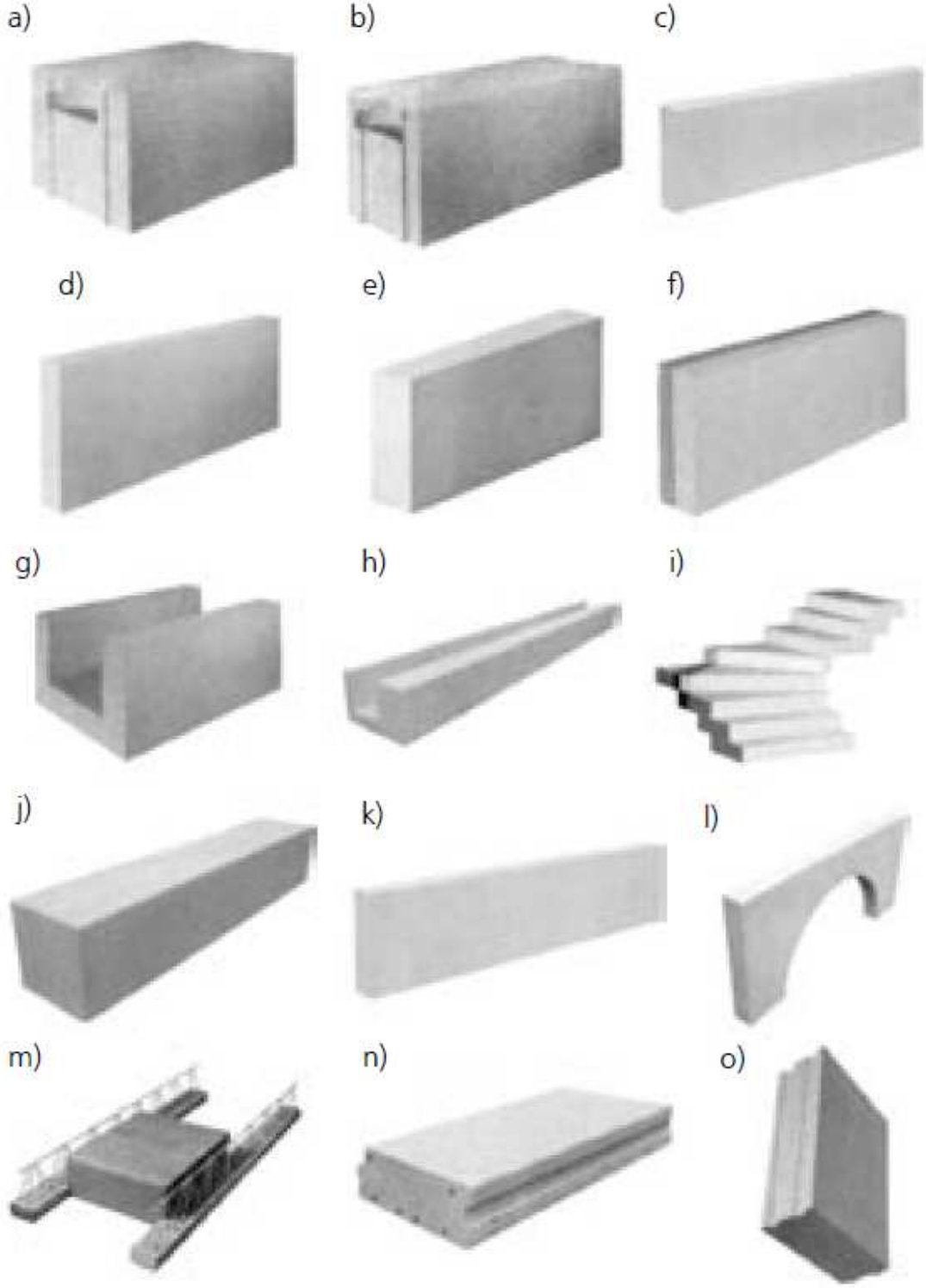
| Tloušťka stěny bez omítek (mm) | Hmotnostní vlhkost zdiva (%) | Pevnostní třída tvárnic | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | P2-400 | P2-500 | P4-500 | P4-600 | P3-700 | P6-700 |
| 250 | 6 | - | 1,56 | 1,56 | - | - | 1,14 |
| 300 | 6 | 2,65 | - | 1,88 | - | - | 1,36 |
| 375 | 6 | 3,32 | - | 2,34 | - | - | 1,7 |

Hodnoty laboratorní vzduchové neprůzvučnosti $R_w$ *Tab. 4.124*

| Pevnostní třída tvárnic | Tloušťka stěny | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 | 125 | 150 | 250 (240) | 300 | 375 |
| P2-400 | - | - | - | 45 | 46 | 48 |
| P2-500, P4-500 | 37 | 39 | 41 | 47 | 48 | 50 |
| P4-600 | 39 | 41 | 43 | 48 | 50 | 51 |
| P4-700, P6-700 | 39 | 41 | 43 | 48 | 50 | 52 |

Hodnoty požární odolnosti nezatížené stěny v minutách *Tab. 4.125*

| Pevnostní třída tvárnic | Tloušťka stěny | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 | 125 | 150 | 250 | 300 | 375 |
| P2-400 | 120 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| P2-500, P4-400 | 120 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| P4-600 | 120 | 180 | > 180 | > 180 | > 180 | > 180 |
| P4-700 PŘÍČKOVKA P6-700 | 120 | 180 | > 180 | > 180 | > 180 | > 180 |




*Obr. 4.103* Ukázka sortimentu bílých pórobetonových prvků

a – tepelně izolační vnější tvárnice, b – nosná vnitřní tvárnice, c – příčkovky, d – výrobky pro vnitřní výstavbu, e – JUMBO přesný blok, f – věncovka, g – U-profil, h – U-profil armovaný, i – schodišťové stupně, j-překlady nosné,k-překlady nenosné, l-obloukové nenosné překlady, m – bílý strop, n – stropní a střešní desky, o – stěnové a příčkové dílce

Fragment zdiva o tloušťce 400 mm z tepelně izolačních přesných tvárnic P2 – 580 na maltu pro tenké spáry M 5 vykazuje při praktické vlhkosti tepelný odpor $R$ = 3,17 $m^2$. K . $W^{-1}$, součinitel postupu tepla u = 0,30 W . $m^{-2}$. $K^{-1}$. Laboratorní vzduchová neprůzvučnost $R_w$ = 50 dB pro tloušťku zdi 400 mm (plošnou hmotnost 230 kg . $m^{-2}$).

Příznivé hodnoty tepelné vodivosti pórobetonu je možné demonstrovat na příkladu jednovrstvé zděné konstrukce (stěny) tloušťky 375 mm, zhotovené z pískového pórobetonu objemové hmotnosti 400 kg.$m^{-3}$. Při praktické, tj. ustálené vlhkosti 6 % hmotn. se tato stěna svým součinitelem prostupu tepla u = 0,287 W. $m^{-2}$. $K^{-1}$ blíží doporučené hodnotě $U_n$ = 0,25 W. $m^{-2}$. $K^{-1}$.

Obdobnou příznivou hodnotu tepelného odporu R uvádějí u svých nových výrobků dominantní společnosti a to PORFIX, který pro přesnou šedou tvárnici hladkou s úchopovou kapsou nebo s perem a drážkou P+D rozměrů 500 a 590 x 250, 300, 375 x 250 mm, značky P3-580, deklaruje při tl. vysušeného zdiva 375 mm hodnotu R= min. 3,12 $m^2$. K . $W^{-1.}$

Pro přesnou bílou tvárnici hladkou nebo s P+D rozměrů 590 x 240, 300, 360, 380, 420 x 240 mm, značky P3-550, deklaruje při tl. vysušeného zdiva 360 mm hodnotu R= min. 3,0 $m^2$. K . $W^{-1}$ .

Tvárnice QPOR někdejší společnosti PÓROBETON Trutnov (která se později spojila se společností PORFIX) se vyrábějí přesné šedé nebo bílé hladké, s kapsou nebo s perodrážkou a kapsou o rozměrech 490 a 500 x 200, 250, 300 , 375 x 250 mm, pevnostní značky P3. Deklarovaná hodnota tepelného odporu R= 3,13 $m^2$. K . $W^{-1}$ ve všech výrobních variantách je při tloušťce vysušené stěny 375 mm.

Výrobce H+H Celcon (dříve PORYNK Most) vyrábí přesné bílé nebo šedé tvárnice rozměrů 600 nebo 300 x 250, 300, 375 x 250 mm, značky P3-540 s téměr stejnými výše uvedenými hodnotami tepelného odporu obvodové stěny tl. 375 mm.

Výrobkem společnosti XELLA (od roku 2007) je tepelně izolační tvárnice YTONG LAMBDA P2-350. Neomítnuté zdivo (o výpočtové hmotnosti 500 kg. $m^{-3}$ ) z bílých tvárnic přesných rozměrů 599 x 300 nebo 375 x 249 mm (s rozměrovými tolerancemi délky, šířky ±1,5 mm, výšky ±1,0 mm) lepených na maltu pro tenké spáry tl. 1-3 mm,má vynikající tepelně technické parametry:

-při vysušeném zdivu tl. 375 mm… U=0,23 W. $m^{-2}$. $K^{-1}$ , R= 4,26 $m^2$. K . $W^{-1}$ ,

-při vlhkosti 4,5% zdiva tl. 375 mm…U=0,26 W. $m^{-2}$. $K^{-1}$ , R= 3,71 $m^2$. K . $W^{-1}$ ,

-součinitel tepelné vodivost $\lambda_{10\ DRY}$= 0,085 W.$m^{-1}$.$K^{-1}$,

-faktor difúzního odporu μ = 5/10, (vlhkostní přetvoření ε = 0,2 mm.$m^{-1}$, přídržnost = 0,3 N.$mm^{-2}$ ).

Tvárnice se vyrábějí z autoklávovaného pískového pórobetonu kategorie I s dvojitým perem a drážkou a úchopovými kapsami (PDK) nebo hladké.

Za normálních podmínek je pórobeton mrazuvzdorný, a to díky příznivému charakteru jeho porézní struktury. To platí i pro čerstvý pórobeton, který ještě nevyschl a jehož vlhkost dosahuje hodnoty kolem 30 %. S ohledem na značnou nasákavost se však pórobeton zásadně nehodí do stálého vlhkého nebo mokrého prostředí nebo tam, kde může dojít k jeho trvalému navlhnutí.

Obvodové nadzemní zdivo z pórobetonu by mělo začínat min. 300 mm nad upraveným terénem nebo by mělo být chráněno spolehlivou svislou hydroizolací. Zapouštění neizolovaných pórobetonových tvárnic, byť „jen“ 200 až 250 mm pod upravený terén, je chybné. Suterénní zdivo musí být spolehlivě izolováno proti vlhkosti, neboť pórobeton nelze sanovat infúzními metodami.

Vzlínavost vlhkosti v pórobetonu je poměrně malá, vzlínání dosahuje max. do 0,5 m. Navlhavost při 50 % relativní vlhkosti vzduchu činí 3,0 % hmotn. a při 90 % relativní vlhkosti vzduchu již 8 % hmotnosti. Proto je pórobeton jako zdicí materiál vhodný jen do prostředí s trvalou relativní vlhkostí vzduchu nižší než 85 %.

Pórobeton vodu dobře pohlcuje a díky otevřené pórové struktuře opět vysychá. Na rychlost jeho vysychání však panují různé názory. Je zřejmé, že vysychání může být ovlivněno mnoha faktory (balení výrobku, místo zabudování, povrchová úprava). Vzhledem k tomu, že okamžitá vlhkost výrobku po výrobě (autoklávování) činí až 35 % hmotnosti, může trvat i několik let, než se dosáhne ustálení vlhkosti na hodnotu tzv. praktické hmotnostní vlhkosti (4,5 %) v konstrukčním prvku.

Při náporovém dešti nechráněné (neomítnuté) vnější zdivo (nosné i výplňové) provlhne jen do hloubky cca 30 mm (vliv gravitace). Velký negativní účinek na fyzikální vlastnosti má však úplné ponoření pórobetonu pod vodu. Nasákavost může dosáhnout 60 až 80 % podle druhu pórobetonu. Nasáknutím se tlaková pevnost snižuje přibližně o 20 %.

Povodňové zkušenosti ukazují, že extrémní hodnoty vlhkosti, vyvolané zatopením pórobetonového zdiva, je možné snížit v poměrně krátké době. Zátopou zasažené objekty jsou pak většinou použitelné a nejsou v nich ani žádné mimořádné problémy s plísněmi.

Pórobeton se nesmí ve stěně (nosné i výplňové) kombinovat s jiným materiálem, např. s jiným druhem lehkého betonu nebo cihlou plnou či děrovanou typu Therm. Platí zásada, že výplňové stěny i příčky musí být důsledně odděleny po 4 stranách (tj. po celém obvodu) od nosné konstrukce železobetonové, ocelové, dřevěné či kombinované.

Příčky nebo výplňové zdivo se musí po 6 m dilatovat. Největší přípustná vzdálenost dilatačních spár v budovách (objektová dilatace) je 25 m pro zdivo z pórobetonových tvárnic (na maltu M 1 nebo M 2,5). Stěny je třeba dilatovat po max. 17 m nebo je zalomit (vytvořit rohy).

Pórobeton není vhodný do prostředí s kyselými výpary a špatně snáší působení agresivních látek vůbec. Pórobeton je proto jen omezeně použitelný k výstavbě zemědělských objektů.

Zabudovaný pórobeton by neměl být vystaven přímému styku s prostředím, protože jeho otevřená pórovitá struktura usnadňuje vnikání prachu, vlhkosti i chemických agresivních látek. Obecně povrchové úpravy mohou být venkovní (vnější) nebo vnitřní. Podle druhu výrobku můžeme povrchové úpravy rozdělit na úpravy na nevyztužených běžných nebo přesných výrobcích a na vyztužených výrobcích.

Použitelnou povrchovou úpravou je tradiční omítka, která však může být z hlediska výroby i spolehlivosti považována za problematičtější než moderní omítka připravená ze suché omítkové směsi.

Při tradičním postupu se zdivo z pórobetonových tvárnic omítá podobně jako zdivo cihelné. Omítání se provádí na jaře nebo na podzim po předchozím dvou- až třínásobném navlhčení a postříkání povrchu zdi řídkou cementovou kaší. Cementovým postřikem (ve složení cement : vzdušné vápno : ostrý písek frakce 0-2 = 1 : 0,25 : 3) se vytváří adhezní můstek.

Po zatuhnutí postřiku se nanáší vápenocementové jádro v tl. 15 - 25 mm (podle nerovnosti povrchu ve složení cement : vzdušné vápno : písek 0-4 = 1 : 2 : 3), které u vnějších omítek musí být vždy vyztužené skelnou tkaninou nebo síťovinou. Pozinkované rabicové pletivo je méně vhodné. Toto jádro je tvrdé (s vysokým modulem pružnosti oproti pórobetonu) s malou tažností, a proto se má nechat dostatečně vyzrát.

Po objevení vlasových trhlin se na vnitřním povrchu nanáší vápenný štuk (vzdušné vápno : jemně prosátý písek 0/1 = 1 : 1), na vnějším povrchu po navlhčení jádra nejlépe šlechtěná omítková vrstva, tj. cca 5 mm, protože vnější vápenné štukové omítky nesmí být vystaveny přímému dešti.

Vnitřní povrchy se obvykle malují nebo tapetují (vhodné jsou stříkané tapety), vnější povrchy se natírají nebo válečkují akrylátovými barvami s nízkou ekvivalentní difúzní tloušťkou ($S_d$ < 2,0 m).

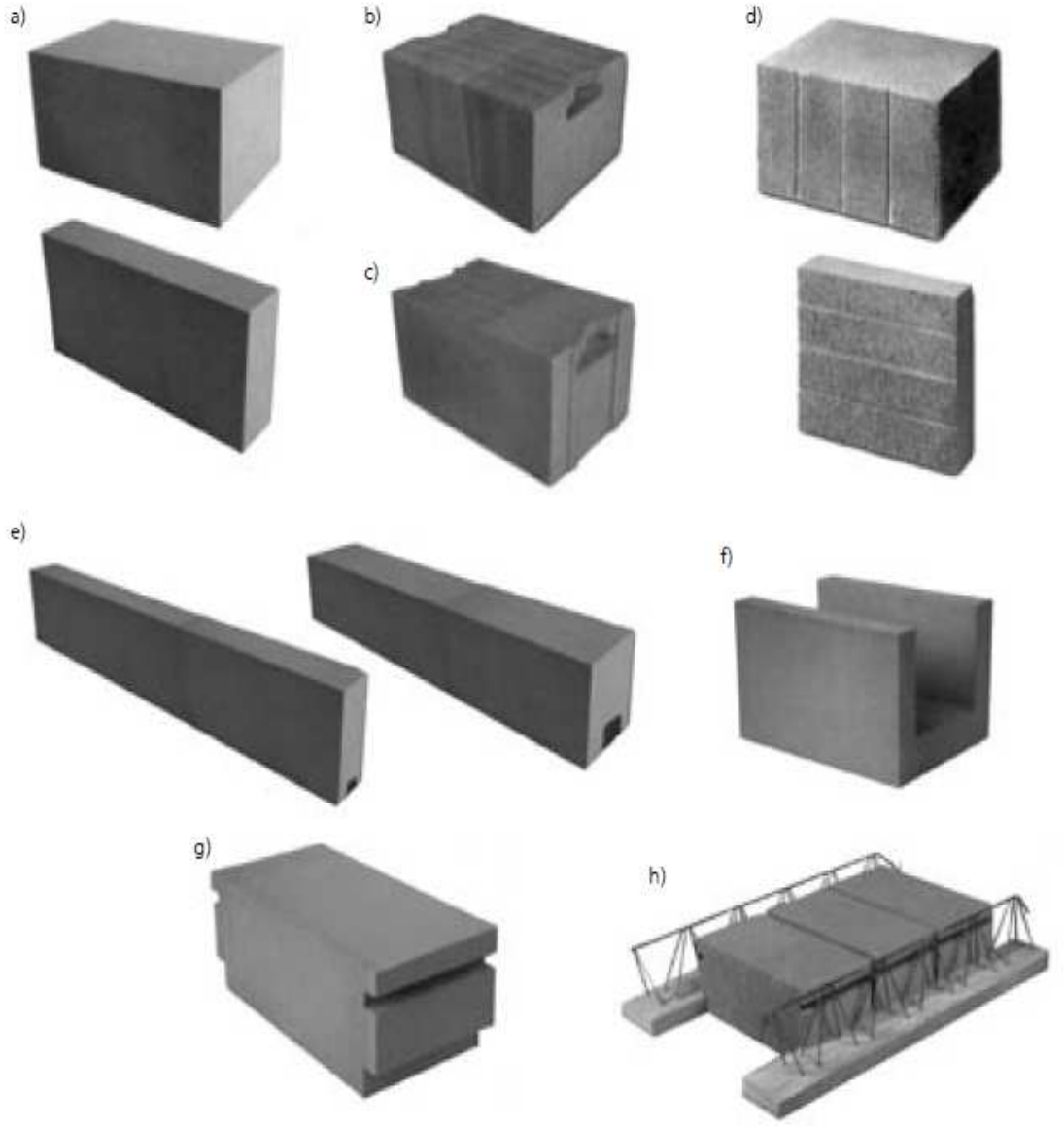
Na pórobetonové přesné tvárnice se doporučuje použít minerální lehké suché omítkové a maltové směsi (SOMS), které jsou svým složením i svými fyzikálními vlastnostmi dokonale sladěny s omítaným podkladem, tzn. že mají přibližně stejnou objemovou hmotnost, tepelnou vodivost λ a pevnost v tahu i tlaku. Od kvalitní omítkové směsi se požaduje rovněž příznivý faktor difúzního odporu, velmi dobrá přídržnost a výborná vodoodpudivost.

Pro kompatibilitu SOMS s pórobetonovým podkladem je rozhodující přibližně stejný koeficient lineární teplotní roztažnosti $\alpha$ (tedy cca 8. $10^{-6}$ $K^{-1}$) a srovnatelná hodnota modulu pružnosti E.

V této souvislosti je účelné uvést, že modul pružnosti vzrůstá přímo úměrně s objemovou hmotností pórobetonu a jeho hodnotu (v MPa) lze odhadnout číslem odpovídajícím trojnásobku objemové hmotnosti (v $kg.m^{-3}$).

U běžných pórobetonových tvárnic se modul pružnosti pohybuje od 1100 MPa (pro tvárnice typu P2-400) po 2000 MPa (pro tvárnice typu P6-700).

Pokud se prvky z pórobetonu používají jako stropní vložky, ukládají se nejčastěji na železobetonové nosníky a následně se zmonolitňují vrstvou betonu (obr. 4.94). Rovněž U - věncovky se fakticky používají jako ztracené bednění a pro zhotovení nadokenních překladů, věnců a průvlaků se vyplňují betonem.




*Obr. 4.104* Pórobetonové prvky a kombinované konstrukce

a - přesné příčky (500 x 50, 75, 100, 125, 150 x 250 mm) a přesné hladké tvárnice (500 x 200, 250, 300, 375 x 250 mm), b - přesné tvárnice s kapsou (500 x 250, 300, 375 x 250 mm), c - přesné tvárnice s perodrážkou a kapsou (490 x 250, 300, 375 x 250 mm), d - běžné tvárnice (400 x 300 x 250 mm) a (500 x 396 x 250 mm) a příčkovky ( 500 x 75, 100, 150 x 400 mm), e - překlady nadedveřních otvorů příček a vnitřních stěn ( 1000, 1200, 1500, 2000, 2500 x 100, 125, 150, 200 x 250 mm), f - U věncovka (500 x 250, 300, 375 x 250 mm), g - stropní vložka ( 495 x 250 x 200 mm), h - stropní nosník (délky 800 až 7400 mm po 200 mm z betonové patky a zálivky tl. 50 mm z C16/20) v osazovaných vzdálenostech 600 mm.

Poznámka: Všechny pórobetonové prvky jsou třídy P3-580. Přesné tvárnice a příčkovky mají rozměrové tolerance: délka ± 2,5 mm, šířka ± 2,0 mm, výška ± 2,0 mm. Běžné tvárnice a příčkovky mají tolerance: délka ± 6,0 mm, šířka ± 5,0 mm, výška ± 5,0 mm.

### 4.7.2.3 Vláknocementové výrobky

Vláknocementové výrobky jsou průmyslově vyráběné tenkostěnné výrobky (ve tvaru desek rovných nebo vlnitých) ze směsi vláken, cementu, vody a případně barviv. Vlákna v hotovém výrobku vytvářejí rovnoměrnou a hustou výztuž, která zvyšuje jeho tahovou pevnost a houževnatost.

Celosvětového rozšíření doznala výroba eternitu (azbestocementových prvků) vyráběných autoklávováním nebo proteplováním. Autoklávování vláknocementu svého času převládalo. Po té co se upustilo od používání azbestu, nastal návrat k původní proteplovací technologii Ludvíka Hatschka, který si dal v roce 1910 patentovat výrobu azbestocementové hladké krytiny.

#### 4.7.2.3.1 Vláknocementové střešní desky rovinné

Podle ČSN EN 492 jsou vláknocementové střešní desky vyráběny z anorganických hydraulických pojiv nebo z vápníkového silikátu (který je vyroben chemickou reakcí z křemíku a substancí obsahujících vápno) a vláken. Vlákna mohou být z jednoho nebo z více druhů: přírodně organická, přírodně anorganická, syntetická anorganická, syntetická organická.

K pojivu mohou být přimíchány také plnicí látky a barviva. Povrchy střešních desek mohou být hladké nebo hrubé. Rovinné desky se vyrábějí barevné nebo nebarevné s otvory nebo bez otvorů pro připevnění. Velikosti desek, jejich tvary a provedení hran (okrajů) jsou podle údajů výrobců.

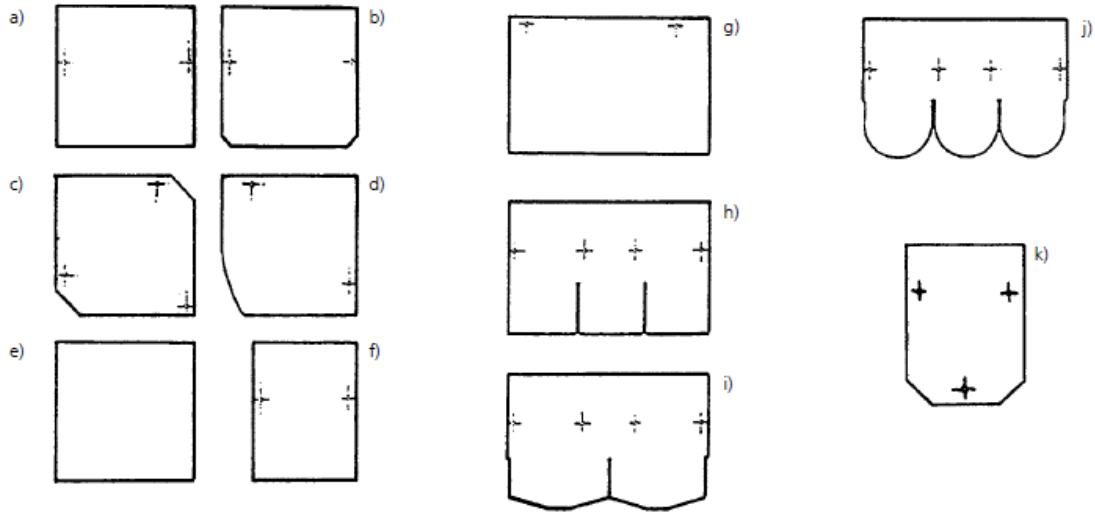
Skutečná tloušťka desek (aritmetický průměr ze 4 rozměrů) musí být nejméně 2,8; 3,0; 3,5 a 4,0 mm pro min. ohybový moment (průměr hodnot v obou směrech na zkušebním tělese) 25, 30, 35 a 45 A.m na 1 m šířky (Třída A) nebo pro min. ohybový moment 35, 45, 50 a 60 A.m na 1 m šířky (Třída B). Jmenovitá tloušťka je udána výrobcem. Tolerance tloušťky je –10 % až +25 % jmenovité hodnoty, tolerance délky a šířky ±3 mm.

Výrobce musí podle svých podkladů udávat minimální hodnotu objemové hmotnosti (tab. 4.115).

Technické parametry střešní krytiny *Tab. 4.126*

| Česká šablona 400 × 400 mm | | |
|---|---|---|
| parametr | hodnoty | odkaz |
| Skladovací vlhkost | 6 – 14 % | |
| Součinitel tepelné vodivosti | 0,3 – 0,4 $W.m^{-1}.K^{-1}$ | |
| Nepropustnost vody | rub bez kapek | ČSN EN 492 |
| Zásaditost | pH 10 – 12 | |
| Hořlavost | nehořlavý – A1 | TÚPO MV ČR č. 2430 – 2/2 |
| Mrazuvzdornost | $R_L$ – min. 0,75 (100 cyklů) | ČSN EN 492 |
| Nasákavost | 18 % hmotn. | ČSN EN 492 |
| Hmotnost | 1,33 $kg.ks^{-1}$ | |
| Objemová hmotnost | 1,78 $g.cm^{-3}$ | ČSN EN 492 |
| Ohybový moment | min. 35 $Nm.m^{-1}$ | ČSN EN 492 |
| Pevnost v tahu za ohybu | min. 16 $N.mm^{-2}$ | |
| Složení materiálu | buničina, syntetická vlákna a cement | |
| Dánský obdélník 600 × 300 mm | | |
| parametr | hodnoty | odkaz |
| Skladovací vlhkost | 6 – 14 % | |
| Součinitel tepelné vodivosti | 0,3 – 0,4 $W.m^{-1}.K^{-1}$ | |
| Nepropustnost vody | rub bez kapek | ČSN EN 492 |
| Zásaditost | pH 10 – 12 | |
| Hořlavost | nehořlavý – A1 | TÚPO MV ČR č. 2430 – 2/2 |
| Mrazuvzdornost | $R_L$ – min. 0,75 (100 cyklů) | ČSN EN 492 |
| Nasákavost | 18 % hmotn. | ČSN EN 492 |
| Hmotnost | 1,5 $kg.ks^{-1}$ | |
| Objemová hmotnost | 1,78 $g.cm^{-3}$ | ČSN EN 492 |
| Ohybový moment | min. 35 $Nm.m^{-1}$ | ČSN EN 492 |
| Pevnost v tahu za ohybu | min. 16 $N.mm^{-2}$ | |
| Složení materiálu | buničina, syntetická vlákna a cement | |
| Vlnitá střešní krytina A5, B8 | | |
| parametr | hodnoty | odkaz |
| Skladovací vlhkost | 10 % | PN 01/2000 |
| Nepropustnost vody | rub bez kapek | ČSN EN 494 |
| Zásaditost | pH 10 – 12 | PN 01/2000 |
| Hořlavost | nehořlavý – A1 | Pr-00-06.063-2000-10-04 |
| Mrazuvzdornost | $R_L$ – min. 0,7 (100 cyklů) | ČSN EN 494 |
| Objemová hmotnost | 1,35 $g.cm^{-3}$ | PN 01/2000 |
| Ohybový moment | min. 55 $Nm.m^{-1}$ | ČSN EN 494 |
| Zatřídění dle pevnosti | C2X-A5-3,5 kN/m; B2X-B8-2,0 $kN.m^{-1}$ | ČSN EN 494 |
| Zatížení větrem | asi 5 $kN.m^{-2}$ | PN 01/2000 |
| Složení materiálu | organická vlákna, cement, křemičité přísady | PN 01/2000 |

Při zkoušce propustnosti se smí na spodní straně střešní desky vyskytovat stopy po vlhkosti, ale v žádném případě se tam nesmí tvořit kapky. Požadavky na zkoušku teplo – voda; mokro – sucho; odolnosti proti mrazu; horko – déšť jsou uvedeny v normě ČSN EN 492. Tvary a rozměry vláknocementoých střešních desek rovinných jsou na obr. 4.95.




*Obr. 4.105* Přehled formátů desek střešní krytiny

a – čtverec, b – angl. čtverec, c – česká šablona, d – něm. čtverec, e – čtverec řezaný (bod a – e 400 x 400 mm), f – obdélník 400 x 300 mm, g – obdélník, h – šindel, i – plástev, j – šupina (bod g – j 600 x 400 mm), k – dánský obdélník

Výchozími surovinami jsou:

cement portlandský CEM I 42,5, který se do výrobního stroje dopravuje z betonových sil potrubím pomocí stlačeného vzduchu,

přírodní buničina z cedrového a borového dřeva nebo z dřeva eukalyptového a borového,

syntetická vlákna (např. PVA Kuralon) dl. 4-6mm),

voda a mikroplniva (např. metakaolin).

Přírodní buničina se rozvolní v rozvlákňovači do tekuté vláknité suspenze; vlastnosti jejích vláken se dále upravují v diskovém mlýnu řízeném počítačem. Upravená vláknina je skladována v zásobníku.

Vlastní výrobní proces začíná od okamžiku, kdy se vláknitá složka rozmíchá s vodou a smísí s cementem a syntetickými vlákny (v množství několika % hmotn.) v turbomixeru, ze kterého odchází do homogenizátoru směsi.

Suspenze („blátíčko“) putuje do vany výrobního stroje, kde se otáčejí tři síťové válce, které vynášejí vrstvu vláknocementu na průběžný plstěnec a pak na formátovací válec. Po navinutí požadované tloušťky 4 až 7 mm na formátovacím válci se materiál rozřízne a rozvine na odtahový stůl.

Materiál se buď řeže ocelovými kotouči na potřebné rozměry a formuje se na zvlňovací hlavě, nebo se potřebný formát (šablona, obdélník) vystřihuje jednotaktním lisem.

Doba od smíchání vlákniny s vodou, cementem a dalšími aditivy do formování je maximálně 30 minut. Takto vzniklé výrobky se ve vyhřívaném tunelu 10 hodin proteplují za účelem vytvrzení. Před barvením se vlnité desky předehřívají, pak se na ně nanáší připravená barva pistolí.

Po vytvrzení v proteplovacím tunelu (opět 10 h) zrají výrobky 10 dnů. Manipulační palety jdou do dopravníku barvicí linky, kde se výrobky předehřívají na teplotu cca 97 °C (nedochází pak k jejich poškození teplem). Obě strany desky se barví stejnoměrně válečkovým zanášečem barvy, lícová strana je navíc opatřena finálním nástřikem akrylátovou barvou, která zabraňuje biologické korozi krytiny. Pak se výrobky zchladí na teplotu nižší než 35 °C a automaticky se skládají na expediční palety.

#### 4.7.2.3.2 Vláknocementové střešní vlnovky a tvarovky

Podle ČSN EN 494 jsou vláknocementové střešní vlnovky a tvarovky vyráběny ze stejných hmot jako střešní desky rovinné (viz kap. 4.7.2.3.1).

Klasifikují se podle výšky profilu do 5 kategorií A, B, C, D, E, které mají podle šířky vlnité desky minimální tloušťku podle tab. 4.116.

Klasifikace střešních vlnovek *Tab. 4.127*

| Kategorie | Výška profilu *h* (mm) | Minimální tloušťka (mm) | |
|---|---|---|---|
| | | šířka desky ≥ 0,9 m | šířka desky < 0,9 m |
| A | 15 – 30 | 4 | 3,5 |
| B | 25 – 45 | 5 | 4 |
| C | 40 – 80 | 5 | 4 |
| D | 60 – 120 | 5,5 | 5 |
| E | 90 – 150 | 6 | – |

Vlnovky mohou mít 7 různých profilů (viz obr. 4.96) s délkou vlny a (mm):

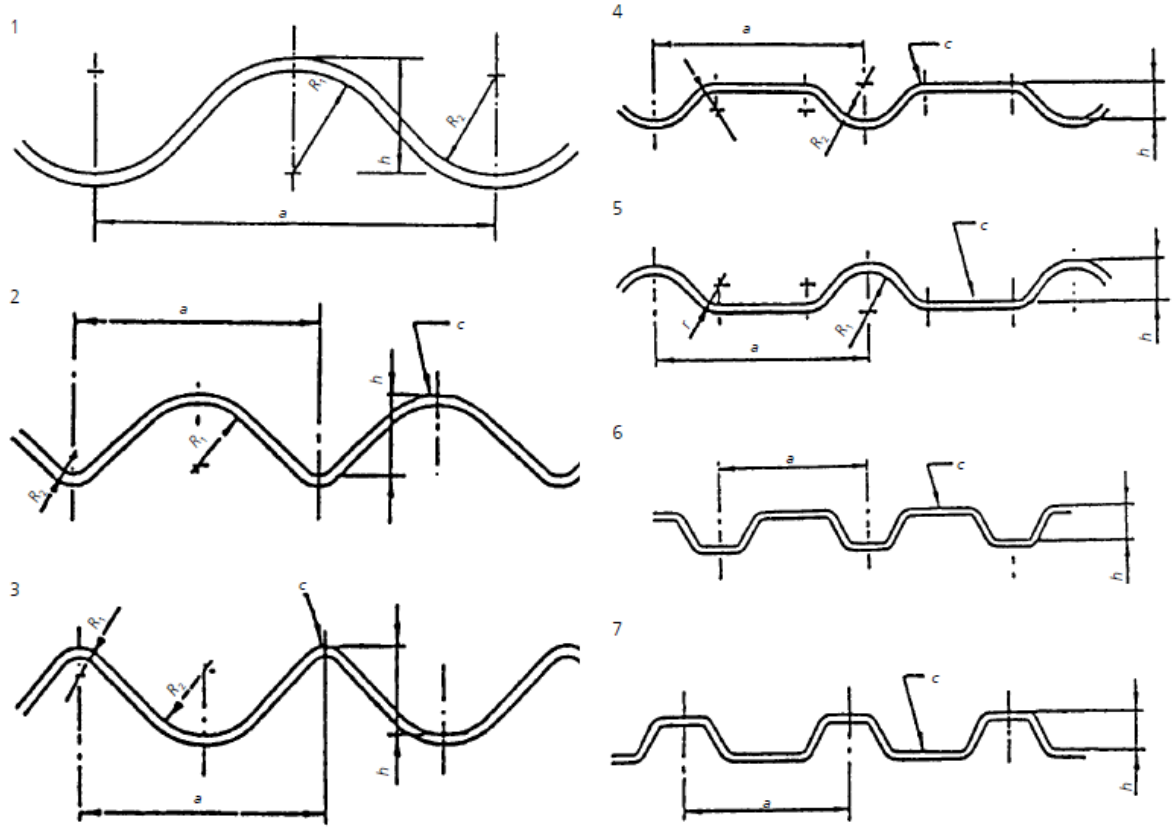
$a \leq 75$ mm,

$75 \text{ mm} < a \leq 180$ mm,

$180 \text{ mm} < a \leq 260$ mm,

$260 \text{ mm} < a$.

Tloušťka vlnovky *e* může být stejná po celém profilu nebo je proměnlivá od vrcholu po sedlo zvlnění.




*Obr. 4.106* Profily vláknocementové střešní vlnovky

1 – pravidelné, 2 až 7 – asymetrické

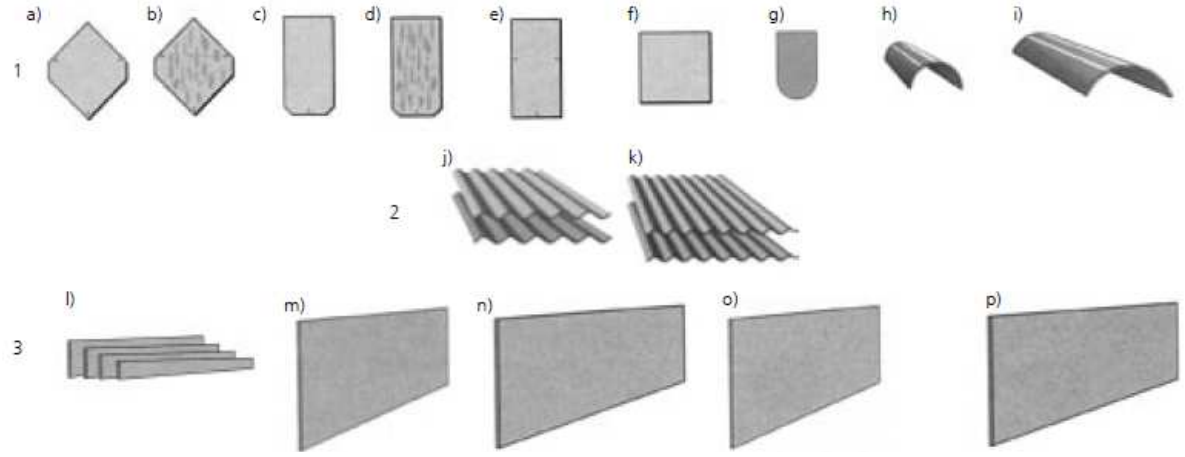
a – délka vlny, c – hladký povrch, h – výška profilu

Vlnitá střešní krytina se sklonem větším než 10° se pokládá na dřevěné hranolky (80 x 50 mm), do kterých se upevňuje ocelovými vruty. Je velmi lehká, neboť její hmotnost činí cca 11 kg.m$^{-2}$, což umožňuje odlehčení dřevěného krovu o cca 30% oproti krovu s pálenou či betonovou krytinou.

Maloplošná rovinná střešní krytina Betternit, Dominant, Horal z české šablony, anglického nebo dánského obdélníku či bobrovky má minimální sklon (18°,25° a 30°) doporučený výrobcem podle tří klimatických oblastí K1, K2, K3 charakterizovaných sněhovou oblastí a nadmořskou výškou.

### 4.7.2.3.3 Vláknocementové obkladové desky

V ČR i zahraničí jsou vyráběny z cementu, silikátových přísad a organických i anorganických vláken přírodních a syntetických. Desky neobsahují azbest a jsou určeny pro užití v exteriérech i interiérech staveb bytových a občanských. Nejsou určeny pro použití na střešní krytinu a v chemicky agresivním prostředí.




*Obr. 4.107* Vláknocementové výrobky

1 – maloplošná krytina (i venkovní obklady), hladký povrch nebo imitace břidlice, 2 – vlnitá krytina, 3 – fasádní desky

a, b – česká šablona, c, d – dánský obdélník, e, f – anglický obdélník, g – bobrovka, h, i – hřebenáč kónický, j – A5, k – B8, l – Cembonit FDA, m – Cembonit FDA, n – Cembonit FDA, o – Cembonit FDH, p – Cembonit FDH

Fasádní vláknocementové desky jsou dodávány v devíti odstínech barvených do hmoty s lícní stranou nahrubo zbroušenou, čímž je docíleno matného přírodního vzhledu, nebo mohou být provedeny v přírodním šedém cementovém odstínu bez dalších úprav. Sortiment vláknocementových výrobků je na obr. 4.97. Vláknocementové odřezky vzniklé během montáže a vláknocementové výrobky s ukončenou životností je možno odstraňovat na skládku odpadů pod katalogovým číslem 17 09 04 – Směsné stavební a demoliční odpady.

### 4.7.2.4 Prefabrikáty s optickými vlákny

K výrobkům jejichž širší použitelnost ukáže teprve čas patří silikátové výrobky obsahující orientovaná světlovodivá vlákna způsobující průsvitnost i velmi tlustých betonových prvků.

V současnosti jsou nabízeny [Litracon, 2007] průsvitné betonové bloky o maximálním rozměru 600 x 300 mm s tloušťkou 25 – 500 mm. Obsahují 4 % optických vláken a při objemové hmotnosti 2100 – 2400 kg.m$^{-3}$ vykazují tlakovou pevnost 50 MPa. Ohybová pevnost nepřesahuje 7 MPa. Bloky se navzájem spojují epoxidovým lepidlem a spáry se podle potřeby vyztužují ocelovými pruty (podobně jako sklobeton). Konečné spárování se provádí hmotou cementového typu.

I když se může jednat o esteticky velmi efektivní prvek , současná cena řádově překračuje cenu běžných světlopropustných materiálů.

## 4.8 Kovy

Technické kovy (tj. kovy využívané v technické praxi) jsou krystalické látky, převážně slitiny základního kovu s dalšími kovovými nebo nekovovými prvky. Získávají se z rud (nerostů s obsahem požadovaného kovu) metalurgickými procesy.

Dělí se na dvě základní skupiny:

kovy železné – surové železo, bílá a šedá litina, ocel a ocelolitina,

kovy neželezné – hliník, měď, zinek, olovo, cín, a jejich slitiny.

### 4.8.1 Železo a jeho slitiny

Železné kovy jsou slitiny železa s uhlíkem, popř. s dalšími prvky (legujícími kovy). Surové železo a litina obsahují 2 až 4 %, ocel méně než 2 % uhlíku.

#### 4.8.1.1 Výroba železa

Hlavní výrobní jednotkou je vysoká pec, kde dochází k primární redukci kyslíkatých rud, což vede ke vzniku tekutého železa.

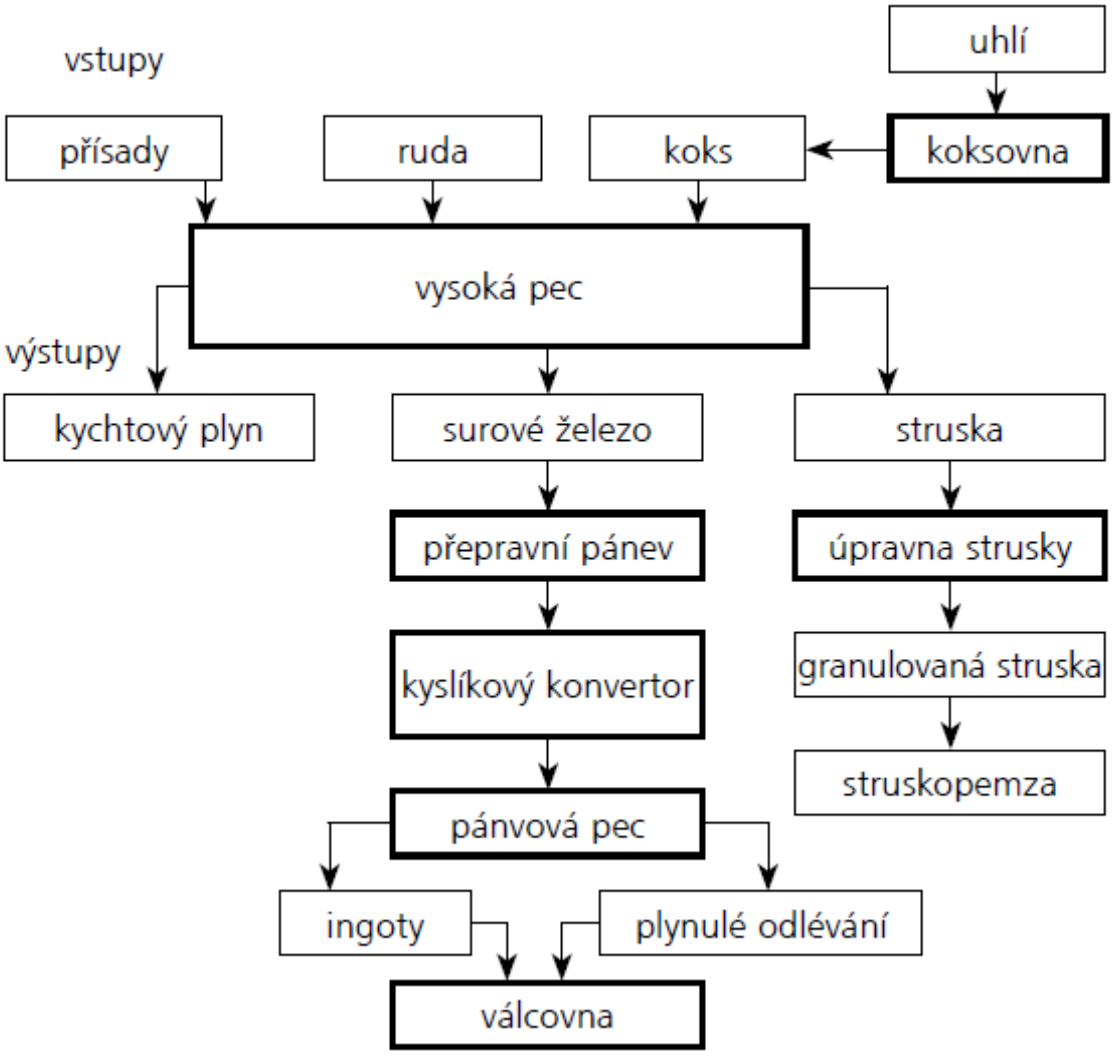
Vysoká pec se zaváží shora vsázkou, která se skládá střídavě z vrstvy koksu a směsí aglomerátu nebo pelet, kusové rudy a tavidel. v peci se železná ruda postupně redukuje a tekuté železo a struska se shromažďují na dně pece, odkud se vypouštějí (odpichují). Tekuté železo z vysoké pece (surové železo v houskách) se přepravuje do ocelárny. Schéma procesu výroby železa je na *obr. 4.108.*

Suroviny pro výrobu železa ve vysoké peci jsou kyslíkaté železné rudy s obsahem železa 60 až 70 %. Rudy chudší na železo je nutno předem upravovat aglomerováním nebo peletizací pro zvýšení koncentrace železa. Dalšími surovinami jsou koks, který má funkci redukční a energetickou, a vápenec, který má funkci struskotvornou. Produkty získané z vysoké pece jsou:

Surové železo slévárenské – obsahuje 2 až 4 % uhlíku, částečně rozpuštěného jako karbid železa a částečně vyloučeného jako grafit. Přetavením a čištěním se z něj vyrábí šedá litina nebo tvárná litina.

Surové železo ocelárenské (bílá litina) – obsahuje uhlík pouze ve formě karbidu železa, proto je tvrdší, má bílou barvu. Používá se k dalšímu zpracování na výrobu oceli a temperované litiny. Je tvrdé a křehké.

Vysokopecní struska – vzniká z přísad přidávaných do vysoké pece, plave na roztaveném železe a chrání je před opětnou oxidací. Po vypuštění z vysoké pece se volně ztuhlá hutná struska drtí na hutné těžké kamenivo nebo se zpracovává rychlým ochlazením na granulovanou strusku, popř. zpěněnou strusku (struskopemzu).



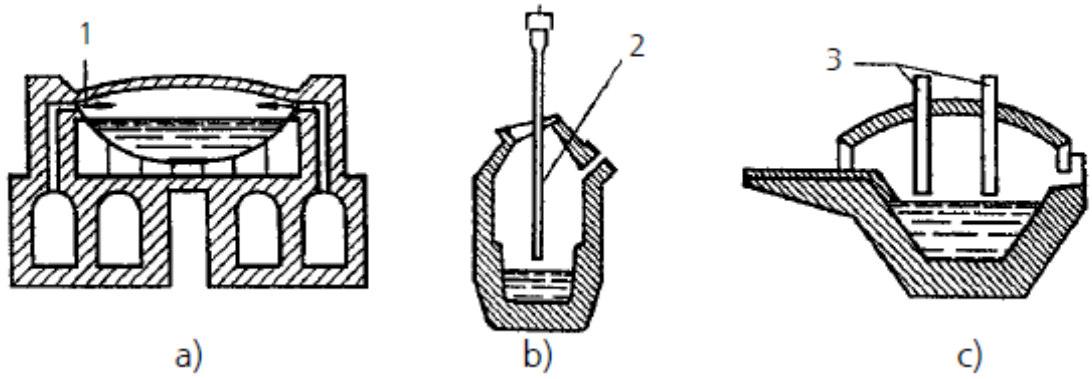

*Obr. 4.108* Schéma hutnické výroby

V současné době se vyvíjí několik dalších nových způsobů výroby železa, takzvané techniky „redukčního tavení", které využívají uhlí místo koksu jako hlavního paliva. Některé z nových technik také nahrazují pelety a aglomerát práškovitou železnou rudou.

#### 4.8.1.2 Ocel

Výroba oceli narůstala ve 2. polovině 20. století exponenciálně, až dosáhla produkce surového železa a ocelí téměř 2 mld. tun.

V kyslíkových konvertorech nebo v elektrických pecích, dříve převážně v Siemens-Martinských pecích (*obr. 4.99*), se tavením snižuje obsah uhlíku surového železa (z cca 4 %) na méně než 1 %, a tím přechází železo v ocel. Před tím se surové železo zbavuje škodlivých prvků (síry, křemíku, fosforu aj.).




*Obr. 4.109* Princip ocelárenských pecí

a – Siemens-Martinská pec, b – kyslíkový konvertor, c – elektrická pec

1 – vhánění horkých plynů, 2 – tryska pro dmýchání kyslíku, 3 – elektrody

Výroba oceli kyslíkovým pochodem je diskontinuální proces, který zahrnuje následující kroky:

- přepravu a skladování taveniny horkého kovu,
- předúpravu taveniny horkého kovu (odsiřování),
- oxidaci v kyslíkovém konvertoru (oduhličení a oxidaci nečistot),
- úpravu sekundární metalurgií,
- odlévání (kontinuální a/nebo do ingotů).

Při výrobě uhlíkové a nízkolegovaných ocelí v elektrických pecích se provádějí následující hlavní operace:

- manipulace se surovinou a skladování,
- zavážení šrotu do pece včetně předehřevu nebo bez něho,
- tavení šrotu v peci,
- odpichování oceli a strusky,
- úprava na pecní pánvi na požadovanou jakost, odsiřování a odplynování,
- manipulace se struskou,
- plynulé (kontinuální) odlévání.

První zásaditá pec s dmýcháním kyslíku (také nazývaná kyslíkový konvertor nebo LD konvertor) byla postavena v Linci v roce 1953. Výjimečně se ještě dnes ocel vyrábí ve dříve běžných pecích Siemens-Martinských (S-M). v EU byly poslední S-M pece vyřazeny z provozu na konci roku 1993 a v EU dnes procesy v kyslíkovém konvertoru pokrývají 2/3 výroby ocelí a zbývající 1/3 pak obstarávají elektrické obloukové pece.

Při výrobě legovaných ocelí se na konci výrobního procesu do taveniny přidávají některé další prvky jako Mn, Si, Ni, Cr, W, Co, Al, Mg aj.

Pro další zpracování se vytavená ocel z pece odlévá do forem (kokil), čímž se získají jako meziprodukt ingoty. Během odlévání a tuhnutí ingotů se v tavenině uvolňují plyny, převážně oxid uhličitý, které ocel čeří a ta tuhne jako ocel neuklidněná. Jestliže se do taveniny přidají přísady obsahující křemík, odstraní se vývin plynu a ocel tuhne jako uklidněná a s přísadou hliníku vzniká ocel vysoce uklidněná**.** Uklidněná ocel má stejnoměrnější složení, ale je dražší. Jako stavební ocel se zpracovává převážně ocel neuklidněná. Odlité výrobky, ať už ingoty nebo bloky, se následně zpracovávají ve válcovnách a na dokončovacích výrobních linkách.

V současné době nové nebo rekonstruované hutě pracují s kontinuálním provozem od výroby železa ve vysokých pecích až po zpracování oceli ve válcovně bez ingotů (systém integrovaného hutního podniku, kontilití nebo minihutě). Tato vzájemně závislá propojení se vytvořila proto, aby se optimalizovala produktivita výroby, snížila se energetická náročnost a náklady a minimalizovaly se emise.

Výrobky z oceli pro stavebnictví se vyrábějí převážně tvářením za tepla (válcováním), popřípadě ještě následným tvářením za studena (tažením, válcováním, kroucením).

Tváření za tepla probíhá za teplot od 1300 až do 900 ℃ při získání konečného tvaru.

Např. při výrobě plochých výrobků ve válcovně Steckel je tekutá ocel vyrobená v ocelárně dopravována v pánvi do prostoru minihutě. Výrobní proces zde začíná přenesením zakryté pánve s tekutou ocelí na převážecí vůz pánvové pece. Na pánvové peci se provedou následující výrobní operace:

- teplotní a chemická homogenizace,
- konečná úprava chemického složení oceli,
- desoxidace,
- odsíření,
- snížení obsahu nekovových vměstků,
- úprava teploty na předepsanou teplotu odlévání.

Litím přes mezipánev se ocel odlévá plynule do předlitku, tzv. *bramy*, tloušťky 125 mm a šířky od 740 do 1575 mm. Plynule odlévaný předlitek je dělen na délky až 18 m a dopraven v teplém stavu k předehřívací a vyrovnávací peci. Po ohřátí na válcovací teplotu jsou plynule lité předlitky dopravovány do prostoru válcovacích stolic. Po zbavení okují je plynule litý předlitek zaveden do válcovací tratě. Po posledním průchodu válcovací stolicí je pás veden válečkovým dopravníkem přes sekce laminárního chlazení do navíječky hotového pásu.

Tváření za studena se vyvozuje tažením nebo kroucením tyčí a drátů nebo válcováním plechů a trubek, přičemž se v materiálu vyvozuje napětí nad mez kluzu. Ocel ztrácí vyznačenou mez kluzu, snižuje se její tažnost a lze ji proto využít při vyšším namáhání. Zvyšuje se však její křehkost. Ocel tvářená za studena je termodynamicky nestabilní a při zahřátí na vyšší teplotu má snahu se vrátit opět do původního stavu. Proto ocel tvářená za studena není vhodná ke svařování.

Odlévání z ocelolitiny do pískových forem se používá ke zhotovení složitějších kusových výrobků, jako jsou např. mostní ložiska.

Kromě tváření za tepla a za studena je možno upravovat mechanické vlastnosti oceli jako jsou tvrdost, křehkost, houževnatost a tažnost dalším tepelným zpracováním. Je to např. popouštění tažených drátů pro výztuž do betonu a výztužných sítí při výrobě za studena. Dráty na předpínací výztuž do betonu a pro výrobu lan se žíhají na teplotu 900 ℃ a protahují se olověnou lázní 450 až 550 ℃ teplou (tzv. *patentování*).

#### 4.8.1.2.1 Druhy ocelí

Ocel lze rozdělit podle následujících hlavních hledisek.

Podle chemického složení je ocel:

- nelegovaná (uhlíková), obsahující kromě uhlíku případně ještě jen velmi malá množství dalších prvků (Mn, Si, Ni, Cr, W, Co, Al, Mg aj.),
- legovaná, obsahující záměrně přidané některé z prvků Mo, Ni, Cr, W, V, Ti aj. v množství větším než u nelegované oceli.

Dále se podle chemického složení dělí na ocel obvyklých jakostí, která nevyžaduje zvláštní opatření při výrobě, na jakostní ocel s přísnějšími požadavky a na *ušlechtilou ocel* s vyšším stupněm čistoty. Poslední druh má vyšší pevnost a jsou na ni kladeny požadavky na kalitelnost, svařitelnost, houževnatost aj. z této oceli se např. vyrábí předpínací výztuž.

Podle použití ve stavebnictví se dělí na:

- ocel na stavební konstrukce – neuklidněná, nelegovaná ocel (uhlíková) s obsahem uhlíku 0,06 až 0,2 % , za tepla válcovaná. v menší míře se na konstrukce používá legovaná ocel, např. jemnozrnná svařitelná ocel, ocel na ploché výrobky za studena tvářené, ocel odolná atmosférické korozi a nerezavějící ocel.
- ocel pro výztuž do betonu – neuklidněná ocel nelegovaná obvyklých jakostí nebo jakostní, za tepla válcovaná, popř. za studena tvářená tažením nebo kroucením.
- ocel pro předpínací výztuž do betonu – nelegovaná ocel ušlechtilá, za tepla válcovaná, za studena tvářená s následným tepelným zpracováním.
- ocel na kolejnice, štětovnice a důlní výztuž – nelegovaná jakostní ocel, za tepla válcovaná a legovaná jakostní ocel.
- ocel na plechy pro klempířské a pokrývačské práce – ocel nelegovaná jakostní pro výrobu pozinkovaných plechů nebo s jiným povlakem.

#### 4.8.1.2.2 Značení ocelí

V současné době se v Evropě používají různé způsoby značení ocelí podle národních norem jednotlivých států (ČSN, DIN apod.), avšak pro oceli obsažené v evropských normách je předepsáno značení podle EN 10027. Mimo to existuje ještě starší značení podle EN 10025, které vycházelo z EUROKÓDU 3, tj. EN 1993-1-1. Ve všech způsobech, jak podle národních norem, tak podle EN je zavedeno dvojí značení:

- Číselné označení je označení skupin ocelí podle chemického složení nebo vlastností, vhodnosti pro další zpracování a vhodnosti pro použití. Ve stavební praxi při navrhování a provádění ocelových a betonových konstrukcí se nepoužívá, je to pouze hutnické značení (viz ČSN 42 0001, ČSN EN 10027-2).

- Zkrácené označení je označení číselnými nebo číselnými a písmennými symboly, které se skládá ze základní značky a z doplňkové značky (viz. ČSN 42 0002, ČSN EN 10027-1) Základní značka charakterizuje buď mechanické vlastnosti, nebo chemické složení oceli, popř. i způsob použití, doplňkové technologické vlastnosti (stav a jakost materiálu).

*Zkrácené označení podle ČSN 42 0002*

Základní značka tohoto označení se liší pro ocel na stavební konstrukce a pro výztuž do betonu. Základní značkou je pětimístné číslo, které udává její třídu, mechanické vlastnosti nebo složení legovaných ocelí.

Prvé dvojčíslí (od dalších číslic odděleno mezerou) označuje třídu oceli podle tab. 4.128.

Tab. 4.128 Význam prvního dvojčíslí značení ocelí podle ČSN 42 0002

| Třída | Slovní charakteristika |
|---|---|
| 10 a 11 | konstrukční ocele (včetně betonářské), nelegované konstrukční oceli (včetně betonářské) nelegované |
| 12 | konstrukční ocele nelegované s předepsaným obsahem uhlíku |
| 13 až 17 | konstrukční ocele legované (např. manganochromová, chromová, křemíkochromová aj.), |
| 15 | ocel odolná atmosférické korozi (legovaná Cr, Ni, Cu a P), |
| 17 | korozivzdorná ocel, obsahující min. 12% chromu |

Druhé dvojčíslí udává:

- přibližně desetinu meze pevnosti v MPa u ocelí třídy 10 a 11 na stavební konstrukce a u třídy 11 pro výztuž do betonu, např. ocel 11 373 má mez pevnosti 370 MPa,
- přibližně desetinu meze kluzu v MPa u ocelí třídy 10 pro výztuž do betonu, např. ocel 10 335 má mez kluzu 330 MPa. Pokud je u tř. 10 druhé dvojčíslí 00, jde o ocel se základní (nezaručenou) jakostí a nelze ji použít na nosné konstrukce. u tříd 12 až 17 charakterizuje druhé dvojčíslí chemické složení oceli.

Pátá číslice má význam pořadový, s výjimkou ocelí pro výztuž do betonu, kde znamená:
5 – ocel s dobrou svařitelností (např. 10 335, 10 425),

7 – tyčovou ocel k předpínání (např. 10 567 nebo 10 607),

8 – ocel tvářenou za studena (např. 10 338).

*Zkrácené označení podle ČSN EN 10027-1*

Značení se skládá z hlavního a z doplňkového symbolu. Hlavní symbol obsahuje písmenný znak a trojmístné číslo.

Písmenné znaky jsou, S, P, L, B, Y, R a H a znamenají:
S – ocel pro konstrukce všeobecného použití,

P – ocel pro tlakové nádoby,

L – ocel pro potrubí,

B – ocel pro výztuž do betonu,

Y – ocel pro předpínací výztuž do betonu,

R – ocel na kolejnice,

H – ocel pro ploché výrobky k tažení a s vyšší pevností při válcování za studena.

Trojmístné číslo udává:

- minimální mez kluzu v MPa u ocelí S, P, L, a H,
- charakteristickou mez kluzu v MPa u ocelí B,
- minimální mez pevnosti v MPa u ocelí Y a R.

Doplňkový symbol je připojen za trojmístné číslo hlavního symbolu a obsahuje písmenné znaky charakterizující další vlastnosti oceli nebo ocelového výrobku.

Příklad zkráceného označení oceli na konstrukce s minimální mezí kluzu 355 MPa, s dobrou svařitelností: ČSN EN 10027-1 – S355J0.

Zkrácené označení podle zrušené ČSN EN 10025:1990

Toto označení platilo pouze pro výrobky válcované za tepla z nelegované konstrukční oceli.

Hlavní symbol obsahuje písmenný znak Fe a trojmístné číslo, které vyjadřuje minimální mez pevnosti oceli v MPa pro tloušťku ocelového prvku < 3 mm.

Doplňkový symbol se skládá z písmenného označení jakostního stupně:
0, 2 pro oceli obvyklé jakosti bez zaručení svařitelnosti,

B pro oceli obvyklé jakosti vhodné ke svařování,

C, D1, D2, DD1, DD2 pro jakostní oceli vhodné ke svařování (svařitelnost vzrůstá od stupně B do stupně DD),

KQ pro oceli vhodné k ohraňování za studena,

KP pro oceli vhodné k profilování za studena,

KZ pro oceli vhodné k tažení za studena,

N pro oceli normalizačně žíhané.

Příklad označení oceli s minimální pevností 510 MPa, s dobrou svařitelností a s vhodností k tažení za studena: ČSN EN 10025 Fe 510 C-KZ.

Zkrácené označení podle ČSN EN 10025-1:2005

Pro ploché a dlouhé výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí zkrácené označování vychází z ČSN EN 10027-1. Značení se skládá z hlavního a z doplňkového symbolu.

Hlavní symbol obsahuje

- písmeno S,

- trojmístné číslo udávající minimální hodnotu zaručené meze kluzu v MPa pro tloušťku ocelového prvku ≤ 16 mm,

- pokud je to potřeba, označení jakostního stupně (J0, J2, JR a K2).

Doplňkový symbol C označuje vhodnost pro zvláštní použití (např. ohýbání, profilování nebo tažení za studena).

Označení +N pro dodání po normalizačním válcování nebo +AR pro dodání bez zvláštního válcování a/nebo bez tepelného zpracování.

Příklad zkráceného označení oceli na konstrukce se zaručenou mezí kluzu 355 MPa, s minimální hodnotou rázové práce 27 J při 0℃ (J0) vhodná pro ohýbání za studena (C) dodaná po normalizačním válcování: ČSN EN 10025-1 – S355J0C+N.

Srovnání značení některých ocelí podle různých norem je v tab. 4.129.

Porovnání značení některých ocelí podle národních a evropských norem

Tab. 4.129

| Norma | ČSN 42 0002 | DIN 17006 | ČSN EN 10027-1 |
|---|---|---|---|
| Ocel pro konstrukce | 10 000, 10 004 | St 33 | S185 |
| | 11 378 | St 37-3 U | S235J0 |
| | 11 503 | St 52-3 N | S355J2G3 |
| | 11 523 | St 52-3 U | S355J0 |
| Ocel pro výztuž do betonu | 10 505 | BSt 500 S | B500H |
| Předpínací ocel | 426 448 | St 160/180 | Y177OC |

### 4.8.1.2.3 Vlastnosti ocelí

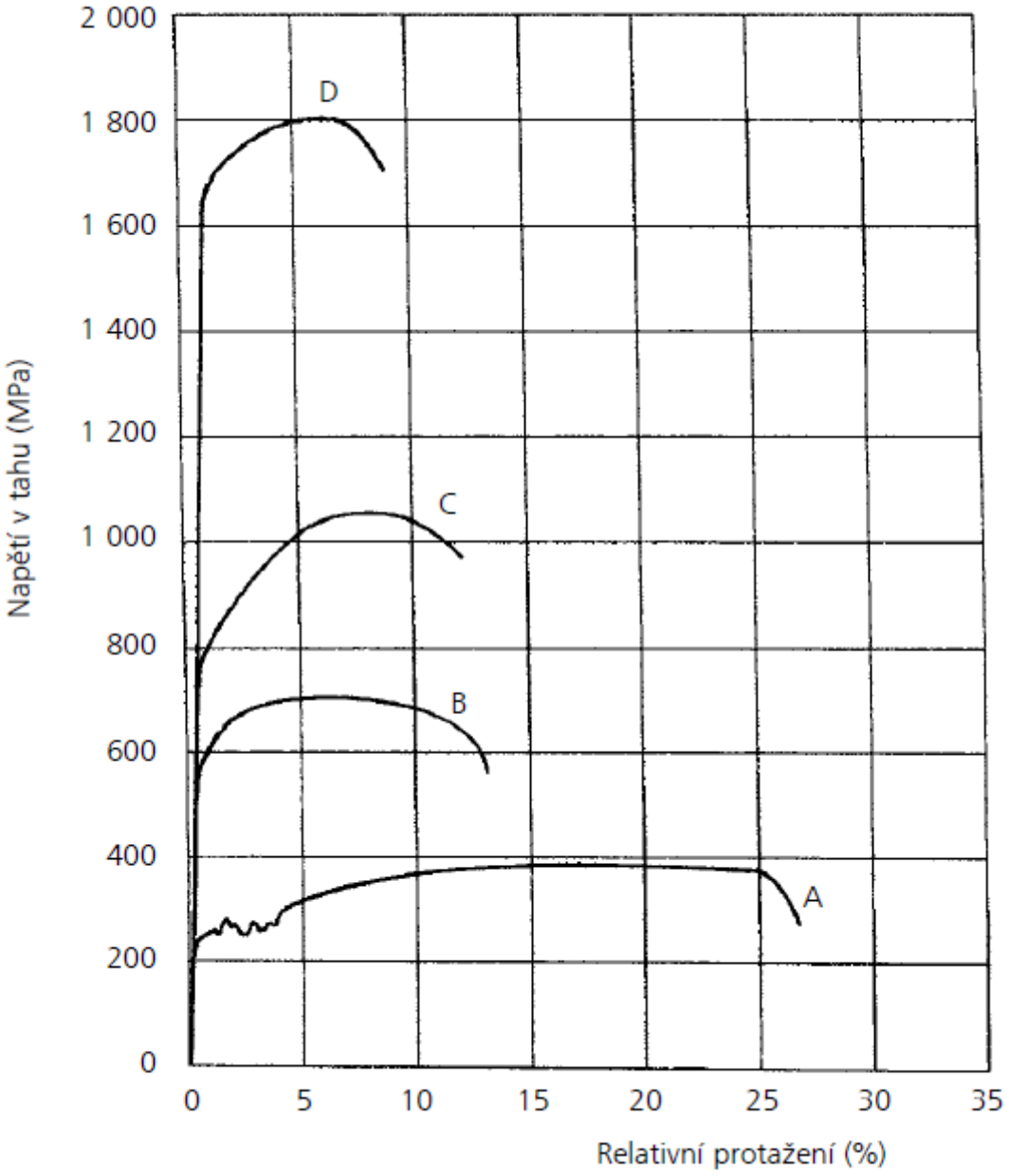
Vlastnosti ocelí je možno rozdělit do dvou skupin. v první skupině jsou vlastnosti, které jsou jen nepatrně závislé na složení a zpracování oceli. Jsou uvedeny v *tab. 4.130.*

Základní vlastnosti oceli *Tab. 4.130*

| Vlastnost | Hodnota | Výpočtová hodnota |
|---|---|---|
| Hustota ($kg.m^{-3}$) | 7 830 – 7 880 | 7 850 |
| Modul pružnosti (MPa)<br>• v tahu a v tlaku<br>• ve smyku | 200 000 – 220 000 | 210 000<br>85 000 |
| Součinitel teplotní délkové roztažnosti ($K^{-1}$) | $10.10^{-6}$ – $12.10^{-6}$ | $12.10^{-6}$ |
| Poissonův součinitel | | 0,3 |
| Měrná tepelná kapacita ($kJ.kg^{-1}.K^{-1}$) | | 0,46 |

Ve druhé skupině jsou vlastnosti, které jsou závislé na skladbě oceli, především na obsahu uhlíku (hlavně charakteristiky pevnostní a deformační).

Stavební oceli s obsahem 0,1 až 0,15 % uhlíku mají pevnost v tahu 340 až 450 MPa, mez kluzu 210 až 280 MPa, tažnost 28 % i větší. s obsahem 0,5 % mají pevnost 700 až 850 MPa, mez kluzu větší než 370 a tažnost 10 %. Mechanické a deformační vlastnosti jsou vyjádřeny deformačními diagramy na *obr. 4.100*.




*Obr. 4.110* Deformační diagramy ocelí

A – ocel konstrukční 11 375, B – ocel pro výztuž do betonu 10 505, C – ocel na tyče pro předpínání 10 607, D – ocelový drát tažený za studena pro předpínací výztuž

Pevnost oceli klesá s vyšší teplotou (nad 300 ℃), při teplotě nad 500 ℃ asi na 50 % a při této teplotě se ztrácí i vyznačená mez kluzu. Při vyšší teplotě klesá také modul pružnosti a mění se tažnost (nejprve klesá a pak roste).

Při opakovaném namáhání klesá pevnost oceli na hodnotu meze únavy, která je 30 až 40 % původní meze pevnosti.

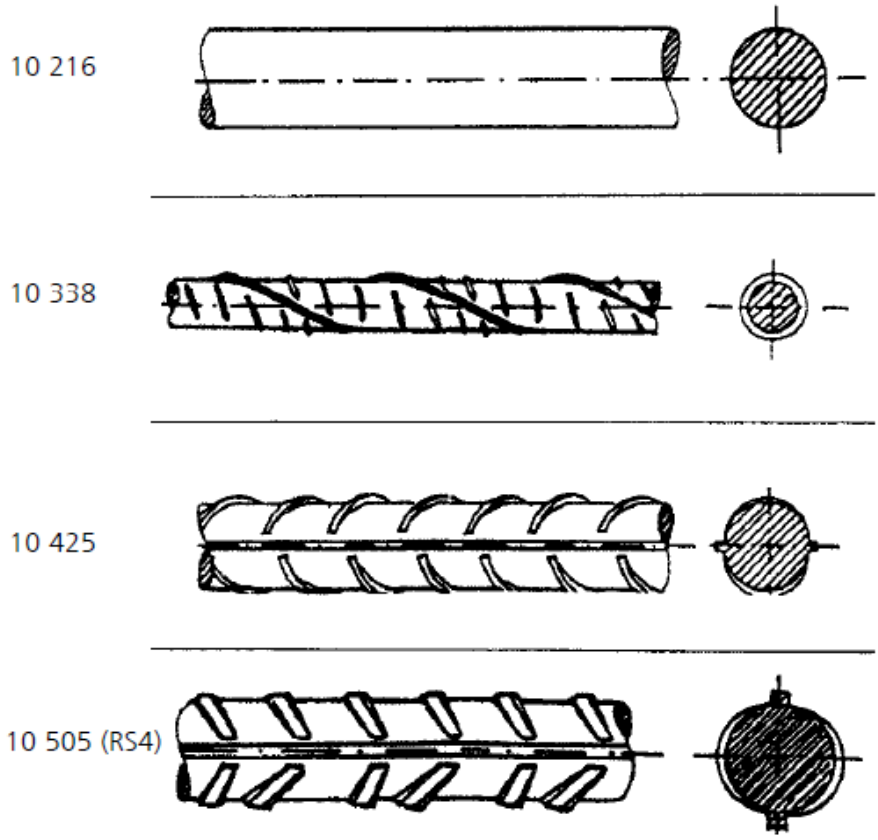
#### 4.8.1.2.4 Ocel pro výztuž do betonu

K vyztužování železobetonových konstrukcí se válcováním za tepla vyrábějí tyče a dráty z ocelí tř. 10 a 11. Mohou být také válcované, tažené za studena. z drátů se vyrábějí svařované sítě.

Dráty a tyče

Dráty a tyče mají povrch hladký nebo upravený vyválcovanými vtisky nebo žebírky (výstupky) pro zlepšení soudržnosti oceli s betonem. s vtisky se dnes setkáváme jen u dovozních výrobků.

Dráty a tyče se dodávají ve jmenovitém průměru 4 až 50 mm, běžně do 32 mm, rovné tyče v délkách 6 až 14 m, po dohodě až do 22 m. Dráty a tyče do průměru 16 mm se dodávají ve svitcích po 100 až 2000 kg. Příklady základních druhů betonářských ocelí jsou na *obr. 4.101*, charakteristiky a dodací podmínky jsou uvedeny v *tab. 4.120*.




*Obr. 4.111* Příklady betonářských ocelí

Vlastnosti betonářských ocelí *Tab. 4.131*

| Ocel | Mez kluzu (MPa) | Mez pevnosti (MPa) | Tažnost (%) | Svařitelnost | Způsob výroby | Jmenovité průměry (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 216 | 206 | 539 | 24 | dobrá | válcováním za tepla | 5,5 – 32 |
| 10 338 | 325 | 390 | 12 | ne | kroucením za studena | 6, 8, 10 |
| 10 425 | 410 | 569 | 14 | zaručená | válcováním za tepla | 6 – 32 |
| 10 505 (RS4) | 490 | 550 | 12 | zaručená | válcováním za tepla | 10 – 32 |

Svařované sítě

Svařované sítě lze zhotovit elektrickým bodovým svařením z drátů hladkých (označení S), z drátů s vtisky (označení Sv) nebo žebírkových drátů, tažených za studena (označení Sz).

Hladké sítě se dříve používaly na pomocnou výztuž do betonu a na výztuž keramických stropů. Hodí se také na oplocení.

V současnosti se u nás jako výztužné sítě používají prakticky výhradně sítě ze žebírkových drátů, které jsou pro betonové konstrukce nejvhodnější.

Sítě mohou mít nosnou funkci v obou směrech nebo pouze v jednom směru a v druhém směru funkci rozdělovací. Dráty s nosnou funkcí mohou mít větší průměr než dráty rozdělovací. Dráty mají průměr 4,0 až 10 mm s roztečí (velikost pravoúhlých ok sítě) 50 až 300 x 50 až 300 mm.

Sítě se běžně dodávají v omezeném druhovém a rozměrovém sortimentu. Běžné jsou rohože o rozměrech 2 x 3 m, 2,15 x 5 m a 2,40 x 6 m. Tažnost použitého materiálu činí 8 %, zaručená smluvní mez kluzu 0,2 (95 %) je udávána hodnotou 500 MPa. Výroba atypických sítí je možná po dohodě s výrobcem.

### 4.8.1.2.5 Korozivzdorná betonářská ocel

Životnost železobetonových konstrukcí je v běžné praxi většinou limitována životností výztuže. Jedním z možných způsobů, jak zajistit dostatečnou a dlouhodobou životnost konstrukce je použití ušlechtilých korozivzdorných ocelí.

Za nerezovou ocel se považují veškeré slitiny železa, které obsahují alespoň 12 % chromu. Nerezová ocel se běžně rozděluje podle struktury a obsahu legujících složek do čtyř hlavních skupin:

- *martensitická-feritická* – 12 až 19,5 % Cr, 0 % Ni, 0 % Mo,
- *austenitická* – 18 až 26 % Cr, 8 až 21 % Ni, 2 až 4 % Mo,
- *austeniticko-feritická,* tzv. duplex – 21 až 28 % Cr, 4 až 6 % Ni, 1,5 až 6 % Mo (*tab. 4.121*).

Jako výztuž v železobetonu se uplatňují především austenitické a duplexové oceli.

*Chemické složení a značení korozivzdorných výztuží Tab. 4.132*

| Způsob výroby | | Tažené za studena | | | | | Válcované za tepla | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Značení podle eurokódu | | 1.4301 | 1.4401 | 1.4436 | 1.4571 | 1.4462 | 1.4311 | 1.4429 | 1.4462 |
| Charakteristika oceli | | X5CrNi 18-10 (X4CrNi) | X5CrNiMo 17-12-2 (X4CrNiMo) | X5CrNiMo 17-13-3 | X6CrNiMo 17-12-2 | X2CrNiMoN 22-5-3 | X2CrNiN 18-10 | X2CrNiMoN 17-13-3 | X2CrNiMoN 22-5-3 |
| Chemické složení | C | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| | Si | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | Mn | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| | P | 0,045 | 0,045 | 0,045 | 0,045 | 0,03 | 0,045 | 0,045 | 0,03 |
| | S | 0,03 | 0,03 | 0,025 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,025 | 0,02 |
| | Cr | 17,0 – 19,0 | 16,5 – 18,5 | 16,5 – 18,5 | 16,5 – 18,5 | 21,0 – 23,0 | 17,0 – 19,0 | 16,5 – 18,5 | 21,0 – 23,0 |
| | Mo | - | 2,00 – 2,50 | 2,50 – 3,00 | 2,00 – 2,50 | 2,50 – 3,50 | - | 2,50 – 3,00 | 2,50-3,50 |
| | Ni | 8,50 – 10,5 | 10,5 – 13,5 | 11,0 – 14,0 | 10,5 – 13,5 | 4,50 – 6,50 | 0,50 – 11,5 | 11,5 – 14,5 | 4,50 – 6,50 |
| | Ti | - | - | - | >5 x C<0,80 | - | - | - | - |
| | jiné | - | - | - | - | N 0,08 – 0,20 | N 0,12 – 11,5 | N 0,14 - 0,22 | N 0,08 – 0,20 |

Výztužné pruty z nerezové oceli jsou vyráběny v pevnostech a rozměrových parametrech tak, aby vyhovovaly požadavkům norem pro navrhování železobetonových konstrukcí. Menší průřezy 3 –16 mm jsou vyráběny válcováním za studena, zatímco pruty o průřezech 18 – 40 mm se vyrábějí válcováním za tepla.

Austenitické *a* feritické druhy dosahují meze kluzu v hodnotách 200 až 300 MPa, u duplexových ocelí je tato hodnota vyšší. Aby nerezová ocel splnila požadavky pro použití jako výztuž do betonu, je její charakteristika upravována zpracováním za studena. Při řezání a ohýbání jsou pak třeba asi o 50 % větší síly ve srovnání s běžnou uhlíkovou ocelí obdobných průměrů prutů.

Svařitelnost je nejlepší u austenitických druhů, poněkud horší je u duplexu. Místa svarů je vhodné ošetřit, protože odolnost proti korozi je zde lokálně snížena. Feritické oceli nejsou snadno svařitelné, je nutno řešit jejich stykování buď přesahem nebo závitem či objímkou.

Pokud jde o odolnost proti korozi, nejčastěji používané austenitické oceli mají 18krát až 24krát vyšší odolnost vůči chloridům než běžná betonářská ocel. Duplexové oceli kombinují dobré mechanické vlastnosti s vynikající odolností proti korozi (*tab. 4.122*).

Mechanické vlastnosti betonářské nerezové výztuže *Tab. 4.133*

| Způsob výroby | Značení podle eurokódu | Rozměry (mm) | Mez kluzu 0,2 (MPa) | Pevnost v tahu (MPa) | Tažnost | | Modul pružnosti při 20°C (GPa) | Součinitel tepelné roztažnosti ($10^{-6}.K^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Aj (%) | A10 (%) | | |
| Tažení za studena | 1.01 | 3 – 16 | 550 | 600 | 3 | 15 | 200 | 16 |
| | 1.4401 (1.4436) | 3 – 16 | 550 | 600 | 3 | 15 | 200 | 16 |
| | 1.71 | 3 – 16 | 550 | 600 | 3 | 15 | 200 | 16 |
| | 1.62 | 3 – 16 | 800 | 900 | 3 | 15 | 195 | 13 |
| Válcování za tepla | 1.11 | 16 – 30 (40) | min. 500 | 700 | 3 | 15 | 200 | 16 |
| | 1.29 | 16 – 30 (40) | min. 500 | 700 | 3 | 15 | 200 | 16 |
| | 1.62 | 16 – 30 (40) | min. 500 | 700 | 3 | 15 | 195 | 13 |

Odolnost betonářské výztuže proti korozi je hodnocena podle chování při lokální korozi (důlková, štěrbinová koroze) v prostředí obsahujícím chloridy. Tato odolnost závisí na obsahu legujících prvků chromu, molybdenu a dusíku. Ačkoliv chrom je hlavní příměsový prvek, z hlediska lokální koroze mají větší význam molybden a dusík. Relativní míru odolnosti jednotlivých druhů ocelí vyjadřuje hodnota, nazývaná PREN (pitting resistance equivalent).

Pro austenitické oceli se hodnota PREN vypočítá ze vztahu

PREN = Cr + 3,3 Mo + 16 N,

u duplexních ocelí je vliv dusíku na výsledek větší, a proto platí vztah

PREN = Cr + 3,3 Mo + 30 N,

kde za Cr, Mo a N se dosadí % obsahu těchto kovů ve slitině.

Hodnoty PREN jsou uvedeny v *tab. 4.123*.

Hodnoty PREN betonářské nerezové výztuže *Tab. 4.134*

| Druh oceli | PREN |
|---|---|
| Obyčejná uhlíková ocel | 1 |
| W.1.4301, AISI 304 (AUST) | 19 |
| W.1.4301, AISI 304 LN (AUST) | 19 |
| W.1.4401, AISI 316 (AUST) | 25 |
| W.1.4429, AISI 316LN (AUST) | 25 |
| W.1.4462, SAF 2205 (DUPLEX) | 34 |

Při srovnání ceny nerezové oceli s uhlíkovou ocelí je nerezová ocel přibližně 10krát dražší než běžná betonářská ocel. Inženýrské znalosti a zkušenosti se stávajícími stavebními konstrukcemi však umožňují poměrně snadno identifikovat kritická místa v konstrukci, u nichž hrozí v budoucnosti problémy s korozí.

Při použití nerezových výztužných vložek pouze v kritických místech představuje množství použitého nerezového materiálu pouze 3 až 20 % celkové potřeby výztuže, přičemž navýšení celkové ceny konstrukce je zpravidla pak zanedbatelné (obvykle 0,5 až 5 %).

#### 4.8.1.2.6 Předpínací ocel

Na předpínací výztuž se vyrábějí dráty, spletence, lana a tyče. K výztuži se dodávají ocelové kotevní desky, kotvy, matice, spojky a ocelové ochranné hadice lan stočené z ocelového pásku.

## Dráty

Ocelové dráty mají průměr 2,0 až 7,5 mm, mez 0,2 1390 až 1470 MPa a pevnost v tahu 1570 až 2000 MPa. Dodávají se ve svitcích po 100 až 1000 kg. Jsou to:

- ocelové dráty za studena tažené, hladké
  - nepopouštěné – označení P,
  - popouštěné – označení PP,
  - stabilizované s nízkou relaxací (max. 2,5 %) a s normální relaxací (max. 8 %) – označení PSN a PSV.
- ocelové dráty za studena tažené
  - s dvojstranným vtiskem popuštěné (označení PV 2),
  - s dvojstranným vtiskem stabilizované (označení SV 2),
  - s trojstranným vtiskem popuštěné (označení PV 3),
  - s trojstranným vtiskem stabilizované (označení SV 3).

Označení je uvedeno podle ČSN 73 1201 a ČSN 73 6207. Dráty od zahraničních dodavatelů mají různá jiná označení.

## Spletence a lana

Lana se vyrábějí svinutím z drátů popouštěných nebo stabilizovaných s normální nebo nízkou relaxací, průměrů 2,5 až 5,5 mm. Podle ČSN 73 1201 mají lana popouštěná označení L a lana stabilizovaná označení LS, spletence označení SP. Vyrábějí se:

- spletence dvojdrátové,
- spletence trojdrátové,
- lana sedmipramenná,
- lana sedmipramenná s protikorozní ochranou.

Lana jsou svinuta ze sedmi hladkých drátů. Jeden vnitřní drát má větší průměr a je ovinut šesti vnějšími dráty menšího průměru. Lana s protikorozní ochranou polyetylénovým pláštěm se používají pro výztuž nesoudržnou s betonem. Plášť má obvykle černou barvu v tloušťkách 1, 1,5 a 2 mm.

Příklady vlastností spletenců a lan na předpínací výztuž *Tab. 4.135*

| 2- až 3drátové spletence | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Složení drátů | 2 × 2,5 | 2 × 2,8 | 2 × 3,0 | 3 × 2,5 | 3 × 2,8 | 3 × 3,0 |
| Jmenovitý průměr (mm) | 5 | 5,6 | 6 | 5,5 | 6,16 | 6,6 |
| Jmenovitý průřez ($mm^2$) | 9,81 | 12,31 | 14,13 | 14,72 | 18,46 | 21,2 |
| Jmenovitá hmotnost (g/m) | 77 | 96 | 110,9 | 115,5 | 144,9 | 166,3 |
| Jmenovitá pevnost (MPa) | 1 770 | 1 620 | 1 620 | 1 770 | 1 620 | 1 620 |
| Lana | | | | | | |
| Složení drátů | 1 × 2,8 + 6 × 2,5 | | 1 × 4,5 + 6 × 4,0 | | 1 × 5,5 + 6 × 5,0 | |
| Jmenovitý průměr (mm) | 7,8 | | 12,5 | 12,5 | 15,5 | 15,5 |
| Jmenovitá pevnost (MPa) | 1 770 | | 1 800 | 1 620 | 1 620 | 1 800 |

Tyče

Tyče pro předpínací výztuž se v ČR mohou vyrábět válcováním za tepla z oceli 10 607 s min. mezí pevnosti 850 MPa a s min. mezí kluzu (mez 0,2) 590 MPa s označením Y.

Podle ČSN 73 1201 jsou to:

- žebírkové tyče průměru 10,5 až 16 mm,
- hladké tyče průměru 25 až 32 mm.

Celozávitové předpínací tyče z oceli 13 180 vyrobené v elektrických pecích o průměru 32 mm mají min. mez pevnosti 1030 MPa a min. mez kluzu ( mez 0,2 ) 835 MPa.

Hladké a žebírkové tyče s označením Y jsou k dostání v průměrech 26, 32 a 36 mm s min. mezí pevnosti 1030 až 1230 MPa a s min. mezí kluzu 835 až 1080 MPa.

### 4.8.1.2.7 Kovová vlákna

Pro rozptýlenou výztuž do betonu, malty a injektážní malty, pro použití se statickou funkcí nebo bez statické funkce, se dodávají kovová vlákna vyrobená:

- sekáním tenkého hladkého drátu za studena taženého,
- stříháním z plechu,
- oddělováním z taveniny,
- protahováním z drátu taženého za studena,
- frézováním z ocelových bloků.

Požadavky na vlastnosti a na zkoušení ocelových vláken jsou v ČSN EN 14889-1.

Drátky jsou k dispozici od různých výrobců v různých tvarech:

- ocelové drátky vyrobené ϕ 0,40 až 1,05 mm z nízkouhlíkové oceli s pevností 900 až 1350 MPa
  - na délky 12 až 60 mm bez zahnutí konců,
  - na délky 30 až 60 mm se zahnutím nebo rozšířením konců pro zlepšení kotvení a zamezení posuvu,
- ocelové drátky vyrobené z ocelového pásku 0,4 x 1,9 mm z oceli s pevností 500 MPa v délkách 35 mm s kotvicím profilem po celé délce,
- vlnité ocelové drátky z hladkého drátu ϕ 1,0 až 1,1 mm z oceli s pevností 1000 a 1475 MPa v délkách 35, 45 a 50 mm.




*Obr. 4. 112* Drátky používané jako rozptýlená výztuž do betonu

Drátky se dodávají neslepené nebo slepené do plochých svazečků v pytlích nebo

v kartonech po 13 až 30 kg.

Zvláštní typ rozptýlené výztuže představují nerezová kovová vlákna s amorfní strukturou. Vyrábějí se metodou prudkého zchlazení roztavené chromové oceli bohaté na křemík a fosfor. Zchlazení se uskutečňuje nátokem roztavené oceli na vodou chlazené vysokou rychlostí rotující kolo. (Jde o zařízení velmi podobné výrobní jednotce používané ve výrobě minerálních vláken.)

tímto způsobem úzké a velmi pásky o délce 5 – 30 mm. Pásky jsou cca 1 - 1.5 mm široké a mají tloušťku jen 20 – 30 μm.

Díky amorfní struktuře a vysokému obsahu chromu jsou korozně odolné. Mechanické vlastnosti jsou velmi příznivé, vlákna vykazují tahovou pevnost 1400 – 2300 MPa. Jsou mimořádně vhodnou přísadou pro formulaci torkretovacích betonů.

### 4.8.1.2.8 Ostatní ocelové výrobky pro stavebnictví

Z oceli se, kromě výše uvedených výztuží do betonu, vyrábí rozsáhlý sortiment výrobků. Pro názvy výrobků platí norma ČSN EN 10079.

Jejich základní druhy jsou:

Dráty

- měkké dráty (vázací drát ap.),
- tvrdé dráty (na výztuž do betonu, na předpínací výztuž a na výrobu lan),
- polotvrdé dráty na výrobu sítí, pletiva (např. na ploty nebo jemnější na výztuž pod omítky) a tkanin.

Pletivové dráty se vyrábějí i s protikorozní úpravou provedenou pozinkováním nebo vrstvou PVC.

Zvláště důkladná musí být protikorozní úprava pletiva používaného pro výrobu *gabionů* (drátokošů a drátomatrací používaných ke zpevnění svahů). s ohledem na požadovanou dlouhou životnost těchto protierozivních prvků se silné pokovení drátu provádí pomalu korodující zinkohliníkovou slitinou (95 % Zn, 5 % Al) a pozinkovaný povrch drátu se případně ještě chrání povlakem PV.

Dlouhé výrobky válcované za tepla

- drát válcovaný $\phi$ 5,5 až 14 mm,
- tyče kruhové $\phi$ 10 až 110 mm, čtvercové 35 x 35 až 65 x 65 mm a šestihranné,
- pásková (plochá) ocel tl. 5 až 20 mm, š. 20 až 120 mm, tl. 22 až 50 mm š. 35 až 110 mm,

- úhelníky rovnoramenné L 40 x 4 až 130 x 14 mm,
- úhelníky nerovnoramenné L 100 x 65 x 7 až 140 x 90 x 14 mm,
- tyče průřezu i („ířka“) výšky 80 až 240 mm,
- tyče průřezu IPE výšky 80 až 240 mm,
- tyče průřezu IPE A výšky 80 až 140 mm,
- tyče průřezu IPE AA výšky 100 až 140 mm,
- tyče HEA a HEB výšky 100 až 140 mm,
- tyče průřezu U výšky 50 až 240 mm,
- tyče UE výšky 100 mm,
- pás tenký tl. ≥ 1,5 až < 3 mm, š. 740 až 1550 mm,
- pás široký tlustý tl. ≥ 3 až < 13 mm, š. 740 až 1550 mm,
- pás široký podélně dělený tl. 1,5 až 8 mm, š. 20 až < 1550 mm.

Válcovaný drát se dodává ve svitcích s hmotností cca 1200 kg, pás široký ve svitcích s hmotností min. 6500 a max. 28 000 kg, pás široký podélně dělený 82 až 28 000 kg. Kruhové, čtvercové a šestihranné tyče se dodávají v délce 3 až 15 m, tyče profilové 5 až 15 m.

Kromě uvedených nejběžnějších tvarových ocelí se dále válcují tyče průřezu T a Z, kolejnice, štětovnice, svodnice a další (*obr. 4.113).*

Ploché výrobky

Evropské i národní normy rozeznávají dva základní druhy za tepla válcovaných plochých výrobků – pásy a plechy. Dělí se na:

- pás široký s šířkou ne menší než 600 mm (740 – 1550 mm),
- pás široký, podélně dělený, s válcovanou šířkou větší než 600 mm a s šířkou po podélném dělení menší než 600 mm,
- pruh vzniklý dělením úzkého pásu,
- plech bez povlaku v tabulích s šířkou 600 mm nebo větší.

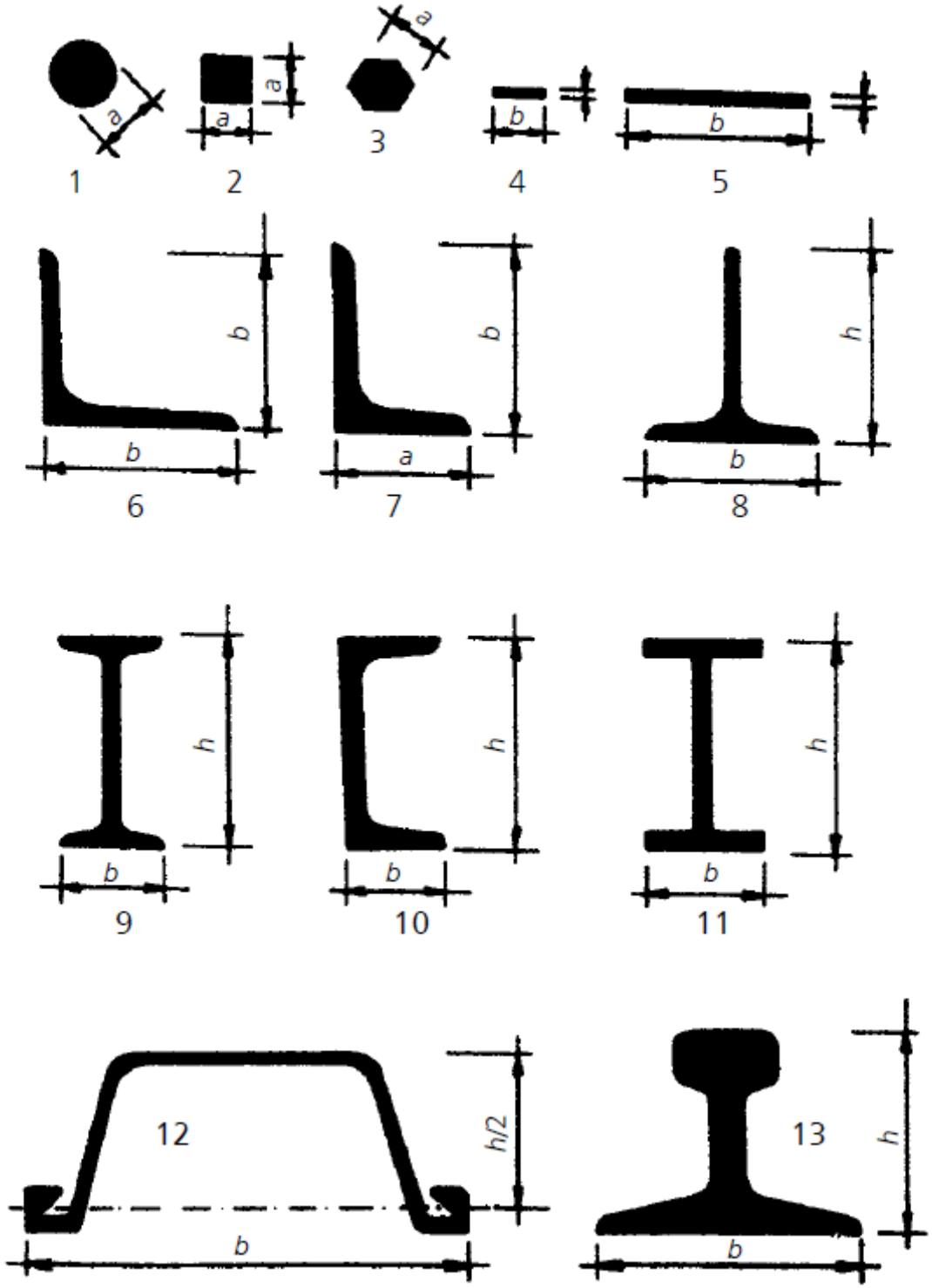
V závislosti na tloušťce se ploché výrobky dělí na:

- plechy, pásy a pruhy tenké (s tloušťkou 1,5 až ≤ 3.0 mm),
- plechy, pásy a pruhy tlusté (s tloušťkou rovnou 3,0 mm až 13 mm),
- pásy, plechy a pruhy s oválnými výstupky v tl. 4,0 až 10 mm.

Plechy, pásy a pruhy se dodávají v délkách 1,0 až 12 m nebo ve svitcích s hmotností 6500 až 17 000 kg.

Ocelový tenký plech bez povlaku (tzv. černý plech) se dále zpracovává na plechy:

- pozinkované za studena válcované (na klempířské a pokrývačské práce),
- plechy smaltované (na obklady fasád a na vnitřní obklady),
- plechy profilované (černé nebo pozinkované),
- plechy lisované do vln různých tvarů (vlnité nebo trapézové na střešní krytiny a na lehké obvodové pláště).



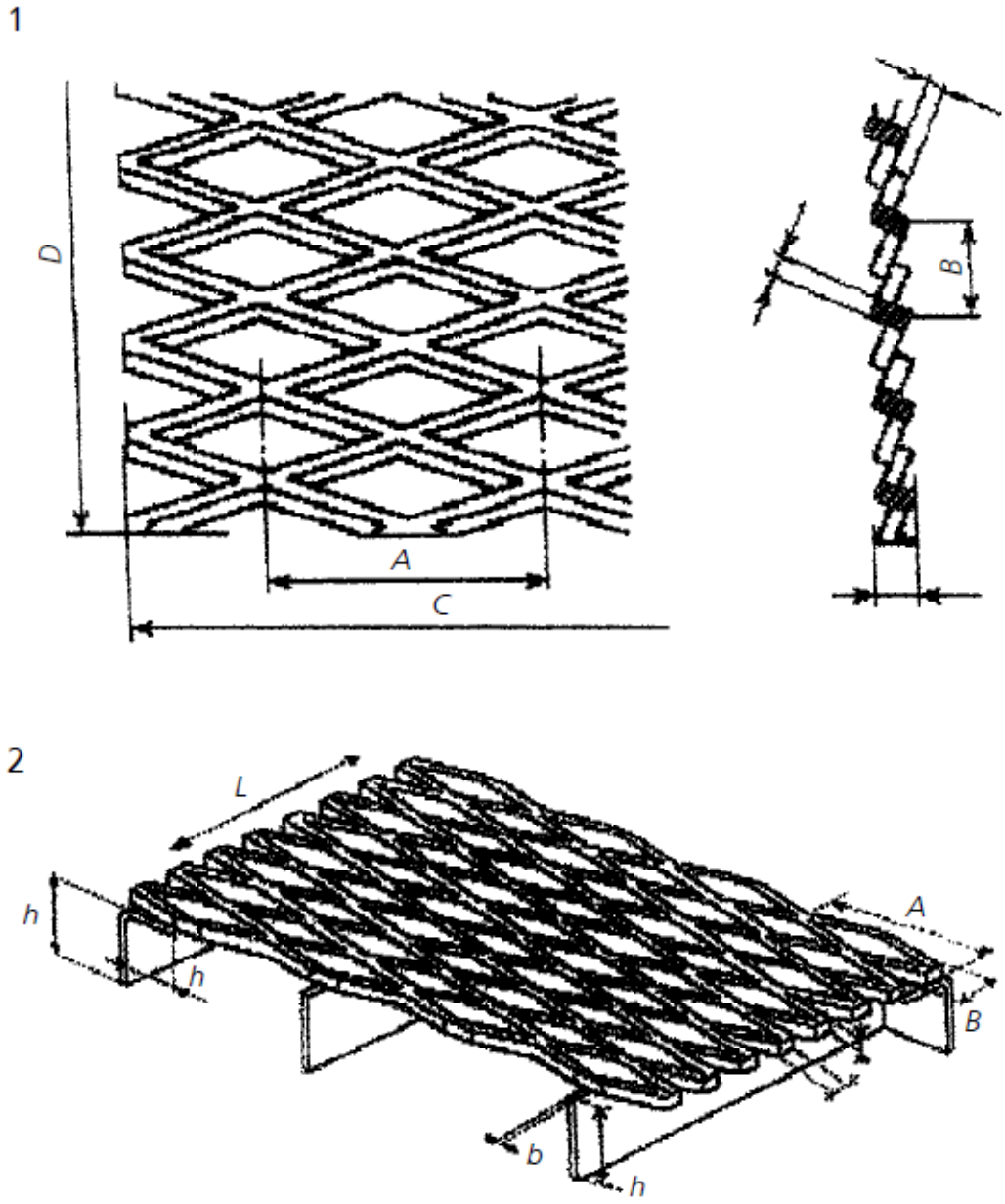

*Obr. 4.113 Příklady válcovaných ocelových profilů*

1 – tyče kruhové, 2 – tyče čtvercové, 3 – tyče šestihranné, 4 – ocel pásková, 5 – ocel plochá,

6 – úhelník rovnoramenný, 7 – úhelník nerovnoramenný, 8 – tyče průřezu T, 9 – tyče průřezu I,

10 – tyče průřezu U, 11 – tyče průřezu IPE, 12 – štětovnice, 13 – kolejnice

Stříháním a protahováním z tabulí hlubokotažného plechu tl. 0,5 až 4,0 mm se vyrábí mřížovina (*obr. 4.114*) s délkou ok 6 až 250 mm a šířkou 2,5 až 80 mm běžně nazývaná *tahokov*. Dodává se v tabulích do délky 2000 mm a šířky 1000 nebo 1200 mm bez povrchové ochrany, lakovaná a nebo žárově pozinkovaná. Tabule tahokovu se používají se na ozdobné a bezpečnostní kryty, stupně, rošty, výztuže do betonu, výplně zábradlí, mříže, lávky, stropní podhledy a na architektonické prvky.




*Obr. 4.114 Mřížovina z hlubokotažného plechu (tahokov)*

1 – výkres mřížoviny tahokov , 2 – rošt z tahokovu

a – délka ok, B – šířka ok, C – šířka tabule, D – délka tabule, L – nosná délka roštu, b – tloušťka obvodového rámu, h – výška rámu

Ohýbáním pozinkovaného plechu se zhotovují nosníky pro lehké konstrukce stropů, střech a stěn.

Rovinné desky a klempířské prvky s plastovým povlakem jsou tenké hladké a profilované plechy z měkké oceli pozinkované máčením nebo galvanicky, které jsou navíc opatřeny několika dalšími vrstvami povrchové úpravy z asfaltu, syntetických pryskyřic nebo z plastů (plastisol na bázi PVC) ve vrstvě tl. 90 až 200 μm nanesené ve dvou fázích, základní a finální. Povrchy mohou mít různé barevné odstíny i podle požadavku zákazníka.

Dodávají se v tloušťce 0,6 až 1,5 mm ve svitcích plechů do hmotnosti 2000 kg v šířce 100 až 1250 mm nebo v deskách šířky 100 až 1500 mm a délky 200 až 3000 mm.

V této úpravě se dodávají nejen ploché plechy, ale i vlnité taškové tabule rozměrů 1000 x 7000 mm a různé klempířské prvky.

Dále se dodávají plechy odolné atmosférické korozi válcované z oceli 15 217 na obklady fasád bez další povrchové úpravy (tyto plechy se na vzduchu rychle pokryjí hnědou vrstvou kompaktní rzi a koroze pak už dále nepokračuje).

Trubky

Trubky se používají k účelům konstrukčním, instalačním, popř. dalším. Podle toho se dodávají buď hladké, hrdlové, závitové, přírubové, černé, pozinkované, s asfaltovým nátěrem, nebo s povlakem z plastů, bezešvé trubky Manesmannovy (tvářené válcováním za tepla), bezešvé trubky přesné (tažené za studena). Dodávají se např.:

- Bezešvé trubky hladké s vnějším ϕ 21,3 až 273 mm, tl. stěny 2,3 až 25 mm,

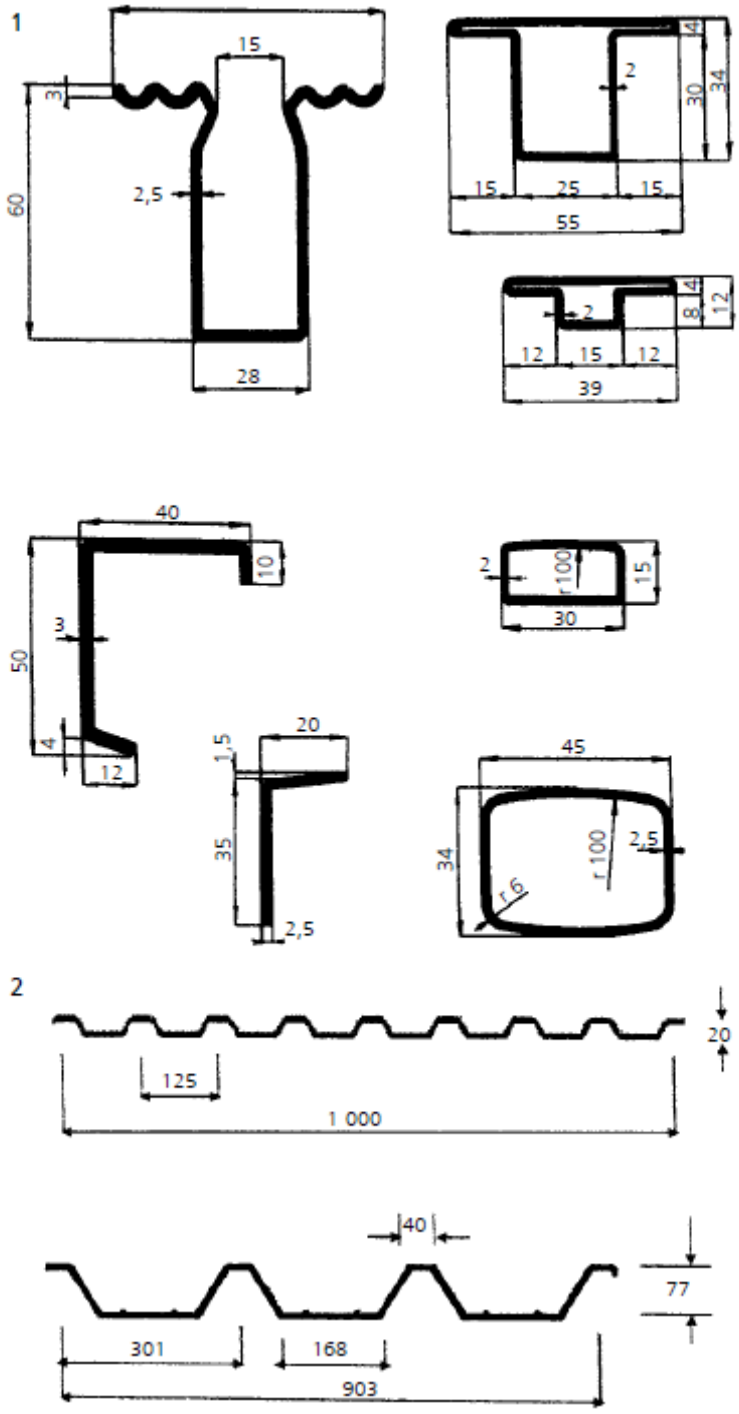
  v délkách 4 až 14 m s povrchem:

  - vnějším a vnitřním okujeným,
  - vnějším a vnitřním mořeným,
  - s pozinkováním vně i uvnitř,
  - s protikorozní ochranou – vnější povrch s ochranným nátěrem z asfaltového laku, asfaltovou izolací zesílenou s jednou nebo dvěma vrstvami skelné rohože a PVC páskou, vnitřní povrch s ochranným nátěrem asfaltovým lakem,
  - s izolací (trubek s průměrem 57 až 273 mm) vnějšího povrchu polyetylénem nebo vláknocementem, vnitřního povrchu cementovou maltou tl. 5 – 20 mm nebo asfaltovým lakem.

- Bezešvé trubky vhodné k závitování s vnějším ϕ 21,3 až 139,7 mm, tl. stěny 2,65 až 5,4 mm, v délkách 4 až 14 m s povrchem:
  - vnějším a vnitřním okujeným,
  - s vnější krátkodobou povrchovou ochranou,
  - s pozinkováním vně i uvnitř.
- Přírubové trubky s vnějším ϕ 89 až 219 mm, tl. stěny 3,6 až 6,3 mm, v délkách 4 až 6 m nebo v přesných délkách podle požadavku odběratele po dohodě s výrobcem. Trubky jsou s dvojitým lemem na obou koncích a dodávají se k nim 2 kusy navlečených přírub. Běžně se dodávají s povrchem okujeným.
- Svařované trubky se švem podélným nebo šroubovicovým. Trubky svařované se šroubovicovým svarem se vyrábějí s vnějším ϕ 324 až 820 mm, tl. stěny 5 až 12 mm, v délkách běžně 8 až 12 m, po dohodě 6 až 18 m. Jsou dodávány s povrchem:
  - vnějším a vnitřním černým,
  - s protikorozní ochranou – vnější povrch s ochranným nátěrem z asfaltového laku, asfaltovou izolací zesílenou s jednou nebo dvěma vrstvami skelné rohože a PVC páskou, vnitřní povrch s ochranným nátěrem asfaltovým lakem,
  - s izolací (trubek s průměrem 323,9 – 820 mm) vnějšího povrchu polyetylénem nebo vláknocementem, vnitřního povrchu cementovou maltou tl. 5 – 20 mm nebo asfaltovým lakem.

Tenkostěnné průřezy

Za tepla válcované nebo za studena tvářené tenkostěnné výrobky jsou známy pod názvem Jäklovy profily a používají se na lehké konstrukce, závěsové stěny a obvodové pláště, na okna, dveře, vrata, výkladce, zábradlí, ploty apod. Tenkostěnné profily jsou buď otevřené, vyráběné tvářením za studena z pásové oceli, nebo uzavřené ve tvaru profilových trubek různých průřezů, vyráběné tažením nebo profilováním za studena (*obr. 4.115*).




*Obr. 4.115* Příklady tenkostěnných ocelových profilů a profilovaných plechů

1 – ocelové (Jäklovy) profily, 2 – trapézové plechy

Lana

Zhotovují se svinutím velkého počtu tenkých drátů holých nebo pozinkovaných tl. do 2 mm, s pevností 1300 až 2000 MPa. Podle vinutí jsou lana jednopramenná, vícepramenná nebo kabelová. Nejčastěji jsou šestipramenná. Používají se na

závěsná lana, výtahy, jeřáby, těžní klece, lanovky, lana pro elektrické vedení aj.

Spojovací materiál

Pro spojování prvků stavebních konstrukcí se dodávají nýty, vruty, šrouby, matice, podložky, hřebíky a hmoždinky různé jakosti.

Odlitky, výkovky a výlisky

Odlitky nebo výkovky z oceli na různé výrobky pro stavební konstrukce (jako jsou kotevní desky, mostní ložiska) tvoří tvarově a rozměrově pestrou skupinu výrobků.

### 4.8.1.3 Litina

Šedá litina se získá druhým tavením slévárenského surového železa a obsahuje 2,7 až 4,2 % uhlíku v lupínkové formě. Vyloučený lupínkový uhlík snižuje soudržnost částic slitiny, a tím i pevnost šedé litiny.

Tvárná litina obsahuje asi 3,7 % uhlíku vyloučeného v kuličkové formě a její pevnost a tažnost je proto větší.

#### 4.8.1.3.1 Šedá litina

Šedá litina se podle ČSN 42 0006 označuje základním šestimístným číslem, ve kterém první čtyřčíslí je vždy 4224 a další dvojčíslí jsou:

- 00 až 49 znamená přibližně desetinu hodnoty meze pevnosti v tahu v MPa šedé litiny nelegované,
- 50 až 99 je pořadové číslo šedé litiny nelegované se zvláštními vlastnostmi nebo litiny legované.

Za základním označením za tečkou mohou být ještě dvě doplňkové číslice označující technologický stav materiálu.

Podle ČSN EN 1560 se označuje písmeny EN-GJL a číslem, které znamená minimální hodnotu meze pevnosti v tahu v MPa.

Příklad zkráceného označení šedé litiny s minimální pevností v tahu 200 MPa:

podle ČSN 42 0006 – *422420*,

podle ČSN EN 1560 – *EN-GJL-200*.

Šedá litina má pevnost v tlaku 600 až 1080 MPa, ale pevnost v tahu má nižší, 150 až 450 MPa. Je velmi křehká s tažností jen 0,3 až 0,8 %. Ve stavebnictví se používá na litinové sloupy, na trouby vodovodní a odpadní s příslušnými tvarovkami a fitinkami, na články radiátorů ústředního topení, na kamna, kotle, rošty aj.

#### 4.8.1.3.2 Tvárná litina

Tvárná litina se podle ČSN 42 0006 se označuje základním šestimístným číslem, ve kterém první čtyřčíslí je vždy 4223 a další dvojčíslí 00 až 19 znamená přibližně setinu hodnoty meze pevnosti v tahu v MPa.

Pevnost v tlaku se u tvárné litiny pohybuje od 700 do 1150 MPa, pevnost v tahu od 350 do 900 MPa a tažnost od 2 do 22 %. Tato litina se používá pro odlitky s vyššími nároky na mechanické vlastnosti.

Podle ČSN EN 1563 se označuje písmeny EN-GJS a dvěma čísly, která znamenají minimální hodnotu meze pevnosti v tahu v MPa a hodnotu tažnosti v %.

Příklad zkráceného označení tvárné litiny s minimální pevností v tahu 400 MPa a s tažností 18 %:

podle ČSN 42 0006 – *422304,*

podle ČSN EN 1563 – *EN-GJS 400-18.*

### 4.8.2 Měď a její slitiny

Měď se podle vzhledu řadí mezi tzv. barevné kovy. Její slitiny jsou ve stavebnictví výhodné hlavně z hlediska dobré odolnosti proti korozi.

#### 4.8.2.1 Měď

Měď je charakteristicky červenohnědý, měkký a houževnatý kov, který se získává pyrometalurgicky (pražením rud), hydrometalurgicky (rozpouštěním chudších rud v kyselinách) nebo elektrolyticky.

Hutnická měď má čistotu 99,2 až 99,9 %, elektrolytickou rafinací se získá čistá měď *s* čistotou až 99,94 %. z mědi se válcují za tepla a za studena pásy, plechy a silnější tyče a trubky. Tažením se vyrábějí tenčí tyče, dráty a trubky.

Podle ČSN EN 1652 se měď označuje písmeny Cu-R a trojčíslím za písmenem R, které udává minimální hodnotu meze pevnosti v tahu v MPa (Cu-R 200 až Cu-R 360).

Hlavní druhy výrobků z mědi pro stavebnictví jsou plechy na střešní krytiny, na klempířské práce, fólie na vložky nebo potahy hydroizolačních asfaltovaných pásů, dráty a kabely pro elektroinstalace a trubky na vodovodní a jiná potrubí pro technické zařízení budov.

Nejvýznamnější vlastností mědi je vysoká elektrická vodivost a odolnost proti korozi v čistém i vlhkém vzduchu. Dobře se leští a spojuje pájením, je žárovzdorná a používá se ke galvanickému pokovování a plátování oceli.

Elektrická vodivost mědi

Elektrická vodivost je velká, větší má pouze stříbro. Specifický elektrický odpor mědi je $1{,}8.10^{-5}$ Ω.mm. Ve stavebnictví se proto používají vodiče a kabely elektroinstalací vyrobené z velmi čisté mědi elektrolytické.

Odolnost proti korozi

Okysličením se po delší době měď potahuje oxidem měďným ($Cu_2O$) červené barvy nebo tmavým oxidem měďnatým (CuO). Působením oxidu uhličitého ze vzduchu vzniká po čase na povrchu mědi povlak (patina) nerozpustného zásaditého uhličitanu měďnatého ($CuCO_3.Cu(OH)_2$). Složení patiny se mění podle atmosférických podmínek. v průmyslových prostředích obsahuje také zásaditý síran měďnatý ($CuSO_4.Cu(OH)_2$). Barva povrchu se postupně mění během 5 až 30 let podle prostředí od tmavočervené přes hnědou až k zelené. Na barvu má také vliv sklon měděných ploch, na šikmých střechách se vytvoří zelená patina, na svislých hnědá.

Tato patina se nesprávně nazývá měděnka, pravá měděnka vzniká pouze chemickou reakcí měděného materiálu s kyselinou octovou, je rozpustnou a jedovatou směsí zásaditých octanů mědi.

Mechanické vlastnosti

Pevnost mědi v tahu klesá žíháním a tvářením za studena ji lze zvýšit až o 100 % za cenu snížení tažnosti. Tažením za studena se dosahuje pevnosti drátů a trubek až 500 MPa. Válcované (měkké) měděné plechy a profily mají tažnost 36 %, tvářené (tvrdé) jen 3 až 6 %.

### 4.8.2.2 Slitiny mědi

Tavením spolu s dalšími kovy se vyrábějí slitiny mosaz a bronz. Tvářené mosazi a bronz se používají na umělecké prvky a kování.

Podle ČSN EN 1652 se slitiny mědi označují písmennými znaky, které udávají chemické značky základních kovů slitiny s číselným označením obsahu přídavného kovu a trojčíslím za písmenem R, které udává minimální hodnotu meze pevnosti v tahu v MPa (pevnostní třídu). Obsah základního kovu Cu se nepíše a je doplňkem do 100 %.

Příklad označení mosazi s obsahem 37 % zinku s minimální pevností v tahu 300 MPa: CuZn37-R 300 a pravého bronzu s obsahem 5 % cínu a s minimální pevností v tahu 370 MPa: CuSn8-R 370.

#### 4.8.2.2.1 Mosaz

Mosaz je slitina mědi a zinku (max. obsah Zn je 40 %) a případně ještě s malým množstvím dalších kovů. Má zlatou barvu, časem však tmavne, což lze odstranit čištěním. Mosazi s větším obsahem mědi (nad 63 %) se mohou zpracovávat tvářením za tepla i za studena nebo litím, s menším obsahem mědi se hodí lépe pro lití.

Z lité mosazi se vyrábějí armatury vodovodního a plynovodního potrubí a stavební kování. Mosaz ve formě drátů s obsahem 42 až 54 % mědi se používá jako tvrdá pájka s teplotou tavení 820 až 875 ℃.

Do skupiny mosazí patří i tombak, což je slitina s větším obsahem mědi než 70 %

#### 4.8.2.2.2 Bronz

Bronz je slitina mědi a cínu (pravý bronz) a opět případně ještě s malým množstvím dalších kovů. Zpracovává se litím, ale s malým obsahem cínu ho lze i tvářet.

Barva pravého bronzu se mění podle obsahu cínu od červené přes žlutou až k bílé. Povrch získává časem patinu různého zabarvení. Je-li cín nahrazen zcela nebo částečně jiným kovem kromě zinku, získává název podle přídavného kovu (olověný bronz, hliníkový bronz ap.).

#### 4.8.2.2.3 Vlastnosti slitin mědi

Odolnost bronzu proti korozi je velká, mosazi o něco menší než bronzu.

Pevnost v tahu měděných slitin závisí na složení a na technologickém zpracování. u mosazi se pevnostní třída pohybuje od 230 do 550 MPa, u pravého bronzu od 290 do 740 MPa. Tvářením za studena se pevnost měkké slitiny zvětšuje asi o 50 %. Tenké dráty z bronzu tvářené za studena dosahují pevnosti v tahu až 1000 MPa.

Tažnost netvářené (měkké) mosazi je 25 až 45 %, tvářené (tvrdé) 5 až 10 %. Tažnost bronzu je 3 až 20 %.

*Informativní hodnoty fyzikálních a mechanických vlastností jsou uvedeny v tab. 4.136.*

Příklady fyzikálních a mechanických vlastností mědi a jejích slitin *Tab. 4.136*

| Vlastnost | Měď | Mosaz 37 % Zn | Bronz 8 % Sn |
|---|---|---|---|
| Hustota ($kg.m^{-3}$) | 8 940 | 8 450 | 8 800 |
| Teplota tavení (°C) | 1 083 | 910 | 980 |
| Měrná tepelná vodivost ($W.m^{-1}K^{-1}$) | 390 | 116 | 53 |
| Součinitel délkové teplotní roztažnosti ($10^{-6}.K^{-1}$) | 16,3 | 17,8 | 17,7 |
| Pevnost v tahu (MPa) | 200 až 250 | 300 až 370 | 370 až 450 |
| Modul pružnosti (MPa) | 125 000 | 100 000 | 120 000 |

### 4.8.2.3 Výrobky z mědi a jejích slitin

Hlavní druhy výrobků pro stavebnictví jsou:

- Měděné plechy a pásy – na střešní krytiny, na klempířské práce, na předměty technického zařízení budov, např. na zásobníky teplé vody. Měděné plechy hladké se dodávají v tl. 0,55 a 0,6 mm
  - v tabulích rozměrů 1000 x 2000 mm,
  - ve svitcích š. 670 a 1000 mm.

- Střešní krytiny:
  - šablona z plechu tl. 0,55 – 1,00 mm rozměrů 330 x 330 mm, 300 x 300 mm nebo 280 x 200 mm,
  - vlnitá profilovaná střešní krytina z plechu tl. 0,6 mm rozměru 865 x 500 až 12000 mm.
- Pásy se dodávají např. v rozměrech 25 x 3, 25 x 5, 30 x 5, 30 x 6, a 30 x 8 mm.
- Měděné fólie – na vložky nebo potahy hydroizolačních asfaltových pásů. Fólie z čisté mědi o tloušťce 0.08 mm se kupříkladu používá k povrchové úpravě asfaltových šindelů, které mají mít extrémně dlouhou životnost (údajně až 150 let). Fólie může být lakovaná, pak si dlouhodobě zachovává svojí původní barvu.
- Měděné dráty – na elektrické silové a sdělovací vodiče, šňůry a kabely.
- Měděné trubky – pro rozvod vody, olejů a plynů a na jiná potrubí pro technické zařízení budov. Lze je použít do teploty 250 ℃ a pro tlak až do 12,7 MPa. Dodávají se ve formě:
  - měkké $\phi$ 6 až 22 mm s tl. stěny 1,0 mm ve svitcích,
  - polotvrdé a tvrdé $\phi$ 10 až 267 mm s tl. stěny 3,0 mm v délce 5 m.
- Tvářené mosazi a bronze – na stavební kování a na umělecké a architektonické prvky.
- Litá mosaz – na armatury vodovodního a plynovodního rozvodu pro technické zařízení budov a na stavební kování.

### 4.8.3 Zinek a jeho slitiny

Hutnický zinek má čistotu 97,5 až 98,5 %, rafinovaný (elektrolytický) 99,975 až 99,995 %. Zinek má šedomodrou barvu, je dobře slévatelný, nemá však velkou pevnost (10 až 30 MPa) ani tvrdost. Vlivem působení vzduchu vzniká na jeho povrchu vrstvička zásaditého uhličitanu zinečnatého 4 $Zn(OH)_2.CO_2$, která je velmi odolná a chrání jej před další korozí. Proto se dříve často používal plech z hutnického zinku na klempířské a pokrývačské práce.

Ohřátím zinku na teplotu kolem 100 ℃ se zvyšuje tažnost, na 250 ℃ naopak křehkost. Tavicí teplota zinku je poměrně nízká (400 ℃), a proto se používá na pokovování ocelových plechů máčením a hotových výrobků a ocelových konstrukcí žárovým nástřikem. s ohledem na tuto teplotu se spojování plechů provádí pájením pouze na měkko. Kvalitní pokovování ocelových plechů zinkem se provádí galvanicky.

Některé agresivní vody, sádra, cementová malta a čerstvý beton, rozmrazovací soli a ochranné prostředky na dřevo zinek rozrušují a kyseliny úplně rozpouštějí. v současné době je zinkový plech nahrazený plechem z legovaného zinku.

#### 4.8.3.1 Titanzinek

Jde o slitinu, jejíž základem je elektrolytický zinek čistoty 99,995 % legovaný mědí a titanem. Plech z tohoto zinku má podstatně lepší a v běžném ovzduší stálé fyzikální a mechanické vlastnosti.

Titanzinkové plechy se vyrábějí na kontinuální širokopásové lince obsahující všechny fáze výroby plechu: tavba slitiny – lití – válcování – navíjení. Podélně se plechy dělí na svitky pásů, příčně na tabule. Běžně se dodávají s tloušťkou 0,5 až 1,5 mm v cívkách pásů v šířce 50 až 1000 mm nebo v tabulích rozměrů 1000 x 2000 až 3000 mm.

Fyzikální a mechanické vlastnosti titanzinkového plechu jsou uvedeny v *tab. 4.126.*

Na vzdušném povrchu titanzinkového plechu vzniká nerozpustná a ke kovu pevně lnoucí ochranná vrstvička zásaditého uhličitanu zinečnatého, vytvářející šedomodrou patinu a ochranu proti korozi. Ke korozi plechu může však dojít na spodní straně, kde tato vrstvička není, jestliže může na něm vznikat kondenzace vlhkosti po delší dobu.

Vlastnosti titanzinkového plechu *Tab. 4.137*

| Vlastnosti | Hodnota |
|---|---|
| Hustota ($kg.m^{-3}$) | 7 150 |
| Měrná tepelná vodivost ($W.m^{-1}K^{-1}$) | 109 |
| Součinitel délkové teplotní roztažnosti ($K^{-1}$) | $22.10^{-6}$ |
| Mez 0,2 (MPa) | 100 000 |
| Mez pevnosti v tahu (MPa) | 150 |
| Tažnost (%) | 40 |
| Ohyb o 180° při teplotě 20 °C bez natržení a při zpětném ohybu bez lomu | |

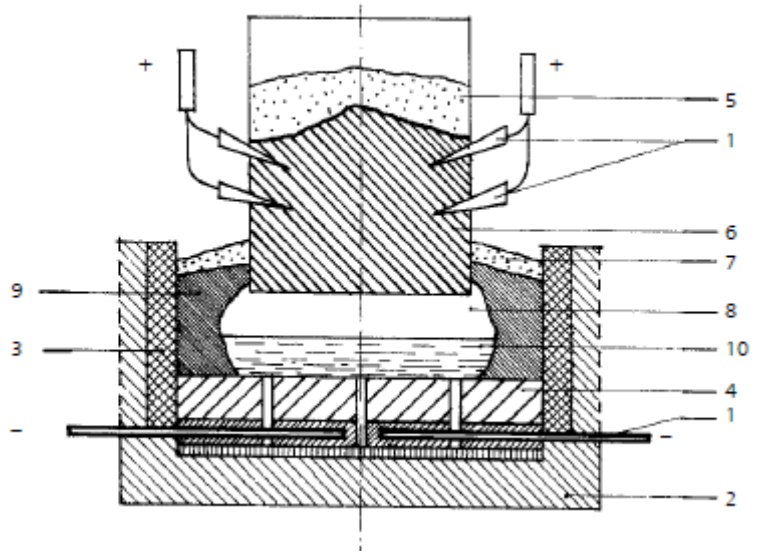
## 4.8.4 Hliník a slitiny hliníku

Hliník a jeho slitiny se, vzhledem k jejich třikrát nižší hustotě než má ocel, řadí mezi lehké kovy. Hliník má stříbrošedou barvu a jako technický kov se ve stavebnictví používá již od konce devatenáctého století. První aplikace ve světě byly střešní krytiny z Al plechu tl. 1,27 mm, které jsou na některých objektech dodnes.

### 4.8.4.1 Výroba hliníku a lehkých slitin

Hliník se vyrábí z rud s vyšším obsahem oxidu hlinitého, nejčastěji z bauxitu. Protože hliník nelze získat z rudy redukcí kyslíku uhlíkem jako v případě výroby železa, používá se způsob výroby elektrolýzou. Výroba je proto náročná na elektrickou energii, na výrobu 1 kg hliníku je potřeba 16 až 20 kWh.

Z bauxitu se nejprve získá v autoklávu při teplotě 160 až 250 ℃ čistý oxid hlinitý ($Al_2O_3$), ze kterého se elektrolýzou v elektrických pecích (elektrolyzérech) působením elektrického proudu s napětím 5,5 - 6 V a s intenzitou 20 - 50 kA uvolňuje z elektrolytu hliník a kyslík. Elektrolytem je oxid hlinitý rozpuštěný v roztaveném kazivci ($CaF_2$). Tím se vyrobí hutnický hliník s čistotou 99 až 99,9 %, který je těžší než elektrolyt a usazuje se na katodě na dně pece, odkud se plynule vybírá.




*Obr. 4.116* Princip elektrolyzéru pro výrobu hutnického hliníku

1 – přívod elektrického proudu (na anodě +, na katodě –), 2 – šamotová vyzdívka, 3 – obložení uhlovými tvarovkami, 4 – uhlové bloky, 5 – nevypálená anoda, 6 – vypálená anoda, 7 – oxid hlinitý,

8 – elektrolyt $Al_2O_3$ + $CaF_2$, 9 – ztuhlý elektrolyt, 10 – roztavený hutnický hliník.

Hliník vyšší čistoty (99,99 až 99,999 %) se získá rafinací hutnického hliníku opakovanou elektrolýzou. v tomto případě elektrolytem je roztavený hutnický hliník s mědí a se solemi ($BaCl_2$, $AlF_3$, NaF), který má naopak hustotu větší než hliník. Vylučuje se opět na katodě, která je však v horní části peci.

Slitiny hliníku, tzv. lehké slitiny, se získají roztavením hliníku s malým množstvím jednoho nebo více přídavných kovů. Nejčastější přídavné kovy jsou Mn, Mg, Cu, Si, Zn.

Cena slitin hliníku a výrobků z nich je ve srovnání s ocelí vyšší a je závislá na ceně hliníku, druhu slitiny, na technologii výroby, na tvaru průřezu a na vyráběném množství.

#### 4.8.4.1.1 Tepelné zpracování hliníku a jeho slitin

Mechanické vlastnosti výrobků z hliníku a lehkých slitin se upravují tepelným zpracováním.

Tepelné zpracování se skládá z těchto procesů:

- žíhání na teplotu 480 až 540 °C,
- rychlé ochlazení ve vodní lázni na teplotu 20 až 30 °C (běžně, ale nesprávně nazývané kalení),
- přirozené stárnutí – samovolné vytvrzování odležením asi 5 dní v prostředí s normální teplotou vzduchu,
- umělé stárnutí – vytvrzování za zvýšené teploty 160 až 180 °C.

Kombinací tváření za tepla, za studena a následným tepelným zpracováním lze upravovat různě pevnost a tvrdost některých slitin podle jejich vhodnosti ke tváření. Vliv těchto procesů je schematicky uveden na *obr. 4.106.* u nevytvrditelné slitiny nelze tepelným zpracováním vlastnosti zlepšit, naopak zahřátím těchto slitin se ztratí zvýšení pevnosti získané tvářením za studena. Proto je nelze např. svařovat bez poklesu pevnosti. Pro svařování konstrukčních prvků nebo pro možnost jiného ohřevu slitiny v hotové konstrukci jsou proto nejvhodnější slitiny samokalitelné a samovytvrditelné.

Svařování hliníku a jeho slitin je však obtížné, přestože jejich teplota tavení je nízká. Je to způsobeno tím, že vrstvička oxidu hlinitého na povrchu kovu má teplotu tavení vysokou (2050 °C) a navíc vysoká tepelná vodivost hliníku rychle odvádí teplo z místa ohřevu. Proto je nutno svařovat s velkou intenzitou ohřevu.

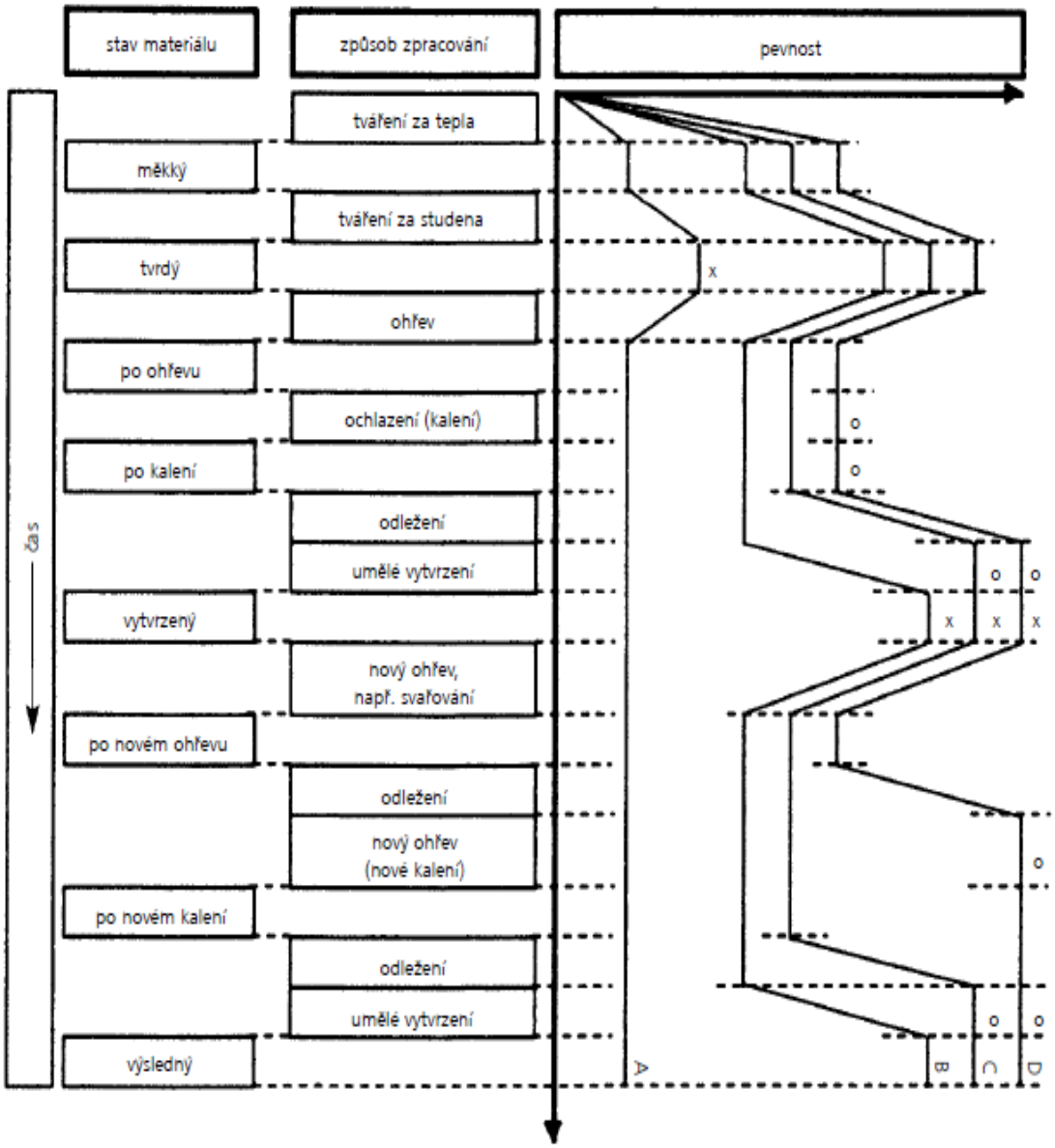
Hliník lze spojovat pájením různými druhy pájek, např. Pb-Sn-Cd, Pb-Cd-Zn nebo Pb-Sn-Bi. K pájení lze použít také tvrdou pájku Al-Zn (1 : 1) nebo Al-Si.

#### 4.8.4.1.2 Povrchové úpravy anodickou oxidací

Anodická oxidace spočívá v záměrném vytvoření oxidu hlinitého, jako povlaku na povrchu hliníkového materiálu, pomocí elektrochemického procesu. Je známá pod názvem eloxování, tj. do češtiny převedený německý termín ELOXAL, což je zkratka názvu procesu Elektrische Oxidation des Aluminiums.

Povrchovou úpravu anodickou oxidací je možné vytvořit na lisovaných profilech nebo jiných materiálech s rozměry max. délka 6500 mm, výška 1200 mm a šířka 400 mm.

Vrstvu vytvořenou anodické oxidací je možné získat v barvě kovu (přírodní) nebo ji barevně upravovat. Obvyklé barevné tóny jsou jasný, světlý, střední a tmavý bronz. Pomocí zbarveného eloxovaného povrchu se dá napodobit i zlato.




*Obr. 4.117* Schéma změn mechanických vlastností slitin hliníku tvářením a tepelným zpracováním

A – slitina nevytvrditelná, B – slitina vytvrditelná, C – slitina samovytvrditelná, D – sllitina samovytvrditelná a samokalitelná, x – čas expedice z huti, o – odpovídající způsob zpracování je vynechán

### 4.8.4.1.3 Povrchové úpravy práškovým nanášením hmot

Práškové nanášení se realizuje způsobem elektro-kinetického nástřiku práškových barev, které zajišťuje vytvoření rovnoměrné vrstvy na povrchu hliníkového materiálu. Samotná vrstva prášku po vypálení vytváří souvislý ochranný dekorační povlak. Povrchovou úpravu je možné zabezpečit na lisovaných profilech nebo jiných hliníkových materiálech do maximálních rozměrů délka 6000 mm, výška 1500 mm, šířka 400 mm.

### 4.8.4.2 Rozdělení slitin hliníku

Lehké slitiny je možno rozdělit podle různých hledisek:

- podle složení a obsahu přídavných kovů,
- podle zpracování slitiny:
  - na odlévání,
  - pro tváření – lehce tvářitelné,
  - pro tváření – středně tvářitelné,
  - pro tváření – těžko tvářitelné,
- podle vhodnosti k tepelnému zpracování:
  - nevytvrditelné,
  - vytvrditelné,
  - samovytvrditelné,
  - kalitelné,
  - samokalitelné,
- podle pevnosti:
  - s nízkou pevností,
  - středně pevné,
  - s vysokou pevností,
- podle korozní odolnosti:
  - s malou odolností,
  - s dobrou odolností,
  - s vysokou odolností.

Příklady rozdělení lehkých slitin podle technologických vlastností *Tab. 4.138*

| Slitiny pro tváření | | | Slitiny na odlitky |
|---|---|---|---|
| nevytvrditelné | vytvrditelné | samovytvrditelné | |
| EN AW-Al<br>EN AW-Al Mg1<br>EN AW-Al Mg2<br>EN AW-Al Mg3<br>EN AW-Al Mg5<br>EN AW-Al Mn1<br>EN AW-Al Mn1Mg0,5<br>EN AW-Al Mg2Mn1 | EN AW-Al Cu1Mg1<br>EN AW-Al Mg1Zn1<br>EN AW-Al Cu1Mg1Zn1<br>EN AW-Al Zn6Cu1Mg1<br>EN AW-Al Cu4Mg1 | kalitelné:<br>EN AW-Al Mg1Si0,5<br>EN AW-Al Mg1Si1<br><br>samokalitelné:<br>EN AW-Al Zn4,5Mg1 | EN AC-Al Si1<br>EN AC-Al Mg1Si1<br>EN AC-Al Si6Cu3<br>EN AC-Al Si9<br>EN AC-Al Si5Cu1<br>EN AC-Al Mg3<br>EN AC-Al Mg5<br>EN AC-Al Si5Mg1 |

V současné době se používají různé způsoby značení slitin hliníku:

číselné značení podle ČSN EN 573-1,

základní systém značení chemickými symboly podle ČSN EN 573-2,

doplňující značení slitin pro tváření podle ČSN EN 515,

barevné označování výrobků z hliníku a z lehkých slitin podle ČSN 42 1407.

Základním označením je vždy číselné značení, za kterým se v hranaté závorce uvádí značení chemickými symboly. Výjimečně lze uvádět značení chemickými symboly samostatně bez číselného označení. Oboje značení má úvodní písmenné symboly EN AW nebo AC.

Symbol EN znamená značení podle evropských norem, symbol a označuje hliník a W slitinu pro tváření a C slitinu pro odlévání.

Po přechodnou dobu platí v ČR i dosavadní značení podle ČSN 42 0055 s tím, že značení podle ČSN EN 573-1 a ČSN EN 573-2 má přednost.

*Číselné značení.* Obsahuje 4 číslice, které udávají chemické složení slitiny takto:

- první číslice charakterizují obsah hlavních slitinových kovů podle skupin 1 – hliník minimálně 99,00 %, 2 – měď, 3 – mangan, 4 – křemík, 5 – hořčík, 6 – hořčík a křemík, 7 – zinek, 8 – ostatní kovy, 9 – neobsazeno,
- 
- druhá číslice uvádí modifikaci slitiny, u skupiny 1 (hliník) číslice 0 znamená nelegovaný hliník,
- 
- dvě poslední číslice u skupiny 1 (hliník) upřesňují čistotu podle obsahu hliníku v procentech nad 99 % (např. dvojčíslí 45 znamená hliník čistoty 99,45 %), u skupin 2 až 8 nemají zvláštní význam, jsou to pořadová čísla slitin ve skupině a jejich složení udává značení chemickými symboly.
- 

Značení chemickými symboly. Značení udává složení slitiny chemickými značkami kovů s číselným označením jejich procentního obsahu ve slitině. První symbol značky je Al, za kterou se číselný údaj nepíše, obsah Al je doplňkem do 100 %. Za Al je jedna mezera, další písmena a číslice jsou bez mezer. Při více než jednom přídavném kovu se jejich značky řadí sestupně podle jejich obsahu ve slitině, při stejném obsahu abecedně. v označení smějí být nejvýše 4 přídavné kovy. Číslo udává průměrný obsah přídavného kovu zaokrouhlený nahoru na celé číslo nebo na 0,5.

Např. označení EN AW-1199 [Al 99,99] znamená hliník čistoty 99,99 % nebo EN AW-7020 [Al Zn4,5Mg1] znamená slitinu 94,5 % Al s 4,5 % Zn a 1 % Mg.

Starší značení podle ČSN 42 1407 je obdobné, s tím že mezi značkami je vždy pomlčka a u přídavných kovů se 1 % nepíše. Označení předchozí slitiny pak je *Al-Zn4,5-Mg.*

*Značení slitin pro tváření*.

K tomuto značení se používá písmen nebo kombinace písmen a číslic označující stav tváření a tepelného zpracování výrobku ze slitiny. Používají se písmenné znaky pro stav výrobku:

F – z výroby, u kterého nejsou řízeny tepelné podmínky, O – žíhaný, H – deformačně zpevněný (tvářený za studena), W – po samovolném stárnutí, T – tepelně zpracovaný (jinak než F, O, H).

Označení stavu zpracování O, H, W a T je upřesněn ještě jednomístnými nebo vícemístnými číselnými znaky.

Např. označení H16 značí materiál tvářený za studena bez dodatečného tepelného zpracování, H26 tvářený za studena a částečně žíhaný, T3 s přirozeným stárnutím a T6 s umělým stárnutím, W 1/2h půl hodiny samovolného stárnutí po rozpouštěcím žíhání.

Při značení podle ČSN 42 0055 stav tváření a tepelného zpracování je označen doplňkovým dvojčíslím za základním číselným označením.

*Barevné označování.*

Výrobky z hliníku a z lehkých slitin lze označovat různými barevnými pruhy. Počet pruhů a odstíny barev jsou definovány pro jednotlivé slitiny v ČSN 42 1407.

### 4.8.4.3 Vlastnosti hliníku a jeho slitin

Různým poměrem různých přídavných kovů lze získat velkou řadu lehkých slitin, které mají odlišné vlastnosti proti čistému hliníku.

#### 4.8.4.3.1 Mechanické vlastnosti

Pevnost hliníku v tahu je poměrně nízká, lze ji však tvářením za studena zvýšit až o 100 %, ale následným ohřevem se opět sníží. Pevnost vytvrditelných slitin po tepelném zpracování dosahuje hodnot pevnosti dobrých ocelí.

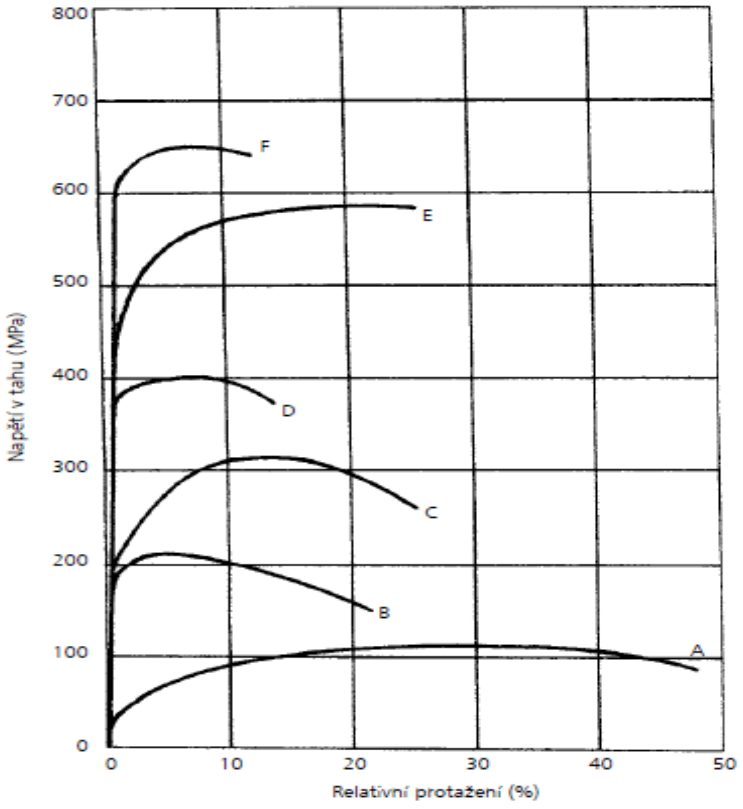
Mez kluzu hliníku a jeho slitin není vyznačená, udává se mez 0,2, která je 50 až 80 % z meze pevnosti.

Tažnost závisí na druhu slitiny a bývá 5 až 30 % slitiny pro odlévání menší než 5 %.

Fyzikální vlastnosti hliníku a některých jeho slitin jsou uvedeny v tab. 4.139 a deformační diagramy na obr. 4.118.

Fyzikální vlastnosti hliníku a některých jeho slitin *Tab. 4.139*

| Slitina | EN AW-Al 99,5 | EN AW-Al Mn1 | EN AW-Al Mg1Mn1 | EN AW-Al Mg3 | EN AC-Al Mg1Si1 | EN AW-Al Cu1Mg1 | EN AW-Al Zn4Mg1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Technický název | hutn. hliník | - | - | - | Masil | Dural | Hegal |
| Hustota ($kg.m^{-3}$) | 2 700 | 2 730 | 2 750 | 2 650 | 2 700 | 2 800 | 2 800 |
| Teplota tavení (°C) | 658 | 645 – 655 | 620 – 650 | 640 | 585 – 650 | 512 – 650 | 640 |
| Měrná tepelná vodivost ($W.m^{-1}K^{-1}$) | 210 | 155 – 188 | 126 – 168 | 147 | 163 – 188 | 148 – 168 | 125 |
| Součinitel délkové teplotní roztažnosti ($10^{-6}.K^{-1}$) | 24 | 23,6 | 23 | 23 | 22,7 | 22,8 | 23,5 |
| Pevnost v tahu (MPa) | 70 – 130 | 90 – 160 | 182 – 240 | 182 – 240 | 200 – 320 | 220 – 440 | 330 – 350 |
| Modul pružnosti (MPa) | 72 000 | 65 000 | 60 000 – 65000 | 70 000 | 73 000 | 73 000 | 73 000 |




*Obr. 4.118* Deformační diagramy hliníku a některých jeho slitin
A – Al 99,5 B – Al Mn1 C – Al Mg5 D – Al Mg1Si1 E – Al Cu1Mg1 F – Al Zn1Mg1Cu2

#### 4.8.4.3.2 Odolnost proti atmosférické korozi

Odolnost proti korozi je význačnou vlastností hliníku a jeho slitin. Je způsobena vznikem samovolné ochranné vrstvičky hutného oxidu hlinitého ($Al_2O_3$). Vyšší pořizovací cena konstrukcí se vyrovnává velkou trvanlivostí bez nákladů na údržbu. Pokud se uvádí u některé slitiny malá odolnost vůči korozi, nelze to srovnávat s korozí železných kovů. Jde pouze o změny vzhledu, ztráty lesku apod. Příklady rozdělení hliníku a lehkých slitin podle vlastností jsou v *tab. 4.140*.

Příklady rozdělení lehkých slitin podle pevnosti a korozní odolnosti *Tab. 4.140*

| Pevnost v tahu (MPa) | Odolnost vůči korozi | | |
|---|---|---|---|
| | malá | dobrá | vysoká |
| Vysoká > 400 | EN AW-Al Cu4Mg1<br>EN AW-Al Zn6Cu1Mg1 | EN AW-Al Mg7 | – |
| Střední 150 až 400 | EN AW-Al Cu1Mg1 | EN AC-Al Si1<br>EN AW-Al Mg2<br>EN AW-Al Mg3<br>EN AC-Al Mg5<br>EN AC-Al Mg1Si1<br>EN AW-Al Zn4Mg1 | – |
| Malá < 150 | – | – | EN AW-Al 99,5<br>EN AW-Al Mn1<br>EN AW-Al Mg1 |

Hliník ztrácí svoji odolnost proti korozi, jestliže je trvale ve vlhkém prostředí bez přístupu vzduchu.

#### 4.8.4.3.3 Elektrická vodivost

Elektrická vodivost čistého rafinovaného hliníku je asi 65 % vodivosti mědi, její specifický elektrický odpor je $2{,}6.10^{-5}$ Ω.mm. Ve stavebnictví se proto používají hliníkové vodiče a kabely elektroinstalací, které jsou levnější než z mědi. Nevýhodou hliníkových vodičů je však jejich dotvarování s časem ve spojích, což může způsobovat uvolnění a jiskření a při zanedbané údržbě i vznik požárů. Nevýhodou hliníku proti mědi je křehnutí vodičů s možností snadného ulomení.

### 4.8.4.4 Výrobky z hliníku a lehkých slitin

Výrobky z hliníku a jeho slitin se získávají tvářením jako u oceli, buď za tepla, nebo za studena. Jelikož však hliník a jeho slitiny je možno tvarovat za tepla při podstatně nižší teplotě než ocel (350 až 520 ℃), mohou se tyčovité prvky protlačovat. Tím je možno vyrobit, na rozdíl od oceli, průřezy libovolného tvaru i značně složité, a to i uzavřené. Velikost průřezu je však omezena výrobním zařízením. Průměr opsané kružnice průřezu tyčových výrobků bývá max. 270 až 350 mm. Výroba je možná následujícími způsoby:

- Plechy a pásy válcováním a tvářením.
- Profily jsou vyráběny metodou průtlačného lisování otvorem lisovacího nástroje (matrice), který je nositelem tvaru daného profilu.
- Tažením jsou vyráběny některé trubky s nestandardními rozměry.
- Válcováním za tepla se vyrábějí plechy a pásy, které se při tl. do 6 mm mohou dále ještě válcovat za studena. Vyrábějí se tak i velmi tenké plechy a fólie s min. tloušťkou 0,006 mm.
- Tažením za studena na mez kluzu se zpevňují a současně rovnají dráty, trubky a tyčové profily před tím protlačované za tepla. Tvářením za studena se zvyšuje pevnost a tvrdost, avšak snižuje se tažnost slitiny. Slitiny je možno dále odlévat, kovat a plechy plátovat obdobně jako ocel.

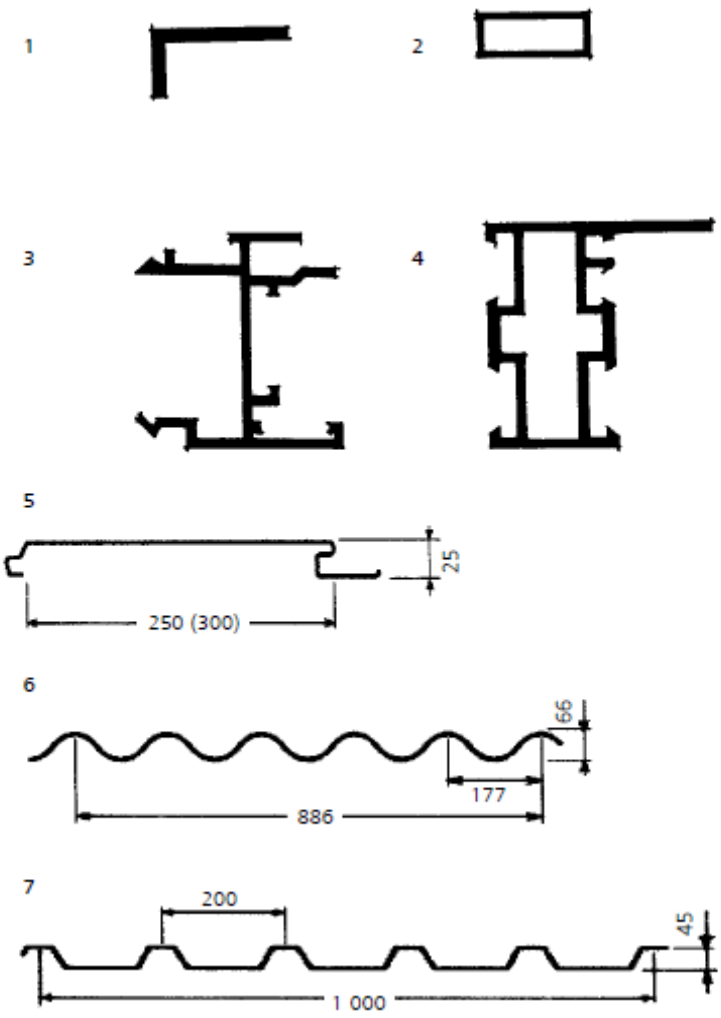
Hutě nabízejí různé druhy profilů – od jednoduchých standardních přes profily určené k různému užití až po profily navržené zákazníkem. Protože náklady na výrobu matrice jsou poměrně vysoké, hlavně pro složité a duté profily, je ekonomicky výhodnější objednat standardní profily nebo výrobky, pro které má huť matrice archivované z předchozí výroby.

Tvarové tyče

Al profily se používají na nosné konstrukce pozemních i mostních staveb, na lehké obvodové pláště, závěsové stěny, okna, dveře, příčky a další. Dodávají se bez povrchové úpravy, nebo upraveny anodickou oxidací, případně barevnou úpravou práškovými barvami. Průřez tyčí může být (*obr. 4.108*):

- uzavřený (dutý) jednoduchý,
- uzavřený členitý,
- otevřený jednoduchý,
- otevřený členitý.

Z hlediska technických parametrů strojního zařízení mohou mít Al profily max. velikost průřezu s opsanou kružnicí o průměru 240 mm u otevřených profilů a 180 mm u uzavřených profilů. Minimální tloušťka stěny může být podle složitosti profilu 1 mm.




*Obr. 4.119* Příklady průřezů tvarových tyčí a plechů ze slitin hliníku

1 – průřez jednoduchý otevřený, 2 – průřez jednoduchý uzavřený, 3 – průřez složitý otevřený,

4 – průřez složitý uzavřený, 5 – lamela, 6 – vlnitý plech, 7 – trapézový plech

Rozměry standardních profilů jsou dodávány podle rozměrové normy ČSN 42 7805 a podle výrobkové normy daného profilu. Nenormalizované tvarové tyče podle požadavků zákazníka. Výrobní délky jsou od 2000 – 6000 mm, mimo tohoto rozpětí je možná dohoda na řezání na přesnou délku.

Plechy, pásy a fólie

Plechy mohou být hladké, profilované, perforované a tvarované (vlnité, trapézové). Ve většině případů se jedná o plechy z čistého Al, menší část ze slitin. Jsou válcované za studena z hliníku všech čistot nebo ze všech hliníkových slitin. Plechy z čistého hliníku patří mezi nejméně pevné materiály, jejich pevnost lze zvýšit deformačním zpevněním a válcováním za studena na stav polotvrdý a tvrdý.

Plechy ze slitin se vyrábějí ze slitin vytvrditelných s tepelným zpracováním (přirozené stárnutí nebo umělé stárnutí). Většinou jde o slitiny typu AlMgSi a AlCuMg.

Plechy se dodávají v tabulích bez povrchové úpravy jako polotovar pro další zpracování nebo s povrchem lakovaným. Běžnou úpravou pásů ze slitiny hliníku je povrch lakovaným polyvinylidenfluoridem (PVdF) a opatřený snímatelnou ochrannou fólií. Na lícové straně má dvouvrstvý krycí lak tloušťku 25 μm a na rubové straně ochranný lak tloušťku 3 μm. Ochranná fólie brání znečištění a poškození povrchu a sejme se na závěr stavebních prací.

Tvarované plechy jsou vyráběny podélným nebo příčným tvarováním plechů nebo pásů válcovaných za studena s povrchem bez úprav nebo lakovaným. Ohybová tuhost tvarovaných plechů vyžaduje menší vzdálenost podpor, což má vliv na zjednodušení a odlehčení konstrukcí.

Plechy se používají na střešní krytiny a na klempířské práce, na stropní podhledy, obklady vnitřních i vnějších stěn**,** okenní parapety, komínové vložky, žaluzie, silniční svodidla a k dekoračním účelům.

Plechy se dodávají v tl. 0,63 až 8 mm, a to:

hladký plech se dodává v tabulích v rozměrech tabulí 1000 x 2000, 1000 x 2500 a 1500 x 3000 mm.

tvarované plechy mají tvar vln lichoběžníkový, sinusový nebo trojúhelníkový s výškou 0,4 až 40 mm, s roztečí vln 60 až 225 mm, šířku 670 až 1085 mm a délku 3,0 až 10,0 m.

Hliníkové plechy se musí skladovat v temperovaných halách, kde nedochází ke kondenzaci par. Při navlhnutí stohů plechů dochází ve vzdálenosti několika cm od kraje ke korozi, která se projeví šednutím původně lesklého povrchu. Dopravu plechů je nutné zabezpečit v zakrytých dopravních prostředcích.

Fólie se používají k zajištění odrazu tepelných paprsků na potahy tepelně izolačních materiálů, na vložky nebo potahy hydroizolačních asfaltovaných pásů apod.

Dráty, lana, trubky

Dráty s průřezem od 1,6 do 13 $mm^2$ na vodiče a kabely pro elektroinstalace se vyrábějí tažením.

Hliníková lana se vyrábějí

- jednoduchá s průřezem od 16 do 400 $mm^2$,
- jednoduchá komprimovaná s průřezem od 50 do 630 $mm^2$,
- sektorová s průřezem od 50 do 240 $mm^2$,
- s ocelovým jádrem (AlFe), 1 až 4vrstvá, s průřezem od 16 do 1000 $mm^2$.

Hliníkové trubky vyráběné tažením mají vnitřní průměr od 3 do 132 mm s tloušťkou stěny od 0,75 do 15,5 mm. Hliníkem mohou být také plátované ocelové trubky.

Ostatní výrobky

Střešní hliníková krytina – šablony rozměrů 450 až 500 mm x 1000 mm s bočními prolisy vyrobené z Al plechu tl. 0,42 až 0,74 v provedení:

- hliník bez povrchové úpravy,
- s lakovaným povrchem,
- s vypalovacím akrylátovým nebo polyesterovým nátěrem.

Spojovací materiál – nýty, šrouby a matky pro spojování konstrukcí z lehkých slitin a hřebíky pro připevňování hliníkových plechů (např. střešních krytin). Musí být rovněž z lehkých kovů, aby nedocházelo k elektrochemické korozi, pokud možno ze stejné slitiny jako spojovaný materiál.

Různé výrobky stavebního kování jsou odlitky, výkovky a výlisky z hliníku nebo jeho slitin. Materiál pro odlévání se připravuje ve vanových tavicích pecích a odléván je kontinuálně přes keramický filtr do forem. Běžně používané slitiny jsou např. EN AC-Al Si10Mg1Mn1, EN AC-Al Si10Cu1Mn1 nebo EN AC-Al Si15Cu4Zn1 (podle staršího značení Al-Si10-Mg-Mn, Al-Si10-Cu-Mn, Al-Si15-Cu4-Zn).

Hliníkový prášek nebo pasta se používá jako plynotvorná přísada pro výrobu pórobetonu (plynobetonu) a k žárovému pokovování hliníkem.

## 4.8.5 Olovo a jeho slitiny

Olovo je měkký, šedý, dobře tvářitelný, slévatelný a opracovatelný kov s největší hustotou ze všech technických kovů (zhruba jedenapůlnásobek hustoty oceli).

### 4.8.5.1 Výroba olova

Hutnické olovo se získá pražením a redukčním tavením olovnaté rudy (sirníku olovnatého PbS) s čistotou nižší než 90 %. Rafinací se získá obyčejné olovo s čistotou 98,5 % a čisté olovo s čistotou 99,75 až 99,99 %.

Olovo, popř. slitiny olova s jinými přídavnými kovy se zpracovávají litím, válcováním za tepla i za studena na plechy a lisováním trubek za studena. Olovo nelze galvanicky pokovovat.

### 4.8.5.2 Vlastnosti olova

*Fyzikální vlastnosti*

- Teplota tavení je nízká, 327 °C.
- Hustota je největší ze všech technických kovů, 11 340 $kg.m^{-3}$.
- Měrná tepelná vodivost $\lambda = 35\ W.m^{-1}.K^{-1}$.
- Součinitel délkové teplotní roztažnosti $\alpha = 0{,}0000287\ K^{-1}$.
- Pevnost v tahu olova je nízká, 12 až 20 MPa, a tvářením za studena se nezvyšuje. Olověné trubky nejsou proto samonosné a musí mít podpěrnou konstrukci.
- Modul pružnosti v tahu 180 GPa.

*Odolnost proti korozi*. Odolnost olova je velká i k silným chemikáliím s výjimkou koncentrované kyseliny dusičné nebo chlorovodíkové a organických kyselin. Rozrušují ho také voda hladová (destilovaná, dešťová), a voda obsahující agresivní oxid uhličitý. Ve vlhkém vzduchu se pokrývá velmi rychle vrstvou oxidu olovnatého (PbO) a zásaditého uhličitanu olovnatého ($2\ PbCO_3.Pb[OH]_2$), která ho chrání proti další korozi.

*Toxicita*. Olovo a jeho slitiny jsou jedovaté. i zcela malé dávky, které se dostanou do krve lidského organizmu způsobují pozvolnou otravu. Proto olověné trubky, které se dříve používaly pro rozvod užitkové i pitné vody, byly pocínované na vnitřním povrchu vrstvou cínu tl. 0,7 mm.

Útlum prostupu tvrdého záření

Olovo má velký útlum prostupu tvrdého záření, proto se používá na ochranné vrstvy proti rentgenovým paprskům a gama záření.

### 4.8.5.3 Výrobky z olova a jeho slitin pro stavebnictví

Sortiment výrobků pro stavebnictví se omezuje pouze na plechy, trubky a měkké pájky. Dodávají se:

- Plechy, pásy a pruhy – válcované z olova nebo jeho slitin s antimonem

  v tloušťkách 0,5 až 6 mm v rozměrech:

  - plechy – 400 až 2800 x 500 až 3000 mm,
  - pruhy – 200 až 400 x 300 až 3000 mm,
  - pásy – v šířce 15 až 2800 mm.

Používají se na střešní krytiny, na těžké hydroizolace proti silně agresivním vodám, na chemicky odolné obklady nádrží, zařízení chemického průmyslu a na protiradiační ochranu.

- Trubky – se lisují z olova (Pb čistoty 99,95 nebo 99,985 %) a ze slitin olova

  s antimonem (obsah 0,5, 0,9 a 3 % antimonu) v rozměrech:

  - vnější průměr – 7 až 320 mm,
  - tloušťka stěny – 1,5 až 20 mm.

Používají se pro dopravu kapalin pod tlakem kromě pitné vody, vody s rozpuštěným oxidem uhličitým a organických kyselin. Trubky s vrstvou cínu (Sn 99,5 %) na vnitřním povrchu mohou být použity i pro rozvod pitné a užitkové vody.

- Ochranný povlak elektrických kabelů – dříve se některé kabely vyráběly

  s olověným pláštěm, dnes se tento plášť nahrazuje povlakem z plastů.

S přídavnými kovy, antimonem (Sb) a cínem (Sn), se odlévají slitiny:

- tvrdá slitina olova – s antimonem v množství 6 až 8 %,
- měkká pájka – s cínem v množství 25 až 40 % a s malým množstvím antimonu pod 1 %.

Měkká pájka se používá při klempířských pracích pro spojování plechů pájením

### 4.8.6 Zlato

K výhodám zlata nesporně patří jeho mimořádná povětrností stálost a chemická odolnost. Zlato se ani při exteriérové expozici nijak nemění a zachová si barvu i lesk. Zlato ovšem patří mezi vzácné kovy a jeho stavební použití je tudíž jen velmi omezené.

Mimořádně vysoká hustota zlata (19300 $kg.m^{-3}$) a jeho cena by způsobily, že plech běžné tloušťky by byl opravdu nesmírně drahý. Zlato je však mimořádně tažné a kujné a lze z něj připravit plátky (fólie) silné zhruba 0,1 μm. Plošná hmotnost této zlaté fólie, nazývané *pozlátko*, je jen 2,0 – 2,5 $g.m^{-2}$.

Pozlátkové plátky o rozměrech 65 x 65 mm nebo 80 x 80 mm se balí po 25 kusech do speciálních sešitků. Používají pro pozlacování v interiéru. K tomu, aby s nimi bylo možno manipulovat i na povětrnosti, se musí předem podlepovat pomocnou zesilující vrstvou.

Položením zlatých plátků do tenké vrstvy speciálního lepidla a následným uhlazením se dají vytvářet velké plochy, které mají klasický zlatý vzhled (zlaté střechy některých paláců nebo chrámů).

Slabinou pozlacených ploch je relativní měkkost čistého plátkového zlata. Čisté zlato nedosahuje ani 3 stupně tvrdosti Mohsovy stupnice a je zhruba stejně měkké jako olovo.

Novinkou v oblasti materiálů pro střechy se zlatou povrchovou úpravu jsou asfaltové šindele povrchově upravené pozlacenou měděnou fólií.

Tenké zlaté ochranné vrstvy se dají vytvářet i galvanicky nebo žárovým pokovením. Svého času se zlatily špičky tyčových bleskosvodů. Jiný než estetický význam to však nemělo.

## 4.9 Asfalty a dehty

Asfalty a dehty řadíme mezi živice. Pod tímto pojmem rozumíme směsi asfaltických nebo pyrogenetických uhlovodíků a jejich nekovových derivátů. Za běžné teploty jsou živice polotekuté nebo tuhé směsi rozpustné v sirouhlíku. Za běžných teplot jsou živice tvárné, vlivem mechanického namáhání dochází u nich k trvalé deformaci.

Výrazná je závislost živic na době zatěžování a na teplotě – za vyšších teplot se stávají tekutými, naopak za nízkých teplot křehnou. Představiteli živic užívanými v oblasti stavebnictví jsou asfalty a dehty, význam asfaltů oproti dehtům je mnohonásobně větší.

Asfalty (ze starořečtiny), v anglické literatuře nazývané bitumeny (původ hebrejský), mohou být přírodní, nebo vyráběné z ropy (asfalty umělé, ropné, někdy nazývané též petrolejové). Ve stavebnictví se asfalty používají především k výstavbě vozovek pozemních komunikací (asfalty silniční) nebo jako základ materiálů a výrobků izolujících proti vodě a vlhkosti (asfalty stavebně izolační). Významné je i uplatnění při výrobě laků a ochranných nátěrů.

Používání asfaltů pro stavební účely se vyskytuje již ve starověku v místech povrchových nalezišť přírodních asfaltů, což bylo především na Blízkém a Středním východě, se asfalt užíval jako spojovací tmel pro zdivo, na spojování kamenných desek při povrchové úpravě cest i jako izolační materiál proti pronikání vody. Dodnes se některé zbytky staveb v odhadovaném stáří přes 6000 let zachovaly.

Asfalty se užívaly též jako lepidla k upevňování drahokamů a perel na kamenné podklady či při mumifikaci tělesných pozůstatků egyptských faraonů. Dávné použití asfaltů na cesty je známé i v říši Inků. Ložiska přírodního tekutého asfaltu v okolí Kaspického jezera popisuje i benátský cestovatel Marco Polo.

Ve středověku se na asfalt prakticky zapomnělo, novodobé používání nastalo až v období průmyslové revoluce. Koncem 18. století byl asfalt použit ve Švédsku k impregnaci střešní papírové krytiny. V roce 1835 v Paříži pak byla postavena první cesta s asfaltovým povrchem.

Prudký rozvoj výroby nastal v druhé polovině 19. století, zvláště ve stavitelství cest a chodníků. V roce 1894 byla v Čechách zahájena výroba oxidovaných asfaltů, ve 20. století se pak objevují asfaltové emulze, ředěné asfalty a další asfaltové výrobky.

Asfalty modifikované plastomery a elastomery se na trhu objevují od druhé poloviny 20. století. I když již na začátku 19. století se objevily pokusy míchat asfalt s přírodním kaučukem, významné průmyslové aplikace se objevují až po roce 1960. Od té doby nastává především v hydroizolační technice jejich obrovské rozšíření a jejich použití je dnes srovnatelné s tradičními destilačními asfalty.

### 4.9.1 Složení asfaltů

Asfalty jsou směsi řady sloučenin převážně uhlovodíkového charakteru o molekulové hmotnosti 600 až 10 000 a z poměrně vysokého podílu dalších látek, jako jsou sloučeniny kyslíku, dusíku a síry. Přítomné uhlovodíky patří mezi parafiny, cykloparafiny, aromáty, případně olefiny.

Pro praktické účely se užívá dělení na:

asfalteny – křehké látky složné z kondenzovaných aromatických uhlovodíků. Jsou považovány za nositele tvrdosti asfaltu,

malteny – látky olejovitého až pryskyřičného typu vytvářející prostředí, v němž jsou těžší molekuly asfaltenů rozptýleny. Jsou nositeli plastických a lepivých vlastností asfaltů.

### 4.9.2 Vlastnosti asfaltů

Asfalt je vodě téměř nerozpustný, nebobtná, přijímá jen na povrchu stopová množství vody. Vůči vodě se chová podobně jako kaučuky a plasty, proto může sloužit jako izolační materiál proti vodě. Jeho hustota bývá v rozmezí od 980 $kg.m^{-3}$ do 1100 $kg.m^{-3}$, měrná tepelná vodivost je okolo 0,2 $W.m^{-1}.K^{-1}$, součinitel délkové teplotní roztažnosti asi $600.10^{-6}$ $K^{-1}$. Asfalt je mrazuvzdorný, za nižších teplot je však křehký. Při teplotách pod – 18 $^{o}C$ ztrácí asfalt přilnavost k plastům.

Asfalty jsou odolné polárním chemickým látkám – anorganickým solím, louhům, nízkým koncentracím kyselin i posypovým hmotám. Koncentrovaná kyselina sírová sulfonuje aromatické složky za vzniku sulfonových kyselin rozpustných ve vodě. Kyselina dusičná asfalt oxiduje a částečně nitruje. Kyselina solná nevyvolává hlubší změny, které by narušovaly izolační schopnost. Odolnost je nižší při vyšších teplotách a u měkčích asfaltů.

Asfalt je rozpustný v organických rozpouštědlech jako jsou benzin, benzen apod. Toho se využívá při výrobě asfaltových laků a nátěrových hmot. Asfalt je hořlavý a velmi výhřevný. Požární nebezpečí ovlivňuje silně i obsah těkavých látek z případných ředidel, v samotném asfaltu se těkavé látky vyskytují nepatrně. Vlivem UV záření a kyslíku asfalty postupně tvrdnou a křehnou.

### 4.9.3 Zkoušení asfaltů

Protože asfalty nejsou jednoduchými látkami, ale tvoří je složité směsi, nelze vlastnosti popsat jednoduchými fyzikálními zkouškami jako je bod tání, bod varu apod. Byly proto vyvinuty a zavedeny kromě běžných zkoušek chemických a fyzikálních vlastností i některé speciální zkoušky (obvykle podle amerických norem ASTM) významné pro praktické používání asfaltů.

#### 4.9.3.1 Penetrace

Penetrační zkouška asfaltů (*obr. 4.120a*) je hlavním kritériem pro zjišťování tvrdosti a odolnosti asfaltu proti přetvoření. Princip zkoušky spočívá v měření hloubky vniknutí jehly normovaných rozměrů při jejím zatížení hmotností 100 g do vrstvy asfaltu. Výsledky zkoušky závisejí na teplotě, základní měření jsou prováděna při teplotě +25 $^{o}C$. Hodnota penetrace se odečítá po 5 s a udává se v penetračních jednotkách (desetinách mm). Například penetrace 41 znamená zaboření jehly do hloubky 4,1 mm.

### 4.9.3.2 Bod měknutí

Asfalt nemá definovanou teplotu tání, během ohřevu se postupně mění z látky pevné na kapalnou stejně jako termoplastické hmoty. Proto k vzájemnému porovnání se nejvíce používá postup zavedený původně americkou normou ASTM – stanovení bodu měknutí metodou kroužek kulička.

Při teplotě odpovídající bodu měknutí je asfalt tvárný již účinkem malé síly. Uvádí se, že v bodě měknutí tvrdost asfaltu klesá na hodnotu odpovídají hmotě s penetrací 800. Asfalt v tomto bodě vlastně nabývá podoby vysoce viskózní kapaliny s viskozitou $10^6$ $mm^2.s^{-1}$.

Zkouška metodou kroužek kulička (česká zkratka KK) je uspořádána tak, že do kovového kroužku je nalit asfalt a po zatuhnutí je na povrch položena ocelová kulička (*obr. 4.120b*). Vše se pak vloží ve speciálním stojánku do kádinky s dostatečně tepelně stálou kapalinou tak, aby kroužek a kulička byly ponořeny doprostřed kapalinové lázně. U běžných asfaltů se jako temperovací medium používá glycerin.

Obsah kádinky se postupně ohřívá tak, aby teplota lázně rovnoměrně vzrůstala o 5 $^oC$ za minutu. Postupným měknutím asfaltu dochází účinkem hmotnosti kuličky k průhybu asfaltové vrstvy. Teplota, při níž průhyb dosáhne 25,4 mm, se označuje jako bod měknutí, např. 85 $^oC$ KK.

Penetrace a bod měknutí bývají uváděny při označování asfaltů, např. u oxidovaného asfaltu AOSI 85/25 znamená čitatel zlomku hodnotu bodu měknutí zjištěnou metodou KK, jmenovatel pak penetraci při 25 $^oC$. Stárnutím asfaltu na povětrnosti dochází k postupnému vzrůstu bodu měknutí.

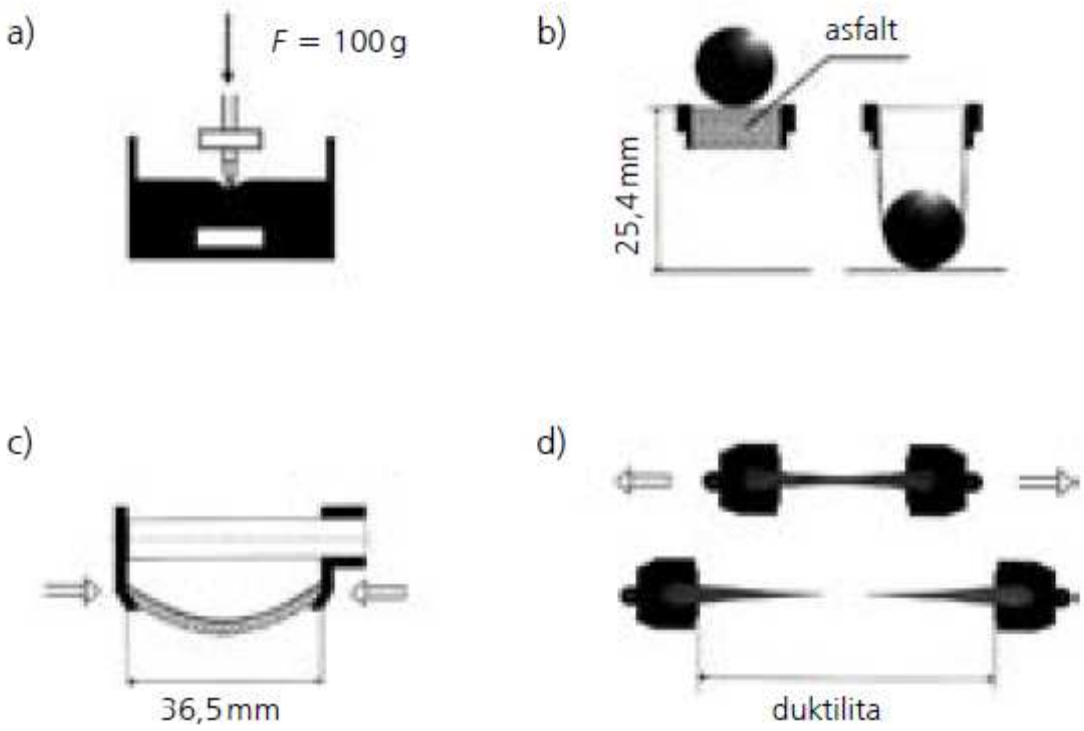
Pro stavebně izolační účely se vyrábějí asfalty s bodem měknutí nad 80 $^oC$ KK, to splňují především asfalty oxidované, i od z nich odvozené asfalty modifikované. Hlavní využití je při výrobě asfaltových pásů, další pak v nátěrech, tmelech a izolačních stěrkách, emulzích a suspenzích

### 4.9.3.3 Bod lámavosti

Bod lámavosti podle Fraassea označuje nejvyšší teplotu, při níž vrstvička asfaltu tloušťky 0,5 mm nanesená na kovový plíšek při ohýbání za definovaných podmínek praskne (*obr. 4.120*). Teplota, při níž k tomu dojde zhruba udává teplotu, kdy asfalt ztrácí svoje plastické vlastnosti a mění se v křehkou hmotu. Zkouška se provádí při postupně snižovaných teplotách, je velmi citlivá na přesné provádění a výsledky mívají značný rozptyl.

### 4.9.3.4 Duktilita

Duktilita vyjadřuje tažnost asfaltu za definované teploty, obvykle 25 $^oC$. Je závislá na chemickém složení asfaltu, především na obsahu parafinu. Zkouší se vytahováním vlákna ponořeného ve vodě do přetržení. Zkušební vzorek se vyrobí odlitím do formy osmičkového tvaru (*obr. 4.120*). Duktilita se udává v cm vytaženého vlákna.




*Obr. 4.120* Zkoušky asfaltů

### 4.9.3.5 Další zkoušky asfaltu

Přilnavost ke kamenivu se především vyžaduje u silničních asfaltů, neboť rozhoduje o mechanické pevnosti silničních směsí asfaltu a kameniva. Zhoršení přilnavosti asfaltu ke kamenivu působí například vyšší obsah parafinických uhlovodíků.

Dalšími prováděnými zkouškami jsou např. stálost za tepla, kdy se sleduje změna vlastností po vystavení asfaltu teplotě 70 $^{o}$C po dobu 2 hodin, a teplota vzplanutí zkoušená zapalováním v kelímku postupně zahřívaného vzorku asfaltu.

## 4.9.4 Přírodní asfalty

Přírodní asfalty se nacházejí na několika místech zeměkoule (USA, Trinidad, Bermudy, Kuba, v Evropě Albánie), případně se získávají vytavením z hornin či zemin, které asfalt obsahují.

Přírodní asfalt s vysokou tvrdostí a nízkým obsahem minerálních příměsí se nazývá asfaltit, přírodní asfalty s vysokým obsahem minerálních látek a nízkým obsahem vlastního asfaltu se označují jako asfaltové horniny.

K asfaltovým horninám patří asfaltové břidlice těžené např. u Varína na Slovensku. Z přírodních asfaltů se u nás zpracovával asfalt Selenica, který se dovážel z Albánie. Ve stavebnictví tyto asfalty nalezly uplatnění především v silničním stavitelství.

Podíl přírodních asfaltů na trhu neustále klesá, naprostá většina současných výrobků je z asfaltů ropných.

### 4.9.5 Asfalty ropné

Ropné asfalty se získávají jako zbytkový podíl z frakční destilace ropy. Jednotlivé druhy ropy se mezi sebou mnohdy velmi liší. Lehké ropy obsahují velké množství benzinových frakcí, těžké ropy naopak mají malý podíl benzinu a více asfaltu. Naše výroba asfaltů byla založena převážně na zpracování parafinické ruské ropy.

Destilací ropy za atmosférického tlaku se z výchozí suroviny oddělí benzín a oleje vroucí při teplotě do 360 $^{o}$C. Destilační zbytek nazýváme primární asfalt.

Tvrdost primárního asfaltu je závislá na tom, do jaké míry byly odděleny těžší olejové podíly. Podle potřeby však může být další úpravou zvyšována nebo snižována. Primární asfalt se ve stavebnictví přímo nepoužívá, je však základem pro výrobu dalších druhů asfaltů, z nichž pro stavebnictví jsou významné především asfalty oxidované, modifikované, ředěné.

#### 4.9.5.1 Oxidované asfalty

Oxidované asfalty se připravují z měkčích primárních asfaltů a destilačních zbytků profukováním vzduchem při teplotách 250 až 300 $^{o}$C. Během oxidačního procesu probíhají ve struktuře asfaltu chemické změny, na vzdušný kyslík se vážou atomy vodíku z řetězců, u nichž pak dochází ke spojování. Přitom se zvyšuje koncentrace asfaltenů, které vytvářejí souvislou gelovou kostru.

Změna chemického složení působí změny vlastností fyzikálních. Vznikají výrobky méně citlivé na teplotní změny. Oproti primárním asfaltům se zvyšuje hodnota bodu měknutí na hodnoty 80 až 100 $^{o}$C. Tyto výrobky se především uplatňují v izolační technice a částečně též v silničním stavitelství a nátěrových hmotách. Pro izolační výrobky se příliš tvrdý asfalt ještě před oxidací upravuje přídavkem oleje – tzv. fluxováním.

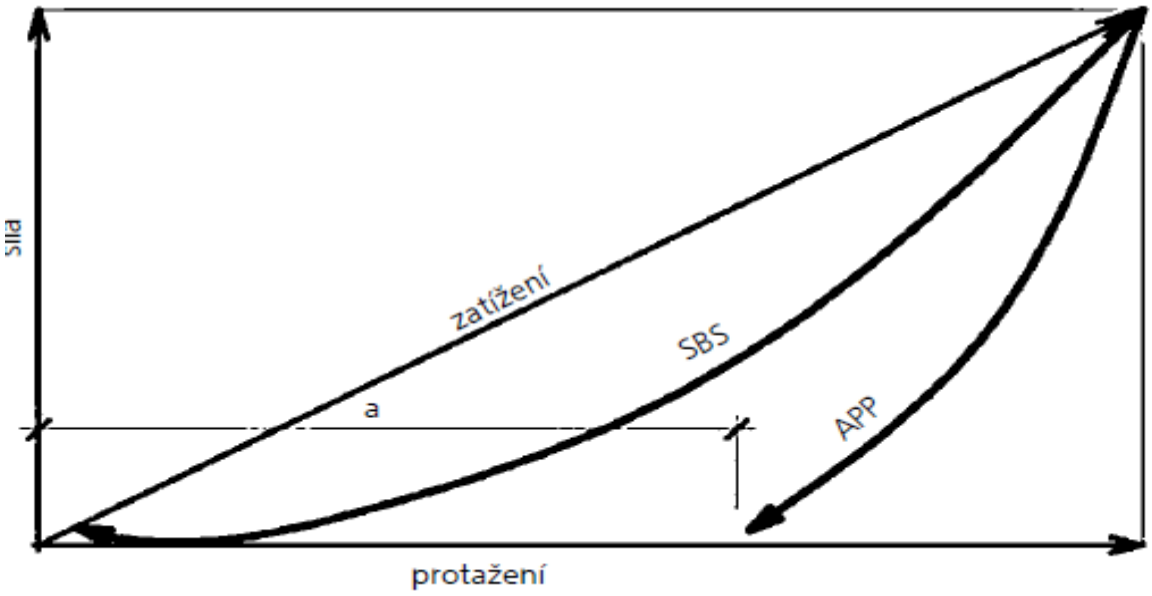
#### 4.9.5.2 Ředěné asfalty

Ředěné asfalty se od běžných asfaltů liší výrazně sníženou viskozitou. Připravují se z primárních nebo oxidovaných asfaltů přidáním organických rozpouštědel v množství 40 až 50 % hmotnosti.

Rozpouštědla bývají na bázi ropných frakcí (benzin, petrolej) nebo jde o frakce z dehtu (toluen, xylen, solventní nafta), nesmějí však obsahovat fenoly. Uvolňované páry z rozpouštědel zvyšují nebezpečí vzniku požáru a nepříznivě ovlivňují životní prostředí. Mimo jiné proto se používání těchto hmot postupně zmenšuje. Dříve byly hojné ve studených směsích určených pro opravy silničních vozovek.

### 4.9.5.3 Modifikované asfalty

Asfalty modifikované přísadou polymeru patří k novým druhům kvalitních asfaltových výrobků. Surovinou k jejich výrobě je primární asfalt s přidáním vhodných elastomerů (kaučuků) nebo plastomerů (termoplastů). Přidáním různého množství těchto látek se podstatně mění termoviskózní a elastoviskózní vlastnosti původního asfaltu a získávají se materiály s podstatně lepšími uživatelskými vlastnostmi. Výrobky z modifikovaných asfaltů se užívají jak v hydroizolační technice (výroba izolačních pásů, zálivky), tak i v silničním stavitelství.




*Obr. 4.121* Rozdíl v přetvoření pásů modifikovaných SBS a APP

Modifikací asfaltů se dosáhne širší rozsah plastické oblasti, tj. zvětší se rozsah mezi bodem lámavosti a bodem měknutí KK. Při nezměněné penetraci mají modifikované asfalty vyšší hodnotu bodu měknutí a nižší bod lámavosti.

Na rozdíl od oxidovaných asfaltů, které se vyznačují pouze plastickým chováním, asfalty modifikované elastomery vykazují rovněž větší či menší pružné chování, působením namáhání se sice deformují, ale po odtížení se vracejí do své původní polohy či tvaru.

Modifikované asfalty se vyznačují vyšší tažností, větší adhezí, menším stékáním a bývají i odolnější vůči stárnutí. Naopak vyšší viskozita modifikovaných asfaltů proti klasickým způsobuje, že jsou hůře zpracovatelné a jejich úspěšná aplikace vyžaduje přísnější dodržování technologických předpisů.

Z elastomerů je dnes používán nejčastěji styren-butadien-styren (SBS) v množství 7 až 15 % SBS, nazývaný též termoplastický kaučuk. Je složen z kaučukového butadienu a styrenu. Při rozpouštění v asfaltu SBS absorbuje nafténové (olejové) podíly a část přítomných asfaltenů a vzniká pružná hmota s tažností až několik set procent. Dochází k zvýšení bodu měknutí, snížení bodu lámavosti, nárůstu tažnosti (duktility) a vratné deformace.

Z plastomerů je téměř výhradně užíván ataktický (amorfní) polypropylen (APP) v množství 5 až 35 % hm. Přimícháním APP se významně zvýší hlavně bod měknutí. Modifikovaný asfalt je plastický, tažnost dosahuje cca 50 %, pružné vratné deformace jsou minimální. Asfalty modifikované APP se na druhé straně vyznačují lepší odolností proti UV záření a vyšší adhezí.

Vliv modifikace na rozhodující vlastnosti je patrný z *tab. 4.140a.* Změnu vlastností ovlivňuje nejen druh přísady, ale samozřejmě i její množství. Při obsahu modifikační látky pod uvedených 7 % se asfalt, zvláště za nízkých teplot, chová jako běžný asfalt oxidovaný. Vzhledem k cenám modifikačních přísad budou silně modifikované asfalty vždy výrazně dražší, jejich vlastnosti ovšem lepší a trvalejší. Asfalty s nižším obsahem modifikačních přísad nacházejí uplatnění hlavně v silničním stavitelství, asfalty silně modifikované v izolační technice.

Vliv modifikačních přísad na vlastnosti oxidovaného asfaltu *Tab. 4.140a*

| Vlastnost | Oxidovaný asfalt | Asfalt modifikovaný APP | Asfalt modifikovaný SBS |
|---|---|---|---|
| Bod měknutí KK (°C) | cca 95 | cca 135 | cca 120 |
| Ohebnost za chladu (°C) | 0 | –5 až –15 | až –35 |
| Pružnost | žádná | malá | vysoká |
| Průtažnost (%) | 2 až 5 | cca 20 | > 100 |

### 4.9.6 Využití asfaltů ve stavebnictví

Hlavní možnosti využití asfaltů ve stavebnictví jsou v silničním stavitelství (postřiky, emulze, asfaltové betony, lité asfalty) a v hydroizolační technice (nátěry, výroba asfaltových pásů atd.).

Silniční asfalt musí vykazovat dobrou přilnavost ke kamenivu, odolávat výkyvům teploty, stárnutí a bránit větším deformacím silniční konstrukce. Pro silniční účely se nejvíce využívají polotuhé (polofoukané) asfalty, asfaltové emulze, případně ředěné asfalty.

Pro směsi, které budou během kladení hutněny, se užívají měkčí druhy silničních asfaltů, naopak pro směsi nehutněné (litý asfalt) spíše tvrdší druhy. V konstrukci silniční vozovky plní asfalt úlohu pojiva, tj. váže minerální částice různé zrnitosti do kompaktního celku, chrání povrch vozovky proti atmosférickým vlivům, zabezpečuje rovnoměrné rozdělení dopravního zatížení do podkladu a ochraňuje povrch vozovky před mechanickým porušením dopravou.

### 4.9.6.1 Asfaltové izolační pásy

Asfaltové pásy jsou nejrozšířenějším výrobkem pro izolační účely na bázi asfaltu. Jako tovární výrobky jsou schopné zaručit požadovanou kvalitu a stejnoměrnost vlastností celé výroby. Asfaltové pásy se skládají z výztužné vložky, krycí vrstvy asfaltu a povrchové úpravy. Každá z uvedených složek má v izolačním pásu svou funkci a svými materiálovými charakteristikami ovlivňuje výsledné vlastnosti výrobku.

#### 4.9.6.1.1 Výztužná vložka

Výztužná vložka přenáší mechanické namáhání v tahu, kterému může být pás vystaven. Jen ve výjimečných případech může být vložka vynechána a pás tvoří pouze modifikovaná vrstva asfaltu.

Materiály pro výztužné vložky jsou buď materiály, které se při výrobě pásu roztaveným asfaltem nasytí, nebo naopak materiály na bázi kovových fólií, na něž se asfalt přilepí. Impregnace nosné vložky hlavně při použití modifikovaných asfaltů patří k nejnáročnějším technologickým procesům při výrobě asfaltových pásů. Impregnace asfaltem musí vyplnit veškeré mezery v nosné vložce, ale současně nesmí být asfaltu nadbytek. Jinak dochází ke vzniku puchýřků (bublin) uvnitř pásu nebo naopak k odlupování asfaltové hmoty od nosné vložky a k trhlinám ve vnější krycí hmotě.

Z hlediska trvanlivosti je podstatnou vlastností nasákavost vložek. Nasákavé vložky z organických materiálů totiž ve vlhkém prostředí hnijí a brzo se rozpadají. Proto moderní a kvalitní výrobky jako výztužnou vložku využívají materiály nenasákavé, tj. na bázi skla, syntetických vláken nebo kovových fólií. Plošná hmotnost vložek se pohybuje od 50 do 250 $g.m^{-2}$, výjimečně až 350 $g.m^{-2}$. U drahých výrobků se objevuje tzv. vložka kombinovaná vzniklá spřažením různých materiálů – např. kombinace skleněných vláken v podélném směru a polyesterového rouna v příčném směru. Vložka musí být co možná objemově stálá. Objemová nestálost bývá hlavně způsobena výrobní technologií. Některé linky totiž během výroby pracují s vložkou částečně předpjatou, což způsobuje následně po zabudování objemové změny (smršťování) asfaltových pásů. Nejchoulostivější jsou vložky z polyesterové rohože nižší hmotnosti. Očekávané smrštění by měl deklarovat výrobce.

Výztužná vložka bývá umístěna uprostřed tloušťky pásu, u některých dražších tlustších pásů bývá umístěna excentricky blíže k hornímu povrchu. U vložek polyesterových, zvláště u asfaltových pásů pro mosty, hrozí nebezpečí narušení vložky při pokládce krycí vrstvy litého asfaltu o teplotě 250 $^{o}C$.

*Pásy s nasákavou vložkou*. Původními organickými a nasákavými vložkami byla jutová tkanina, později pak hadrová či celulózová (buničinová) lepenka. V české literatuře se udával druh vložky a její gramáž, tj. hmotnost 1 $m^2$. Například A 330 H znamenalo asfaltový pás s vložkou z hadrové lepenky (H) o gramáží 330 $g.m^{-2}$.

K nasákavým vložkám náleží i vložka s polyetylenovou plastovou fólií jaká byla používán např. u pásů Pebit, protože vzhledem k nutné ochraně PE před horkým asfaltem při výrobě a vzhledem ke špatné soudržnosti asfaltu s hladkou PE fólií, je kromě polyetylenu ve vložce použita mezivrstva ze sulfátového papíru, která je nasákavá.

Pásy s vložkou nasákavou jsou sice levnější, vzhledem k jejich vlastnostem se však v oblasti izolační techniky dnes doporučují používat pouze na provizorní zakrytí, nanejvýš k izolacím tam, kde nebudou vystaveny přímému tlaku spodní vody. U střech ve spádu nad $10^o$ na dřevěném podkladu se pásy s nasákavou vložkou mohou použít jako spodní vrstva.

*Pásy s vložkou ze skleněné rohože*. Vložka těchto pásů je rohož vyrobená ze skleněných vláken, která je nasycena asfaltem. Tyto cenově lacinější vložky plošné hmotnosti 50 až 150 $g.m^{-2}$ mají poměrně nízké tržné zatížení (pevnost v tahu) a malou tažnost vyplývající ze struktury vložky. Stejně tak odolnost na proražení je u těchto vložek nízká. Pásy z nich se proto nehodí v případech, kdy bude pás více mechanicky namáhán.

*Pásy s vložkou ze skleněné tkaniny.* Vložka je vyrobena ze skleněné tkaniny obvykle plátnové vazby. Plošná hmotnost bývá 120 až 250 $g.m^{-2}$. Tyto vložky se vyznačují vysokou pevností při malé tažnosti. Jsou vhodné do pásů vystavených většímu namáhání.

*Pásy s vložkou z kovové fólie.* Nosnou výztužnou vložkou mohou být i tenké kovové fólie – nejčastěji hliníkové, někdy též měděné či dokonce z nerezové oceli. Vlastní asfaltová hmota zde vložku neprosytí, zůstává pouze nalepena na povrchu. Proto ke zvýšení soudržnosti bývá do povrchu fólie vytlačen dezén umožňují lepší soudržnost obou materiálů.

Pevnost kovové vložky závisí především na druhu kovu, u hliníkové je nejmenší, u ocelové největší. Kovové vložky se vyznačují vysokým difúzním odporem a jsou tedy především vhodné do pásů použitých jako doplňkové vrstvy izolace spodních staveb proti radonu nebo k vytvoření tzv. parozábrany.

*Pásy s vložkou ze syntetických vláken.* Výztužnou vložku tvoří rohož ze syntetických vláken – nejčastěji polyesterových. Plošná hmotnost rohože se pohybuje od 130 do 250 $g.m^{-2}$. Tyto vložky mají poměrně velké tržné zatížení a přitom dostatečně vysokou tažnost. Jsou dnes užívané v řadě asfaltových izolačních pásů vysokých parametrů.

Výjimečně se vyrábějí i vložky kombinované z polyesterové rohože protkané skleněnými vlákny nebo naopak skleněnou tkaninou s polyesterovými vlákny. Skleněné vlákno zajišťuje rozměrovou stabilitu a brání smrštění polyesteru během výroby a při natavování pásu.Tyto materiály pak v sobě spojují výhody obou předchozích typů, tj. vysokou pevnost a vhodnou tažnost a jsou tak užívány ve špičkových pásech určených pro střechy.

#### 4.9.6.1.2 Krycí vrstva asfaltu

K vytvoření asfaltového pásu může být použito jednoho nebo dvou druhů různého asfaltu. Je to asfalt, kterým je impregnována výztužná vložka, a asfalt tvořící spolu s plnivem a případně s přísadami krycí vrstvu. K impregnaci vložky se používá oxidovaný (u levnějších pásů) nebo modifikovaný asfalt, do krycí povlakové vrstvy pak opět asfalt oxidovaný či modifikovaný, a to buď modifikovaný elastomery, nebo plastomery. Asfalt krycí vrstvy může též obsahovat plnivo či přísady např. proti stárnutí či pro lepší adhezi. .

Podle nových norem je u asfaltových pásů dříve udávaný parametr bod měknutí krycí asfaltové vrstvy nahrazen parametrem odolnosti proti stékání, podobně udávaná plošná hmotnost ($g.m^{-2}$) může být nahrazena tloušťkou pásu (mm).

Obecným nedostatkem pásů z oxidovaných asfaltů (kromě prvotního vlivu výztužné vložky) je jejich malá tažnost za nízkých teplot. Dilatační posuny konstrukce při jejím sedání, smršťování a teplotních změnách vedou k značnému tahovému namáhání pásů v místě spáry či trhliny a jeho postupnému porušení. Stejně tak při rozvinování pásů za nízkých venkovních teplot dochází k praskání krycí asfaltové vrstvy, průniku vlhkosti k vložce a urychlení degradace pásu.

Běžné pásy z oxidovaných asfaltů se doporučuje klást jen při teplotách nad +5 $^{o}$C, v praxi to znamená jen v teplejších období roku. Výhodou modifikovaných asfaltů je právě možnost kladení i za teplot nižších.

Tloušťka krycí vrstvy rozhoduje o použitelnosti pásu. Pásy pouze s impregnovanou vložkou nebo krycí vrstvou do tloušťky 1 mm (v české literatuře dříve označované A a R) se pak připevňují lepením horkým asfaltem, případně přibíjením. Pásy s oboustrannou krycí vrstvou tloušťky nad 1 mm s plošnou hmotností 3500 až 5000 $g.m^{-2}$ (dříve označované S) se pak připevňují natavováním.

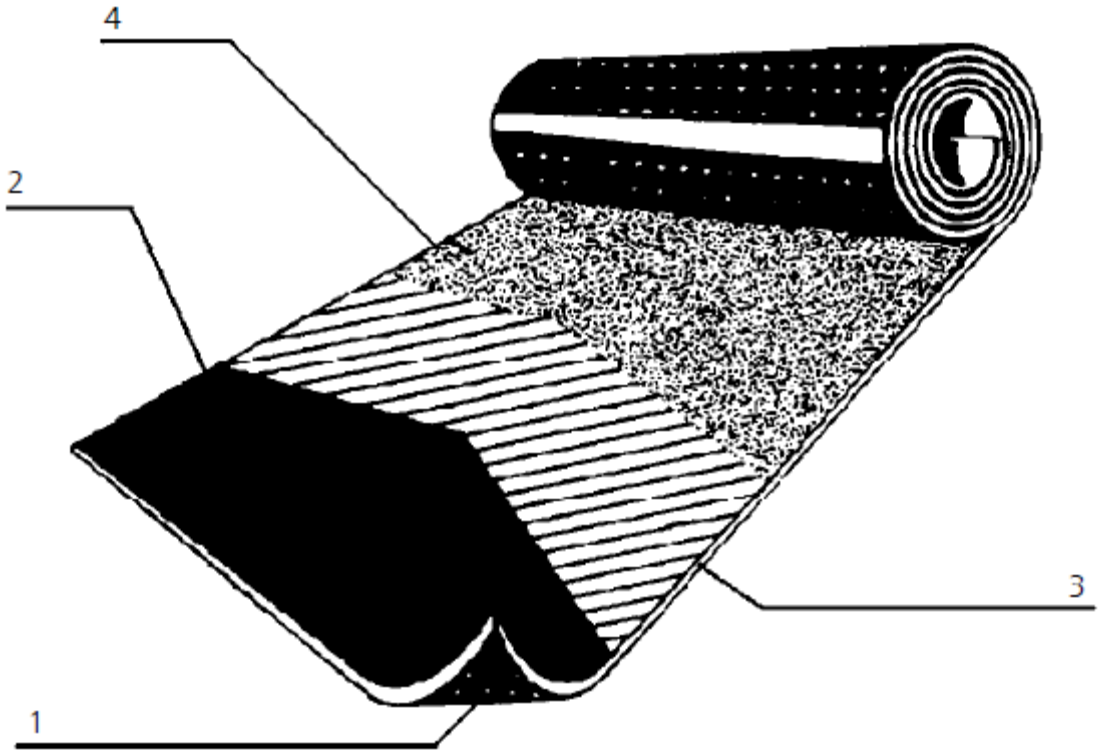
Při natavování asfaltu pásu (u více vrstev i asfaltu podkladu) dojde k nalepení a vytvoření pevného spojení. K podkladu se pásy natavují plnoplošně nebo jen částečně (bodově) podle požadavku projektu. Pevnost spojů mezi sousedními pásy bývá u modifikovaných asfaltů SBS větší než u asfaltů modifikovaných APP.

U vrstvy z více pásů musí být spojení pásů mezi sebou plnoplošné, aby mezi nimi nezůstávala zbytková vlhkost. Ta by po odpaření za vyšších teplot způsobila vznik boulí a puchýřů. Natavuje se plamenem propan-butanového hořáku.

Na trhu se však objevují i pásy s rýhovitě upraveným okrajem, které umožňují vzájemné spojování pásů nikoliv přímým plamenem, ale horkým vzduchem teploty kolem 600 $^{o}$C tak, jak je obvyklé při pokládání plastových hydroizolačních fólií. Lze tak využít stejné mechanizace pro práci s asfaltovými pásy i fóliemi.

Částečné natavení k podkladu se uplatňuje především u rekonstrukcí starých krytin, kde je třeba zabezpečit odvádění zabudované vlhkosti z podkladu. Prostor pod pásem musí být však odvětrán do atiky či ventilačních komínků. K tomuto účelu se vyrábějí i speciální ventilační pásy, které jsou vyrobeny např. tak, že na spodním natavovaném povrchu pásu jsou pruhy či lepivé body ze modifikovaného asfaltu. Při mírném nahřátí, případně u samolepicích pásů i jen přitlačením za studena, dojde k nalepení pásu jen v uvedených místech a pod pásem tak vzniknou kanálky umožňující odvod vodních par.

Při návrhu skladeb izolačních souvrství by pokud možno nemělo docházet k přímému kontaktu výrobků z různých druhů asfaltů. Rozhodně se nedoporučuje kombinace modifikovaných pásů APP s pásy modifikovanými SBS ani s asfalty oxidovanými. Kombinace oxidovaných asfaltů s SBS modifikovanými je v zásadě možná, z důvodů odpovědnosti za vady je však dobré, když oba výrobky dodává jediný dodavatel.




*Obr. 4.122* Skladba asfaltového izolačního pásu

1 – spalná fólie, 2 – asfalt, 3 – výztužná vložka, např. polyesterová rohož, 4 – posyp

#### 4.9.6.1.3 Povrchová úprava

Starší výrobky měly jako povrchovou úpravu pouze pískování, které sloužilo především jako ochrana před slepováním pásu navinutého v roli. Později tato pouze dočasná ochranná funkce byla nahrazena používáním tenké PE fólie na spodním povrchu pásu, která se při celoplošném natavování musí spálit.

Naopak horní povrch je u pásů, které se používají na vrchní vrstvu krytin, upravován jak z důvodů estetických, tak i jako ochrana proti slunečnímu záření. Povrchovou úpravou bývá břidličný posyp v různých barvách nebo barvený keramický granulát. Posyp má být co možná nenasákavý nebo hydrofobizovaný a dobře zakotvený do povrchu asfaltu. Jinak za zimních podmínek dojde brzo k jeho uvolnění a odplavení.

Pásy modifikované APP vykazují lepší přídržnost posypu než pásy modifikované SBS. U nich může dojít k ztrátě posypu, což vede u krytin ke snížení životnosti a navíc dochází splaveninami k ucpávání odvodů vody ze střechy.

Při vzájemném napojování pásů s povrchovou úpravou brání však povrchová úprava vzájemnému napojení. Povrchová úprava tak i komplikuje vytváření detailů. Proto se musí po nahřátí spodního pásu odstranit nebo zatlačit do povrchu, aby horní pás byl kvalitně nataven. U pásů s hrubozrnným posypem je v podélném směru posyp již z výroby na okrajovém návarovém pruhu šířky cca 100 mm vynecháván.

Pro vytváření hydroizolačních povlaků střech se doporučuje podle sklonu střechy počet pásů, který uvádí *tab. 4.131.* Kromě natavování či lepení pásů se při použití na střechy pásy přichycují mechanickým kotvením kovovými či plastovými hmoždinkami. Mechanické kotvení se výhodně projevuje při opravách starých střech, kdy na narušený vlhký podklad nelze natavit další vrstvy.

Doporučené sklony a skladby hydroizolačních povlaků *Tab. 4.141*

| Druh izolačního povlaku | Sklon povlaku | Nejmenší počet vrstev povlaku | Poznámka |
|---|---|---|---|
| Povlak z asfaltových pásů R, S z oxidovaných asfaltů | 1° až 3°<br>> 3° | 3<br>2 | spojovací materiál pro pásy typu R – asfalt AOSI, spotřeba 1,5 kg.m$^{-2}$ |
| Povlak z asfaltových pásů typu S z modifikovaných asfaltů | 1° ≥ | 2 | tloušťka každého pásu min. 4 mm |

Vlastnosti vybraných asfaltových pásů v závislosti na výztužné vložce a druhu asfaltu jsou patrné z *tab. 4.142*.

Porovnání vlastností vybraných asfaltových pásů *Tab. 4.142*

| Vlastnost | Bitagit | Extrasklobit | Glastek | Elastek | Rooftek |
|---|---|---|---|---|---|
| Výztužná vložka | skleněná rohož | skleněná tkanina | skleněná tkanina | polyesterová rohož se skleněným vláknem | polyesterová rohož |
| Krycí vrstva | oxidovaný asfalt | oxidovaný asfalt | asfalt modifikovaný SBS | asfalt modifikovaný SBS | asfalt modifikovaný APP |
| Tloušťka pásu (mm) | 3,5 | 4 | 4,2 | 4,2 | 4,2 |
| Plošná hmotnost (g.m$^{-2}$) | 2 750 | 3 250 | 4 800 | 4 800 | 4 800 |
| Pevnost v tahu podél (kN.m$^{-1}$) | 8 | 20 | 20 | 16 | 16 |
| Pevnost v tahu napříč (kN.m$^{-1}$) | 6 | 18 | 18 | 16 | 16 |
| Tažnost (%) | 2 | 3 | 5 | 50 | 40 |
| Ohyb na trnu $\phi$ 30 mm (°C) | 0 | 0 | –25 | –25 | –10 |
| Bod měknutí krycí vrstvy (°C) | 85 | 85 | 125 | 125 | 150 |

V minulých letech byly do české soustavy norem přijaty evropské normy pro hydroizolační výrobky a jejich zkoušení, z nich hlavní výrobkové normy jsou ČSN EN 13707, ČSN EN 13859-1, 2, ČSN EN 13969, ČSN EN 13970 , .ČSN EN 14967. Tyto normy jsou členěny podle použití výrobků, např. asfaltové pásy pro hydroizolaci střech, asfaltové pásy na izolace proti tlakové vodě apod. Proto výrobce u svých konkrétních výrobků musí v technické dokumentaci (technickém nebo výrobkovém listu) uvést, pro jaké použití je výrobek určen.

*Mostní pásy.* Pro izolace mostů asfaltovými pásy platí oproti pozemním konstrukcím jisté odlišnosti. Je pro ně vydána zvláštní norma ČSN EN 14695. U silničních mostů, kromě samozřejmého požadavku na vodotěsnost, musí pás odolávat posypovým solím, velkým a náhlým změnám teploty, smykovým namáháním, stárnutí.

Vzhledem k zatížení izolačního souvrství vodorovnými silami vzniklými brzděním vozidel musí pás také vykazovat dostatečnou adhezi k podkladu, smykovou pevnost a schopnost překlenout trhliny v podkladu. S podkladem, obvykle betonem, musí být pás chemicky i fyzikálně kompatibilní, tj. nesmějí se vzájemně nepříznivě ovlivňovat. Přídržnost k podkladu měřená odtrhovou zkoušku by za normální teploty + 23 $^{o}$C měla být alespoň 0,4 MPa.

Mostní pásy bývají tlusté obvykle 5 až 5,5 mm, pak se kladou v jedné vrstvě. Pokud jsou tenčí, např. 4 mm, kladou se vždy ve dvou vrstvách.

U železničních mostů se štěrkovým kolejovým ložem nejsou požadavky tak přísné jako u mostů silničních. Asfaltové pásy se pak někdy ani nenatavují k podkladu, ale pouze volně kladou na vyrovnaný betonový podklad. Natavení je však nutné u okrajů mostní konstrukce, tj. u říms, závěrů apod. Jako ochrana proti poškození při sypání štěrkového lože se dodávají pásy s ochrannou vrstvou plsti na horním povrchu.

### 4.9.6.2 Asfaltové šindele

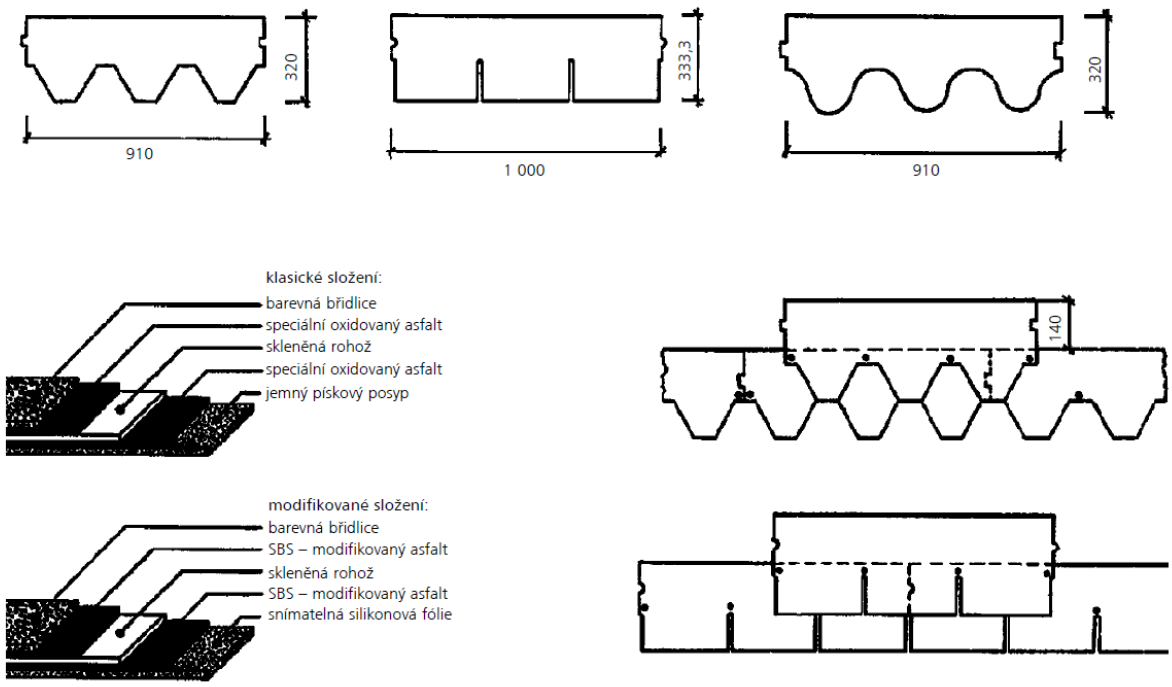
Asfaltové šindele jsou dnes moderním prvkem na krytiny šikmých střech. Asfaltové šindele se vyrábějí vysekáváním ze speciálních asfaltových pásů, mají proto v podstatě stejnou skladbu. Tloušťka šindelů se pohybuje mezi 2,7 až 4 mm. Protože kromě požadavků na funkci izolační je kladen důraz na estetické působení, vyrábějí se tyto výrobky v různých tvarech a s různou, často velmi efektní, povrchovou úpravou. Ta může být nejen rozmanitými barevnými břidličnými posypy, ale i kovovými fóliemi. Příklady různých tvarů asfaltových šindelů jsou na *obr. 4.111.*

Asfaltové šindele se vyrábějí z asfaltů oxidovaných nebo modifikovaných, jako výztužné vložky jsou nejčastější rohože ze skleněných vláken.

Z modifikovaných asfaltů jsou častější asfalty modifikované APP, modifikace SBS je spíše výjimečná.

Parametry šindelů jsou v ČSN EN 544. Podle této normy musí být nejmenší plošná hmotnost výztužné vložky 66 g.m$^{-2}$, nejmenší množství asfaltu 1300 g.m$^{-2}$. Šindele z modifikovaných asfaltů mají lepší tvarovatelnost za nízkých teplot, a proto je možné je pokládat i za mírného mrazu.

Oproti šindelům z oxidovaného asfaltu je také pokles ohebnosti a pružnosti v průběhu zabudování výrazně nižší. Životnost šindelů z modifikovaných asfaltů bývá taky podstatně delší (až 30-40 let) než šindelů z asfaltů oxidovaných.




*Obr. 4.123* Tvary asfaltových šindelů

Šindele se pokládají obvykle na dřevěné bednění prken (min. tloušťky 24 mm, u tenčích na pero a drážku), vodovzdorné překližky (min. 12 mm) nebo z dřevoštěpkových desek. Prkna by neměla být širší než 150 mm. Vhodný sklon střechy je 15 až 85 °, za určitých opatření připouštějí někteří výrobci i sklony menší, či naopak větší.

Šindele se připevňují pozinkovanými hřebíky (lepenáči) nebo hřebíky z nerez oceli, mědi apod., někdy se výjimečně též místně přilepují. Asfaltové šindele mívají na povrchu tzv. lepicí body z lepivého asfaltu, který má zajistit vzájemné slepení šindelů v ploše.

U menších sklonů střech pod 30° se doporučuje šindele podkládat vrstvou z tenkého asfaltového pásu se skleněnou vložkou, případně skleněnou nebo polyesterovou tkaninou, aby nedocházelo ke kopírování spár podkladu. Naopak při větších sklonech nad 60° je třeba zajistit slepení jednotlivých vrstev, jinak může dojít k odchlipování šindelů větrem, který vyvolanými opakovanými deformacemi může nedostatečně upevněnou krytinu rychle poničit. Položené krytiny z asfaltových šindelů mají ve srovnání s jinými krytinami poměrně nízkou plošnou hmotnost – kolem 10 kg.m$^{-2}$, tloušťka se pohybuje od 2,7 do 4 mm.

### 4.9.6.3 Asfaltové nátěry a tmely

Asfaltové výrobky na ochranu stavebního díla se vyrábějí pro kladení za horka nebo pro kladení za studena. Výrobky určené ke zpracování za horka se před zpracováním ohřívají na teploty nepřesahující 180 $^{o}$C.

Asfaltové nátěry a tmely se aplikují na suchý podklad nátěrem, nástřikem, stěrkováním, namáčením nebo poléváním. K dobrému spojení méně tekutějších nátěrů se savým podkladem se doporučuje penetrace.

Do těchto hmot se jako plnidla někdy přidávají kamenná moučka, skleněná, minerální, případně organická vlákna. Nátěry a tmely pro aplikace za studena se připravují z asfaltu, organického ředidla (xylen, lakový benzin) nebo z asfaltové emulze a plniv. Při nižším obsahu plniv jde o hmoty tekuté, vyšší obsah zvyšuje viskozitu směsi a umožňuje tyto výrobky používat i v silnějších vrstvách jako stěrky. Pro asfaltové směsi s vysokým obsahem minerální moučky (až přes 70 %) se užívá název *asfaltové mastixy*.

Nejřidší asfaltové laky s obsahem asfaltu 30 – 45 % hmot. se nazývají *laky penetrační*. Jejich úkolem je vytvořit spojovací můstek mezi savým podkladem (beton, zdivo, omítka) a následnými asfaltovými vrstvami. Bývají jak na bázi asfaltů oxidovaných, tak i modifikovaných. Spotřeba bývá asi 0,25 $kg.m^{-2}$. Protože většinou obsahují organická rozpouštědla, musejí se natírat pouze na suchý podklad. K nátěru vlhkých podkladů se používají speciální laky s adhezní přísadou. Jde o látky hořlavé a požárně nebezpečné. Penetrační laky se u nás ve stavební dokumentaci označují ALP. Penetrační laky samy nejsou odolné povětrnosti a nehodí se proto na povrchové úpravy.

Méně ředěné a hustší za studena aplikované *asfaltové izolační laky* ALN nacházejí uplatnění spíše v podřadnějších nátěrových systémech. Jde o nátěry potrubí, ocelových konstrukcí, litinových tvarovek nebo dřeva. Vhodné jsou k obnovovacím a oživovacím nátěrům starších asfaltových krytin a k lepení tepelně izolačních materiálů, např. desek z polyuretanu nebo desek na bázi minerálních vláken. Laky vyrobené na bázi modifikovaných asfaltů (MOAL) vytvářejí pružné nátěry umožňující přenášet i jistá mechanická namáhání.

Na povrchové úpravy střešních izolačních materiálů se zvláště dříve používaly reflexní laky nebo tmely. Ty obsahují kromě asfaltu a organického rozpouštědla i hliníkový pigment, který po zaschnutí vytváří stříbřitě lesklý povrch odrážející tepelné a světelné záření. Přispívá tak ke snížení povrchové teploty asfaltových krytin. Reflexní vzhled v prašném prostředí se ztrácí po 1 až 2 letech, ochranný účinek však trvá 3 až 5 let.

*Asfaltové tmely* zpracovatelné za studena jsou pak ještě hustší konzistence. Nanášejí se roztíráním pokrývačským kartáčem nebo stěrkou, ATS také stříkáním. Jde o výrobky z oxidovaných izolačních asfaltů rozpuštěných v organickém rozpouštědle s vhodným anorganickým plnidlem. Označují se ATS (stříkací) nebo ATN (nátěrové).

U nás je vcelku rozšířené používání těchto materiálů k opravám a vysprávkám zestárlých asfaltových krytin plochých střech do sklonu $10^{o}$ (ATN) či $5^{o}$ (ATS), případně k nátěrům plechových střech stejného sklonu. I tyto tmely mohou obsahovat hliníkové částice, které působí jako reflexní vrstva a přispívají tak k vyšší odolnosti teplotě, a tím k pomalejšímu stárnutí.

Výrobky z modifikovaného asfaltu MOAT mohou být použity k lepení tepelných izolací na bázi minerálních vláken, případně i desek z pěnového polystyrenu či k lepení dřevěných a dřevovláknitých desek, případně na vrchní vrstvy asfaltových střech.

Asfaltové tmely ukládané za tepla se nazývají *zálivky (tavné tmely)*. Zpracovávají se za horka při teplotách 150 až 200 $^{o}$C. Nacházejí uplatnění především v silničním stavitelství. Do roztavených tmelů nebo stěrek se někdy kladou izolační desky obvykle na bázi speciálních upravených asfaltů a vytvářejí se tak hydroizolační vrstvy.

Silniční hydroizolační systém spočívá v penetračním postřiku betonového podkladu, po jeho vyschnutí se celoplošně natahuje horká stěrka v tl. 3 – 5 mm. Ihned po jejím nanesení se do horké hmoty kladou speciální asfaltové ochranné desky. Na ty už je pak přímo kladen vozovkový kryt z asfaltobetonu. Desky chrání asfaltovou stěrku před poškozením staveništní dopravou při pokládce vozovkového souvrství. Navíc se spojí s podkladní stěrkou a zabrání tak pronikání vlhkosti do souvrství a vytvářejí ochranu stěrky před horkými vozovkovými kryty.

Výhodou tohoto systému je použitelnost i na mladé betony, jejichž vlhkost je pod 7 %, a to i za teplot pod bodem mrazu. Systém nachází uplatnění především u silničních mostů a parkovacích garáží. Je však použitelný i pro mosty železniční, rampy, terasy apod., na plochy vodorovné i svislé.

#### 4.9.6.4 Asfaltové emulze a suspenze

Asfaltové emulze a suspenze představují směs asfaltu a vody, kde je asfaltová hmota rozptýlena ve vodní fázi ve formě malých kuliček o průměru 1 až 5 μm za použití vhodného emulgátoru a stabilizátoru, například latexu kaučuku v množství 2 – 10 %. Hmoty dále obsahují bentonitové či jiné kaolinické plnidlo. Tím, že se hustoty vody a asfaltu příliš neliší, nedochází k sedimentaci a oddělení obou složek, a je tedy možné tyto hmoty poměrně dlouho skladovat bez změny původní kvality.

Princip vytvoření hydroizolační membrány spočívá v tom, že voda obsažená v materiálu po nanesení na konstrukci vysychá, emulze se štěpí, a tím dochází k vzájemnému spojení asfaltových částic a vytváření homogenní membrány.

Ke zlepšení vlastnosti emulzí se dále mohou použít přídavky polymerních látek, např. SBS kaučuku. Pak stěrka získává i větší pružnost a tažnost nutnou k překlenutí trhlin v podkladu. Přidávají se však i skleněná vlákna, granule polystyrenu či kaučuku.

Asfaltové emulze a suspenze se obvykle nanášejí ve formě stěrky nebo nástřikem v tloušťce po vyschnutí 3 až 4 mm z té strany konstrukce, odkud bude působit voda. Protože vysychající voda vytváří v položené vrstvě kapiláry, je nutné klást materiál ve dvou vrstvách, po vyschnutí prvé se dalším nátěrem vzniklé kapiláry zatřou.

Výhodou je, že hmota je ředěná vodou, a proto povrch podkladu nemusí být zcela suchý, nesmí však na něm stát souvislá vrstva vody. Materiál rovněž nelze do vyschnutí vystavit dešti ani mrazu, aby nedošlo k jeho odplavení, za mrazu pak k separaci vody a asfaltových částic. Emulze se uplatňují jako ochranné vrstvy nebo jako hmoty k opravě povlakových asfaltových krytin.

Asfaltové suspenze jsou kašovité až pastovité hmoty vyrobené z asfaltu s emulgátorem tvořeným jemně mletým bentonitem, případně obsahují vláknitou přísadu. Suspenze mohou obsahovat asfalt modifikovaný etylenvinylacetátovým kopolymerem. Tyto materiály jsou známé pod názvem gumoasfalt.

Na trhu jsou i dvousložkové suspenze používané jako tmel s tixotropními vlastnostmi. Asfaltová složka těchto tmelů se zahušťuje práškovitou příměsí urychlující tuhnutí.

Hustší asfaltové suspenze se nanášejí stěrkováním, řidší kartáčem, štětkou, případně i nástřikem v množství od 3 $kg.m^{-2}$ (u ochranných vrstev) do 6 $kg.m^{-2}$ (u krytin). Povrchově zasychají asi za 6 hodin, celá vrstva proschne za běžných teplotních (nejméně + 5 až 10 ºC) a vlhkostních podmínek asi za 48 hodin. Asfaltové emulze a suspenze obecně nejsou vhodné pro použití v systémech, kdy mohou přijít do styku s pitnou vodou.

### 4.9.6.5 Síroasfalt

K aktivitám v oblasti využití síry v asfaltech došlo koncem sedmdesátých let minulého století v USA, Kanadě a některých evropských státech. Tyto snahy souvisely se skutečností, že bylo třeba odstranit množství síry, která vznikala při odsiřovacích procesech zemního plynu, v rafineriích ropy a při zplyňování uhlí.

Síra, která tvoří dlouhé řetězce, má zvýšenou chemickou reaktivitu k maltenové fázi v asfaltu, přitom při chemické vazbě s asfaltem nastává dehydrogenizace, podobně jako při oxidačních procesech. Přídavek síry do asfaltu znamená:

zlepšení duktility za nízké teploty při zachování hodnot bodu lámavosti,

snížení teplotní citlivosti,

zvýšení pevnosti asfaltových vrstev a zmenšení deformací,

zvýšení odolnosti vůči účinkům vody i pohonných hmot,

zvýšení přilnavosti asfaltu ke kamenivu,

zvýšení odolnosti proti stárnutí.

Takto upravené asfalty je možné použít především v silničním stavitelství. Nespornou výhodou využití síry v asfaltu je skutečnost, že síra při teplotách 115 až 150 $^{o}C$ snižuje viskozitu směsi a to se příznivě projeví při obalování a hutnění za nižších teplot v silničním stavitelství. Přitom nahrazením části asfaltu sírou dochází i k jeho úspoře v množství až 30 %. Přidáním síry do asfaltu nastává v prvé fázi změkčování směsi, konečné vytvrzení trvá 1 až 6 měsíců.

Nižší viskozita směsi znamená, že je možné pracovat s nižšími teplotami při pokládkách, např. lité asfalty je možné položit již za teplot směsi 130 $^{o}C$ místo běžných 220 $^{o}C$ a více.

Přídavek síry je vhodný i při recyklaci starých asfaltů, kdy v důsledku snížení viskozity odpadá použití měkčícího oleje.

Bohužel se dosud nepodařilo dořešit ekologické otázky, tj. tvorbu sirovodíku $H_2S$ a oxidu siřičitého $SO_2$, které se uvolňují při vmíchávání síry do asfaltu zvláště za teplot nad 150 $^{o}C$. To je jedním z hlavních důvodů, proč se tato technologie úpravy asfaltu dosud neuplatnila v širším měřítku.

## 4.9.7 Dehet

Kromě asfaltů se v minulosti používal k izolačním účelům i dehet. Dehet vzniká při suché destilaci uhlí, dřeva, rašeliny nebo jiných organických surovin.

### 4.9.7.1 Kamenouhelný dehet

Dnes většina dehtu vzniká při výrobě koksu z černého uhlí. Jeho vlastnosti, podobně jako u asfaltů, umožňují stavební použití ve formě nátěrů či hotových dehtovaných pásů. Na rozdíl od asfaltu obsahuje dehet vysoké množství polyaromatických uhlovodíků (100krát i více než asfalt). Surový dehet má oproti asfaltu nižší bod měknutí, menší rozsah plastičnosti, rovněž bod vzplanutí bývá nižší. Zpracovává se sice při nižší teplotě než asfalt, při přehřátí se však snadno znehodnotí a obecně je méně trvanlivý.

Od poloviny 19. století se používá kreosotový olej (karbolineum či karbolka) – produkt získaný destilací kamenouhelného dehtu, pro impregnaci dřeva, které je v trvalém styku se zemí Do nedávné doby se karbolka široce užívala i pro nátěry dřeva vystaveného povětrnosti.

Vzhledem ke karcinogenním účinkům se dnes užití impregnačních olejů vyráběných destilací dehtu omezuje na průmyslovou tlakovou impregnaci (0,8 MPa a 110 °C) železničních pražců a sloupů venkovního vedení.

Pro likvidaci starých impregnovaných výrobků platí zvláštní předpisy v souladu se směrnicí REACH.

Jako materiál pro povlakové krytiny se dehet objevil před více než dvěma sty lety. Koncem 18. století se dřevěné stavby začaly pokrývat papírem, který se natíral černouhelným dehtem a přírodní pryskyřicí.

Počátkem 19. století byla ve Švédsku zahájena výroba izolačních pásů na bázi dehtů. Základem byl lepenkový papír, který se po obou stranách natíral roztaveným dehtem. Průmyslová výroba těchto pásů v Evropě byla zahájena v Eberswaldu v Německu a odtud se rozšířily do světa. Pásy mívaly vložku ze surové hadrové lepenky s impregnací černouhelným dehtem a krycí vrstvou z dehtové hmoty s posypem pískem, minerální drtí apod. Používaly se hlavně jako krytina šikmých střech, případně jako podklad pod trvalé azbestocementové či břidličné krytiny. Je možné se s nimi setkat i ve starých izolacích proti zemní vlhkosti nebo v izolacích starých mostů.

U nás se na bázi dehtu do 70. let minulého staletí vyráběly izolační pásy nepískované ( D 400/H, D 500/H, D 500/B) a pískované (DP 400/H, DP 500/H). Písmeno D v označení znamenalo pás dehtový, P pískovaný a H, resp. B, vložku z hadrové nebo buničinové lepenky.

Dehtové výrobky svými vlastnostmi zůstávají pozadu za výrobky z asfaltu, navíc jsou ekologicky a zdravotně závadné (dehet obsahuje fenoly a karcinogenní polyaromatické uhlovodíky), a proto se v současné době ve vyspělých státech

nepoužívají a jsou dokonce zakázány. Na silnice a střechy se proto používala tzv. smola, tj. dehet z něhož byly benzol a fenoly oddestilovány. Zaváděné EN pro hydroizolační výrobky už s tímto materiálem na izolace nepočítají.

V izolační technice ani v silničním stavitelství se dnes dehet až na výjimky nepoužívá. Může se však vyskytovat v obalovaných směsích starých vozovek a v případě jejich recyklace se tak v malém množství může objevit v recyklátu.

S dehtovými výrobky se tak můžeme setkat jen při rekonstrukcích starých objektů. Protože dehet nesmí přijít do styku například s pěnovým polystyrenem (dochází k jeho rozleptání), bývá nutné starý izolační materiál identifikovat.

Jednoduchá a zcela spolehlivá zkouška na rozlišení dehtu a asfaltu bohužel neexistuje. Norma ČSN 50 3602 uváděla dvě metody, a to podle rozpustnosti a podle zápachu a barvy. Obě nejsou však zcela spolehlivé. Při zkoušce rozpouštěním v petroleji se asfalt rozpouští na hnědý roztok, dehet pouze zbarvuje roztok do žlutozelena. Při zkoušce podle zápachu se ohřátý materiál s obsahem dehtu projeví pronikavým zápachem, asfalt má zápach slabší. Přesnější zkoušky jsou možné jen chemickou analýzou.

### 4.9.7.2 Dřevní dehet

Čistý dřevní dehet (tér) se získává pálením smolných oddenkových částí borovice (nejlépe kořenů) bez přístupu vzduchu. Je to tmavá tekutina medové konzistence.

Dřevní dehet lze pálit v podobných milířích, v jakých se pálilo dřevěné uhlí, jen s tím rozdílem, že místo bukového dříví se používá smolnatá borovice. Tato historická technologie je dodnes v Norsku předepsána pro staré dřevěné kostely (nazývané Stav-kirke), protože takto vypálený dehet je nejkvalitnější.

Jinak se dnes k výrobě používají rychleji pracující pyrolýzní reaktory.

Čistý tér je velmi obtížné aplikovat. Dřevní tér proto ředíme tradičně terpentýnem a lněnou fermeží.

Osvědčený nátěr je směsí 1:1:0,5 – tér : fermež : terpentýn.Přidáváním lněného oleje získáváme světlejší nátěr.

Prvotní využití dřevního dehtu ve středověku bylo pravděpodobně k impregnaci dřevěných staveb a v lodním stavitelství.

Dřevní dehet zde soutěžil se samotnou fermeží (připravovanou svářením lněného oleje) a fermežové nátěry nakonec zvítězily, zřejmě hlavně z estestických důvodů. Fermež dává světlejší barevnou úprav a protože nepáchne po fenolu (jako dřevní dehet), dá se použít i v interiéru.

## 4.10 Polymery

Termínem polymery označujeme makromolekulární sloučeniny, jejichž struktura je z převážné části tvořena vícenásobným opakováním stejného atomárního seskupení nazývaného strukturní jednotka. Běžný polymer obsahuje řádově sto až sto tisíc strukturních jednotek. Technicky využitelné polymery mohou být získávány úpravou přírodních makromolekulárních látek nebo je můžeme připravit pomocí *výstavbové reakce* z vhodných nízkomolekulárních látek.

K dosažení dostatečně velké molekuly, typické pro syntetický polymer, se výchozí látky musí účastnit výstavbové reakce vedoucí k látce s vyšší molekulovou hmotností. Protože molekulová hmotnost výchozích látek leží v rozmezí 28 – 250, musí se výstavbová reakce mnohokráte opakovat, než vznikne syntetický polymer. Celý pochod mnohonásobně se opakující reakce se označuje jako polyreakce.

Známe tři hlavní druhy polyreakcí:

polykondenzaci,

polyadici,

radikálovou polymeraci.

Prvé dvě reakce se někdy označují jako stupňovitá výstavbová polymerizace, radikálová polymerizace se někdy označuje jako řetězová polymerizace.

Rychlost reakce v případě stupňovité výstavbové reakce (polykondenzace nebo polyadice) postupně plynule klesá. Rychlost radikálové reakce naopak naroste během několika vteřin na stálou velikost, kterou pak polymerace dále probíhá.

Molekuly konečné délky se při polykondenzaci nebo polyadici objevují až těsně před ukončením reakce. Při radikálové polymeraci naopak vznikají v reakční směsi polymerní molekuly s maximální délkou hned na počátku reakce a s časem roste pouze jejich počet.

Vlastnosti základních makromolekulárních látek je možné dále upravovat dodatečným pospojováním molekul (dodatečným síťováním) a je rovněž možné kombinovat mezi sebou různé stavební jednotky nebo již hotové makromolekuly různých typů.

Úprava přírodních surovin hrála hlavní roli v počátcích technické makromolekulární chemie. V současnosti převládají čistě syntetické polymery, připravované pomocí polykondenzace, polyadice a iontové či radikálové polymerace.

Přesto, že syntetické polymery patří ve stavební praxi k materiálům s kratší historií a přesto, že jsou na stavbách používány v hmotnostním množstvím řádově menším než ostatní staviva, neobejde se dnes bez nich prakticky žádná stavba.

Řada konstrukčních prvků, montážních přípravků nebo zařizovacích předmětů je syntetickým polymerem (plastem) přímo tvořena a v mnoha dalších stavebních materiálech je nějaký syntetický polymer obsažen alespoň jako přísada.

Základní vlastnosti běžných polymerů *Tab. 4.143*

| Polymer | Zkratka | Hustota ($g.cm^{-3}$) | Pevnost v tahu (MPa) | E modul (v tahu) (GPa) | Tažnost (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Polyetylen LD | LDPE | 0,92 | 8 – 10 | 0,1 – 0,5 | 300 – 1000 |
| Polyetylen HD | HDPE | 0,95 | 15 – 25 | 0,6 – 1,4 | 100 – 1000 |
| Polypropylen[1] | PP | 0,91 | 30 – 38 | 0,1 – 0,5 | 300 – 800 |
| Polybuten | PB | 0,91 | 30 – 38 | 0,2 – 0,4 | 250 – 280 |
| Polytetrafluoretylen | PTFE | 2,17 | 25 – 36 | 0,4 | 350 – 550 |
| Polyvinylchlorid | PVC | 1,48 | 40 – 75 | 2,9 – 3,5 | 20 – 50 |
| PVC měkčený | mPVC | 1,25 | 10 – 25 | 0,1 – 0,4 | 170 – 400 |
| Polystyren | PS | 1,05 | 32 – 65 | 3,2 – 3,5 | 3 – 4 |
| Houževnatý polystyren | | 1,05 | 20 – 50 | 1,8 – 3,0 | 25 – 60 |
| Polymetylmetakrylát | PMMA | 1,18 | 60 – 80 | 3,0 – 3,3 | 5 – 6 |
| Polyetylentereftalát[1] | PET | 1,37 | 50 – 80 | 3,0 | 30 – 300 |
| Epoxidová pryskyřice | EP | 1,2 | 45 – 60 | 3,5 – 4,0 | 1 – 2 |
| Nenasycený polyester | UP | 1,2 | 25 – 30 | 3,0 – 3,5 | 1 |
| Polyisobutylen | PIB | 0,92 | 2 – 6 | ~ | >1000 |

Poznámka: U plastů označených [1] je uvedena mez kluzu místo pevnosti v tahu.

K zjednání dostatečného přehledu o polymerech ve stavebnictví se jako užitečné jeví obvyklé rozdělení na *termoplasty* (zahrnující hlavně kusové termoplastické výrobky) a *reaktoplasty* (které se na stavbě objevují buď jako vytvrditelná pojiva, nebo jako vytvrzené kompozity). Za relativně samostatné skupiny je dále možné považovat kaučuky a polymerní disperze.

### 4.10.1 Termoplasty

Termínem termoplasty se označují tuhé syntetické polymery, pro které je charakteristická schopnost přecházet ohřevem do plastické tvarovatelné konzistence a po následném ochlazení opět nabýt původní tuhosti a pevnosti.

Termoplasty jsou tvořeny řetězcovitými makromolekulami, které jsou za normální teploty sbaleny a poskládány do relativně tuhých útvarů nazývaných statistická klubka. Zvyšováním teploty se poskládané a sbalené části řetězců od sebe vzdalují. Řetězce či jejich části se stávají pohyblivějšími. To se navenek projevuje zvýšenou tvárností termoplastu.

Vlastnosti termoplastů do značné míry závisejí na tom, v jaké míře jsou v polymeru zastoupeny oblasti, ve kterých jsou řetězce (nebo alespoň segmenty řetězců) uspořádány do pravidelných struktur krystalického charakteru.

Závislost mechanických vlastností termoplastů na molekulové hmotnosti a krystalinitě *Tab. 4.144*

| Strukturní parametr | Charakter materiálu | | |
|---|---|---|---|
| molekulová hmotnost | <1000 | 1000 – 10 000 | >10 000 |
| vysoká krystalinita | materiál nemá polymerní charakter | tvrdý křehký | tvrdý pevný houževnatý |
| nízká krystalinita | | měkký voskovitý | tvrdý, křehký nebo pružný, ohebný |

Termoplastické polymerní řetězce se nejsnáze připravují z nízkomolekulárních sloučenin obsahujících alespoň jednu dvojnou vazbu mezi uhlíkovými atomy (C=C), která se při vhodné aktivaci může otevřít a následně spojit s další zanikající dvojnou vazbou. Molekula takto aktivované sloučeniny funguje jako stavební jednotka.

Prvotní otevření dvojné vazby zpravidla vyvolá radikál (reaktivní molekulární fragment) cíleně vnesený do monomerní suroviny.

Vlastní výstavba polymerního řetězce se pak uskutečňuje velmi rychlým a řetězovitě se šířícím otevíráním celé velké série dvojných vazeb, protože nově vzniklý molekulární útvar má rovněž schopnost okamžitě otevírat další dvojnou vazbu. Otevřená vazba se jedním koncem připojí k původnímu radikálu a na druhém konci působí jako nový radikál. Celý pochod se označuje jako radikálová (řetězová) polymerace.

Látka, která na začátku poskytla radikál k zahájení polymerační reakce, se označuje jako iniciátor radikálové polymerace a zpravidla je jí zapotřebí jen malé množství.

Schematicky můžeme vznik radikálu zapsat:

$R\text{-}R \rightarrow 2\ R\text{-}$

Účinkem vzniklého radikálu R- pak kupříkladu z etylenu vzniká polyetylen:

$R\text{-} + CH_2{=}\ CH_2 \rightarrow RCH_2\text{-}CH_2\text{-}$

$RCH_2\text{-}\ CH_2\text{-} + CH_2{=}\ CH_2 \rightarrow RCH_2\text{-}\ CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}$

$RCH_2\text{-}\ CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-} + CH_2{=}\ CH_2 \rightarrow RCH_2\text{-}CH_2\text{-}\ CH_2\text{-}\ CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}$

$R\text{-}(CH_2\text{-}CH_2)_x\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-} + R\text{-} \rightarrow R\text{-}(CH_2\text{-}CH_2)_n\text{-}R$

Poslední zapsaná rovnice znázorňuje terminaci (ukončení růstu polymerního řetězce), jeho reakcí s dalším radikálem. Počet molekul výchozí nízkomolekulární látky (monomeru) spotřebovaný na výstavbu celého řetězce se označuje jako polymerační stupeň (n).

V každém reálném vyrobeném termoplastu jsou vždy přítomny řetězce o různém polymeračním stupni.Tato skutečnost se označuje jako polydisperzita polymeru. K bližší charakteristice zastoupení jednotlivých hodnot polymeračního stupně se používají distribuční křivky či histogramy. Běžně se však spokojujeme s údajem o průměrném polymeračním stupni příslušného plastu nebo s údajem o polymeračním rozmezí (minimálním a maximálním polymeračním stupni).

Polymerační reakce probíhá velmi rychle a současně se zánikem dvojných vazeb se uvolňuje teplo (exotermická reakce). Reakční teplo ohřívá reakční směs a celý proces se tím dále urychluje. Při polymeraci většího množství čistého monomeru vzniká polymer ve formě homogenního bloku, ze kterého se obtížně odvádí teplo a celý proces blokové polymerace se stává těžko kontrolovatelný.

K vyřešení problémů s přílišným ohřevem se používá technika suspenzní polymerace spočívající v intenzivním rozmíchání polymerující suroviny. Reakce pak probíhá uvnitř malých kulovitých kapek obklopených vodou, které postupně tuhnou na pevné polymerní perličky. Voda se postará o dokonalý odvod tepla a výsledným produktem je granulát, který se od vody odděluje filtrací a před dalším zpracování se ještě suší.

S přísadou povrchově aktivních látek (smáčedel) lze polymerizující surovinu ve vodě rozptýlit až do podoby emulze. Polymerace pak probíhá v kapičkách mikronové velikosti. Produktem emulzní polymerace je polymerní disperze (latex), ze které je možné polymer izolovat v podobě jemného prášku, která se však často přímo používá jako lepidlářská či lakařská surovina.

Podobné použití jako emulzní polymerace má i roztoková polymerace uskutečňovaná v homogenní směsi monomeru a organického rozpouštědla. Produktem této reakce je roztok polymeru v rozpouštědle, který se většinou přímo dále využívá jako lakařské pojivo nebo rozpouštědlové lepidlo.

S polymerním granulátem nebo s práškovitým produktem emulzní polymerace se na stavbě prakticky nesetkáme. Na stavbu se termoplasty dostávají především v podobě kusových výrobků získaných tepelným vytvarováním výchozího polymerního produktu. Vlastní tvarování se provádí odléváním, vstřikováním, lisováním nebo kalandrováním (válcováním). Do zpracovávané polymerní směsi se přitom přidávají další aditiva (stabilizátory, pigmenty, plniva, maziva a změkčovadla) upravující zpracovatelnost polymeru i výsledné vlastnosti výrobku.

Pro mechanicky náročné aplikace se termoplasty vyztužují krátkými skleněnými vlákny. Tento způsob úpravy vlastností je oblíben zejména u dražších kopolymerů (SAN, ABS) používaných zatím převážně ve strojírenství.

Vlastnosti některých termoplastů plněných krátkými skleněnými vlákny Tab. 4.145

| Polymer | Obsah vláken (%) | Tahová pevnost (MPa) | Ohybový modul (GPa) |
|---|---|---|---|
| Polypropylen | 30 | 48 | 4 |
| Polyamid | 30 | 193 | 9 |
| Polykarbonát | 20 | 103 | 5 |
| SAN | 20 | 96 | 7 |
| ABS | 20 | 90 | 6 |

Termoplastické polymery vyráběné z jednoduchých nenasycených uhlovodíků s jednou dvojnou vazbou (olefinů) se označují jako polyolefiny. Jsou vyráběny v největším množství ze všech polymerů. Důvodem je dobrá dostupnost výchozích surovin a poměrně levná výroba. Polyolefiny jsou přitom dobře zpracovatelné a mají dobré uživatelské vlastnosti. Nejvýznamnějšími polyolefiny jsou polyetylen, polypropylen a poly-1-buten. Tyto tři polymery se podílejí na celkové polymerní produkci z více jak jedné třetiny.

Rozvojový potenciál polyolefinů přitom zřejmě ještě není vyčerpán. V poslední době se objevily polyolefiny připravované polymerací v přítomnosti katalyzátorů nového typu tak zvané metallocenové polymery, kterým se předpovídá dobrá budoucnost. Na významu nabývají také sofistikované směsi polyolefinů se zvýšeným elasticko-plastickým chováním (TPO materiály) používané pro výrobu tmelů a fólií.

K výhodám termoplastických výrobků patří principiální možnost recyklace opětným tepelným zpracováním granulátu získaného nadrcením recyklovaného výrobku. Praktické uskutečňování recyklace však ztěžuje směsný charakter separovaného plastového odpadu a skutečnost, že tímto odpadem jsou často různě kontaminované obaly.




01/PET – polyetylentereftalát, 03/PVC – polyvinylchlorid, 04/PE-LD – níz-kohustotní polyetylen, 05/PP – polypropylen a 06/PS – polystyren).

*Obr. 4.124* Úprava recyklačního symbolu a recyklační kódy pro hlavní plasty

Takzvaný směsný recyklát je vzhledově i mechanicky méně kvalitní než původní plast. Jeho příznivá cena však způsobuje, že se může dobře uplatnit při vytváření méně exponovaných stavebních prvků, které by jinak v plastovém provedení vycházely příliš drahé.

Vynikající kvalitu mají kupříkladu plastové zatravňovací dlaždice nebo plastové kabelové žlaby určené zabudování do země nebo betonu.

#### 4.10.1.1 Polyetylen

Polyetylen se vyrábí z etylenu a je polymerem s nejjednodušší možnou strukturní jednotkou. Strukturní jednotkou polyetylenu je metylenová skupina $CH_2$ a bylo by tedy vlastně možné polyetylen nazývat i polymetylenem, dává se však přednost názvu odvozenému od stavební jednotky.

n $CH_2$= $CH_2 \rightarrow$ -($CH_2$-$CH_2$)$_n$-

Podle způsobu výroby se získává polyetylen buď prakticky lineární, nebo se silně rozvětvenými řetězci. Rozdíl ve struktuře se zřetelně projevuje v hustotě vyrobeného polyetylenu.

Podle hodnoty hustoty se rozlišuje rozvětvený nízkohustotní polyetylen nazývaný LDPE (low density polyetylene) s hustotou okolo 920 $kg.m^{-3}$ a lineární vysokohustotní polyetylen HDPE (high density polyetylene) s hustotou okolo 955 $kg.m^{-3}$.

K větvení řetězců dochází především při polymeraci prováděné za vysokého tlaku a s ohledem na technologii výroby se LDPE označuje (zdánlivě paradoxně) jako vysokotlaký polyetylen a HDPE jako nízkotlaký polyetylen.

Lineární HDPE snáze krystaluje. V jeho struktuře nacházíme pravidelné snopečkovité útvary tvořené rovnoběžným uspořádáním krátkých úseků sousedících polymerních řetězců. Tyto krystality přispívají k větší stabilitě HDPE, která se navenek projevuje zvýšenou mechanickou pevností a teplotní odolností.

Oba druhy polyetylenu mají řadu společných vlastností. Bez ohledu na hustotu je polyetylen tuhou látkou voskovitého charakteru. Pokud není pigmentován je polyetylen bezbarvý, popřípadě mléčně zakalený.

V tenkých vrstvách je polyetylen dobře ohebný a používá se proto pro výrobu fólií. Vláčnější fólie poskytuje LDPE. Dobrá tvarová paměť tohoto materiálu se využívá při výrobě smršťovací fólie. Oproti tomu fólie z HDPE jsou pevnější a snášejí i vroucí vodu (varné sáčky). Vyšší pevnost HDPE umožňuje vyrobit tenké (a tudíž ekonomicky výhodné) fólie vhodné pro obalové účely (mikroten).

Relativní molekulová hmotnost běžně vyráběného LDPE a HPPE nepřesahuje 1000000.

Výrobkem s hmotností 3000000 - 6000000 ultravysokomolekulární polyetylen (UHMW – PE) používaný k výrobě konstrukčních desek a jako kluzný plast.

Voskovitý charakter polyetylenu a jeho špatná smáčivost způsobují, že polyetylenové výrobky je obtížné v běžných stavebních podmínkách lepit. Ke spojování polyetylenu se proto zatím používá prakticky výhradně svařování horkým vzduchem nebo spojování roztaveným přídavným materiálem stejného typu za současného ohřevu spojovaných ploch (extruzní svařování, polyfúzní spojování).

Lepení polyetylenu speciálními konstrukčními lepidly na akrylátové bázi může v budoucnosti aplikační možnosti polyetylenových výrobků ještě rozšířit. S lepidly nabízenými dnes pro tento účel však zatím ve stavebnictví není mnoho zkušeností. Ke zvýšení kvality lepeného spoje mají přispívat integrované skleněné kuličky, jejichž přítomnost v těchto lepidlech zajišťuje optimální šířku lepené spáry (0,2 – 0,3 mm).

Výraznou vlastností je stálost polyetylenu vůči chemickým činidlům. Za normální teploty odolává polyetylenová fólie středně koncentrovaným kyselinám včetně kyseliny fluorovodíkové, louhům a mnoha rozpouštědlům. Hodí se proto na obaly a izolační vrstvy.

Z hlediska chemické odolnosti je hlavním omezujícím faktorem při použit polyetylenu jeho nízká odolnost vůči rozpouštědlům za vyšší teploty a fakt, že některé organické látky (tuky, uhlovodíky, aminy, étery, ketony, estery) do struktury polyetylenu nasáknou a zvolna difundují zdánlivě neporušenou polyetylenovou vrstvou. U polyetylenových prvků vystavených napětí (nádrže z polyetylenových desek) může v přítomnosti rozpouštědel dojít ke koroznímu praskání.

Výraznou slabinou polyetylenových výrobků je jejich malá povětrnostní stálost. Neupravený polyetylen je totiž velmi citlivý na působení slunečního záření (má nízkou UV odolnost).

Povětrnostní odolnost lze zvýšit pomocí stabilizátorů a UV absorbérů. Velmi účinná je přísada černého pigmentu na bázi amorfního uhlíku (sazí). Z takto stabilizovaného polyetylenu jsou vyrobeny kupříkladu zahradnické fólie používané při pěstování jahod.

Jednotlivé typy HDPE nebo LDPE různých výrobců se liší hlavně stupněm polydisperzity a krystalinitou. Tyto veličiny ovlivňují teplotu tání, která se pohybuje od 105 ℃ až do 136 ℃.

Výraznou možností, jak ovlivnit tepelnou odolnost polyetylenu, je určité sesíťování jednotlivých makromolekulárních řetězců. Provádí se pomocí ozáření hotového výrobku nebo přísadou organických peroxidů do zpracovávané taveniny.

Sesíťovaný HDPE se používá na trubky podlahového topení. Takto upravený polyetylen (označovaný též jako PE-X) je obtížně svařitelný a trubky z tohoto materiálu se proto musí spojovat pomocí mosazných spojek.

Pro zapálený polyetylen je charakteristické hoření pokračující i po oddálení zapalujícího plamene. Hoření polyetylenu je provázené tavením a odkapáváním. Toto odkapáním je z hlediska požární bezpečnosti nežádoucí a zejména při navrhování izolací z pěnového polyetylenu je třeba tento faktor zohledňovat.

Lineární nízkohustotní polyetylén (LLD-PE) s typickou hustotou 0,920 g/cm3 se vyrábí s použitím Ziegler-Nattových katalyzátorů k polymeraci směsi ethylénu s 5 až 10 % butenu, hexenu nebo oktenu. Jedná se tedy fakticky o kopolymer. Na 1000 atomů uhlíku základního řetězce připadá až 100 prakticky stejně krátkých bočních větví jejichž délka určena typem použitého komonomeru.

#### 4.10.1.1.1 Fólie z polyetylenu

Oba druhy polyetylenu (jak LDPE, tak HDPE) jsou v širokém měřítku používány k výrobě obalových a hydroizolačních fólií. V současnosti patří polyetylenové fólie k nejběžnějším fóliím vůbec.

Přirozené vlastnosti polyetylenu tento materiál předurčují především pro zemní izolace všeho druhu, ať již jde o izolace proti tlakové vodě, izolace skládek, či izolace proti radonu.

Voskovitý charakter polyetylenu způsobuje, že polyetylenové povrchy jsou špatně smáčeny vodou. Tento efekt využívají pojistné hydroizolační fólie označované též jako paropropustné fólie. Používají se jako vrstva umisťovaná bezprostředně pod střešní krytinou sedlové střechy.

Nejběžnější paropropustná fólie se vyrábí perforací polyetylenové fólie mikroskopickými otvory umístěnými rozmístěnými v uzlových bodech pomyslné mřížky, jejíž buňky mají několikamilimetrové rozměry. Fólie sama je zhotovována z tvárnějšího LDPE, bývá však vyztužena spojením s řídkou tkaninou zhotovenou z HDPE.

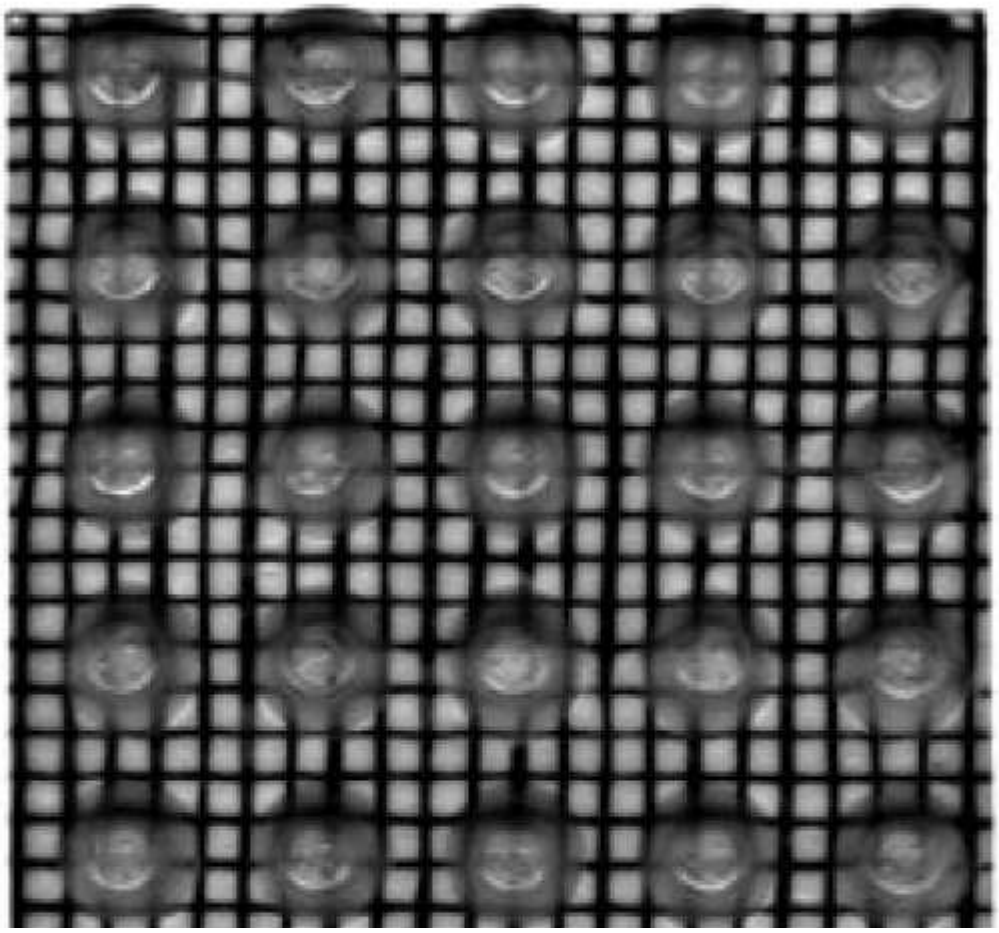
Jednodenní propustnost pro vodní páru takovýchto fólií se pohybuje od 20 $g.m^{-2}$ do 110 $g.m^{-2}$, pevnost má být nejméně 5 $kN.m^{-1}$.

Druhou možnost výroby paropropustné fólie představuje papírenské zpracování krátkých polyetylenových vláken. Tenká rohož připravená z těchto vláken se pro stavební účely zpravidla dodává v rolích. Jednodenní propustnost pro vodní páru je pro paropropustné rohože udávána v rozmezí 800 – 3000 $g.m^{-2}$.

Mikroskopické otvory a mikroskopické mezivláknité prostory se v důsledku špatné smáčivosti chovají jako vodonepropustné, únik vodní páry však umožňují.

Zcela odlišnou funkci (tedy funkci parotěsné zábrany) plní polyetylenová vrstva v antikondenzační fólii. Ta může být zhotovena z dobře tvarovatelného LDPE vyztuženého HDPE sítí a na svém povrchu nese vrstvu absorpční plsti. Fólie o plošné hmotnosti cca 125 $g.m^{-2}$ se upevňuje v podkroví přes krokve plstí směrem do interiéru.

Dobré mechanické vlastnosti HDPE jsou využívány při výrobě profilovaných fólií, jejichž profilace je obvykle tvořena rovnoběžnými řadami kopulek (nopů). Na první pohled tyto profilované fólie připomínají vystýlku do krabic na čokoládové bonbony, a proto se můžeme setkat se slangovým výrazem „bonboniéra“.



*Obr. 4.125* Nopová fólie

Kromě běžného použití k drenážním účelům jsou tyto nopové fólie použitelné i do podlahových konstrukcí kde mohou plnit zvukově izolační funkci. Dobrá tvarovatelnost polyetylenové taveniny umožňuje výrobu nopů s tenkostěnným pružným vrchlíkem. Deformací vrchlíku se absorbuje kročejová energie a dochází k útlumu kročejového hluku.

Ve spodní části kuželovitého pláště jsou kopulky silnější a fólie snáší rovnoměrné zatížení silou 2 $kN.m^{-2}$.

Profilovanou fólií je možné nahradit i vrstvu podkladního betonu při budování půdorysně rozlehlých staveb. Na zhutněný podklad se namísto podkladního betonu položí profilovaná fólie, nejlépe typ dostupný v širokých třímetrových rolích. Na fólii se použitím distančních podložek rozmístí betonářská výztuž a následně se provede betonáž podlahové desky.

K významným aplikacím profilovaných fólií patří v našich podmínkách ochrana proti radonu. Pro tento účel se používá fólie s relativně vysokými (20 mm) nopy.

Všeobecně se považuje vytvoření izolace z profilované fólie pro tento účel za daleko vhodnější než normální fóliová izolace, protože mezeru mezi profilovanou fólií a zeminou je možné snadno odvětrat mimo objekt. Nedochází tak k potenciálně rizikovému hromadění radonu pod fólií.

Na dobré zkušenosti s odvětráváním konstrukcí pomocí profilovaných fólií navazuje stavebnicový odvětrávací systém tvořený tuhými polyolefinovými kopulemi o výšce 80 – 450 mm, opatřenými na bocích čtyřmi polokruhovitými otvory. Jednotlivé kopule poněkud připomínají tradiční eskymácké obydlí. Tyto kopulovité prvky lze sesazovat do podoby souvislé nopové desky s vysokou nosností. Tato deska se pak překrývá vrstvou betonu.

S ohledem na velikost kopulí vzniká nad pokladem, pokrytým kopulemi relativně velký prostor pro expanzi vodních par a tento prostor je možné odvětrávat pomocí vhodně dimenzovaných komínků. Tímto způsobem lze velmi účinně vytvářet provětrávané podlahy, přičemž k vytvoření únosné vrstvy obvykle stačí, aby se na kopulích vytvořila relativně slabá betonová deska o tloušťce 30 mm.

Ve výrobě stavebních hmot nacházejí polyetylenové fólie široké použití při balení výrobků. Pro tyto účely se používá především LDPE, který je o něco levnější než HDPE.

Z LDPE se vyrábějí pytle, i oblíbené smršťovací fólie. K výhodám PE obalů se počítá nízká cena, snadná zpracovatelnost, chemická odolnost, zdravotní nezávadnost a vláčnost i za nízkých teplot. Nevýhodou PE při používání v obalové technice je poměrně nízká pevnost v tahu, hořlavost a zákal materiálu v tlustších vrstvách.

Zvláštní typ obalu představují polyetylenové fólie (LDPE) s příměsí těkavých inhibitorů koroze, které jsou s to chránit zabalené kovové výrobky před korozí po dobu až 5 let.

Pro výrobu náročnějších obalových typů fólií se jako perspektivní materiál jeví nově vyráběný metallocenový polyetylen (mPE), který je díky extrémně úzké distribuci molekulových hmotností (nízké polydisperzitě) bezbarvý a průhledný i v silnější vrstvě.

Z poslední doby jsou zprávy o použití fólií z LLD-PE pro izolace tunelů. Důvodem pro použití tohoto materiálu mají být příznivější požární vlastnosti.

#### 4.10.1.1.2 Polyetylenové desky

Polyetylenové desky se běžně vyrábějí z HD-PE. Při šířce 1000 - 1500 mm a tloušťce 1 – 50 mm mají obvyklou výrobní délku 3 – 6 m. Desky jsou vyráběny v přírodní nebo černé barvě a užívají se jako vystýlka nádrží nebo bazénů, případně i pro vzduchotechnické účely. Považují se lehce hořlavé (C3 podle ČSN 73 0823). Spojují se svařováním na tupo za přídavku pomocného materiálu. Pro jejich kvalitu a zkoušení platí ČSN EN 14632.

K vystýlkám sil, násypek a k obkladu stěn plavebních kanálů se používají desky z UHMW –PE. Poskytují kluzný a otěruvzdorný povrch.

#### 4.10.1.1.3 Polyetylenové potrubí

Od konce osmdesátých let minulého století zaznamenáváme prudký nárůst použití polyetylenových materiálů při provádění vnitřních vodovodních rozvodů a zároveň se dále rozšiřuje podíl polyetylenu i při zhotovování kanalizace.

Výhodou potrubí z HDPE je nízká hmotnost, pružnost a velmi dobré mechanické vlastnosti i při nízkých teplotách. Polyetylen odolává široké paletě chemických látek, včetně látek kyselého a alkalického charakteru. S ohledem na dobrou chemickou odolnost je možné potrubí z polyetylenu zabudovávat i přímo do betonových konstrukcí.

Pokud není HDPE tlakově namáhán, snáší nárazové teplotní zatížení až do 100 ℃. V běžném odpadu je tlakové namáhání minimální a odpadní voda v polyetylenovém potrubí proto může mít trvale teplotu až 80 ℃.

Polyetylen je vhodný jak pro kanalizační potrubí uložené v zemi, tak pro interiérové kanalizační potrubí. Interiérové kanalizační potrubí může být s výhodou provedeno z polyetylenu plněného kamennou moučkou. Takto upravený PE má větší hustotu, která výrazně zvyšuje útlum chvění ve stěnách potrubí při proudění vody. Tím se snižuje hlučnost při používání odpadu.

První polyetylenové trubky vyráběné v padesátých letech minulého století byly použitelné pro rozvody do vnitřního přetlaku 0,1 MPa. Postupným zvyšováním materiálové kvality a technologie spojování bylo dosaženo dnes obvyklé úrovně použitelnosti pro přetlak do 0,5 MPa. Teplota vody ve vnitřních rozvodech s tímto tlakem by při použití běžného HDPE neměla přesáhnout 40 ℃.

Na našem trhu jsou však i PE potrubí určená pro vyšší teploty. Pro rozvod horké vody se používá zejména PE-X, který má zvýšenou teplotní odolnost.

Prosazují se i vícevrstvé trubky jejichž vnitřní vrstva je tvořena síťovaným polyetylenem, střední vrstvu tvoří trubka z hliníku a vnější vrstva z normálního HDPE. Takovýto systém je možno použít i pro rozvod s provozním tlakem 1 MPa a trvalou teplotou vody 70 ℃.

Pro potrubní polyetylenové systémy rozvodů vody byl vydán soubor norem ČSN EN 12201-1 – ČSN EN 12201-5.

Je třeba rovněž připomenout, že kanalizační potrubí je výrobkem, jehož vlastnosti jsou povinně ověřovány, protože jeho kvalita je významná pro životní prostředí (normami pro PE kanalizační potrubí jsou především ČSN EN 13244-5, ČSN EN 12666-1, ČSN EN 13598-1).

#### 4.10.1.1.4 Expandovaný polyetylen

Vytlačováním (extruzí) taveného polyetylenu syceného plynem se vyrábí lehčený (pěnový) polyetylen. Při objemové hmotnosti okolo 35 $kg.m^{-3}$ vykazuje součinitel tepelné vodivosti 0,045 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Pro podlahové účely se používá pěnová fólie tloušťky 5 mm. Účinkem zatížení 2 $kN.m^{-2}$ se stlačuje pouze o 10 %, je tedy pochůzná. Index izolace kročejového hluku činí 60 dB.

K výhodám výrobků z expandovaného polyetylenu patří dobrá flexibilita i relativně silných (10 mm) pásů a snadná úprava formátu řezáním. Podobné vlastnosti mají i pružné trubice z extrudovaného polyetylenu, které se používají k izolaci potrubí.

Fólie z pěnového PE o tloušťce 2 – 3 mm používané jako parozábrana jsou ve výrobě opatřovány uzavírací povrchovou vrstvou tvořenou LDPE fólií (0,1 – 0, 2 mm). Reflexní fólie stejné tloušťky jsou na povrchu opatřeny buď fólií z polyetylentereftalátu, která je pokovena hliníkem, nebo přímo hliníkovou fólií.

#### 4.10.1.1.5 Ostatní výrobky z polyetylenu

Polyetylen se používá ve stavebnictví pro řadu drobnějších prvků, obalů a pomocných přípravků. Z polyetylenu se zhotovují kbelíky, dózy, přepravky, kartuše, hladítka, distanční podložky. I stavební ochranné přilby jsou zhotovovány z HDPE.

Polyetylen patří mezi relativně snadno recyklovatelné plasty, protože je dobře tavitelný. Ani v jeho případě se však nevyhneme problémům způsobeným znečištěním odpadní suroviny a skutečností, že recyklát je vždy složen z různě pigmentovaného a různě modifikovaného materiálu.

Recyklovaný polyetylen se proto používá na méně náročné výrobky, například pro výrobu ochranných a drenážních pásů připravovaných natavováním vloček z recyklovaného PE na nosné a filtrační rouno. Pás o tloušťce 30 mm má stejnou drenážní účinnost jako 300 mm silná vrstva štěrku 16/32. Hmotnost pásu je přitom pouhých 2,8 $kg.m^{-2}$, a tak může být s výhodou použit jako drenážní vrstva, která je součástí střešního souvrství vytvářeného při zřizování zatravněné ploché střechy.

### 4.10.1.2 Polypropylen

Polypropylen (PP) je druhý nejvýznamnější polymer ze skupiny polyolefinů. Připravuje se polymerací propyleny (propenu). Od polyetylenu se liší pravidelně rozmístěnými metylovými skupinami, přítomnými namísto vodíku na každé druhé metylenové skupině:

$n\ CH_3CH{=}CH_2 \rightarrow -(CH(CH_3)-CH_2)_n-$

Zdánlivě nepatrný rozdíl ve struktuře, způsobený přítomností metylových skupin na základním řetězci, umožňuje vznik několika odlišných typů polypropylenového polymeru. Jednotlivé typy se liší orientací metylových skupin v prostoru.

Pro stavební účely má největší význam izotaktický polypropylen ve kterém jsou všechny (nebo skoro všechny) metylové skupiny uloženy na téže straně polymerního řetězce.

Izotaktický polypropylen je podobný HDPE, liší se od něj nižší hustotou a vyšší teplotou měknutí. Lépe odolává korozi za napětí a má vyšší pevnost, tvrdost a odolnost proti oděru. Při teplotách pod 0 °C je k řehký. Existují modifikované typy použitelné i při -7 °C (modifikace pro tento ú čel se provádí přísadou 15 – 30 % butylkaučuku nebo přísadou 5 – 10 % přírodního kaučuku).

Zároveň s izotaktickým polypropylenem vzniká ataktický polypropylen, ve kterém je orientace metylových skupin vůči polymernímu řetězci náhodná.

Ataktický polypropylen (označovaný též jako amorfní polypropylen) je těstovitá hmota dobře rozpustná v alifatických rozpouštědlech. Na obsahu ataktického podílu závisí kvalita výrobků z izotaktického polypropylenu. S rostoucím obsahem ataktického polypropylenu se jejich vlastnosti zhoršují a ataktický polypropylen (APP) se proto z izotaktické suroviny při výrobě odstraňuje.

Odstraněný ataktický podíl byl původně obtížným odpadem, dnes se však používá jako vysoce významná přísada do lepidel a asfaltových hmot.

Povětrnostní odolnost polypropylenu je velmi nízká a ani přísada stabilizátorů neposkytne polypropylenovým výrobkům dokonalou ochranu. V zemi je odolnost polypropylenu dobrá a používá se proto ke zhotovení kanalizačního potrubí v chemickém průmyslu.

Pro interiérové kanalizační potrubí se vyrábí (podobně jako v případě HDPE) silnostěnné trubky z polypropylenového kompozitu plněného minerální moučkou, zvyšující měrnou hmotnost materiálu na hodnotu zhruba 1,6 $g.cm^{-3}$. Takové potrubí je při provozu méně hlučné.

O lepení polypropylenu platí totéž co v případě polyetylenu. V současné době se polypropylen převážně svařuje, se speciálními lepidly pro spojování polyolefinů v podmínkách stavby je zatím jen málo zkušeností.

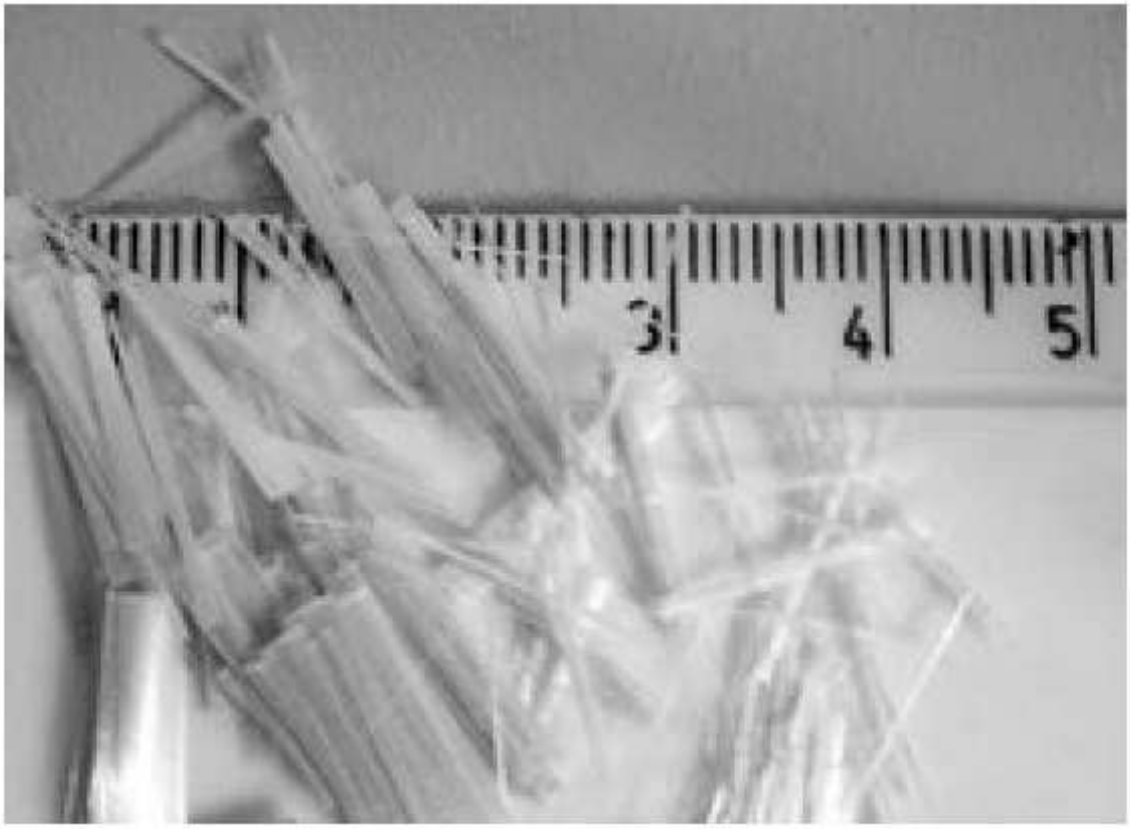
Polypropylenové desky se vyrábějí v analogických rozměrech jako desky z HD-PE a mají i stejné použití. V nabídce je poněkud širší barevný sortiment kromě přírodní mléčné barvy je k běžně dispozici šedá, hnědá, modrá, černá a další barvy podle přání zákazníka. PP desky jsou vyráběny v souladu s normou ČSN EN 15013. Jsou lehce hořlavé (stupeň hořlavosti dle ČSN 73 08 23 - C3).Z polypropylenu se dají vyrábět vcelku kvalitní, málo krčivá, vlákna. K jejich výhodám patří biologická stálost, špatně však odolávají slunečnímu záření a jsou obtížně vybarvitelná. Tyto vlastnosti nepředstavují žádné omezení při výrobě geotextilií a geotextilie se také vskutku z polypropylenu často vyrábějí (viz kap. 4.12).

Polypropylenová vlákna se používají také při výrobě vláknobetonu (viz kapitola 4.6.7.6). Vlákna používaná pro tento účel jsou v zásadě dvojího typu: monofilamentní (vlasová, tažená) a fibrilovaná (označovaná též jako síťovaná).

Monofilamentní vlákna se vyrábějí vytlačováním taveniny tryskou do vzduchu s následným zachycením vlákna jeho tažením. Jsou tedy kruhová. Fibrilovaná vlákna se vyrábějí rozvlákněním (nařezáním) předepnuté folie. Jsou tedy pásková.

Vlasová vlákna jsou 3 – 12 mm dlouhá o tloušťce cca 0,02 mm. Na povrchu jsou obvykle opatřená lubrikací zaručují dobré smočení. Počet vláken v jednom kilogramu vlákenné přísady se pohybuje ve stovkách milionů. Za optimální se považují vlákna zvlněná (zkadeřená) ve kterých připadá 10-12 obloučků na 10 mm délky.

Dávkují se obvykle 2 – 3 g vláken na jeden kilogram cementu v betonové směsi. Hlavním efektem monofilamentních vláken je omezení vzniku a rozvoje trhlin tuhnoucím plastickém betonu.




*Obr. 126* Vlasová PP vlákna pro určená jako přísada do malty nebo betonu

Fibrilovaná vlákna jsou hrubší ( typický průřez 0,03 x 0,1 mm) a u betonu v plastickém stavu tedy mají menší výztužný účinek. Vyšší je naopak výztužný účinek v zatvrdlém betonu.

Nově se objevila i vysokopevnostní vlákna (s tahovou pevností cca 700 MPa) na bázi polypropylenového kopolymeru tvořená svazky zkroucených monofilamentních a fibrinových vláken.

Vysokopevnostní vlákna se dávkují v množství odpovídajícím 0,2 – 2 % z objemu betonu a výrazně zvyšují jeho houževnatost.

Oba typy vláken je možné použít současně, vlastnosti obou typů vláken se v tomto případě doplňují.

Použitím polypropylenových vláken se také zvyšuje žárová odolnost betonové konstrukce a betony s PP vlákny se proto používají při výstavbě kleneb dálničních tunelů (u nás je takto řešen tunel v Klímkovicích u Ostravy).

Zvýšená požární odolnost vláknobetonu spočívá v tom, že při vystavení betonu požární teplotě dochází k vypaření polypropylenových mikrovláken a vytvoření jemných pórů v betonové konstrukci. Protože beton se v důsledku silného žáru může do pórů rozpínat, je zmenšena míra destrukce, odprýskávání a odpadávání požárem zasaženého betonu.

Tvrdá polypropylenová pěna byla s úspěchem navržena pro výrobu svodidel chránících před nárazem do stromů. Polypropylenové bariéry vykazují lepší vlastnosti než ocelové zábrany.

#### 4.10.1.3 Poly-1-buten

Poly-1-buten má na každém druhém uhlíku metylenového řetězce, namísto jednoho z metylenových vodíků, etylenovou skupinu:

$-(CH(CH_2CH_3)-CH_2)_n-$ .

Patří k novějším typům plastů polyolefinového typu. Dá se snadno připravit zhruba s desetkrát větší molekulovou hmotností než HDPE. Tato skutečnost spolu s vysokou krystalinitou je příčinou velké odolnosti poly-1-butenu proti korozi za napětí a rovněž odolnosti proti tečení.

Vysoká úroveň mechanických vlastností umožňuje vyrábět z poly-1-butenu trubky s tenčími stěnami než případě HDPE a PP. Filmy z PB mají vysokou odolnost proti přetržení a poly-1-buten se proto používá při výrobě fóliových pytlů na těžké náklady. Je pravděpodobné, že použití poly-1-butenu ve stavebnictví ještě poroste.

#### 4.10.1.4 Ostatní polyolefiny

Polyizobutylen (PIB) se připravuje polymerací 2-metyl-1-propenu (izobutylenu). Polymerace probíhá snadno a PIB je proto nejstarším průmyslově vyráběným polyolefinem (od r.1930). Podle polymeračního stupně získáváme PIB jako lepivou pryskyřici nebo jako kaučukovitý materiál. Samotný PIB (homopolymer) se používá jako složka lepidel, v kombinaci s malým množstvím izoprenu dává významný butylkaučuk.

Butylkaučuk je elastomer širokého použití. Je velmi plynotěsný a používá ke zhotovování pneumatikových vzdušnic. Dvě metylenové skupiny na každém druhém uhlíku účinně tlumí kmity molekulárních segmentů a PIB se proto využívá pro výrobu tlumicích prvků.

K novějším polymerům naopak patří poly-4-metyl-1-penten (PMP), který má dvě metylové skupiny na každém čtvrtém uhlíku řetězce.

Přítomnost terciárního uhlíku zvyšuje citlivost k fotooxidační degradaci, a PMP proto není vhodný pro vnější použití. Nejvíce se uplatňuje při výrobě osvětlovacích prvků, protože je průhledný a rozměrově stabilní. Teplotní odolnost PMP je dobrá, krátkodobě je použitelný až do 150 ºC. Zajímavá je mimořádně nízká hustota polymetylpentenu (0,83 $g.cm^{-3}$).

### 4.10.1.5 Polyvinylchlorid

Polyvinylchlorid je jedním z nejdůležitějších stavebních termoplastů. Z hlediska množství zaujímá mezi používanými polymery druhé místo (hned za olefiny, které se tradičně uvažují společně). Jeho použití ve stavebnictví je mimořádně široké. Používá se k oplášťování kabelů, ke zhotovení střešních krytin, vyrábí se z něj podlahoviny, okenní rámy, desky k obkládání fasád, fólie do havarijních jímek, slouží i jako odpadní potrubí v domovních instalacích.

Základní surovinou pro výrobu polyvinylchloridu (PVC) je chloretylen (vinylchlorid). Podle způsobu jeho polymerace získáváme buď granulární suspenzní polyvinylchlorid, nebo jemně práškovitý emulsní polyvinylchlorid.

V metylenovém řetězci je na každém druhé uhlíku, namísto jednoho z vodíků, atom chloru:

n $ClCH=CH_2 \rightarrow$ n -$(ClCH-CH_2)$- .

Přítomnost relativně objemného chlorového atomu na každém druhém uhlíku metylenového řetězce podstatně ovlivňuje vlastnosti vyrobeného polymeru.

Značně objemný chlorový atom především omezuje pohyblivost polymerního řetězce. Čistý polyvinylchloridový polymer je proto ve srovnání polyolefiny těžce zpracovatelný. Je poměrně křehký a nemá při roztavení dobré tokové vlastnosti.

Polyvinylchlorid je navíc tepelně méně stálý než polyolefiny a při vyšších teplotách, které by jeho zpracování vyžadovalo, již dochází k částečnému rozkladu. To všechno vede k nutnosti používat při zpracování PVC pomocné látky, zejména stabilizátory, změkčovadla a maziva.

Na druhé straně přináší přítomnost chlorového atomu do molekuly polymeru i pozitivní vlastnosti. Za jednu z hlavních je možné považovat lepitelnost. Snadnost spojování PVC výrobků lepením se podstatnou měrou podílí na praktickém rozšíření PVC a před zdokonalením svářecích technologií používaných ke spojování polyolefinů neměly ve stavebnictví PVC fólie konkurenci.

Halové atomy jsou známé jako účinné inhibitory spalovacích procesů a polyvinylhalogenidy jsou proto těžce hořlavé a po vyjmutí ze zapalujícího plamene uhasínají. Ani polyvinylchlorid není v tomto směru výjimkou.

Samozhášivost PVC vedla k tomu, že byl navrhován a používán jako izolační plášť elektrických kabelů v prostorách ohrožených požárem nebo v prostorách špatně přístupných pro hasební zásah (kabelové šachty).

To se dnes již nepovažuje za vyhovující řešení, protože v případě požáru vzniká při tepelné destrukci polyvinylchloridu vždy určité množství prudce jedovatého karbonylchloridu (fosgenu) a není vyloučen ani vznik supertoxického tetrachlorbenzendioxinu. Ze stejného důvodu se polyvinylchloridový odpad nemůže likvidovat spalováním.

#### 4.10.1.5.1 Výrobky z tvrdého PVC

Jak bylo konstatováno výše, ke zpracovávanému PVC granulátu nebo PVC prášku se vždy musejí přidávat pomocné látky, působící jako změkčovadla a snižující bod měknutí polyvinylchloridu.

Při obsahu změkčovadla do 12 % se získává tvrdý polyvinylchlorid vhodný pro výrobu desek, trubek a instalatérských prvků (armatur).

Nepříliš vhodný termín neměkčený polyvinylchlorid (PVC-U) je v evropských normách používán pro polyvinylchlorid měkčený jen v míře nezbytné pro zpracování výchozího polymeru.

Výrobky z tvrdého polyvinylchloridu se dají dobře lepit a svařovat. Snadno se tvarují ve vroucí vodě nebo horkém vzduchu. Dnes se však na stavbě tvarování PVC trubek prakticky neprovádí a veškeré změny směru se při montáži řeší pomocí prefabrikovaných tvarovek (kolen).

Trvalé teplotní namáhání výrobků z tvrdého polyvinylchloridu je omezeno jen na 60 ℃. Nejb ěžnějším výrobkem z tvrdého PVC je umyvadlový zápachový uzávěr (sifon).

Z tvrdého PVC se vyrábí i korugované roury pro kanalizační účely. Jsou to roury, jejichž stěna je spirálovitě zesílena dutými prstenci tak, že roury jsou na povrchu profilované (vnitřek zůstává hladký). Takto provedené roury mají při nízké hmotnosti dobré mechanické parametry.

Technikou biaxiálního tažení se vyrábějí průhledné PVC desky se zvýšenou pevností a rázovou odolností.

Lehčený tvrdý polyvinylchlorid je dobře opracovatelný a používá na výrobu různých těsnicích profilů a v nábytkářství.

Okapové žlaby a tvarovky z neměkčeného PVC jsou u nás normovány v ČSN EN 607 a podrobně je upraveno i zkoušení PVC-U profilů pro výrobu oken a dveří (ČSN EN 477 – 479 a ČSN EN 513 – 514).

Dodatečným chlorováním tvrdého PVC se připravuje chlorovaný polyvinylchlorid (CPVC), který má asi o 20 ℃ vyšší odolnost a je po užitelný i pro trubky na horkou vodu. Zásadní výhodou horkovodního potrubí z CPVC je jednoduchost montáže, protože tvarovky, kolena i ventily se s vlastním potrubím snadno spojují lepením.

Potrubí z CPVC chráněné proti přímému účinku požáru předepsaným obkladem je použitelné i k dodávce vody do požárních hydrantů.

Srovnání vlastností polyvinylchloridu a chlorovaného polyvinylchloridu používaného pro výrobu plastových rozvodů přináší *tab. 4.146.*

Srovnání potrubních materiálů z polyvinylchloridu a chlorovaného polyvinylchloridu *Tab. 4.146*

| Materiál | PVC | CPVC |
|---|---|---|
| Pevnost v tahu (MPa) | 48 | 58 |
| Pevnost v ohybu (MPa) | 100 | 108 |
| Pevnost v tlaku (MPa) | 62 | 62 |
| Modul pružnosti v tahu (GPa) | 2,76 | 2,90 |
| Hustota ($g.cm^{-3}$) | 1,41 | 1,57 |
| Součinitel tepelné vodivosti ($W.m^{-1}.K^{-1}$) | 0,22 | 0,16 |
| Součinitel tepelné délkové roztažnosti ($K^{-1}$) | 0,00005 | 0,00006 |
| Tvrdost podle Rockwella | 110 | 120 |

Polyvinylidenchlorid (dva chlorové atomy na každém druhém uhlíku) je podobný PVC. Má lepší mechanické vlastnosti, ale hůře se zpracovává. Proto se často používá ve směsi s PVC.

#### 4.10.1.5.2 Výrobky z měkčeného PVC

Měkčený polyvinylchlorid (mPVC) obsahuje 20 – 40 % změkčovadel a používá se na výrobu hydroizolačních fólií, podlahovin, pružných hadiček a různých drobných předmětů.

Množství a druh použitého změkčovadla podstatnou měrou ovlivňuje uživatelské vlastnosti. Fólie určené do chemicky exponovaného prostředí musí být vyráběné s přísadou těžko extrahovatelných změkčovadel, fólie určené k povětrnostní expozici musí mít změkčovadla teplotně a UV stabilní.

Jednotlivé druhy fólií z mPVC se proto mezi sebou dosti liší, zejména pokud se týče odolnosti vůči okolnímu prostředí.

Nelze zaměňovat obyčejné hydroizolační fólie, fólie střešní, fólie bazénové, fólie pro izolaci skládek a fólie na ochranu proti ropným látkám.

Na bázi PVC se vyrábí biaxiálně protažená fólie s tvarovou pamětí, která se používá ke zhotovování stropních podhledů. Při plošné hmotnosti 180 $g.m^{-2}$ se jedná o mimořádně lehkou konstrukci, která je přitom schopná ochránit interiér i před havarijním průsakem vody z vyššího podlaží nebo spadem nečistot z nekvalitního stropu.

Fóliový PVC podhled se vyrábí v řadě barev a dezénů. Používá se především k estetickému dořešení interiéru.

Jeho montáž spočívá v tom, že se okraje smrštitelné fólie, zhotovené na míru, v celé délce uchytí do ukončovacího profilu předem připevněného ke zdi. Profil kopíruje v místě budoucího podhledu celý obvod místnosti. Následným ohřevem se fólie dokonale vypne.

Část měkčeného polyvinylchloridu se zpracovává ve formě pasty, která se nanáší za tepla nebo za studena na vhodný nosič. Tyto pasty se označují jako plastisoly nebo organosoly. Používají se pro chemicky odolné nátěry, pro povrchovou ochranu klempířských střešních prvků a pro nátěry spodků aut.

Nanášením mPVC past na textilní podložky (nejčastěji polyesterové) se vyrábějí materiály pro výrobu ochranných plachet, vodotěsných vaků a nafukovacích hal. Stejným způsobem se zhotovují i osobní ochranné pracovní pomůcky (rukavice, holinky).

### 4.10.1.5.3 Lepení PVC

Snadná lepitelnost výrobků z PVC nemalou měrou přispěla k rozšíření PVC výrobků do stavební praxe. k vzájemnému slepení dvou kusů tvrdého PVC se používá lepidlo připravované rozpouštěním chlorovaného PVC ve směsi metylenchloridu s metyletylketonem. Výtečné výsledky lze získat i použitím polyuretanových lepidel.

Pro lepení výrobků z tvrdého PVC na jiné hmoty se uplatňují kaučuková lepidla a při lepení na savé podklady i lepidla disperzní.

Fólie z měkčeného PVC se spojují metylenchloridovým roztokem chlorovaného PVC nebo lepidly kaučukovými.

Kromě rozpouštědlových lepidel kaučukového typu je možné provádět lepení mPVC i pomocí tetrahydrofuranu.

Tetrahydrofuran (THF) patří mezi cyklické étery a je to velmi těkavá a hořlavá kapalina, která při nanesení na povrch měkčené PVC fólie rychle difunduje do její struktury a vytváří vrstvičku lepivého gelu. Absorbovaný tetrahydrofuran opět rychle z mPVC odtěkává a původní vlastnosti mPVC se obnovují.

Při lepení pomocí THF se proto musí postupovat tak, že se tetrahydrofuran nanáší speciálním štětcem mezi dvě spojované fólie a obě zvlhčené plochy se k sobě okamžitě pevně přitiskují tlakem pomocného válečku. Rychlost i způsob provádění tohoto lepení připomínají horkovzdušné sváření. Lepení pomoci THF se proto označuje jako studené svařování.

Provedené spoje se ještě pojišťují „housenkou“ PVC pasty vytlačovanou z trysky o průměru 3 mm. Tato pasta se připravuje rozpouštěním malých ústřižků příslušné PVC fólie ve čtyřnásobném množství tetrahydrofuranu.

Při práci s tetrahydrofuranem je třeba dbát náležité opatrnosti. Tetrahydrofuran vře při 65 °C a i za normální teploty snadno těká. Jeho páry jsou těžší než vzduch, snadno vzplanou a mohou i vybuchnout. Tetrahydrofuran je toxický a jeho páry mají narkotické účinky.

PVC podlahoviny se lepí na podklad pomocí chloroprenového kaučuku, nebo se používají hygienicky příznivější lepidla disperzní. Jednotlivé pásy položené a k podkladu přilepené podlahoviny se mezi sebou svařují za použití přídavné PVC šňůry. Vzniká tak fakticky bezespárá plocha, která se snadněji udržuje.

#### 4.10.1.5.4 Kopolymerní PVC

Kopolymery vinylchloridu s jinými monomery se obecně vyznačují menší tvarovou stálostí a lepší zpracovatelností. Účinek kopolymerní přísady lze tedy přirovnat k účinku změkčovadla. Některé kopolymery se označují prostě jako houževnatý polyvinylchlorid, aniž by se výslovně uváděl druhý použitý monomer.

Kopolymery s přísadou chlorovaného polyetylenu jsou vhodné pro výrobu okenních rámů, okapových žlabů či fasádních panelů, protože jsou povětrnostně odolné.

### 4.10.1.6 Polystyren

Plasty na bázi polystyrenu zaujímají svým objemem výroby třetí místo na světě za polyolefiny a polyvinylchloridem.

Polystyren (PS) se připravuje ze styrenu (vinylbenzenu), který je za normální teploty kapalný a dá se dobře polymerovat v bloku nebo suspenzi. V základním metylenovém řetězci tvořícím polystyrenovou molekulu je místo jednoho vodíku na každém druhém uhlíku navázán šestičlenný aromatický kruh (fenyl).

$$n\ C_6H_5\text{-}CH{=}CH_2 \rightarrow \text{-}(CH(C_6H_5)\text{-}CH_2)_n\text{-}$$

Vzniklý polymer je tvrdý, ale dosti křehký. Samotný polystyren má velký sklon ke vzniku korozních trhlin za napětí, zejména při styku s povrchově aktivními látkami, benzíny, tuky a alkoholy. To jeho použití omezuje.

Snížení křehkosti polystyrenu se provádí kopolymerací styrenu s dalším kaučukovitým monomerem (butadienem) nebo mechanickým smísením polystyrenu s kaučukem ve vyhřívaném homogenizéru. Přítomnost dvojných vazeb v kaučuku zhoršuje odolnost proti stárnutí. Tato skutečnost se dá stabilizací napravit jen částečně a houževnatý polystyren proto nelze doporučit pro venkovní aplikace.

Velmi dobré mechanické vlastnosti při ještě únosné ceně mají kopolymery styrenu s akrylonitrilem a butadienem (ABS) a samotným akrylonitrilem (SAN).

Značné množství styrenu se ve stavebnictví spotřebovává v podobě lehčeného polystyrenu. Lehčený polystyren se pro stavební účely vyrábí buď expanzní, nebo extruzní technologií.

#### 4.10.1.6.1 Expandovaný polystyren

Expandovaný polystyren je nejběžnější hmotou pěnového charakteru používanou v současném stavebnictví.

S ohledem na hodnotu součinitele tepelné vodivosti (která u expandovaného polystyrenu činí okolo 0,04 $W.m^{-1}.K^{-1}$) je používán převážně pro tepelně izolační výrobky, některé aplikace však využívají i nízkou objemovou hmotnost expandovaného polystyrenu, mimořádně snadné dělení polystyrenových desek a snadné vyřezávání i složitých tvarů.

Výroba expandovaného polystyrenu

Technologie výroby expandovaného polystyrenu (EPS) pochází z roku 1949. Spočívá v suspenzní polymeraci směsi styrenu a pentanu, kterou se nejprve připravuje zpěňovatelný polystyrenový granulát. Granulát má podobu tvrdých zhruba milimetrových perliček polystyrenu obsahujících 6 – 7 % pentanu. Lehce vroucí pentan (b. v. 36 ºC) slouží jako nadouvadlo.

Vyrobený perličkový granulát se předpěňuje při teplotě cca 100 ℃, čímž se vytvoří částečně napěněné kuličky o průměru zhruba trojnásobném. Objem kuliček vzrůstá dvacetkrát až padesátkrát. Předpěněné kuličky se nechají odležet a po několika dnech se ve vhodných formách dalším ohřevem dokončuje expanze spojená tentokráte se vzájemným slepením expandujících kuliček do celistvého bloku.

Vyrobené bloky se pak krájí na desky nebo i na složitější tvary. k řezání složitějších tvarů se používá horký drát. V některých případech se provádí napěňování přímo do konečné podoby výrobku.

Vlastnosti expandovaného polystyrenu

Základní charakteristikou EPS je jeho objemová hmotnost. Expandovaný polystyren může být vyráběn v širokém rozmezí objemové hmotnosti od 5 do 100 $kg.m^{-3}$, v praxi jsou však nejčastější hodnoty 20, 25 a 35 $kg.m^{-3}$.

V poslední době byla technika napěňování přímo do konečné podoby výrobku použita k výrobě desek s objemovou hmotnosti zvýšenou na 100 - 400 $kg.m^{-3}$. Takto vyrobené desky (compacfoam) se skládají s navzájem termicky slepených kuliček zhruba milimetrové velikosti. Tyto desky se používají jako dostatečně pevné podložky pod různé konstrukční prvky. Tlaková pevnost materiálu o objemové hmotnosti 400 $kg.m^{-3}$ dosahuje 10 MPa při velmi příznivém součiniteli tepelné vodivosti 0,065 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Na základě objemové hmotnosti lze předpovědět hodnotu součinitele tepelné vodivosti běžného expandovaného pěnového polystyrenu s použitím regresního vztahu uváděného v ČSN EN 13163:

$$\lambda_p = 0{,}02714 + 5{,}1743.\ 10^{-5}.\ \rho_v + (0{,}173606 / \rho_v),$$

kde $\lambda_p$ je předpovídaná hodnota součinitele tepelné vodivosti expandovaného polystyrenu ($W.m^{-1}.K^{-1}$) při referenční tloušťce 50 mm a $\rho_v$ je objemová hmotnost ($kg.m^{-3}$). Vztah lze použít pro EPS s objemovou hmotnostní 8 – 55 $kg.m^{-3}$.

Protože v oblasti objemové hmotnosti pod 55 $kg.m^{-3}$ tepelná vodivost EPS opět mírně vzrůstá, nesnižuje se objemová hmotnost prakticky užívaného EPS zpravidla pod 30 $kg.m^{-3}$ i když by použití materiálu nižší objemovou hmotností bylo ekonomické. V tomto směru má přinést určité zlepšení tak zvaný šedý EPS, který obsahuje grafit . Při objemové hmotnosti 15 $kg.m^{-3}$ údajně vykazuje tepelnou vodivost jako bílý EPS o objemové hmotnosti 35 $kg.m^{-3}$.

Tahová pevnost EPS v závislosti na druhu činí 0,02 – 0,4 MPa. Pro výpočet napětí při stlačení o 10 % je možné opět použít regresní vztah. Pro EPS s objemovou hustotou větší než 11 $kg.m^{-3}$ platí (ČSN EN 13163):

$$\sigma_p = 10\ .\ \rho_v - 109{,}1,$$

kde $\sigma_p$ je předpovídané napětí při stlačení o 10 % (kPa) a $\rho_v$ je objemová hmotnost ($kg.m^{-3}$).

Standardní expandovaný polystyren je hořlavý (stupeň hořlavosti C3 dle ČSN 73 0823), přísadou retardéru hoření se připravuje samozhášivý polystyren (stupeň hořlavosti C1).

Polystyren lze krátkodobě vystavit teplotě až 200 ºC a lze ho proto lepit horkým asfaltem. S asfaltem se pěnový polystyren snáší, nesnáší však styk s dehty a řadou organických rozpouštědel. K lepení polystyrenu lze většinou použít pastovitá disperzní lepidla a rovněž speciální cementová lepidla dodávaná v podobě suchých směsí.

Nevýhodou EPS jsou velké objemové změny. Smršťování, které je vyvoláno především únikem zbytků nadouvadla může dosáhnout až 4 %. V zimním období může být kontrakce EPS ještě posílena účinkem snížené teploty (součinitel délkové teplotní roztažnosti pro EPS je asi $50.10^{-6}\ K^{-1}$).

Podle ČSN EN 13163 se výrobky z expandovaného polystyrenu podle dlouhodobé nasákavosti při úplném ponoření dělí do čtyř skupin značených WL(T)1, WL(T)2, WL(T)3 a WL(T)5. Číslice v tomto značení udává hraniční hodnotu nasákavosti v objemových procentech.

Analogicky jsou v normě zavedeny čtyři skupiny EPS podle dlouhodobé navlhavosti při difúzi: WD(V)3, WD(V)5, WD(V)10 a WD(V)15.

Technické vlastnosti běžného samozhášivého expandovaného polystyrenu v závislosti na jeho objemové hmotnosti přináší tabulka 4.147.

Technické vlastnosti expandovaného polystyrenu *Tab. 4.147*

| Charakteristika | Druh (podle obj. hmotnosti) | | |
|---|---|---|---|
| Objemová hmotnost jmenovitá ($kg.m^{-3}$) | 15 | 20 | 30 |
| Součinitel tepelné vodivosti ($W.m^{-1}.K^{-1}$) | 0,039 | 0,037 | 0,035 |
| Nasákavost 7 dnů (obj. %) | 3,00 | 2,30 | 2,00 |
| Pevnost v ohybu (průměrná) (MPa) | 0,18 | 0,28 | 0,46 |
| Pevnost v tlaku (při stlačení o 10%) (MPa) | 0,07 | 0,14 | 0,22 |
| Součinitel difuze (s) | $0{,}0028.10^{-9}$ | | |
| Měrná tepelná kapacita ($J.kg^{-1}.K^{-1}$) | 1500 | | |
| Součinitel teplotní roztažnosti ($K^{-1}$) | $50.10^{-6} – 70.10^{-6}$ | | |
| Hořlavost DIN 4102 | B1 | B1 | B1 |

Výrobky z expandovaného polystyrenu

Desky a různé přířezy vzniklé rozřezáním polystyrenových bloků jsou běžným izolačním materiálem stěn a střech, polystyrenová mezikruží se používají na izolace potrubí. Desky používané pro zateplování a desky, u nichž jsou požadovány stabilní rozměry, se musí po vyrobení nechat odležet. Doporučuje se skladovat je alespoň 6 týdnů.

Běžně vyráběný deskový polystyren má poměrně vysokou nasákavost (asi 5 % objemu tj. 300 % hmotnosti), a proto nemůže zajistit tepelně izolační funkci v dlouhodobě vlhkém prostředí. Jeho tepelný odpor v takovém případě klesá zhruba na třetinu původní hodnoty.

Při použití bloků z expandovaného polystyrenu do silničního náspu není nasákavost a prosákavost expandovaného polystyrenu na závadu a z hlediska rovnoměrného průchodu vody přes těleso náspu je dokonce výhodou. Přítomnost bloků z expandovaného polystyrenu v jádru náspu výrazně snižuje hmotnost náspu a umožňuje realizovat s menšími náklady násep na méně únosném podloží.

Lepší vlastnosti ve vlhkém prostředí by měl mít pěnový polystyren napěněný do formy, protože účinkem tlaku expandujících kuliček na pevnou stěnu vzniká na povrchu napěňovaného výrobku slinutější struktura. . Proto se touto technikou vyrábějí polodrážkové desky (1265 x 615 mm), které se používají jako vnější tepelná izolace svislých stěn sklepů. Při tloušťce 50 – 120 mm vykazují tepelný odpor 1,43 – 3,43 $m^2.K.W^{-1}$. Po jejich zabudování pod úroveň terénu klesne v důsledku absorbce vlhkosti původní tepelný odpor jen o 30 % (měřeno po 18 měsících).

Povrch desek z expandovaného pěnového polystyrenu není příliš soudržný ani mechanicky odolný. Desky z EPS se proto někdy opatřují již ve výrobě povrchovou úpravou.

Ve Francii jsou oblíbené kompletizované desky z expandovaného pěnového polystyrenu tloušťky až 160 mm doplněné parotěsnou zábranou a sádrokartonovou deskou tloušťky 9 – 12,5 mm. Jsou určeny pro vnitřní zateplovací systémy obvodových stěn. Při jejich použití stoupá hodnota tepelného odporu izolované svislé stěny až na 6 $m^2$ $.K.W^{-1}$. Akumulační schopnost zdiva je vnitřní tepelnou izolací potlačena, což umožňuje v izolovaném prostoru topením rychle zvýšit teplotu. V kombinaci s dostatečně flexibilní programovanou otopovou soustavou se jedná o energeticky velmi úsporný typ izolace.

Desky tohoto typu z pěnového polystyrenu tloušťky 20 – 80 mm doplněné sádrokartonovou deskou tloušťky 9,5 mm se vyrábějí i v Čechách. Podle síly použité PS desky činí celkový tepelný odpor obou spojených desek 0,56 – 2,06 $m^2.K.W^{-1}$. Standardní formát těchto desek je 1250 x 2500 mm.

Na tomto místě je třeba připomenout, že v našich podmínkách (daných klimatem a otopnými zvyklostmi) dochází při neuváženém použití vnitřního zateplovací systému ke kondenzaci vodní páry v zatepleném souvrství. Bez pečlivého tepelně-technického výpočtu nelze proto k vnitřní izolaci pomocí EPS desek přistoupit a po provedení příslušných výpočtů je často nezbytné od původního záměru ustoupit.

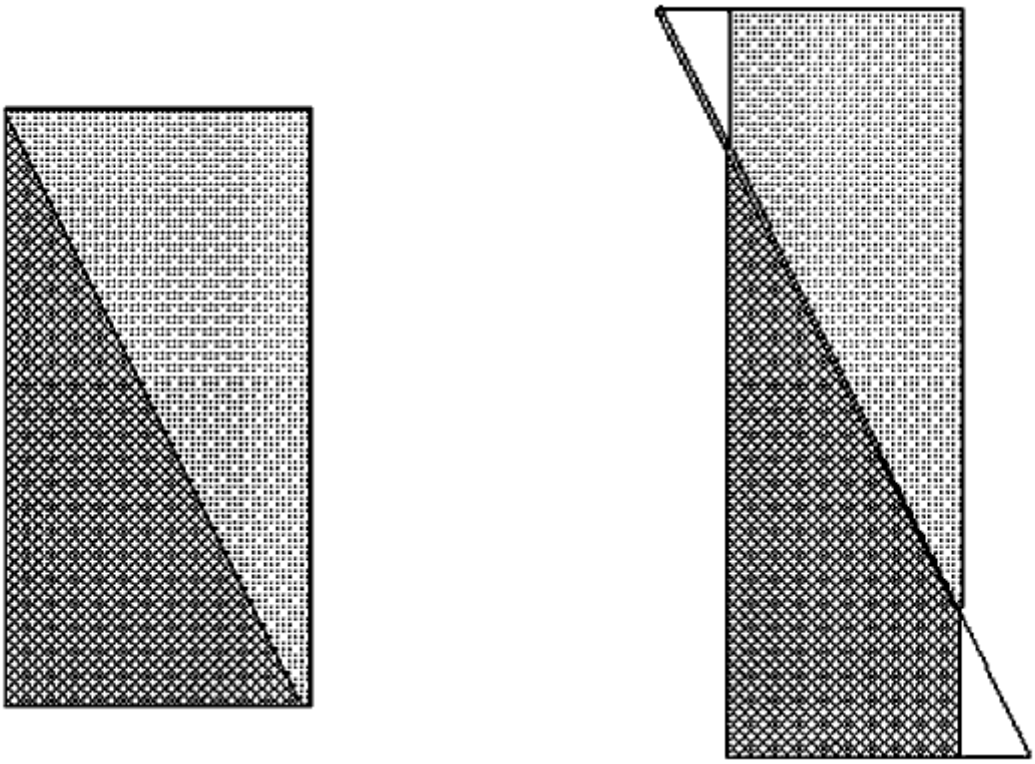
Daleko častěji se v našich podmínkách uplatní EPS desky v systémech dodatečného zateplení jako vnější izolace. Pro tento účel mají být používány dlouhodobě stabilizované fasádní desky, které jsou vyráběné v užších rozměrových tolerancích a jejichž dodatečné rozměrové změny nepřesahují 0,15 %.

Při provádění dodatečného vnějšího zateplení s použitím EPS desek je dále třeba volit závěrečnou povrchovou úpravu celého zateplovacího sytému ve světlé pastelové barvě, a snížit tak teplotní dilatace vyvolané účinkem slunce.

Pro suché podlahy se používají 20 –120 mm silné polystyrenové desky doplněné dřevotřískovou deskou o síle 19 mm. Umožňují realizaci plovoucích podlah často žádaných kvůli eliminaci kročejového hluku. Podle síly použité PS desky činí celkový tepelný odpor takovéto skladby 0,67 – 3,12 $m^2.K.W^{-1}$.

Pro izolaci šikmých střech se vyrábějí jak desky určené k vnitřní montáži mezi krokve, tak desky připevňované zvenku na bednění. Desky určené k montáži mezi krokve mohou mít pero a drážku, nebo mohou být úhlopříčně rozděleny do dvou izolačních klínů, které se snadno přizpůsobují různé mezikrokevní vzdálenosti.

Posuvem obou klínů se upraví šířka desky s tím, že se musí odříznout pouze malé okrajové trojúhelníky. To je mnohem ekonomičtější než ořezávat celou desku podélně (viz *obr. 4.127*).



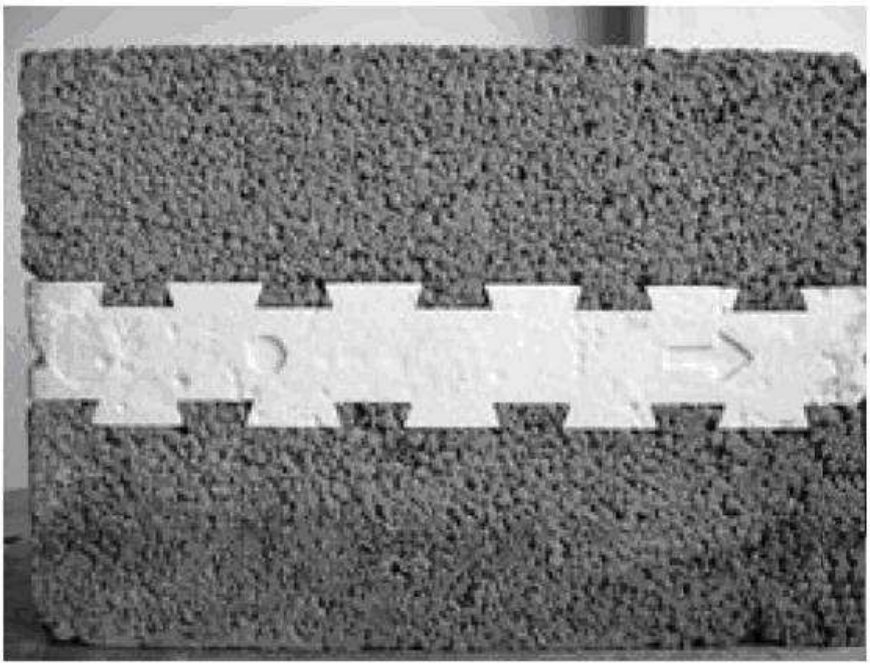
*Obr. 4.127* Šířková úprava úhlopříčně rozříznuté desky

V některých případech se doporučuje provedení montáže desek pod krokve. V tomto případě se jako výhodné jeví desky s povrchovou úpravou. Jako příklad je možno uvést desky, které jsou na pohledové straně opatřené dřevovláknitou deskou s omyvatelnou tapetou.

Expandovaný pěnový polystyren s objemovou hmotností 20 $kg.m^{-3}$ se používá také na výrobu střešních tvarovek, které jsou určeny pro přímou pokládku na střešní latě šikmých střech pod keramickou nebo betonovou krytinu. Při tloušťce 120 mm zaručují minimální tepelný odpor 3,1 $m^2 .K.W^{-1}$. Řešení je vhodné pro střechy se sklonem větším než $10^o$. Prostupy a přechody se dotěsňují PUR pěnou. Je samozřejmé, že pro takovéto použití musí mít pěnový polystyren samozhášivou úpravu.

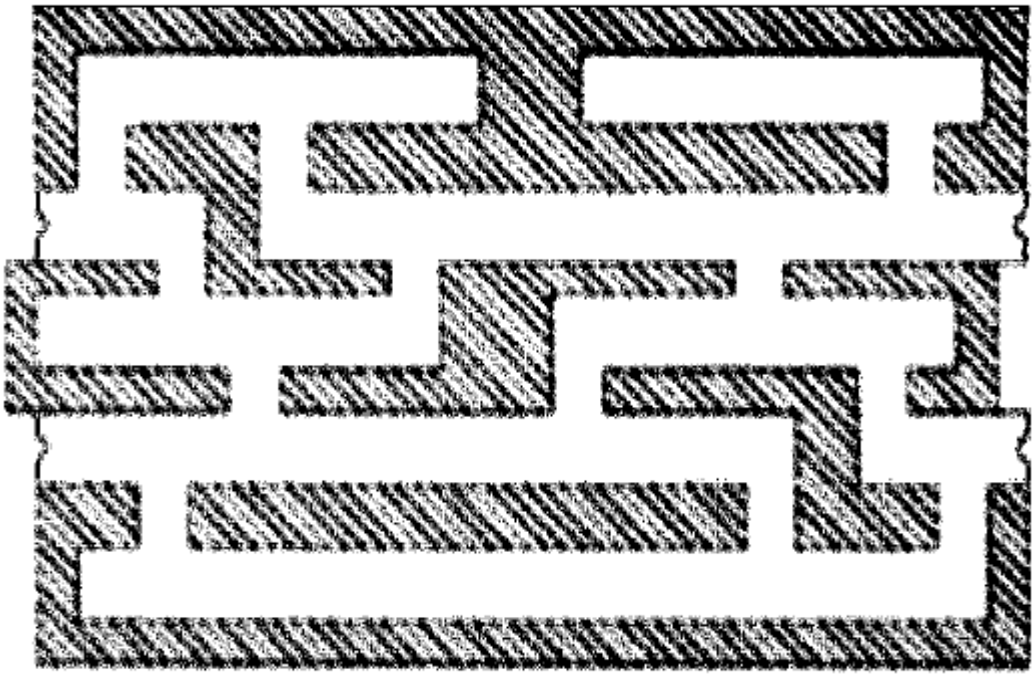
Krytinu lze pokládat na tvarovky přímo bez kotvení až do sklonu $45^o$. Nesprašující povrch polystyrenových tvarovek umožňuje přiznat v interiéru konstrukci krovu. Je však samozřejmě možné využít laťování ke kotvení deskových materiálů, celkový tepelný odpor konstrukce pak může vzrůst až na 3,7 $m^2 .K.W^{-1}$.

Expandovaný pěnový polystyren se dále užívá jako tepelně izolační vrstva do kusových stavebních prvků, včetně sendvičových betonových panelů.



*br. 4.128* Tvárnice z lehkého betonu s vloženou vrstvou EPS

Tímto způsobem se vyrábějí také tvárnice určené pro výstavbu takzvaných nízkoenergetických rodinných domů. Keramzitbetonová tvárnice obsahující 5 vrstev expandovaného polystyrenu o celkové tloušťce 185 mm vykazuje při celkové tloušťce 390 mm tepelný odpor 5,4 $m^2$ .K.$W^{-1}$. K této vysoké hodnotě přispívá labyrintové uspořádání polystyrenové vložky (obr. 4.129).



*Obr. 4.129* Labyrintové uspořádání vložky z EPS v tvárnici z lehkého betonu

Ve snaze ochránit expandovaný pěnový polystyren před působením vlhkosti byl v sedmdesátých letech vyvinut *kompletizovaný střešní dílec* v podobě EPS desky s nalepeným krycím asfaltovaným pásem. Při plnoplošném přitavování asfaltové krytiny na volně položené dílce docházelo k častým závadám vyvolaným objemovými změnami polystyrenu a nevelkou deformační schopností pásů z oxidovaného asfaltu.

Funkci dílců vyráběných z EPS tloušťky 100 mm (původně pod označením Polsid) se podařilo zlepšit nařezáním polystyrenové vrstvy na horní straně kolmými řezy vzdálenými 100 až 150 mm do hloubky 70 až 80 mm. Tím se objemové změny rovnoměrněji rozdělily po ploše prvku. k dalšímu zlepšení pak došlo záměnou obyčejného asfaltového krycího pásu za pás vyrobený z asfaltu modifikovaného styrenbutadienovým kaučukem.

Soudobé dílce jsou výhradně ze stabilizovaného samozhášivého polystyrenu a vykazují tepelný odpor cca 2,4 $m^2.K.W^{-1}$.

Drť z expandovaného polystyrenu

Při formátování polystyrenu řezáním odpadá část polystyrenu ve formě kuliček odtržených od původního kusu. Rovněž drcením EPS lze získat jednotlivé expandované kuličky. Odpad po řezání nebo úmyslně podrcený EPS se používá jako zásyp nebo plnivo do polystyrenbetonu a izolačních omítek.

Tepelně izolační jádrová omítka na bázi expandovaného polystyrenu vykazuje součinitel tepelné vodivosti jen 0,075 $W.m^{-1}.K^{-1}$, což je jen 70 % z hodnoty tepelné vodivosti běžných tepelně izolačních perlitových omítek (viz též 4.5.7).

I když mechanické vlastnosti polystyrenbetonu jsou nízké, jsou lehké polystyrenbetonové prefabrikáty zajímavé jak svým tepelným odporem, tak mimořádně snadnou manipulovatelností. O polystyrenbetonu je pojednáno také v kapitole 4.6.6.2.6.

### 4.10.1.6.2 Extrudovaný polystyren

Omezení daná otevřenou pórovitou strukturou expandovaného pěnového polystyrenu odstraňuje extrudovaný polystyren (XPS), který je navíc i mechanicky odolnější.

Výroba extrudovaného polystyrenu

Extrudovaný polystyren se vyrábí vstřikováním nadouvadla do taveniny polystyrenu vytlačované šnekem extruzního stroje. Celá technologie je dosti složitá a výroba lehčené polystyrenu tímto způsobem je výrazně dražší než výroba EPS. Jako nadouvací plyny se původně používaly plně chlorfluorované uhlovodíky (CFC), známější pod (původně firemním) názvem freony, především pak CFC-12 ($CCl_2F_2$).

V souvislosti s nutností omezit výrobu látek narušujících ozonovou vrstvu atmosféry byla výroba CFC prakticky zastavena. Při nadouvání extrudovaného polystyrenu se nejprve přešlo na méně škodlivé typy nadouvadel obsahující v molekule také vodík (HCFC), zejména na HCFC-142b ($CH_3CF_2Cl$).

Další pokrok představoval přechod na fluorované uhlovodíky bez chloru (HFC), zastoupené hlavně HFC-227 ($CF_3CHFCF_3$), HFC-134a ($CH_2FCF_3$) a HFC 152a ($CH_3CHF_2$). Tyto látky se zčásti používají pro výrobu extrudovaného polystyrenu dodnes. Ozonové vrstvě prakticky neškodí, jsou však obviňovány z podílu na skleníkovém efektu.

Ekologická hnutí si však na mnoha místech vymohla omezení i HCFC a HFC látek a v současné době se proto vyrábí také XPS nadouvaný oxidem uhličitým. Takové řešení je plně uspokojivé ekologicky, je však třeba přiznat, že XPS nadouvaný klasickým způsobem má o něco lepší součinitele hodnoty tepelné vodivosti.

Orientační přehled některých charakteristických vlastností extrudovaného polystyrenu přináší *tab. 4.138*. Blíže se vlastnostmi extrudovaného polystyrenu zabývá ČSN EN 13164.

Vlastnosti extrudovaného polystyrenu *Tab. 4.148*

| Vlastnost | Jednotlivé druhy (podle obj. hmotnosti) | | |
|---|---|---|---|
| Objemová hmotnost ($kg.m^{-3}$) | 25 | 40 | 45 |
| Součinitel tepelné vodivosti ($W.m^{-1}.K^{-1}$) | 0,028 | 0,025 | 0,024 |
| Hořlavost podle DIN 4102 | B1 – těžce hořlavý materiál | | |
| Nasákavost za 28 dní (obj. %) | 0,2 | | |
| Pevnost v tlaku (stlačení 10%) (MPa) | 0,22 | 0,5 | 0,7 |
| Součinitel teplotní roztažnosti ($K^{-1}$) | $70.10^{-6}$ | | |
| Faktor difuzního odporu | 80 | | 250 |
| Dlouhodobá nasákavost (obj.%) | 15 | | |

Použití extrudovaného polystyrenu

Nepatrná nasákavost extrudovaného polystyrenu spojená s vyšší pevností umožňuje vytvořit zajímavé izolační systémy.

V oblasti střech se XPS používá na tzv. obrácené střechy, ve kterých je tepelně izolační vrstva z extrudovaného polystyrenu umístěna nad vodotěsnou krytinou a je tedy vystavena vlhkosti okolí. Výhodou tohoto uspořádání je možnost vynechání parotěsných zábran pod tepelně izolační vrstvou.

Tepelně izolační vrstva z XPS způsobuje snížení teplot na povrchu hydroizolační krytiny a chrání jí před UV zářením. Současně představuje i ochranu mechanickou.

Vrstva XPS tedy slouží jako univerzální ochranná vrstva výrazně prodlužující životnost hydroizolace.

Pro úplnost je třeba uvést, že při takovémto použití vrstva XPS také vyžaduje určitou ochranu. Odtržení tepelně izolační vrstvy účinkem větru musí být zabráněno přitížením hmotou o malém difúzním odporu např. pranými oblázky frakce 16-32. Takovýto zásyp dále chrání tepelnou izolaci před přímým slunečním zářením a přelétavým ohněm.

Přitížení i ochranu XPS na obrácené střeše je možné realizovat i dlažbou (s výhodou dlažbou na podložkách).

Další možností je překrytí XPS ochrannou drenážní a filtrační vrstvou (např. plastovým drenážním pásem s filtrační textilií), nesoucí vrstvu substrátu pro založení trávníku. Tato poslední varianta, které se říká zelená střecha, se považuje za esteticky i ekologicky nejhodnotnější řešení.

Z obecných konstrukčních zásad pro tvorbu obrácené střechy je třeba připomenout, že tepelně izolační vrstva musí být vždy jednovrstvá, jinak se mezi jednotlivými deskami vytváří vodní film. Nedoporučuje se rovněž přímý styk XPS s fóliemi z PVC.

Desky z extrudovaného polystyrenu jsou samozřejmě velmi vhodné i pro provedení obvodového zdiva s vysokým tepelným odporem při použití klasických zdicích materiálů.

Jako příklad možné sestavy lze uvést obvodový plášť, který je složen z vnitřního nosného zdiva zhotoveného z vápenopískových cihel, obloženého deskami z XPS chráněnými vnější stěnou ze štípaných vápenopískových cihel.

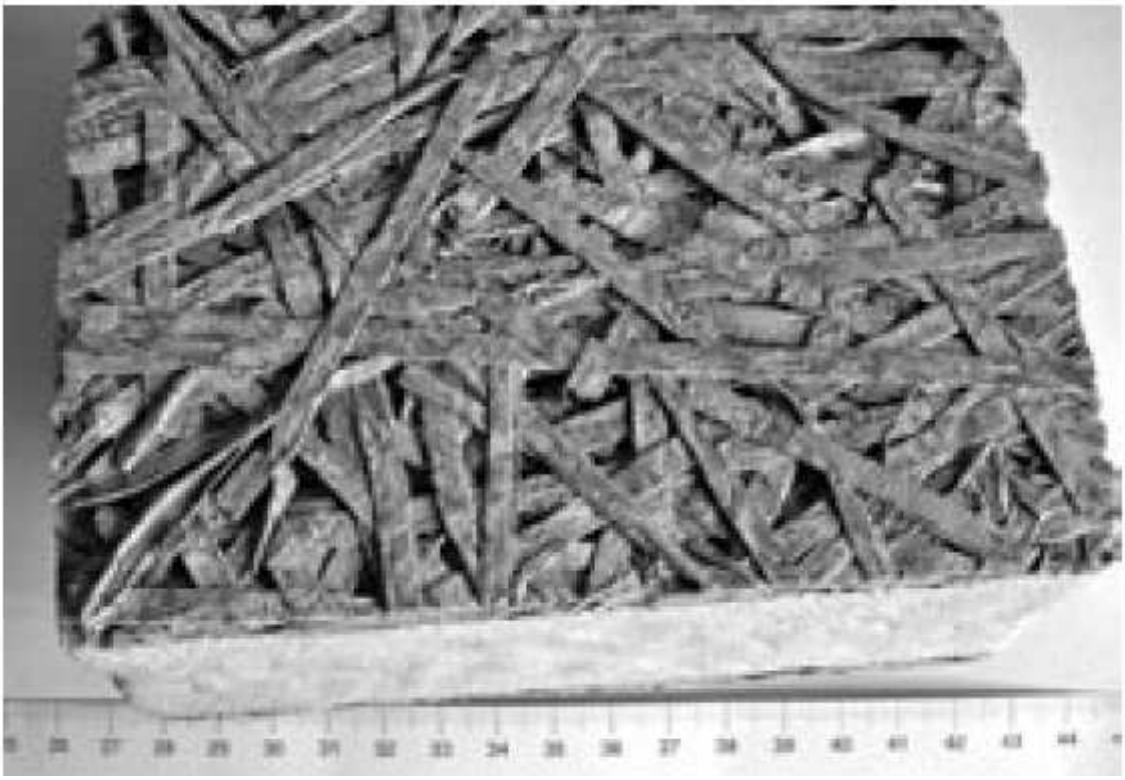
Relativně vysoká tlaková pevnost dělá z XPS ideální materiál pod suché dlažby (dlažby na podložkách). Zajímavým výrobkem jsou tepelně izolační dlaždice složené z vrstvy extrudovaného polystyrenu o tloušťce 20 – 120 mm pevně spojené s krycí betonovou, polymerbetonovou nebo žulovou deskou. Při jejich použití se současně s pochůznou vrstvou terasy realizuje i její tepelná izolace.

Výrobci extrudovaného polystyrenu zpravidla své výrobky probarvují ve hmotě, aby tak zdůraznily jejich odlišnost od expandovaného polystyrenu (občas se však můžeme setkat i s barveným expandovaným polystyrenem).

Podle zamýšleného použití v konstrukci se XPS desky dodávají pod různými názvy jako desky podlahové, střešní či desky pro izolace stěn a desky pro vnější tepelné izolace suterénních podlaží. Pro daný účel bývají i určitým způsobem upraveny.

Kupříkladu desky opatřené po obou stranách ochranou stěrkou vyztuženou sklotextilní mřížkou jsou určeny pod obklad či omítku, dají se však použít jako dělicí stěny.

Klasickou povrchovou úpravou usnadňující omítaní a lepení k podkladu představují tenké desky z dřevěné vlny zalisované za tepla do XPS desky (obr. 4.130).



*Obr. 4.130* Oboustranná úprava XPS heraklitovými deskami

Při izolaci suterénu lze sloučit funkci tepelně izolační a drenážní zabudováním desek z extrudovaného polystyrenu na vnějším líci suterénních zdí. Pro tento účel se vyrábějí desky, které jsou na povrchu opatřeny nehnijící geotextilií, odolnou huminovým látkám z půdy, změnám vlhkosti i mrazu.

Suterénní desky se připevňují bezrozpouštědlovými lepidly na stěny s přeplátováním drenážní rohoží na vnější straně. Podmínkou dobré funkce systému je účinná drenáž u paty desek. Po zabudování pod úroveň terénu původní tepelný odpor desek neklesá více než o 5 %.

### 4.10.1.7 Lineární polyestery

Na rozdíl od předcházejících termoplastů připravovaných vesměs pomocí radikálové či iontové polymerace jsou lineární polyestery vytvářeny pomocí polykondenzace.

Polykondenzace probíhá jako stupňovitá výstavbová reakce. Je analogií kondenzační reakce běžně využívané při přípravě nízkomolekulárních organických látek. Kondenzační reakce se účastní určitá část molekuly tvořená charakteristickým uskupením atomů, které se říká funkční (reaktivní) skupina. V jednom reakčním kroku se kondenzačně spojují dvě molekuly v jednu větší molekulu za současného vzniku další menší molekuly (nejčastěji vody):

$A\text{-}a + B\text{-}b \rightarrow A\text{-}B + ab.$

Pro vznik lineární makromolekuly je nutné, aby každá ze vzájemně reagujících molekul měla dvě reaktivní skupiny a kondenzace mohla probíhat opakovaně jako polykondenzace:

a-A-a + b-B-b $\rightarrow$ a-A-B-b + ab,

a-A-B-b + a-A-a $\rightarrow$ a-A-B-A-a + ab,

a-A-B-A-a + b-B-b $\rightarrow$ a-A-B-A-B-b + ab.

Lineární polyestery se připravují polyesterifikací dikarboxylové kyseliny dvojfunkčním alkoholem (diolem):

HOOC-X -COOH + HO-Y-OH $\rightarrow$ HOOC-X-COO-Y-OH + $H_2O$,

HOOC-X-COO-Y-OH + HOOC-X-COOH $\rightarrow$ atd.

Polykondenzací uvolněná voda zhoršuje vlastnosti polykondenzátu, a proto bývá při průmyslové výrobě odstraňována. k dosažení dostatečného stupně přeměny výchozích látek se polykondenzace často provádí za zvýšené teploty.

### 4.10.1.7.1 Polyetylentereftalát

Konkrétním případem polyesterifikační reakce může být tvorba polyetylentereftalátu (PET) z kyseliny tereftalové a etylenglykolu, kde první reakční krok vypadá takto:

HOOC-$C_6H_4$-COOH + $HOCH_2CH_2OH$ $\rightarrow$

HOOC-$C_6H_4$-$COOCH_2CH_2OH$ + $H_2O$

Nasycené polyestery jsou výtečným vláknotvorným materiálem a ve stavebnictví se uplatňují především v podobě tkanin. Rozšířeny jsou rovněž průhledné obaly z polyetylentereftalátu.

Nápojové PET láhve tvoří podstatnou část tříděného komunálního odpadu a recyklaci polyetylentereftalátu je proto věnována značná pozornost. Významný podíl PET odpadu však je různým způsobem kontaminován a není vhodný pro přípravu kvalitního esteticky hodnotného recyklátu. Často proto končí ve spalovně. Smysluplnější použití méně kvalitního PET recyklátu představuje výroba vložek určených k zabetonování do železobetonových stropních panelů. Vhodně navržené vložky snižují hmotnost panelu až o třetinu .

### 4.10.1.7.2 Polykarbonáty

Polykarbonáty (PC) představují relativně mladé termoplasty. S jejich výrobou se začalo až po roce 1953. Formálně je možné polykarbonáty popsat jako lineární polyestery odvozené od kyseliny uhličité a příslušné dihydroxysloučeniny (schematicky značené jako HO-X-OH):

-( -O-X-O-CO-)-$_n$

Skutečná příprava polykarbonátů přímou esterifikací velmi slabé kyseliny uhličité není možná a základní surovinou pro jejich výrobu je proto *fosgen* ($COCl_2$). Jako dihydroxysloučenina se prakticky výhradně používá 2,2(4,4‘- dihydroxydifenyl) propan (*bisfenol A*), známý též jako *dian*.

Polykarbonáty nevykazují ostrý bod tání. Viskozita polykarbonátové taveniny je značné vysoká a leží mezi 10 až 100 Pa.s. Přesto se dají tavením velmi dobře zpracovávat díky enormní stálosti taveniny. Termoplastický stav nastává již při 220 – 240 ℃ a ani po 2hod. zah řívání za přístupu vzduchu se vlastnosti taveniny prakticky nemění. Ke slabému žloutnutí dochází teprve po 2 hod. zahřívání při 300 ℃.

Molekula polykarbonátů je tuhá. Teprve pří poměrné vysokých teplotách získávají segmenty vláknitých molekul pohyblivost. Molekula jako celek zůstává pevně fixována. Tím lze vysvětlit dobrou rozměrovou stabilitu výlisků.

Hustota polykarbonátů má hodnotu 1,17 – 1,22 $g.cm^{-3}$. Pevnost PC v tahu za ohybu je 110 – 120 MPa, tahová pevnost podle očekávání zhruba poloviční (60 MPa). Pevnost v tlaku je 80 – 90 MPa a při stanovení rázové houževnatosti se zkušební těliska bez vrubu nedají při běžném zkušebním uspořádání vůbec přerazit. Výlisky jsou průhledné a bezbarvé.

Dobré mechanické i vzhledové vlastnosti nejsou ovlivňovány povětrnostními vlivy ani vlhkosti vzduchu. Rovněž vliv světla se v širokém vlnovém obsahu prakticky neprojevuje.

Důležitou vlastností polykarbonátů je, že vykazují malé elastické protažení. Při zvyšujícím se tahovém napětí je až do 50 MPa elastické protažení nepatrné, což je důležitou konstrukční vlastností. Při dlouhodobých zkouškách se ukázalo, že polykarbonáty ve srovnání s ostatními termoplasty mají pouze malý studený tok.

Polykarbonátové fólie se nemění ani při 72hod. ozařovaní ultrafialovým světlem. Žádné změny nebyly pozorovány ani při umělém stárnutí 26 týdnů při 150 ℃.

Pro tyto mimořádně dobré vlastnosti se polykarbonáty výrazně prosadily při konstrukci různých prosvětlovacích prvků.

Monolitické polykarbonátové desky se používají především na průhledné bezpečnostní (nerozbitné) zasklení oken, světlíků a přístřešků.

Duté (komůrkové) desky z polykarbonátu mají i tepelně izolační účinky a dobře se uplatňují zejména při výrobě průsvitných světlíků a stěn.

Komůrkové karbonátové desky bývají opatřeny koextrudovanou ochrannou vrstvou, která působí jako UV filtr. Touto vrstvou je opatřena jedna strana desek označená potiskem, tato strana musí být instalovaná směrem ven.

Speciální povrchovou úpravou (no drop) je možné zajistit, aby kondensovaná vlhkost vytvářela na povrchu polykarbonátu tenký film a nikoliv kapky. To zamezí odkapávání vody do prostoru pod takto upraveným světlíkem.

### 4.10.1.8 Polymetylmetakrylát

Lineární zápis struktury polymetylmetakrylátu není vždy správně chápán, proto je vhodné výslovně podotknout, že každý druhý uhlík základního uhlíkové řetězce je kvartérní a jeho substituenty (které formálně nahrazují dva vodíky) jsou jednak metyl ($-CH_3$) a jednak esterifikovaná karboxylová skupina $–COOCH_3$:

$-[-(CH_3)C(COOCH_3)-CH_2-]_n-$

Metylmetakrylát (MMA) je velmi reaktivní monomer schopný velmi rychlé polymerace i za nízkých teplot, kterou lze uskutečnit jako blokovou polymeraci mezi dvěma paralelně uloženými chlazenými deskami. S výhodou je možné provést opatrnou předpolymeraci MMA na relativně nízkoviskózní kapalinu. Podstatná část tepla, které se uvolňuje při úplné polymeraci metylmetakrylátu se uvolní již při této předpolymeraci. Získá se tak produkt, jehož další vytvrzování se daleko snáze drží pod kontrolou.

Výsledný polymetylmetakrylát (PMMA) má dobré optické vlastnosti, a proto se technologie blokové polymerace MMA využívá k výrobě průhledných desek běžně nazývaných organické sklo. Zatímco silikátové sklo je průhledné maximálně do tloušťky 120 mm, organické sklo umožňuje nezkreslený výhled i při tloušťce 800 mm.

Běžně používaný slangový výraz *plexisklo* má svůj původ v třicátých letech minulého století. Vznikl „překladem“ firemní značky Plexiglas používané v Německu pro první vyráběný PMMA.

Pružnost a ohebnost PMMA je srovnatelná se dřevem, nevýhodou je malá povrchová tvrdost, která způsobuje snadné poškrábání. Na druhé straně se PMMA dobře mechanicky opracovává. Je možné řezání, vrtání, soustružení, hoblování, pilování, broušení a leštění.

K výhodným vlastnostem polymetylmetakrylátu patří mimořádně vysoká rázová houževnatost a skutečnost, že se tříští jen na tupé úlomky.

Polymetylmetakrylát je typický termoplast, zahříváním poskytuje dobře tvarovatelnou hmotu. Po ochlazení však dochází k 2 – 4procentnímu smrštění. Proto se doporučuje provést před tvarováním a řezáním rozměrové ustálení dostatečně dlouhým ohřevem na teplotu 130 ℃.

S využitím předpolymerovaného poloproduktu se připravují polymetylmetakrylátová pojiva pro přípravu polymerbetonových směsí určených k vytváření pochůzných a pojízdných vrstev. Je to jeden z mála případů kdy výsledný polymer vzniká radikálovou polymerací až přímo na stavbě.

Z kopolymerů má největší význam kopolymer se styrenem, který má dobrou průhlednost i zpracovatelnost při přijatelné ceně. Pro náročné zasklívací práce (okna letadel, zorné kopule, přístrojové kryty) se používá kopolymer s akrylonitrilem, který je mnohem odolnější než samotný PMMA.

### 4.10.1.9 Polyvinylestery a polyakryláty

Nejdůležitějším polyvinylesterem je polyvinylacetát (PVAc). Má nízký bod měknutí okolo 35 °C . Ve stavebnictví se používá hlavně ve formě roztoků a latexů. Polyvinylacetátové latexy se vyznačují výtečnou lepivostí, ale špatně snášejí působení alkálií.

Měkké, elastické průhledné fólie se dají zhotovit z polyetylenvinylacetátu, který se připravuje kopolymerací (společnou polymerací) etylenu s vinylacetátem. Tyto fólie se používají k dočasné ochraně nejrůznějších zařizovacích předmětů a obkladových prvků (snímatelné fólie). Díky obsahu vinylacetátu dobře lnou ke chráněnému povrchu a mají zvýšenou povětrnostní odolnost. Často se s nimi dočasně chrání lakované plechy.

S polymerními deriváty kyseliny akrylové se ve stavebnictví setkáváme v různých podobách. Většinou jsou to polymery odvozené od esterů kyseliny akrylové, nejčastěji polymery metylesteru, etylesteru a butylesteru kyseliny akrylové.

Filmy vytvořené z těchto polyesterů jsou poměrně měkké. Polyakryláty se proto nehodí jako pojiva do rozpouštědlových nátěrových hmot. Uplatňují se však ve hmotách disperzních.

Jsou základem mnoha vodou ředitelných nátěrových hmot a používají se i jako přísada do maltových a omítkových směsí. Mají menší lepivost než polyvinylacetát, jsou však stálé v alkalickém prostředí.

Přísady polymerních disperzí do cementových hmot na bázi akrylátových disperzí mohou přinést zvýšení tlakové pevnosti až o 50 %. Na druhé straně jsou známé i špatné výsledky vyvolané inhibicí hydratace cementu organickým polymerním filmem. Nejlepší výsledky byly získány při formulaci rekonstrukčních materiálů (lepší adheze na staré vrstvy).

Estery kyseliny akrylové jsou používány také k modifikaci epoxidových pryskyřic. Zvyšují tekutost licích epoxidových pryskyřic a umožňují formulovat pružnější pojiva. Určitým problémem je v tomto případě výrazný (i když ne vysloveně nepříjemný) pach ještě nevytvrzené pryskyřičné kompozice.

### 4.10.1.10 Polytetrafluoretylen a polytrifluorchloretylen

Polymerací tetrafluoretylenu se připravuje polytetrafluoretylen:

$n\ CF_2=CF_2 \rightarrow -[-CF_2-CF_2-]_n-$

Polytetrafluoretylen (PTFE) je mimořádně tepelně odolná látka snášející teploty do 260 ℃. Je termoplastem použitelným v opravdu širok ém teplotním rozsahu. Fólie z polytetrafluoretylenu jsou totiž ohebné i při teplotě -150 ℃. Barva PTFE je bílá.

Polytetrafluoretylen se vyrábí emulzní polymerací. Vzniklý prášek se upravuje tlakem 40 MPa do *předlisků*, které se dále zpracovávají slinováním při teplotě 360 – 380 ℃. Tato speciální výrobní technologie je nutná vzhledem k mimořádně vysokému bodu tání PTFE.

Polytetrafluoretylen se často obecně označuje jako „teflon“ není to však korektní, protože jde o stále používaný (a chráněný) firemní název původního amerického výrobce.

Vynikající je chemická odolnost polytetrafluoretylenu, kterou převyšuje všechny ostatní polymery. Pro těsnění potrubí s agresivními roztoky se používají provazce z PTFE.

Povětrnostně je PTFE rovněž velmi odolný. Širšímu využití ve stavebnictví brání vysoká cena a obtížné spojování, nicméně na některých mimořádných stavbách byl PTFE použit v relativně značném rozsahu v podobě skleněných tkanin opatřených nánosem polytetrafluoretylenu. Příkladem může být sedmihvězdičkový hotel Burj Al Arab v Dubaji nebo Millenium House v Londýně.

Vysoce odolné povlaky lze získat stříkáním polytetrafluoretylenového prášku roztaveného průletem plamenem. Této nástřikové technice (používané i pro nástřik zinkovým nebo hliníkovým prachem) se říká šopování.

### 4.10.1.11 Polytrifluorchloretylen

Podobnou strukturu jako PTFE má polytrifluorchloretylen (PCTFE). Vyrábí se emulzní nebo suspenzní polymerací trifluormonochloretylenu.

$n\ CF_2{=}CFCl \rightarrow -[-CF_2\text{-}CFCl\text{-}]_n-$

Je to polymer dlouhodobě použitelný při teplotě do 150 ℃, p ři teplotách nad 250 ℃ se začíná rozkládat. Je to výborný elektrický izolant jehož izolační odpor neklesá ani ve vlhkém prostředí. Lepitelnost a svařitelnost PCTFE je špatná. Podle tloušťky je PCTFE průsvitný nebo matně průhledný,

Chemická odolnost PCTFE se podobá chemické odolnosti PTFE, odolnost v rozpouštědlech je však přeci jenom o něco nižší. Polytrifluorchloretylen slabě bobtná účinkem esterů a halogenovaných i aromatických uhlovodíků.

### 4.10.1.12 Ostatní termoplasty

Z dosud nezmíněných termoplastů se ve stavební praxi můžeme setkat také s polyamidy (polyamidem 6, polyamidem 66), které jsou pro svoji pevnost a houževnatost oblíbené především ve strojírenství. Optimální kombinace pevnostních a třecích vlastností umožňuje tyto materiály používat na výrobu hmoždinek (nároky na rozměrovou přesnost ostatně hmoždinky řadí spíše do kategorie strojírenských výrobků).

Charakter strojírenského výrobku mají také sponky (klipsy) vyráběné z polyamidu vyztuženého sekaným skleněným vláknem. Používají se k fixaci plechových pásů při montáži plechové střešní krytiny místo sponek kovových.

Ve vlastním oboru stavebních hmot je význam dalších termoplastů nevelký. S některými se můžeme setkat jako s pojivy v nátěrových hmotách.

Obecně platí, že plasticita, která je u termoplastů hlavní zpracovatelskou výhodou, se stává při jejich použití ve stavebnictví omezujícím faktorem.

Problémem není ani tak maximální teplota dlouhodobé použitelnost (viz *tab. 4.139*), jako skutečnost, že i při běžných teplotách vykazují termoplastické hmoty výrazný studený tok (kríp). Poměrně vysoké hodnoty koeficientů lineární teplotní roztažnosti pak způsobují, že ani při vytváření souvrství kov – plast nebo beton – plast nemáme neomezené možnosti. Návrh plastových konstrukcí a konstrukcí zhotovených s použitím plastů se řeší s použitím mezních stavů podle ČSN 73 1601.

Teplota použitelnosti a teplotní roztažnost termoplastů *Tab. 4.149*

| Polymer | Zkratka | Maximální teplota použití | | Koeficient lineární teplotní roztažnosti ($K^{-1}.10^6$) |
|---|---|---|---|---|
| | | krátkodobě (°C) | dlouhodobě (°C) | |
| Polyetylen LD | LDPE | 80 – 90 | 60 – 75 | 240 |
| Polyetylen HD | HDPE | 90 – 120 | 70 – 80 | 140 – 200 |
| Polypropylen | PP | 140 | 100 | 150 – 180 |
| Polybuten | PB | 130 | 90 | 150 |
| Polytetrafluoretylen | PTPE | 300 | 250 | 100 |
| Polyvinylchlorid | PVC | 75 – 100 | 65 – 85 | 70 – 80 |
| PVC měkčený | mPVC | 55 – 65 | 50 – 55 | 120 – 210 |
| Polystyren | PS | 60 – 80 | 50 – 70 | 60 – 80 |
| Houževnatý polystyren | | 60 – 80 | 50 – 70 | 60 – 100 |
| Polymetylmetakrylát | PMMA | 85 – 100 | 65 – 90 | 70 |
| Polyetylentereftalát | PET | 200 | 100 | 70 – 80 |

### 4.10.2 Reaktoplasty

S reaktoplasty se můžeme ve stavební praxi setkat jednak v podobě tvarově definitivních výrobků (ve kterých vytvrzený reaktoplast tvoří větší či menší část struktury) a jednak v podobě ještě nevytvrzené, která dovoluje použít reaktoplast jako pojivo, zalévací hmotu, nátěr nebo lepidlo. Charakteristickou vlastností reaktoplastů totiž je schopnost vytvářet chemickou reakcí relativně snadno makromolekulární strukturu, která má typickou podobu trojrozměrné sítě. Síť zůstává zachována i při ohřevu a zpravidla dochází ještě k jejímu dalšímu rozvoji (tepelné dotvrzení).

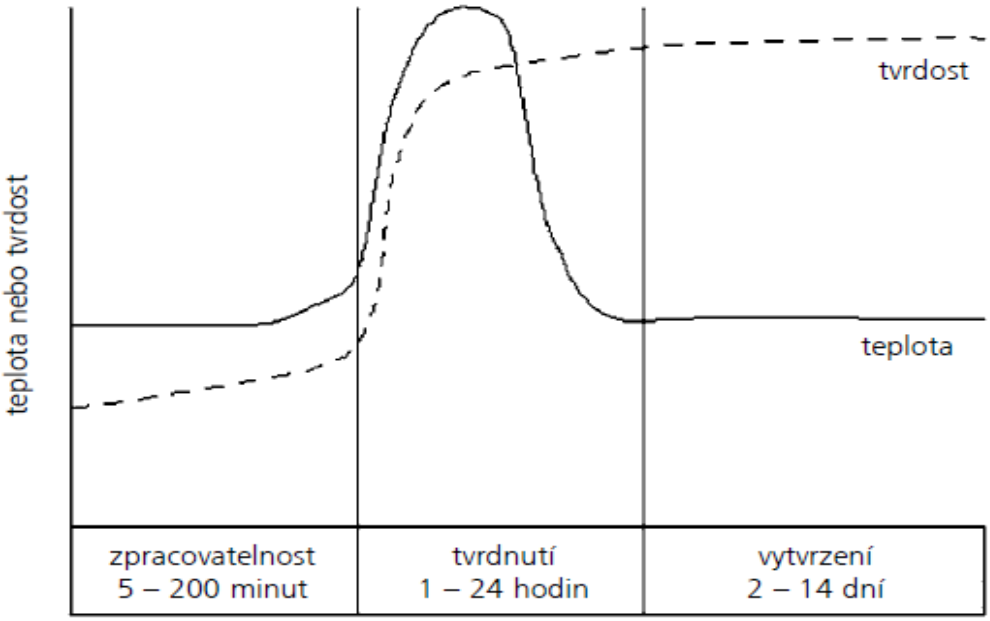
Reaktoplasty nevykazují vratné termoplastické chování. Protože nejsou za tepla tvarovatelné, říkalo se jim také termosety. Tento název byl později opuštěn jako nepřesný, protože nelze tvrdit, že by se reaktoplasty teplem neměnily. Jako údajně výstižnější bylo z německé jazykové oblasti převzato označení duroplasty, nezdá se však, že by se u nás těšilo velké oblibě.

#### 4.10.2.1 Nenasycené polyestery a vinylestery

Nevytvrzené nenasycené polyestery (polyesterové pryskyřice) jsou roztoky lineárních nenasycených pryskyřic v polymerizovatelném monomeru, což bývá skoro vždy styren.

Hustá prostorová síť typická pro vytvrzené nenasycené polyestery vzniká radikálovou reakcí dvojných vazeb v molekule polyesteru s monomerem (styrenem), který proto musí být vždy součástí formulace polyesterového pojiva.

V běžných polyesterových pryskyřicích činí obsah styrenu asi 20 %, a tak je možné udržet reakční ohřev celé kompozice v přijatelných mezích.




*Obr. 4.131* Typický průběh vytvrzování reaktoplastického pojiva

K vytvrzování se nejčastěji používá dvousložkový vytvrzovací systém. V nejběžnější variantě dvousložkového vytvrzování se nejprve v pryskyřici rozmíchá kobaltový urychlovač (naftenát nebo oktoát kobaltnatý) a pak se do ní jako iniciátor radikálové polymerace přidává dibenzoylperoxid. Úpravou vytvrzovacího systému lze nastavit dobu zpracovatelnosti v rozsahu od několika minut do několika hodin.

Materiály na bázi nenasycených polyesterů nebo chemicky příbuzných vinylesterů vynikají nízkou viskozitou umožňující snadnou formulaci kompozitních materiálů. Mají výbornou kyselinovzdornost a velmi často i dobrou tepelnou odolnost.

Moderní vinylesterové materiály používané jako ochranné vrstvy se plní skleněnými vločkami (flake-line system), které působí jako mimořádně účinná difúzní zábrana a podstatně zvyšují chemickou odolnost příslušného kompozitu. Velkou oblastí pro využití těchto materiálů jsou vystýlky komínů odsiřovacích jednotek.

Je třeba důrazně upozornit, že pokud jsou nenasycené polyestery nebo vinylestery vytvrzovány pouze za normální teploty (tj. bez tepelného dotvrzování), prakticky vždy obsahují zbytky monomerního styrenu.

Přípustná hygienická koncentrace styrenu v ovzduší je tak nízká, že v interiérech určených pro pobyt osob nelze provádět podlahy z licích nebo samorozlévacích materiálů na bázi nenasycených polyesterů. U těchto podlah je dodatečné tepelné dotvrzení prakticky nemožné a zbytkový monomer by způsoboval v podstatě trvalé překročení hygienického limitu.

Pro snadnou výrobu a příznivou cenu jsou oblíbené polyesterové lamináty obsahující jako výztuž skleněnou tkaninu nebo skleněnou rohož. Tepelným dotvrzením se u nich zlepšují hygienické i technické parametry.

Vinylesterové kompozity vyztužené skleněným vláknem byly použity i k výrobě tyčových prvků (prutů) určených jako výztuž do betonu.

### 4.10.2.2 Formaldehydové kondenzáty

Formaldehyd (HCHO) je nejjednodušší možný aldehyd, který je díky prakticky volné, stericky nijak nechráněné, aldehydové skupině velmi reaktivní. Za normální teploty je plynný (b. v. –21 ºC), ve vodě se však ochotně rozpouští a vytváří roztok o koncentraci až 40 % (formalín).

Formaldehyd má unikátní schopnost reagovat s uhlíkem obsahujícím snadno odštěpitelný vodík a vytvářet metylolovou skupinu:

$X – H + HCHO \rightarrow X –CH_2OH.$

Metylolové skupiny spontánně eterifikují:

$X\text{-}CH_2OH + HOCH_2\text{-}X \rightarrow X –CH_2OCH_2–X + H_2O.$

Jedná se o typickou kondenzační reakci, při které se uvolňuje voda. V závislosti na podmínkách dochází dále k odštěpení jedné molekuly formaldehydu a vzniká stabilní metylenový můstek:

$X –CH_2OCH_2– X \rightarrow X –CH_2–X + HCHO.$

Touto reakcí se tedy formaldehyd v soustavě zčásti regeneruje a vzniká velmi stabilní struktura. Pokud má látka X více odštěpitelných (kyselých) vodíků, může vzniknout velmi hustá síťová struktura.

Na kyselé vodíky jsou bohaté zejména aromatické alkoholy (fenoly). I když první fenolformaldehydové pryskyřice byly připraveny již v roce 1872, prakticky použitelné výrobky na fenolové bázi se začaly vyrábět až v roce 1907 podle patentu Ch. Baekelanda. Přesto jsou právě fenolické hmoty prvními průmyslově vyráběnými syntetickými polymery.

Technicky použitelnou hmotu vytvořil Baekeland použitím vláknité výztuže a lisováním vytvrzovaného výrobku. i přes nepříliš atraktivní hnědou barvu, která je fenolformaldehydovým rezitům vlastní, se nový materiál nazývaný bakelit rychle rozšířil a dlouho vzdoroval nástupu modernějších termoplastů.

Polykondenzace fenolu s formaldehydem může mít mnoho podob. Lze ji provádět najednou, nebo postupně. Je možné připravit lineární polymery, které se pak dále vytvrzují, nebo může hustá pevná polymerní síť (rezit) vzniknout hned v prvním kroku.

O tom jestli vznikne lineární, rozvětvený nebo zesíťovaný typ polymeru rozhoduje druh fenolu, poměr reagujících složek a použitý katalyzátor. Lineárním polymerem vzniklým kondenzací fenolu a formaldehydu může být buď tekutý rezol, nebo tavitelný novolak.

Novolak vzniká v kyselém prostředí, pokud je fenol v nadbytku. Není dále tvrditelný bez přidání dalšího množství aldehydu. Jako zdroj formaldehydu se při vytvrzování novolaků používá hexametylentetramin (urotropin), s jehož pomocí se z novolaků vytvářejí různé teplem tvrditelné lisovací hmoty.

Rezol vzniká v alkalickém prostředí při relativním nadbytku formaldehydu. Obsahuje dostatek metylových skupin a tak k jeho kondenzaci na resit stačí změna pH prostředí.

Kysele vytvrditelné fenol-formaldehydové rezoly se používají jako pojivo do malt pro kyselinovzdorné obklady a vyzdívky. Jsou to viskózní tmavohnědé až černé kapaliny, které se na stavbě mísí se speciálním plnivem tak, aby vznikla dobře zpracovatelná malta nebo tmel. Plnivo je nejčastěji buď křemenné, nebo grafitové a obsahuje kyselou přísadu vyvolávající vytvrzení.

Nejoblíbenějším kyselým tvrdidlem je paratoluensulfochlorid, který po smísení z rezolem přechází na kyselinu paratoluensulfonovou, a navíc ještě odštěpuje kyselý chlorovodík. Lze však použít paratoluensulfonovou kyselinu i přímo. Vhodná je rovněž kyselina fenolsulfonová nebo naftalensulfonová.

Fenolické tmely mají velmi dobrou odolnost vůči kyselinám, jejich alkalivzdornost je však nízká. Ke zvýšení chemické odolnosti se fenolické pryskyřice upravují přísadou dalších látek, např. pryskyřic furalového typu.

V továrních podmínkách je možné vytvrzovanou fenolformaldehydovou pryskyřici napěnit. Pro tepelně izolační účely se fenolická pěna vyrábí v blocích, které se řežou na desky. Výrobky z fenolické pěny byly výhodné cenově, závadou byla vysoká nasákavost (11 % objemu) a nízká pevnost materiálu.

Fenolické pěny jsou sice nasákavé, jsou však biologicky stálé a dobře odolávají jak mikroorganismům, tak i hlodavcům

Základní druh fenolické pěny s objemovou hmotností 40 $kg.m^{-3}$ má součinitel tepelné vodivosti 0,040 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Pevnost v tlaku se pohybuje okolo 0,15 MPa.

K výhodám fenolických pěn patří teplotní odolnost (krátkodobě až +200 ºC, trvale do +150 ºC). Příznivé jsou i požární vlastnosti. Stupeň hořlavosti je nanejvýše C2 (středně hořlavé).

Povrch fenolického pěnového materiálu může být opatřen různými povrchovými úpravami. Příkladem může být tepelně izolační panel složený ze dvou dřevocementových desek, které chrání vlastní pěnovou vrstvu.

Nově se vyrábí fenolická fasádní deska chráněná oboustranně lisovanou skelnou textilií. U desky je uváděn součinitel tepelné vodivosti í 0,021 $W.m^{-1}.K^{-1}$ při objemové hmotnosti 40 $kg.m^{-3}$.

Deska je výrazně dražší než desky z EPS nebo XPS a používá se proto jen na izolačně problematických detailech.

Fenolformaldehydové pojivo v podobě tepelně vytvrditelného resolu se používá i při výrobě tepelně izolačních desek či rohoží ze skleněných nebo minerálních vláken.

Fenolformaldehydové pryskyřice se dobře snášejí s dřevěným plnivem. Již v původním bakelitu byla součástí plniva dřevěná moučka a dodnes jsou fenolické pryskyřice nejpoužívanějším pojivem při výrobě dřevotřískových desek a překližek. Největší množství lisovacích fenolformaldehydových hmot se spotřebuje právě při výrobě různých překližek a dřevotřískových desek.

Speciálním problémem formaldehydových hmot je možnost emise zbytkového formaldehydu z nedokonale vytvrzeného pojiva. Všechny fenolformaldehydové hmoty určené pro interiéry musí být proto hygienicky prověřeny. Dříve oblíbené močovino-formaldehydové pryskyřice se kvůli emisím formaldehydu už do interiérů nepoužívají vůbec.

#### 4.10.2.3 Furanové kondenzáty

Pod pojem furanové pryskyřice nebo furanové polymery se zařazují kondenzační produkty furfuralu nebo furylalkoholu a kondenzáty připravované z furfuralacetonových monomerů (furfurylidenacetonu a difurfurylidenacetonu).

Jde vesměs o tmavé, kysele vytvrditelné hmoty olejovitého vzhledu používané buď v kombinaci s fenolickými rezoly, nebo i samostatně.

Jejich výhodou je odolnost v alkalickém prostředí, vydrží však velmi dobře i namáhání kyselé. Jsou ovšem výrazně dražší než fenolické hmoty.

V osmdesátých letech se používaly jako pojiva pro chemicky odolné tmely a malty ve větší míře než dnes.

Z ekologického hlediska je zajímavé, že se vyrábějí výhradně, nebo skoro výhradně z rostlinné hmoty, a jejich produkce není závislá na ropě.

Zajímavou aplikací z poslední doby je dodatečné vložkování komínů pomocí „rukávu“ ze skleněné tkaniny prosyceného furanovou pryskyřicí, který v komíně vytvoří laminátovou vystýlku.

#### 4.10.2.4 Polyuretany

Polyuretany patří k novějším typům reaktoplastů a jejich stavební použití zažívá v posledních letech velký rozmach. Nespornou výhodou je skutečnost, že vytvrzování polyuretanů probíhá jako polyadice, tedy bez odštěpování vody nebo jiného nízkomolekulárního produktu.

Při polyadiční reakci se pouze vytvoří vazby mezi dvojicí funkčních skupin obou reakčních partnerů. Takovýto průběh reakce lze dokumentovat na reakci diizokyanátu s dvojfunkčním alkoholem:

$$O=C=N\text{-}X\text{-}N=C=O + HO\text{-}Y\text{-}OH \rightarrow O=C\text{-}N\text{-}X\text{-}NH\text{-}CO\text{-}O\text{-}Y\text{-}OH$$

Ve vzniklém produktu se samozřejmě další reakce může účastnit jak zbývající izokyanátová skupina (-NCO), tak zbývající hydroxylová skupina (-OH). Reakcí izokyanátové skupiny s dvojfunkčním alkoholem na jedné straně molekuly a reakcí hydroxylové skupiny s diizokyanátem na straně druhé znovu vzniká produkt s jednou izokyanátovou a jednou hydroxylovou skupinou. Reakce tedy může opět pokračovat.

Protože se ve struktuře neuvolňují žádné nízkomolekulární sloučeniny, které by bylo nutné odstraňovat, a protože polyadice má zároveň charakter pozvolné dobře kontrolovatelné výstavbové polyreakce, jsou polyuretany mimořádně vhodné pro výrobky vytvrzované přímo na stavbě. Slabinou je citlivost některých formulací na působení vlhkosti.

Velkou výhodou polyuretanových pryskyřic je lehkost, s jakou se z nich připravují trvale pružné materiály s vynikající adhezí. Významné je proto použití polyuretanových lepidel. Jsou vhodná i na lepení PVC.

Polyuretanová pojiva mají dobrou chemickou odolnost a výtečnou odolnost povětrnostní.

Na polyuretanovém základě lze připravit mimořádně kvalitní nátěrové hmoty pro venkovní použití.

Na bázi polyuretanového pojiva plněného tvrdým bauxitovým kamenivem je kupříkladu formulován červený nátěr *rocbinda*, který po aplikaci na asfaltovou vozovku, zkracuje brzdnou dráhu za mokra o jednu třetinu. Nátěr se aplikuje v bezpečnostně problematických místech. Zkrácení brzdné dráhy spolu s optickým zvýrazněním snižuje nehodovost v natřeném úseku.

Velmi dobře je zvládnuto napěňování polyuretanů. Kromě tuhých a měkkých pěnových výrobků jsou k dispozici stříkací aparáty a spreje vytvářející PU pěnu přímo na místě použití.

#### 4.10.2.4.1 Polyuretanové prefabrikáty

Vynikající výsledky dává použití polyuretanových pěn při výrobě kusových staviv a prefabrikovaných kompozitních prvků. Díky lepším možnostem dávkování surovin a řízení celého procesu jsou takto vyrobené PU pěny kvalitnější než pěny získané ze sprejů či mobilních stříkacích zařízení.

Součinitel tepelné vodivosti pěnového polyuretanu používaného při výrobě desek a panelů je zhruba 0,030 $W.m^{-1}.K^{-1}$ a tato hodnota je stálá po řadu let.

Pro tepelnou izolaci mrazíren a chladíren se mimořádně osvědčily panely z polyuretanové pěny o tloušťce 45, 60, 80, 100, 120, 140, 170, 200 mm oplášťované pozinkovaným plechem s povrchovou úpravou polyesterovým lakem nebo nerezovým plechem.

Plechem oplášťované PU panely se používají i na WC kabinky a sanitární přepážky pro hygienická zařízení v hotelech, restauracích a veřejných budovách.

Samotné desky z PU pěny jsou nenasákavé a mohou být používány podobně jako extrudovaný polystyren.

Vyrábějí se PU desky, které jsou jednostranně či oboustranně polepeny hliníkovou fólií (určené na tepelnou izolaci vzduchovodů a klimatizačních jednotek), desky opatřené asfaltovým izolačním pásem (pro izolaci plochých střech) či desky s textilní mřížkou umožňující tenkovrstvé omítání.

Pro zateplení šikmých střech se vyrábějí polyuretanové izolační desky 2500 x 1250 mm v tloušťkách od 80 do 180 mm, Na horní straně jsou opatřeny paropropustnou fólií se samolepícími přesahy. Desky se pokládají nad krokve, na pomocný dřevěný celoplošný základ. Upevňují se přišroubováním s pomocí kontralatí. Při tloušťce 160 mm vykazuje takto zateplená střecha tepelný odpor přes 6 $m^2.K.W^{-1}$.

Při vyztužení PU skleněným vláknem lze získat kompozit vhodný i pro prvky vystavované opakovaně silné krátkodobé zátěži (poklopy na šachty a jímky). Z tuhé polyuretanové pěny vyztužené skleněným vláknem se zhotovují i izolační jádra do ocelových dveřích a tak zvané nosiče (sokly) samonosných sprchových vaniček.

Polyuretanové pojivo se využívá při výrobě pevných kompozitních desek vyráběný z plochých borovicových třísek (viz. kap.4.11.6.5).



*Obr. 4.132* Kompozitní deska z plochých třísek pojených polyuretanem (OSB deska)

### 4.10.2.5 Epoxidy

Výroba epoxidových pryskyřic u nás patří tradičně k silným segmentům chemického průmyslu. V sedmdesátých letech minulého století jsme produkcí epoxidových pryskyřic přepočtenou na počet obyvatel byli na prvním místě na světě. V posledních letech přitom došlo k rozsáhlé modernizaci tuzemské výroby a české epoxidové pryskyřice patří mezi špičkové.

Epoxidové pryskyřice mají pro použití ve stavebnictví několik neocenitelných výhod. Mají především vynikající adhezi prakticky ke všem běžným stavebním povrchům. Po smísení s tvrdidlem vytvrzují ochotně v širokém teplotním rozmezí. Vytvrzují bez větších objemových změn a výsledný produkt je mechanicky i chemicky odolný.

Základem většiny vyráběných epoxidových pryskyřic jsou diglycidylové polymery připravené z 1,2-epoxy-3-chlorpropanu (epichlorhydrinu) a 2,2-bis-(4-hydroxyfenyl)-propanu (dianu). Tyto diandiglycidylétery se připravují s různou molekulovou hmotností. Výšemolekulární typy epoxidových epoxidových pryskyřic jsou za normální teploty tuhé. Ve formě roztoků v organických rozpouštědlech (xylenu a butanolu) se používají jako pojiva do dvousložkových nátěrových hmot. K jejich vytvrzování nestačí pouze zasychání. Musí se přidávat tvrdicí složka (aminoamidové pryskyřice nebo epoxiaminový adukt). Výsledný vytvrzený film však vykazuje vynikající chemickou odolnost.

Pro přípravu tekutých pojiv použitelných pro výrobu tmelů a polymerbetonů mají význam jen nízkomolekulární a středněmolekulární typy epoxidových pryskyřic, které mají podobu viskózních kapalin.

Pro zpracování v běžných stavebních podmínkách je jejich viskozita příliš vysoká, a proto se již ve výrobě k těmto pryskyřicím přidávají speciální nízkoviskózní přísady a změkčovadla. Tak vznikají jednotlivé komerční typy tekutých epoxidových pryskyřic, které se od sebe liší hlavně druhem a množstvím nízkoviskózních přísad.

Pro epoxidové pryskyřice je typická struktura relativně tuhého řetězce (nejčastěji dianového typu), ukončeného na obou stranách glycidyléterovými (epoxidovými) skupinami. Tříčlenný epoxidový kruh na obou stranách se snadno otevírá celou řadou látek s aktivním vodíkem a s látkou poskytující vodík vytváří po otevření pevnou vazbu.

Tvrdidla používaná ve stavební praxi k vytvrzování epoxidových tekutých pryskyřic jsou odvozena od alifatických a cykloalifatických polyaminů. Patrně nejpoužívanějším tvrdidlem je alifatický dietylentriamin ($H_2NCH_2CH_2NHCH_2CH_2NH_2$) známý pod zkratkou DETA.

Aminová tvrdidla jsou vesměs žíravá. Zasažení očí či pokožky je třeba ošetřovat stejně jako zásah louhem.

Epoxidové pryskyřice dobře snášejí nejrůznější modifikační přísady, a to umožňuje vytvářet ze základních pryskyřic pestrou paletu nejrůznějších materiálů.

Přísadou vhodného ředidla a příslušného tvrdidla lze z epoxidových pryskyřic snadno připravit vysoce tekuté laky dobře pronikající do pórovitých podkladů. Epoxidovou pryskyřicí provedená penetrace zvyšuje povrchovou soudržnost betonu až o 50 %.

Nejběžnější epoxidový penetrační lak obsahuje aceton a při jeho používání je nutné dodržovat opatření k zabránění požáru nebo výbuchu. Bezrozpouštědlové epoxidové penetrační nátěry jsou z hlediska bezpečnosti práce výhodnější, jsou však podstatně dražší.

Epoxidové pryskyřice mají vynikající adhezní vlastnosti a jsou široce používány jako lepidla. Pro lepení konstrukcí je však možno používat je takové výrobky, které jsou pro příslušné použití odzkoušeny a schváleny.

### 4.10.2.6 Silikony

Silikony se od ostatních makromolekulárních sloučenin výrazně liší svojí atomární strukturou. Jejich základem je siloxanový řetězec (tedy řetězec ve kterém se střídají atomy křemíku a kyslíku:

–Si(R´,R)–O-Si(R´,R)–O-Si(R´,R)-O-.

Pokud má tento řetězec křemíkové atomy obsazeny na obou zbývajících pozicích uhlíkatými radikály (R,R´), má makromolekulární produkt charakter kaučuku. Pokud je poměr uhlíkatých radikálů ke křemíku menší než 2, je základní siloxanový řetězec větvený nebo síťovaný a vzniká silikonová pryskyřice.

Kaučuky s molekulovou hmotnosti 10 000 – 100 000 jsou za normální teploty tekuté. Dají se snadno vulkanizovat do podoby elastické gumy, přičemž vulkanizační proces probíhá již za normální teploty a vyžaduje přítomnost vody. Toho se využívá k přípravě materiálů, jejichž vytvrzování začíná po styku se vzdušnou vlhkostí.

Z hlediska uživatele vypadají vzdušnou vlhkostí vytvrzované tmely jako jednosložkové. Typickým obalem je hermeticky uzavřená kartuše, která se bezprostředně po otevření vkládá do spárovací pistole. Vytvrzování probíhá směrem od povrchu dovnitř hmoty tmelu a jeho rychlost závisí především na relativní vlhkosti vzduchu.

Vyrábějí se i dvousložkové silikonové kaučuky, které se používají spíše pro tekutější (zalévací a odlévací) hmoty.

Vzniklá silikonová pryž (vytvrzený tmel) je odolná proti působení UV záření a bez výrazného stárnutí odolává povětrnostním podmínkám. Zejména dlouhodobé zachování původní elastičnosti má pro aplikace silikonových tmelů zásadní význam.

Často uváděná vysoká teplotní odolnost silikonových tmelů (minimálně 150 ºC ) se ve stavební praxi zpravidla nevyužije.

Adhezní vlastnosti silikonových tmelů se v literatuře většinou uvádějí jako výtečné. Je však třeba upozornit na fakt, že některé silikonové tmely vykazují po vytvrzení kyselou reakci. Uvolněná kyselina podstatně zhoršuje adhezi k materiálům, které nejsou vůči jejímu působení odolné.

Kysele reagující tmely, které v průběhu vytvrzování uvolňují zpravidla kyselinu octovou, jsou vhodné pro vzájemné lepení skleněných prvků, ne však pro styk s betonem, omítkou nebo sádrokartonem. Pro tyto účely existují speciální tmely s neutrální reakcí.

Chemická odolnost silikonové pryže je menší, než se obvykle předpokládá. V řadě rozpouštědel (zejména pokud obsahují aromáty) silikonová pryž bobtná. Koncentrované kyseliny i alkálie způsobí silné narušení. Spolehlivou ochranu poskytnou silikonové materiály jen v případě vodných roztoků neutrálních solí. Chemická odolnost silikonových tmelů navíc silně závisí na konkrétním typu tmelu. Pro dotěsňování sanitárních prvků se musejí používat tmely, které jsou pro tento účel deklarované.

Silikonové tmely nebo silikonové těsnicí provazce (bužírky) se používají k velmi kvalitnímu dotěsnění oken a dveří. Při komplexním řešení dodatečných zateplovacích opatření mají proto své nezastupitelné místo.

Roztoky silikonových pryskyřic mají výrazné hydrofobizační účinky, jsou proto používány jako nátěry omítek a jako ochrana silikátových povrchů proti negativním účinkům rozmrazovacích posypů.

### 4.10.2.7 Ostatní reaktoplastická pojiva

Z dosud nezmíněných reaktoplastů je na místě uvést ještě melaminformaldehydové pryskyřice (používané na výrobu laminátů tvořících povrch různých nábytkových ploch, včetně pracovních desek kuchyňských linek) a anilinformaldehydové pryskyřice, které jsou velmi podobné pryskyřicím fenolformaldehydovým.

### 4.10.2.8 Reaktoplastické kompozity

Polymerní kompozity jsou materiály sestávající z polymerní matrice (souvislé fáze) a ztužujícího či zpevňujícího plniva anorganického nebo organického původu. Běžně rozlišujeme několik typů plniv: izometrické částice (granulární plniva), lamely (vločková plniva), krátká vlákna a kontinuální vlákna. Vláknité výztuže mohou mít navíc podobu tkanin nebo netkaných textilií (rohoží).

Vlastnosti kompozitů závisí především na vlastnostech fází, na jejich objemovém zastoupení v kompozitu a jejich geometrickém tvaru a na interakci a vlastnostech styku jednotlivých fází.

Pokrytím plniva vazebným činidlem se sníží stykové napětí a zvyšuje se soudržnost. Vlastní pevnost plniva však může být povrchovou úpravou negativně ovlivněna.

Zpracování kompozitů s částicovým plnivem je jednodušší než kompozitů s vlákny, protože zrna nejsou citlivá k vrubům. Zrna se tedy tak snadno nelámají a lze použít velmi intenzivní mechanické míšení.

Téměř všechna plniva zvyšují tuhost matrice a zlepšují rozměrovou stabilitu, zejména během tvarování. Kombinováním křehké matrice s pružným granulárním plnivem lze získat pevný a trvale pružný materiál, tuhé plnivo ve viskózní matrici omezuje a zpomaluje elastické deformace, zejména pak viskózní tok spojité struktury. Důsledkem přidání plniva je nižší cena výrobku z hlediska materiálových nákladů.

Granulární kompozity je možné rozdělit na tzv. kompozity prvého typu (plněné pojivo), ve kterých jednotlivé částice plniva jsou navzájem odděleny pojivem, a na kompozity druhého druhu, ve kterých aglomerací částic plniva vzniká souvislá výztužná kostra (pojené plnivo). V podstatě se jedná o analogii solových a gelových materiálů.

S kompozity prvého typu se nejčastěji setkáváme v případě plněných termoplastů. Kompozity druhého typu se ve stavebnictví vyskytují zejména jako polymerbetony.

#### 4.10.2.8.1 Polymermalty a polymerbetony

Polymerbetony a polymermalty jsou kompozitní materiály podobné cementovým maltám nebo cementovým betonům, ale roli cementového pojiva v nich přebírá reaktivní polymerní materiál, nejčastěji reaktoplastická pryskyřice. Plnivo může být v zásadě stejné jako v běžném betonu, musí však být suché. S ohledem na cenu polymerbetonového kompozitu se však výběru plniva věnuje zvýšená pozornost. Pečlivě se řeší jeho granulometrie tak, aby spotřeba drahého pojiva byla co nejmenší.

Zejména pro vysokou cenu polymerních pojiv nelze očekávat, že by se polymerbetony někdy prosadily jako všeobecný stavební materiál. Pro své vlastnosti však zaujímají významné místo mezi stavebními materiály používanými ve zvláštních případech.

K vysoce ceněným vlastnostem polymerbetonů patří rychlost, s jakou nabývají vysokých hodnot mechanických pevností a snadná zhotovitelnost tenkých nebo zase velmi silných prvků. S ohledem na odolnost vůči agresivnímu prostředí nacházejí polymerbetony široké uplatnění jako ochranné a izolační vrstvy, typickou aplikační oblastí pak jsou polymerbetonové průmyslové podlahy.

Srovnání cementového betonu a polymerbetonu *Tab. 4.150*

| Vlastnost | Cementový beton | Polymerbeton |
|---|---|---|
| Měrná hmotnost ($kg.m^{-3}$) | 2 500 – 2 700 | 1 900 – 2 400 |
| Nasákavost hmotnostní (%) | 6 – 13 | 0,02 – 1 |
| Pevnost v tlaku (MPa) | 6 – 60 | 50 – 210 |
| Pevnost v tahu (MPa) | 1 – 5 | 4 – 25 |
| Modul pružnosti (GPa) | 15 – 40 | 10 – 40 |
| Součinitel lineární teplotní roztažnosti ($10^6 . K^{-1}$) | 9 – 12 | 10 – 50 |

S ohledem na charakter pojiva nejsou polymerbetonové podlahy žárovzdorné. Nehodí se proto kupříkladu do hutnických provozů.

Běžné polymerbetonové podlahoviny se připravují přímo na stavbě. Vychází se přitom z organického postupně vytvrzujícího pojiva a zrnitého (zpravidla anorganického) plniva. Hmotnostní poměr pojiva k plnivu bývá běžně v rozmezí od 1 : 3 až 1 : 9 (výjimečně až 1 : 15).

Pojivo se dodává na stavbu v podobě dílčích složek, nejčastěji je dvousložkové. Samostatné složky jsou relativně dlouho skladovatelné. Bezprostředně před přidáním plniva se obě složky pojiva smísí a vytvoří tekutou reaktivní směs.

Chemická podstata pojiva může být relativně pestrá. Hlavní materiálovou bázi tvořily nejprve nenasycené polyestery a epoxidové pryskyřice. V posledních letech se více objevují i polyuretanová a metylmetakrylátová polymerbetonová pojiva.

Při praktické přípravě polymerbetonu se bezprostředně po smísení složek pojiva do vzniklé směsi vmíchá ještě suché zrnité plnivo tak, aby vznikla směs se zpracovatelsky přijatelnou konzistencí.

Plnivo se vlastní vytvrzovací reakce aktivně neúčastní, jeho přítomnost však průběh vytvrzování zpomaluje, protože pohlcuje podstatnou část reakčního tepla.

Používaná pojiva jsou často již ve výrobě barevně upravována přísadou barviv nebo pigmentů, méně častou alternativou jsou pojiva, do kterých je předem ve výrobě přidáno i plnivo.

I když mnohé vlastnosti polymerbetonových směsí závisí na konkrétní formulaci, a zejména pak na druhu použitého pojiva, lze stanovit celou řadu obecně platných zásad, které je třeba při přípravě kvalitní polymerbetonové směsi dodržovat.

Prvním požadavkem je správné a přesné odměření všech složek při přípravě polymerbetonové směsi, zejména pak dodržení správného poměru obou složek pojiva.

Druhým požadavkem je dokonalá homogenizace při přípravě polymerbetonové směsi. Kvalitní polymerbetonovou směs nelze v žádném případě připravit v běžné spádové míchačce na výrobu malty nebo betonu. Musí být použit míchací stroj s nuceným oběhem (míchacími rameny), nejlépe pak protiběžná planetová míchačka.

Třetím faktorem podmiňujícím přípravu kvalitní polymerbetonové směsi je suché inertní plnivo vhodného granulometrického složení. Používání zvlhlého plniva výrazně snižuje pevnost všech běžných polymerbetonových kompozic.

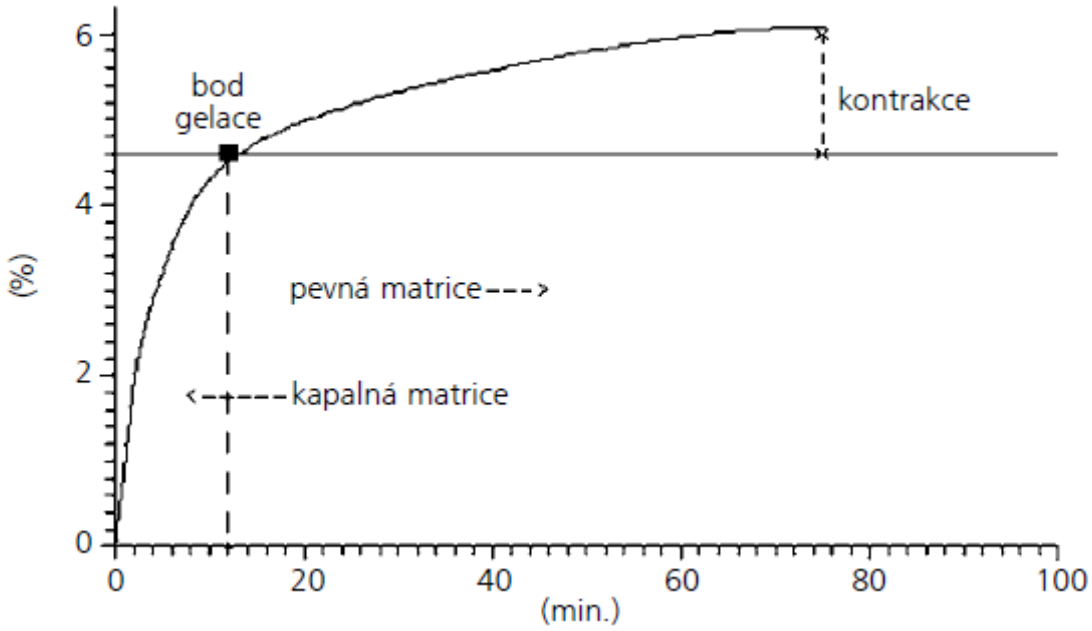
Směsi s nevhodnou granulometrií jsou často nehomogenní nebo mezerovité. Příliš velký obsah pojiva je nežádoucí z ekonomických i z ryze technických důvodů, protože organická pojiva mají řádově větší koeficient lineární teplotní roztažnosti než obyčejný beton. Příliš malý obsah pojiva ovšem zase zhoršuje zpracovatelnost polymerbetonové směsi a jeho důsledkem může být zvýšená pórovitost vytvrzeného polymerbetonu.

Výsledné vlastnosti polymerbetonového kompozitu mohou být dramaticky ovlivněny nevhodným použitím organických ředidel. Podlahy z polymerbetonové směsi obsahující organická ředidla jsou méně pevné, vykazují výrazně vyšší smrštění a většinou jsou dlouhodobě hygienicky závadné.

Za normální podmínek se větší část smrštění reakční směsi uskutečňuje v době, kdy je matrice ještě tekutá a smrštění se vyrovná jejím viskózním tokem. Únik ředidla z již vytvrzené matrice vyvolává pnutí a může způsobit i poškození kompozitu (viz *obr. 4.133*).

S použitím různobarevného kameniva a vhodně tvarovaných plastových lišt, sloužících jako šablony, se z polymerbetonu dají připravovat i esteticky náročné intarzované podlahy.

Vysoké estetické nároky splňují kamenicky opracované polymerbetonové desky. Vyrábějí se s použitím hrubozrnného plniva z ušlechtilých hornin, které se mísí s minimálním množstvím polyesterové nebo metylmetakrylátové pryskyřice a po vibračně-vakuovém zhutnění se za tepla vytvrzují v deskových formách. Vytvrzený výrobek (konglomerovaný kámen) se brousí a leští stejně jako deska z přírodní horniny (viz 4.1.2.3).




*Obr. 4.133* Průběh smrštění reakční směsi v závislosti na čase

Na závěr je ještě třeba poznamenat, že více než třicet let byly polymerbetony, tak jak jsou výše definovány, označovány jako plastbetony a tento termín dodnes v odborné veřejnosti přežívá.

V důsledku velmi problematického jazykového purismu a možná i ve snaze používat „světovější“ označení, bylo v osmdesátých letech minulého století zavedeno nové polymerbetonové názvosloví.

Špatně uvážený názvoslovný krok je dodnes (skoro po dvaceti letech) příčinou mnohých nedorozumění. V době, kdy se běžně používal pojem plastbeton, se totiž polymerbetonem označoval materiál, kterému dnes říkáme polymercementový beton.

Protože zdaleka ne všichni znají a respektují polymerbetonovou názvoslovnou novelizaci, je stále zapotřebí zjišťovat, jaký druh materiálu má mluvčí či autor pod termínem polymerbeton vlastně na mysli.

Zcela uspokojivé řešení vzniklé situace bohužel nepřináší ani používání mezinárodních zkratek PC (Polymer Concrete) a PCC (Polymer Cement Concrete), protože v české literatuře se s termínem „PC beton“ můžeme setkat i ve významu „beton z portlandského cementu“.

#### 4.10.2.8.2 Skelné lamináty

Kontrola rozvoje trhlin je hlavním přínosem vláknitých kompozitů. Houževnatost vláknitých materiálů je dána nejen vlastní pevností vložených vláken, ale i tím, že deformační energie může být absorbována vytahováním vláken z matrice.

Jelikož je nezbytné, aby došlo k dokonalému kontaktu obou složek, musí mít pojivo (matrice) dobré smáčecí schopnosti. Intenzita kontaktu mezi vlákny a matricí se běžně upravuje pomocí vazebných prostředků zlepšujících mezifázovou adhezi.

Jako vláknitá výztuž polymerních materiálů se nejčastěji používá nízkoalkalické sklo vytažené do vláken o tloušťce 0,005 – 0,015 mm (kap. 4.3.5).

Jednotlivá vlákna se sdružují do pramenců. Mohou se používat jako rozptýlená výztuž v podobě sekaných kousků o délce 3 – 50 mm. Krátkými sekanými vlákny se příznivě ovlivňují zejména mechanické vlastnosti termoplastů. Množství vláken nepřekračuje zpravidla 30 % hmotnostních.

V případě reaktoplastů stále vzrůstá podíl kompozitů s výztuží v podobě rohoží vytvořených z nasekaných vláken nepravidelně rozložených v ploše. Tato vlákna jsou obvykle propojena polymerním pojivem a skleněné rohože tedy jsou vlastně také polymerním kompozitním materiálem.

Skleněné pramence mohou být zpracovány i textilním způsobem. Vznikají tak skleněné tkaniny nejčastěji s plátnovou vazbou. Použitím vložek ze skleněné tkaniny nebo rohože vznikají vrstevnatě uspořádané kompozity. Kompozity se zřetelně vrstevnatou strukturou se označují jako lamináty. Zvláštním druhem laminátového polotovaru jsou *prepregy*, tj. rohože nebo tkaniny napouštěné tepelně vytvrditelným pojivem.

Továrně vyrobené lamináty se s výhodou připravují lisováním prepregů nebo navíjením pryskyřicí smočených pramenců na vhodné formy. Přímo na stavbě lze použít technologii stříkání pryskyřičného pojiva spolu se skleněným pramencem sekaným rotujícími noži u ústí speciální stříkací pistole na krátké kousky.

Nejjednodušší je ruční kladení (kontaktní laminování), při kterém se na sebe kladou vrstvy skleněných tkanin nebo rohoží a pomocí štětců nebo válečků se prosycují pojivem. Hladké neporézní povrchy se docilují vrstvou samotného pojiva (gel-coat) nebo použitím zvláště jemné závojové rohože.

Základní mechanické vlastnosti skelných laminátů *Tab. 4.151*

| Druh laminátu | Pevnost v tahu (MPa) | Modul pružnosti (GPa) |
|---|---|---|
| Kontaktní (z tkaniny) | 100 – 200 | 15 – 20 |
| Kontaktní (z rohože) | 60 – 120 | 7 – 12 |
| Lisovaný (z tkaniny) | 150 – 600 | 18 – 30 |
| Lisovaný (z rohože) | 100 – 250 | 12 – 22 |
| Vinutý (z pramenců) | 400 – 990 | 30 – 45 |

Z hlediska budoucích mechanických vlastností by měl být obsah vláken v laminátu co největší. U ručně kladených laminátů na bázi skleněných tkanin se dosahuje obsah skla asi 50 %, u laminátů z rohoží a laminátů stříkaných asi 30 %. Při navíjení nebo lisování v továrně se dosahuje vyšších obsahů (60 – 80 % skla).

Mechanické vlastnosti laminátu ve směrech jeho plochy ovlivňuje především výztuž. Chování ve směru kolmém na plochu je závislé zejména na tloušťce, a je proto ovlivňováno i množstvím pryskyřice. Pevnost laminátu v tlaku je vždy nižší než v tahu.

Hodnota mezního přetvoření se u skelných laminátů pohybuje v rozmezí 0,25 – 0,30 %. Součinitel tepelné vodivosti činí asi 0,20 – 0,35 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Poměr modulu pružnosti k pevnosti je podstatně nižší než u konstrukčních ocelí a v důsledku snadné deformace mají laminátové díly sklon ke ztrátě stability. Při dlouhodobém zatížení je tato slabina ještě výraznější. Je proto nutné navrhovat laminátové konstrukční prvky co nejtužší.

Kromě skleněných tkanin se k výrobě laminátů používá i papír, který ve spojení melaminoformaldehydovou pryskyřicí dává pěkné lesklé povrchy. Vyrobené desky se používají k povrchové úpravě dřevotřískových desek.

### 4.10.2.8.3 Uhlíkové lamely

Uhlíkové lamely (CFK lamely) představují speciální typ laminátu určeného jako externí výztuž. Zhotovují se z pružné epoxidové pryskyřice plněné tuhými uhlíkovými vlákny a dodávají se v rolích o délce až 250 m a šířce 50 – 120 mm. Tloušťka lamel je 1,2 – 1,4 mm.

Uhlíkové lamely představují materiál, jehož tuhost je srovnatelná s ocelí. Modul elasticity činí 170 – 300 GPa, tažnost se pohybuje v rozmezí 0,5 – 1,7 %.

Používají se především k zesilování únosnosti železobetonových a dřevěných konstrukcí, mohou se však použít i k fixaci trhlin v cihelném zdivu.

Pro úspěšnou aplikaci CFK lamel musí být odtrhová pevnost podkladu minimálně 1,5 MPa, vlhkost maximálně 4 %. Výchylka povrchu od roviny může být asi 20 mm na 2 m délky přilepené lamely. Lamely musí být před aplikací čištěny speciálním přípravkem a lepeny musí být rovněž speciálním lepidlem.

Výhodou lamelového ztužování jsou zanedbatelné prostorové nároky lamelové výztuže, rychlost prací, možnost křížení zesilovacího systému a možnost aplikace na dlouhé dílce. Nalepené lamely lze přetírat nebo skrýt pod omítku.

.

### 4.10.3 Elastomery

Tvoří zvláštní skupinu lineárních polymerů, jejichž teplota skelného přechodu je nižší než -20 °C. Elastomery s extrémně elastickým chováním jsou známé také jako kaučuky.

Kaučuky jsou amorfní makromolekulární látky tvořené velmi řídce sesíťovanými lineárními molekulami. Dodatečným pospojováním těchto molekul (nejčastěji s pomocí síry) se připravují poněkud tvrdší pryže. V běžné řeči se slovem guma rozumí jak kaučuk, tak pryž.

Obvyklou součástí upravujících vlastnosti technicky používaných elastomerů jsou aktivní plniva. Nejvýznamnějším aktivním plnivem jsou speciálně vyráběné saze.

Elastomerů se ve stavebnictví používá celá řada. Nejčastěji se používají ve formě desek, profilů nebo fólií, k jejichž přípravě je nutné na základní hmotu působit zvýšenou teplotou a tlakem, což lze prakticky uskutečnit jen v továrně. Na stavbu proto přicházejí již jako hotové výrobky. Velmi často slouží jako těsnění proti kapalinám, parám i plynům.

V menší míře se používají kaučukové hmoty, jejichž vytvrzování se provádí na stavbě. Jsou to především různé pružné tmely a lepidla.

Podle typu základního monomeru, který je stavební jednotkou kaučuku, hovoříme u kaučuku butadienovém, izoprenovém, chloroprenovém, butadienstyrenovém, butadienakrylonitrilovém, akrylátovém, polyuretanovém či butylkaučuku.

Nejpoužívanějším umělým elastomerem současnosti je styren-butadienový kaučuk (SBR) vyráběný společnou polymerací butadienu a styrenu,

Nejdéle vyráběným umělým kaučukem je polybudatien (BR):

$H—(CH_2—CH=CH—CH_2)_n—H$,

vyráběný od roku 1930.

Polybutadien zůstává druhým nejčastěji používaným elastomerem (zejména díky výrobě pneumatik).

Pro kaučuky jsou charakteristické dlouhé řetězce obsahující izolované dvojné vazby. Ty představují místa ve kterých je možné řetězce spojovat dohromady pomocí vulkanizačních činidel.

Nejčastěji používaným vulkanizačním činidlem je síra vytvářející za zvýšené teploty mezi řetězci kaučuku sirné můstky tvořené jedním nebo více atomy.

Vulkanizovaný kaučuk se má správně označovat jako pryž (guma). Toto názvoslovné pravidlo však v praxi často není dodržováno.

Vulkanizací lze měnit elasticitu kaučuku v širokém rozmezí a lze tak připravit i velmi tvrdou pryž (*ebonit*).

Odlišným mechanismem dochází ke vniku sirných můstků v případě polysulfidických kaučuků, dnes běžně zmiňovaných pod zobecnělým firemním názvem *thiokoly.*

Výchozí surovinou pro výrobu thiokolového kaučuku jsou relativně nízkomolekulární sloučeniny (oligomery) zakončené hydrosulfidovými skupinami. Obvykle jsou označovány jako tekutý thiokol.

Tekutý thiokol se plnivy upravuje do podoby pastovitého tmelu a po smíchání s oxidujícím tvrdidlem ($MnO_2$) přechází do podoby pružné gumy, ve které jsou původní hydrosulfidové skupiny změněny v disulfidické můstky:

$$HS\text{-}X\text{-}SH + HS\text{-}X\text{-}SH + O \rightarrow HS\text{-}X\text{-}SS\text{-}X\text{-}SS\text{-}X\text{-}SH + H_2O$$

Thiokoly se pro vynikající povětrnostní odolnost prosadily při dotěsňování kritických míst plechových střech a klempířských prvků. Výtečně se osvědčily i při utěsňování spár mezi panely, kde se využila jejich velká praktická tažnost.

Tyto materiály vzácně spojují mimořádnou pružnost s dobrou chemickou odolností. Vynikající je jejich odolnost vůči ropě a ropným produktům.

Velkou výhodou thiokolového kaučuku je, že jeho vytvrzování se dá lehce uskutečnit při normální teplotě. K nevýhodám patří opravdu dosti odpudivý zápach nevytvrzených výrobků.

### 4.10.4 Polymerní disperze

Polymerní disperze, používané při přípravě polymercementových kompozitů a k výrobě nátěrových hmot a lepidel, jsou dvoufázové systémy ředitelné vodou.

Jsou tvořeny kulovitými částicemi polymeru o průměrné velikosti 100 – 300 nm rovnoměrně rozptýlenými ve vodní fázi. Povrch těchto polymerních mikrokuliček (zvaných micely) je potažen ochranou vrstvou pomocných látek, zabraňujících splynutí kuliček při náhodném vzájemném nárazu.

K těmto pomocným látkám patří emulgátory, které pocházejí z výroby disperze technikou emulzní polymerace (původní emulze monomeru ve vodě polymerizací přechází ve stabilní disperzi polymeru ve vodě).

K čerstvě vyrobené disperzi se pak obvykle ještě přidává ochranný koloid, který zvyšuje stabilitu disperzí proti nízkým teplotám, mechanickou stabilitu, odolnost vůči elektrolytům. Nejčastěji se používá metylcelulóza, hydroxyetylcelulóza a polyvinylalkohol.

Kromě ochranného koloidu může disperze ještě obsahovat koloidní zahušťovadla, která zvyšují viskozitu polymerních disperzí. Zahušťovadla jsou však často totožná s ochrannými koloidy. V nevodné fázi mohou být dále přítomny změkčovadla a látky usnadňující síťování polymerního filmu.

Obsah nevodné fáze lze s uspokojivou přesností vyjádřit pomocí sušiny. Obvykle dostupné disperze mají sušinu cca 50 %, obsahují tedy okolo 50 % vody.

Vlastní pojivový film vzniká z disperze odpařením přítomné vody. S postupujícím odpařováním vody se jednotlivé micely navzájem přibližují a nakonec se dotýkají. V nově vzniklém systému přestávají působit stabilizační látky a micely začnou splývat a vytvářet strukturu včelích pláství.

Pokud je teplota schnutí vyšší než tak zvaná minimální filmotvorná teplota (MFT), dochází ke koalescenci. Polymerní částice se slijí a vytvoří souvislý transparentní film.

Pod hodnotou MFT je film nesouvislý a v důsledku řady mikrotrhlinek má mléčnou barvu. Proto se minimální filmotvorné teplotě také říká *teplota zbělení*.

Ke snížení MFT (a tím rozšíření použitelnosti disperze) se k polymeru přidávají změkčovadla snižující teplotu skelného přechodu, a tím i minimální filmotvornou teplotu. Ke zlepšení mechanických vlastností se přidávají látky, které vyvolávají v zasychající disperzi síťování.

Nejstarší používanou disperzí je latex z přírodního kaučuku a v současnosti se v disperzní formě vyrábějí a používají i mnohé kaučuky syntetické.

Počátkem padesátých let byly ve stavebnictví používány převážně homopolymerní polyvinylacetátové disperze (PVAc), které byly postupně vytlačovány stálejšími disperzemi akrylátovými. Polyvinylacetátovým disperzím byla právem vyčítána nízká alkalivzdornost, která zhoršovala trvanlivost PVAc filmu v trvale vlhkém prostředí.

Kromě homopolymerů se dnes používají i disperze kopolymerní obsahující dvě i tři navzájem se doplňující stavební jednotky. Oblíbenou kombinací pro přípravu polymercementových materiálů jsou styren-akrylátové kopolymery.

Odolnost k alkalické hydrolýze roste v řadě polyvinylacetát < vinylacetát-akrylát < styren-akrylát < polyakrylát a z tohoto důvodu někteří výrobci dávají při formulaci přednost čistě akrylátovým disperzím.

### 4.10.5 Přírodní polymery

Vhodně upravené přírodní látky byly fakticky prvními průmyslově vyráběnými polymerními hmotami. Význam některých z nich časem upadl, jiné si však zachovaly svůj specifický význam. Vhodnými surovinami pro další úpravu jsou zejména polysacharidické a bílkovínné látky.

Největší skupinu tvoří hmoty na bázi chemicky upravené celulózy. Celulóza sama je glukosový polysarachid empirického vzorce $(C_5H_{10}O_5)_n$ obsahující v řetězci nejméně 1000 molekul D-glukosy. V každé stavební jednotce jsou k dispozici tři volné hydroxylové skupiny , které je možné esterifikovat. Vhodným zdrojem kvalitní celulózy je bavlna. Technický produkt bohatý na celulózu získávaný například ze dřeva se označuje jako buničina.

Nejstarším průmyslově vyráběným éterem celulózy byl její nitrát, který se po úpravě změkčovadly používal k výrobě transparentních prvků (celuloid). Pro enormní hořlavost neměl celuloid nikdy významnější stavební použití a dnes se již prakticky nevyrábí.

Ve výrobě zatím stále zůstávají rychleschnoucí laky na bázi nitrocelulózy, používané především k interiérové úpravě dřeva.

Svůj význam si zachovávají metylcelulóza (tylóza) a karboxymetylcelulóza. Obě látky se používají ke klížení malířský barev, ale jejich hlavním stavebním použitím je úprava vlastností maltových směsí a stabilizace polymerních disperzí.

Ke stabilizaci maltových směsí se používá i hydroxypropylmetylcelulóza (HPMC), která je zvláště efektivním prostředkem omezujícím odlučování vody (bleeding).

Deriváty celulózy jsou společně s polyvinylalkoholem přísadou používanou při přípravě MDF betonů (macro defect free concretes).

Škrob má podobnou chemickou strukturu jako celulóza. Tvoří ho polysacharidy odvozené od D-glukozy. V některých rostlinných částech se škrob jako rezervní látka hromadí v podobě škrobových zrn tvořených nerozpustným polysacharidickým amylopektinem (kterého škrob obsahuje 80 -90 %) a ve vodě rozpustnou amylosou. Molekulová hmotnost amylopektinu je 50 000 až 1 000 000, molekulová hmotnost amylosy se pohybuje mezi 10 000 až 50 000.

Škrobová zrna mají velkost od 2 (rýžový škrob) do 100 μm (bramborový škrob). neporušená škrobová zrna se ve studené vodě nemění. Ohřevem nebo působením chemických činidel (nejčastěji alkálií) dochází k částečné hydrolýze vedoucí na mazovité produkty používané jako lepidla nebo k apretaci (ztužování) tkanin.

Škrobová lepidla nejsou obecně vodostálá proto je jejich stavební použití omezené¨a uplatňují spíše tam kde je jejich funkce spíše dočasná.

Podobné použití mají i škrobové hydrolysáty se sníženým obsahem vody označované jako dextriny.

Klasickým použitím škrobových hydrolyzátů je příprava pojivového systému ke spojování (klížení) malířských hlinek. Při provádění interiérových maleb není nízká vodostálost na závadu a naopak umožňuje snadné odstranění zašpiněné vrstvy při novém malování.

Z polymerních materiálů na bílkovinné bázi má v současnosti určité uplatnění při formulaci stavebních hmot pouze kasein. Výroba glutinových lepidel dříve velmi oblíbených při spojování dřevěných prvků (kostní klih) je na ústupu.

Kasein je mléčná bílkovina patřící do skupiny fosfoproteidů. Z kravského mléka (které obsahuje 2 – 4 % kaseinu) se pro technické účelu sráží působením kyselin tak zvaný kyselý kasein.

Soli získávané působením alkálií na kyselý kasein (kaseináty) se dobře snášejí s cementem. Zvyšují lepivost a vodotěsnost. S kaseináty se proto stále můžeme setkat v některých lepicích maltách používaných při lepení obkladových materiálů a v některých hydroizolačních stěrkových hmotách.

Na bázi kaseinu se vyrábějí také lepidla pro lepení papírových tapet.

Mezi průmyslově využívanými polymery přírodního původu má mimořádné postavení elastomer běžně označovaný jako *přírodní kaučuk*, jehož podíl na celkové produkci elastomerů činí stále více než 40 %.

Z chemického hlediska jde o polymer 2-metyl-1,3-butadienu: $CH_2=C(CH_3)CH=CH_2$ (cis-polyisopren).

Získává se z kaučukovníku brazilského (*Hevea brasiliensis*) nařezáváním jeho kůry. Ze zářezů prýští disperze surového kaučuku (latex). Ten se upravuje srážením kyselinou), propírá se k odstranění zbytků kyseliny a následně suší. Vyrobí se tak *krepa,* ze které dalšími úpravami (přídavkem plniv, dalších aditiv a vulkanizací) vzniká použitelná pryž.

Přírodním butadienovým polymerem je i *gutaperča* získávaná z disperzní šťávy perčovníku pravého (*Palaquium gutta*). Na rozdíl od kaučuku je gutaperča trans-polyisopren a je tudíž méně elastická. Má však výborné izolační vlastnosti, je vodostálá a vodonepropustná.

Převážně trans-polyisoprenem je i *balata* získávaná z guyanského volovníku *(Manilkara bidentata*), používá se jako náhražka dražší gutaperči.

Gutaperča se používala při výrobě podlah z korkové drtě; dnes je její stavební použití zřejmě raritní. Jedná se však o výrobek získávaný z obnovitelných zdrojů a její význam může opět vzrůst.

## 4.11 Dřevo

Dřevo patří k nejstarším stavebním materiálům. Bylo používáno zřejmě již od pravěku. I když se nejstarší dřevěné stavby nezachovaly, můžeme na jejich podobu usuzovat z podoby dřevěných staveb v soudobých primitivních kulturách.

V současné době zaznamenávají dřevěné konstrukce celosvětově velký rozvoj. Hlavními důvody tohoto vývoje jsou výhodné konstrukční vlastnosti dřeva, zejména lehkost, snadná opracovatelnost a dobré izolační vlastnosti. Stále více jsou využívány i dobré vlastnosti lepených dřevěných prvků a kompozitních materiálů na bázi dřeva. Svůj podíl na stoupající oblibě dřeva mají také požadavky na ochranu životního prostředí, protože právě dřevo je jedním z mála stavebních materiálů, které jsou schopny se přirozeně obnovovat.

K současným trendům v použití dřeva v Evropě patří především prefabrikované rodinné domy, vícepodlažní budovy (bytové domy, administrativní budovy, školy atd.), lehké střešní konstrukce, smíšené konstrukce ze dřeva, oceli a betonu, lávky a silniční mosty.

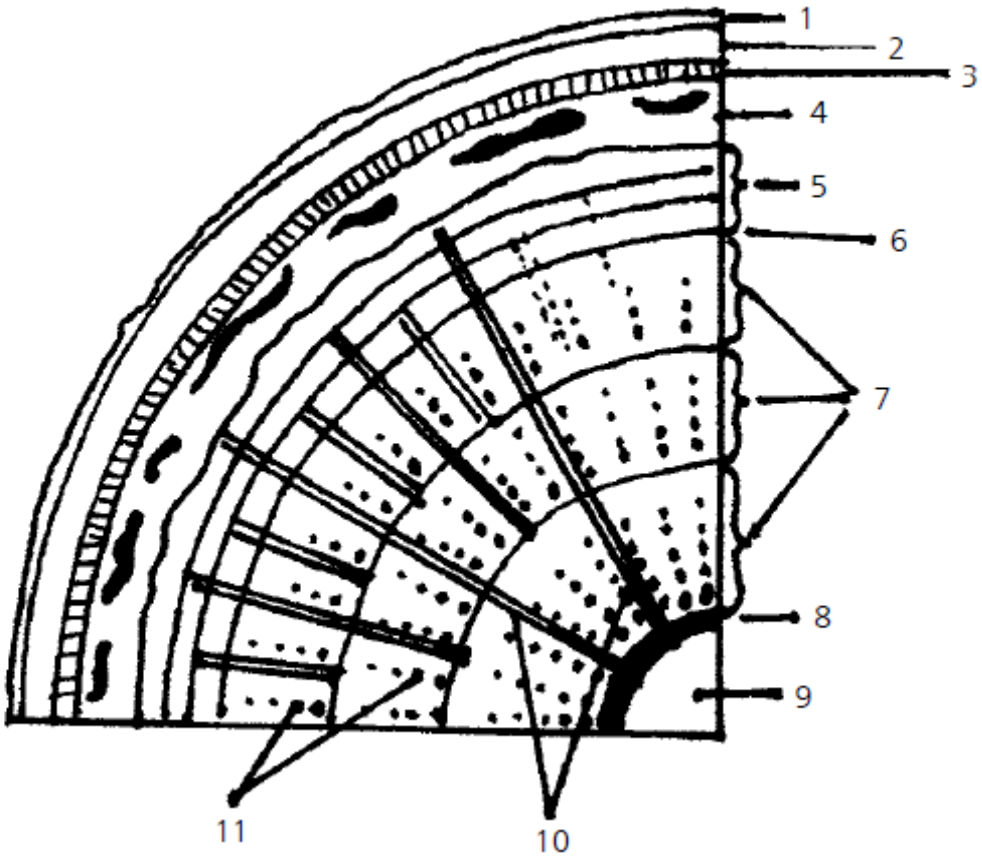
Klasické konstrukční systémy z masivního dřeva se v současné době používají ve velké míře a budou používány také v budoucnosti. Odlišnost současných dřevěných konstrukcí od dřívějších je zejména v moderní technologii výroby, která se kvalitativně liší od tradičního tesařského způsobu výroby.

Pro soudobé dřevěné konstrukce je typické použití prostorových nosných soustav, umožňujících překlenout velká rozpětí a tvorbu geometricky složitých tvarů. Nové technologie jsou založeny na aplikaci prvků lepeného průřezu a prvků vyrobených z nových materiálů, případně prvků vyrobených kombinací různých materiálů, a na použití nových typů spojovacích prostředků.

### 4.11.1 Struktura a složení dřeva

Norma ČSN EN 844 -1 rozlišuje pojem dřevo a dříví. Dřevo definuje jako substanci mezi dření a kůrou stromu nebo keře, obsahující lignin a celulózu. Dříví je definované jako dřevo v podobě stojících nebo pokácených stromů, nebo ve formě jejich prvního zpracování. Pojem kulatina je užíván pro dlouhé oblé dříví.

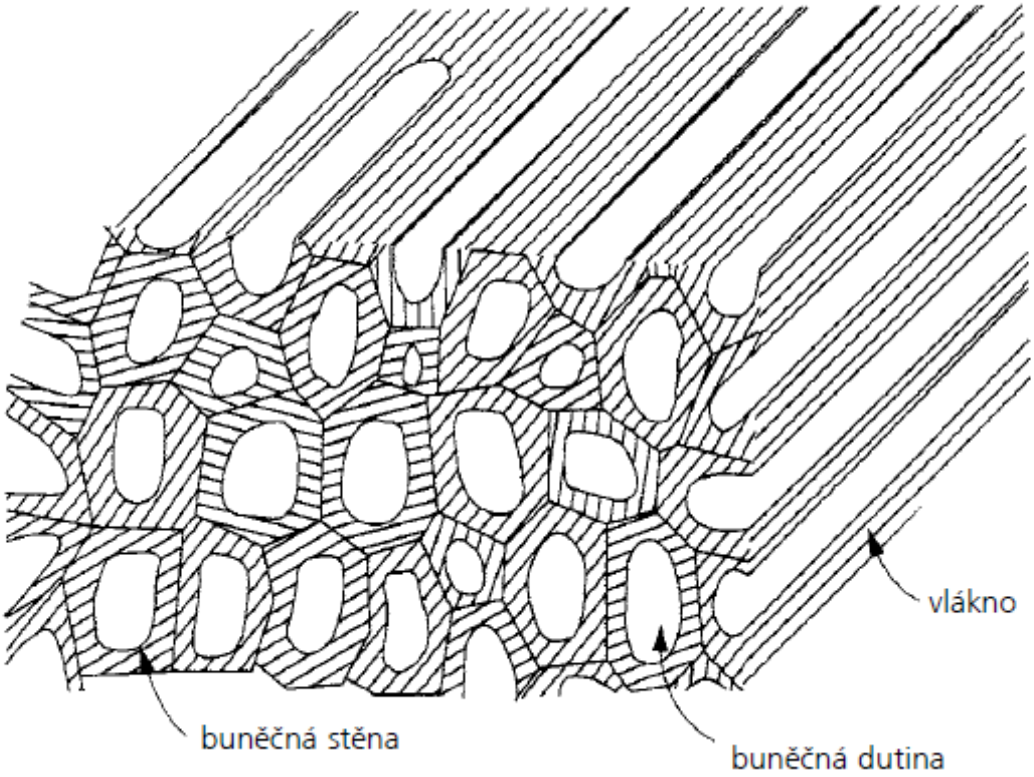
Složení dřeva na příčném řezu se nazývá skladba (struktura) dřeva. Na povrchu kmene je vrstva kůry, její spodní část se nazývá lýko. Pod kůrou leží tenká (mikroskopická) vrstva buněk zvaná kambium, což je vrstva dělivých buněk, které tvoří v živém stromě zevně buňky lýka a dovnitř kmene buňky dřeva. Za jedno vegetační období vzniká zřetelně oddělená přírůstková vrstva dřeva zvaná letokruh. Každý letokruh je tvořen vrstvou jarního a letního dřeva. Jarní dřevo bývá řidší a světlejší než dřevo letní. Vnější vrstva dřeva, která u živého stromu obsahuje živé buňky a vede roztoky, se nazývá běl. Běl bývá zpravidla světlejší než vnitřní část kmene. Vnitřní vrstva dřeva, obsahující odumřelé buňky, se nazývá jádro. Ve středu kmene je dřeň, tvořená hlavně měkkými pletivy.




*Obr. 4.152* Příčný řez kmenem

a) pokožka, b) korek, c) prvotní kůra, d) základní pletivo, e) lýko, f) mízové pletivo, g) letokruh, h) dřeňová korunka, ch) dřeň, i) dřeňové paprsky, j) cévy

Základní součástí dřeva jsou buňky, které mají zpočátku tvar nízkého hranolku, později jsou protáhlé a tvoří vláknitou strukturu dřeva. Typické buňky v kmeni jehličnatých dřevin jsou tracheidy dlouhé 2 – 5 mm a široké jen 0,03 – 0,04 mm.




*Obr. 4.153* Struktura dřeva

Dřevo se skládá hlavně z celulózy (cca 50 %), hemicelulózy (cca 22 %) a ligninu (cca 22 %), které tvoří buněčné stěny. Zbylých 6 % jsou látky, vytvářející vnitřek buněk a patří k nim pryskyřice, tuky, vosky, třísloviny, barviva, alkaloidy a látky minerální.

Chemicky se všechny druhy dřeva skládají ze stejných prvků, a to přibližně ve stejném množství. Organické látky, tvořící převážnou část dřeva, obsahují kolem 50 % uhlíku, 43 % kyslíku, 6 % vodíku a 0,3 % dusíku. Zbytek do 100 % (tj. cca 0,7 %) tvoří látky minerální, obsahující draslík, sodík, vápník, fosfor, hořčík aj.

### 4.11.2 Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva

Fyzikální a mechanické vlastnosti různých druhů dřeva se mohou poměrně výrazně lišit. Pro speciální účely se proto dovážejí exotická dřeva. Často je důležitý i jejich odlišný vzhled.

#### 4.11.2.1 Barva dřeva

Čím je dřevo tmavší, tím obsahuje větší množství pryskyřic a třísloviny, které činí dřevo odolnější vůči hnilobě. Obecně platí, že čím je dřevo tmavší, tím je trvanlivější.

### 4.11.2.2 Hustota dřevní hmoty

Hustota vlastní dřevní hmoty je stejná pro všechny dřeviny, činí přibližně 1500 $kg.m^{-3}$. Tato hodnota odpovídá hustotám hlavních složek dřeva, celulózy (s hustotou 1580 $kg.m^{-3}$) a ligninu (hustota 1400 $kg.m^{-3}$).

### 4.11.2.3 Objemová hmotnost dřeva

Objemová hmotnost závisí na druhu dřeva a jeho vlhkosti, s rostoucí vlhkostí vzrůstá. Objemová hmotnost dřeva v suchém stavu u běžných dřevin se pohybuje od 400 $kg.m^{-3}$ do 700 $kg.m^{-3}$. Rozdělení dřevin podle objemové hmotnosti je uvedeno v *tab. 4.155*.

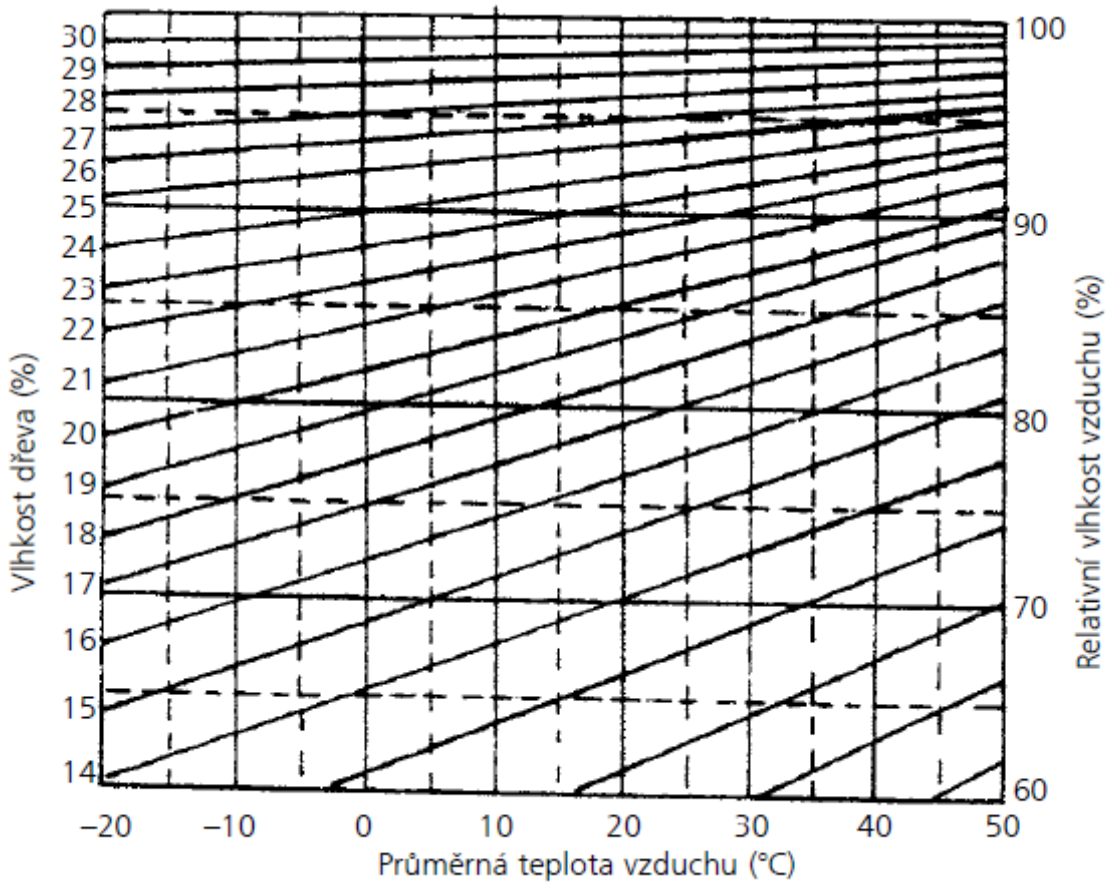
Rozdělení dřevin podle objemové hmotnosti v suchém stavu *Tab. 4.152*

| Dřeviny | Objemová hmotnost sušiny | Příklady dřevin |
|---|---|---|
| Velmi lehké | do 400 $kg.m^{-3}$ | vejmutovka, topol |
| Lehké | 400 – 500 $kg.m^{-3}$ | jedle smrk, borovice |
| Mírně těžké | 500 – 600 $kg.m^{-3}$ | vrba, modřín, mahagon |
| Středně těžké | 600 – 700 $kg.m^{-3}$ | bříza, jasan, dub, buk |
| Těžké | 700 – 1 000 $kg.m^{-3}$ | akát, habr |
| Velmi těžké | nad 1 000 $kg.m^{-3}$ | eben |

### 4.11.2.4 Vlhkost

Vlhkost je podle ČSN EN 844 – 4 definována jako hmotnost vody ve dřevě, vyjádřená v procentech hmotnosti absolutně suchého dřeva. Absolutně suché dřevo, tj. dřevo, které neobsahuje žádnou vlhkost, se podle téže normy získá sušením dřeva do konstantní hmotnosti při 103 ± 2 °C v odvětrávané sušárně.

Přirozeně vyschlé dřevo není úplně suché, jeho vlhkost se mění v závislosti na teplotě a vlhkosti vzduchu. Časem nastává mezi vlhkostí dřeva, poměrnou vlhkostí vzduchu a teplotou rovnovážný stav (hygroskopická rovnováha).




*Obr. 4.154* Rovnovážný stav vlhkosti dřeva

Čerstvě poražené dřevo má vlhkost 40 až 170 % (průměrně kolem 100 %), dřevo proschlé na vzduchu, jehož vlhkost je v rovnováze s přirozenými atmosférickými podmínkami okolí, má obvykle vlhkost nižší než 20 %.

Pro technologické zpracování dřeva je důležité sesychání a bobtnání dřeva. Sesychání definuje norma ČSN EN 844 – 4 jako zmenšování rozměrů dřeva způsobené snižováním jeho vlhkosti, bobtnání je proces opačný. Sesycháním (bobtnáním) se mění všechny rozměry, a tudíž i objem a plocha dřeva a je nutno s ním při zpracovávání dřeva počítat. Změny rozměrů závisí mimo jiné i na způsobu a rychlosti vysoušení.

Dřevo sesychá (bobtná) jinak ve směru vláken, jinak v radiálním směru a jinak v tečném směru. Absolutně vysušené dřevo seschne v podélném směru o 0,05 až 0,7 % (průměrně o 0,2 %), v radiálním směru o 2,2 % až 8,5 % (průměrně 5 %), ve směru tečném o 3 až 16 % (nejčastěji kolem 15 %), ve svém objemu o 5 až 21 %. Toto nestejnoměrné sesychání způsobuje tvarové změny. Objemové změny vlivem vlhkosti jsou pro jednotlivé dřeviny vyjadřovány pomocí součinitele vlhkostní deformace $\alpha$ . Některé hodnoty součinitele vlhkostní deformace jsou uvedeny v tab. 4.142a. Podle hodnot sesychání můžeme dřeva rozdělit na málo sesychavá (tis, olše, vrba, topol, kaštan), středně sesychavá (borovice, smrk, jedle, dub, jilm, jasan, javor) a hodně sesychavá ( modřín, bříza, buk, habr. lípa).




*Obr. 4.147* Tvarové změny prvků

*Obr. 4.155 Tvarové změny prvků způsobené (a) sesycháním a (b) kroucením při vysychání.*

1) tangenciální, 2) radiální, 3) mezilehlé, 4) dřeňové

Průměrné hodnoty součinitele vlhkostní deformace při změně vlhkosti dřeva o 1 % *Tab. 4.153*

| Dřeviny | Součinitel vlhkostní deformace $\alpha$ | | |
|---|---|---|---|
| | kolmo na vlákna | | rovnoběžně s vlákny $\alpha_l$ |
| | tangenciálně $\alpha_t$ | radiálně $\alpha_r$ | |
| Jehličnaté | 0,25 | 0,12 | 0,01 |
| Listnaté | 0,4 | 0,2 | 0 |

### 4.11.2.5 Tepelné, elektrické a akustické vlastnosti

Tepelná vodivost dřeva je malá a zvětšuje se s objemovou hmotností, vlhkostí a teplotou dřeva. Ve směru vláken je dřevo dvakrát vodivější než kolmo na vlákna. Součinitel tepelné vodivosti pryskyřičného dřeva při vlhkosti 15 % se pohybuje kolem 0,25 $W.m^{-1}.K^{-1}$ a kolmo na vlákna kolem 0,075 $W.m^{-1}.K^{-1}$.

Teplotní roztažnost dřeva je také poměrně malá a dilatační spáry jsou nutné pouze kvůli objemovým změnám vlivem vlhkosti.

Dřevo v suchém stavu prakticky nevede proud, se vzrůstající vlhkostí se však elektrická vodivost prudce zvětšuje.

Dřevo má vynikající akustický útlum a ozvučnost, proto je také nenahraditelné při výrobě hudebních nástrojů. Pro svoji schopnost odrážet a pohlcovat zvuk se používá při akustických úpravách.

### 4.11.2.6 Trvanlivost dřeva

Zpravidla platí, že dřeviny s temnějším jádrem jsou trvanlivější než dřeviny se světlým nebo nevýrazným jádrem. Trvanlivost dřeva nejvíc závisí na prostředí, ve kterém je dřevo použito a na druhu dřeva. Trvanlivost dřeva nejvíce zkracuje kolísavá vlhkost, zvláště tehdy, je-li dřevo v částečném styku s půdou. Trvanlivost dřeva uloženého na vzduchu pod střechou, bez styku s půdou je uvedena v tabulce 4.157. Rozdělení dřevin podle průměrné životnosti v trvalém styku s půdou je uvedeno v tab. 4.158

Průměrná trvanlivost některých druhů dřeva *Tab. 4.154*

| Druh dřeva | Průměrná trvanlivost v letech* |
|---|---|
| Buk | 5 – 95 |
| Borovice | 90 – 120 |
| Dub | 100 – 200 |
| Modřín | 90 – 120 |
| Smrk | 50 – 75 |

* Dřevo uložené na vzduchu, bez styku s půdou

Trvanlivost jádrového dřeva některých dřevin při trvalém kontaktu se zemí. *Tab. 4.155*

| Trvanlivost | Netrvanlivé | Málo trvanlivé | Středně trvanlivé | Trvanlivé | Velmi trvanlivé |
|---|---|---|---|---|---|
| Životnost při kontaktu se zemí | < 5 let | 5 – 10 let | 10 – 15 let | 15 – 25 let | > 25 let |
| Listnaté dřeviny | jasan | jilm | ořech | dub | týk |
| | buk | javor | bankirai (Shorea) | kaštan | greenheart (Ocotea) |
| | bříza | dub červený | gurjun (Dipterocarpus) | mahagon | iroko |
| | topol černý | topol šedý | – | agba | azobe |
| | vrba | meranti | | – | kapur |
| | habr | – | | | – |
| Jehličnaté dřeviny | – | borovice lesní | borovice douglaska | cedr | – |
| | | jedle | modřín | tis | |
| | | borovice těžká | borovice přímořská | zerav obrovský | |
| | | smrk sitka | limba sibiřská | zerav západní | |

Pozn.: Bělové dřevo všech druhů je považováno za netrvanlivé.

### 4.11.2.7 Mechanické vlastnosti

Předností dřeva je jeho lehkost, snadná opracovatelnost a spojovatelnost a velká pevnost. Hodnoty pevností ve směru vláken a kolmo na vlákna se výrazně liší.

Modul pružnosti téže dřeviny roste s objemovou hmotností a klesá s vlhkostí dřeva. Moduly pružnosti při namáhání tahem, tlakem a ohybem se od sebe liší jen nepatrně, a proto se udávají jedinou hodnotou. Hodnoty modulu pružnosti kolmo k vláknům jsou asi desetkrát až dvacetkrát nižší než hodnoty modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny.

Systém tříd pevnosti dřeva pro stavební konstrukce stanovuje norma ČSN EN 338. V normě jsou uvedeny charakteristické hodnoty pevností, modulů pružnosti a hustoty pro jednotlivé třídy a pravidla pro přiřazování základních souborů dřeva (tj. kombinací druhu, původu a jakostní třídy dřeva) ke třídám pevnosti.

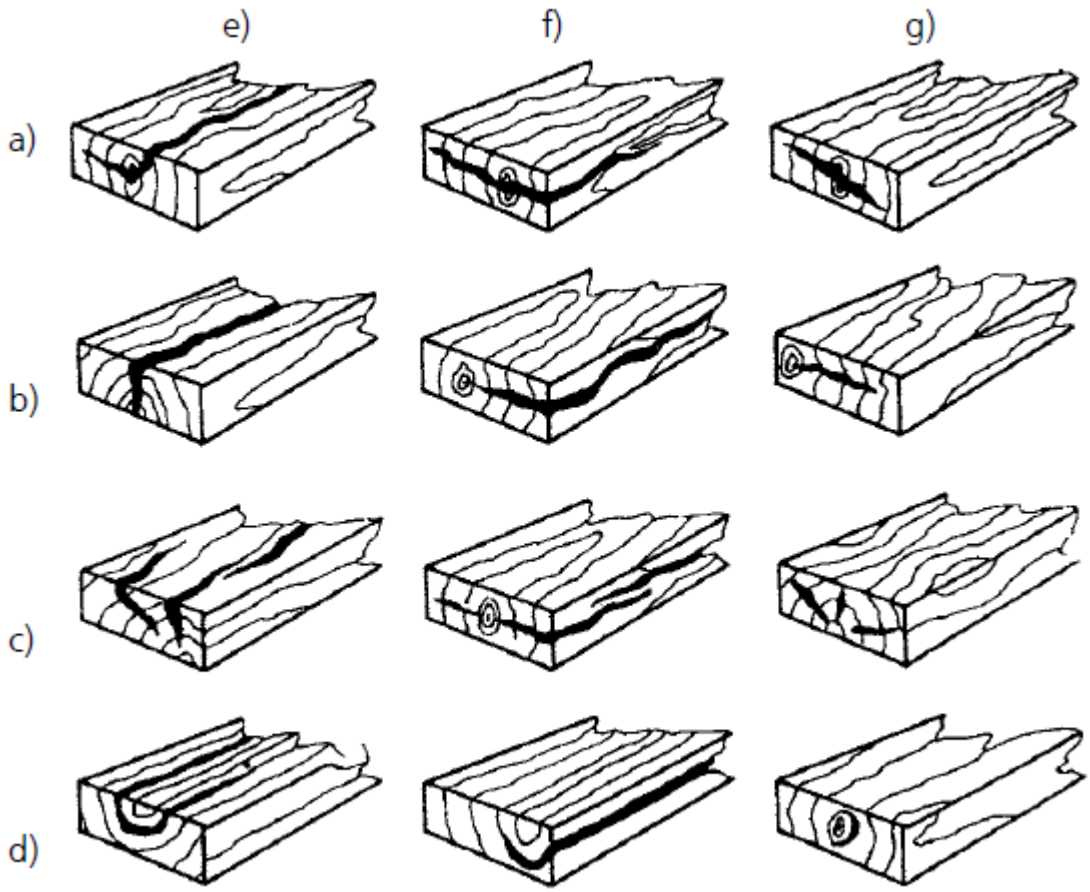
Třídy pevnosti dřeva podle normy ČSN EN 338 *Tab.4.156*

| | Topol a jehličnaté dřeviny | | | | | | | | | Listnaté dřeviny | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C14 | C16 | C18 | C22 | C24 | C27 | C30 | C35 | C40 | D30 | D35 | D40 | D50 | D60 | D70 |
| Pevnostní vlastnosti ($N.mm^{-2}$) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ohyb | 14 | 16 | 18 | 22 | 24 | 27 | 30 | 35 | 40 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Tah rovnoběžně s vlákny | 8 | 10 | 11 | 13 | 14 | 16 | 18 | 21 | 24 | 18 | 21 | 24 | 30 | 36 | 42 |
| Tah kolmo na vlákna | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,9 |
| Tlak rovnoběžně s vlákny | 16 | 17 | 18 | 20 | 21 | 22 | 23 | 25 | 26 | 23 | 25 | 26 | 29 | 32 | 34 |
| Tlak kolmo na vlákna | 4,3 | 4,6 | 4,8 | 5,1 | 5,3 | 5,6 | 5,7 | 6,0 | 6,3 | 8,0 | 8,4 | 8,8 | 9,7 | 10,5 | 13,5 |
| Smyk | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,4 | 2,5 | 2,8 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 4,6 | 5,3 | 6,0 |
| Tuhostní vlastnosti ($kN.mm^{-2}$) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Průměrný modul pružnosti rovnoběžně s vlákny | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 12 | 13 | 14 | 10 | 10 | 11 | 14 | 17 | 20 |
| Průměrný modul pružnosti kolmo na vlákna | 0,23 | 0,27 | 0,30 | 0,33 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,43 | 0,47 | 0,64 | 0,69 | 0,75 | 0,93 | 1,13 | 1,33 |
| Průměrný modul pružnosti ve smyku | 0,44 | 0,50 | 0,56 | 0,63 | 0,69 | 0,75 | 0,75 | 0,81 | 0,88 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,88 | 1,06 | 1,25 |

## 4.11.3 Vady a škůdci dřeva

Vadami dřeva se rozumí odchylky od normálního stavu, popř. se za vady dřeva považují takové vlastnosti dřeva, které ovlivňují jeho účelové použití.

Rozlišují se vady růstové, které jsou popsány v ČSN EN 844-9. K růstovým vadám patří suky (plošné, hranové, kruhové, oválné apod.), trhliny (např. dřeňové, mrazové, odlupčivé), nepravidelnosti struktury (odklon vláken, zárosty, smolníky), nenormální zbarvení dřeva.




*Obr. 4.156* Základní varianty trhlin

a) dřeňové, b) mrazové, c) výsušné, d) odlupčivé, e) plošné, f) boční, g) čelní

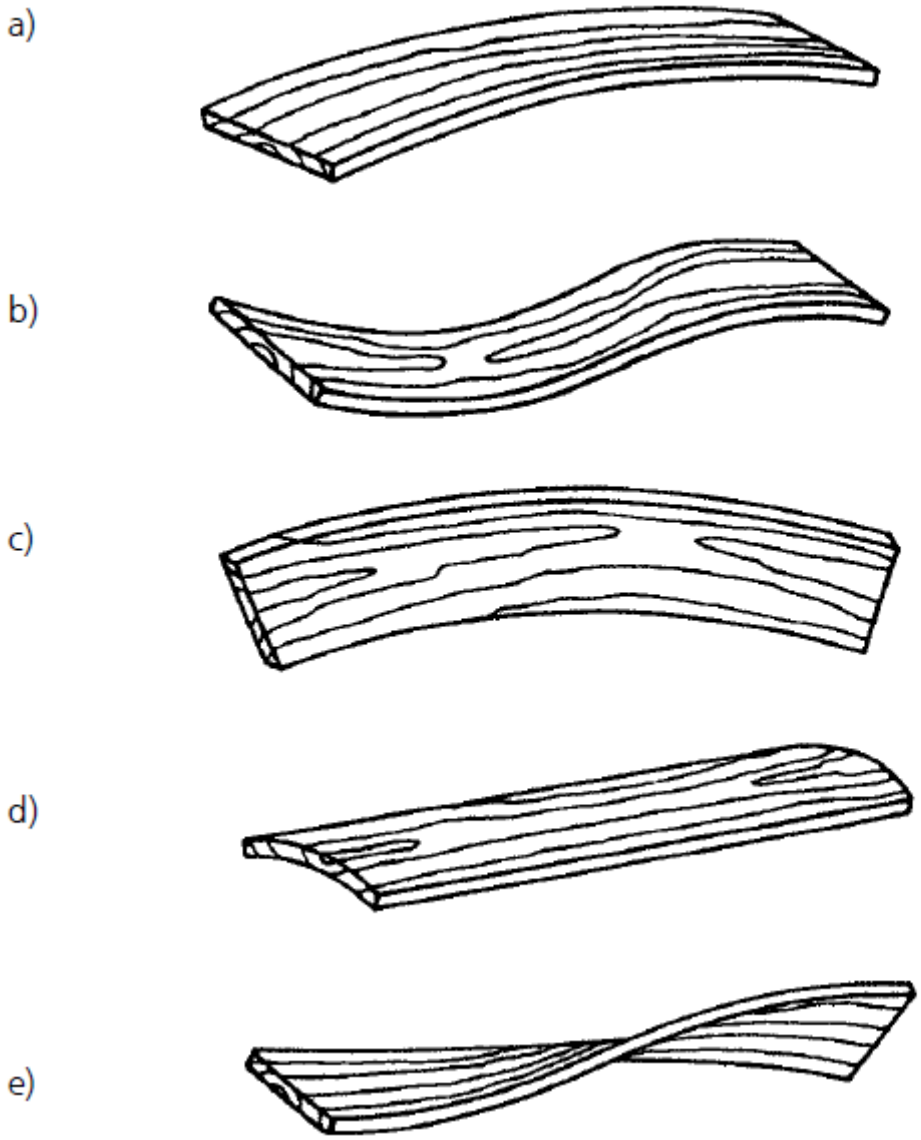
K vadám dřeva patří i poškození cizopasnými organismy (tj. plísněmi a houbami) nebo hmyzem (chodby a otvory ve dřevě). Vady řezání (obliny, vady řezu, rýhy, chlupatost) a deformace dřeva (zakřivení) jsou definovány v normě ČSN EN 844-3.

Norma ČSN EN 335-1 definuje tyto biologické škůdce dřeva: houby dřevokazné a dřevozabarvující, brouky, termity a mořské škůdce.

.Největšími škůdci dřeva jsou dřevokazné houby, které rozkládají buďto celulózu (celulózovorní), nebo i lignin (ligninovorní). Dřevokazné houby způsobují hnilobu dřeva. Dřevo ztrácí pevnost, stává se křehkým, rozpadá se.

Nejobávanější dřevokaznou houbou je dřevomorka domácí (Merulius lacrymans), která dokáže prorůstat i zdivem a postupně může být houbou napadeno dřevo v celém objektu.

Zničení dřevomorky je pracné a nákladné, protože je nutno zlikvidovat a vyměnit veškeré napadené dřevo (nemělo by se pálit, neboť výtrusy dřevomorky odolávají značně vysokým teplotám a mohou být rozneseny kouřem do okolí) a upravit i nedřevěné části konstrukce, přiléhající k napadeným částem (např. přezdít zdivo na fungicidní maltu). Poměrně novou technologií je likvidace dřevomorky pomocí mikrovlnného záření.




*Obr.4.157* Varianty zakřivení řeziva

a) podélné plošné jednoduché, b) podélné plošné složené, c) podélné boční, d) příčné, e) šroubovité

Další dřevokazné houby jsou koniofora sklepní (Coniophora puteana), která bývá často předvojem dřevomorky, trámovka (Gleophyllum sepiarium), která vyvolává tzv. červenou hnilobu, houževnatec šupinatý (Lentinus) atd.

K příčinám výskytu dřevokazných hub v objektu patří např. zvýšená vlhkost v objektu, nesprávná konstrukční řešení, která umožňují zatékání vody, nedostatečná ochrana dřeva biocidy, zatékání vody při provozu a úklidu, použití nevhodného druhu dřeva.

Typickou příčinou vzniku dřevomorky u starších objektů je uzavření původních dřevěných podlah a stropů neprodyšnými podlahovinami (např. PVC). K příznakům přítomnosti dřevokazných hub patří změna barvy a struktury dřeva, zvýšená vlhkost, malá pevnost proti vniku nože, ztráta pevnosti a soudržnosti. Někdy se objeví také typická houbová vůně.

Pod dřevozbarvující houby patří modrací houby a plísně. Plísně napadají pouze povrch dřeva, nemění výrazně jeho mechanické vlastnosti, ale mohou být vstupní bránou pro další dřevokazné houby. Dřevozbarvující houby zpravidla napadají čerstvé řezivo a částečně pronikají do dřeva. Způsobují nežádoucí barevné změny dřeva.

Dřevokazní brouci napadají jak dřevo živé, tak stavebně zpracované. Vývojový cyklus dřevokazných brouků je podle druhu a čeledi různě dlouhý. Nevratné poškození dřeva způsobují larvy, které prožírají ve dřevě chodbičky, a tím snižují statiku dřevěných konstrukcí.

K hmyzím škůdcům dřeva patří např. tesaříci, zejména tesařík krovový (Hylotrupes bajulus), pilořitky (Siricidae), červotoči (Anobiidae), hrbohlav (Lyctus brunneus), kůrovci a další. Poškození hmyzem se jeví na povrchu dřeva jako brázdy, kruhové či oválné vstupní a výletové otvory, jdoucí do hloubky dřeva.

Ze skupiny termitů jsou v Evropě důležité pouze čtyři druhy a z nich jsou nejnebezpečnější podzemní druhy (Reticulitermes lucifugus, Reticulitermes satonensis). Termiti se v Evropě nacházejí pouze v určitých geografických oblastech, v České republice je riziko napadení termity minimální.

### 4.11.4 Ochrana dřeva

Dřevo vzhledem ke svému organickému původu podléhá různým vlivům prostředí, které mohou vést k jeho úplnému rozkladu. Proto je nutno dřevo chránit proti atmosférickým vlivům (UV záření), biologickým škůdcům (bakterie, houby a hmyz) a proti ohni.

Po technické stránce řeší ochranu dřeva české technické normy ČSN řady 49 06xx. Základní harmonizovanou normou je ČSN 49 0600-1 a dále platí celá řada norem převzatých. (např. normy řady ČSN EN 46-x, ČSN EN 49-x, ČSN EN 1014-x apod.)

#### 4.11.4.1 Ochrana proti biologickému napadení

Přirozenou odolnost u nás nejvíce používaných dřevin definuje norma ČSN EN 350-2. Odolnost našich dřevin proti dřevokazným houbám podle této normy není velká, pouze dub je klasifikován jako trvanlivý, ostatní dřeviny jsou pouze středně nebo slabě trvanlivé. Trvanlivost se navíc týká pouze jádrového dřeva, bělové dřevo se většinou považuje za netrvanlivé. Proto je potřebné dřevo před biologickým napadením chránit.

Ochranu dřeva lze v zásadě rozdělit na konstrukční (nechemickou) a chemickou. Hlavním úkolem konstrukční nebo fyzikální ochrany dřevěných konstrukcí je zabránit aktivitě biotických škůdců zejména vytvořením vhodných klimatických podmínek – úpravou vlhkosti a teploty, a tím předejít bez použití chemikálií poruchám a nevratné destrukci dřeva. Konstrukční ochranu lze řešit vhodným výběrem druhu dřeva, tvarovou optimalizací dřevěných prvků, konstrukce celého objektu, izolací proti vlhkosti, regulací klimatických podmínek v objektu.

Norma ČSN EN 335-1 rozlišuje 5 tříd použití dřeva podle prostředí, ve kterém bude použito. Definice tříd použití a pravděpodobnost výskytu škůdců je uvedena v tab. 4.159

Třídy použití dřeva a pravděpodobnost výskytu škůdců *Tab. 4.157*

| Třída ohrožení dřeva | Uložení dřeva | Vlhkost dřeva | Výskyt biotických škůdců ve třídách ohrožení | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | dřevokazné houby | | houby a plísně zabarvující dřevo | dřevokazný hmyz | |
| | | | hnědá a bílá hniloba | měkká hniloba | | brouci | termiti |
| 1 | Pod střechou, zcela chráněno proti povětrnosti, nevystaveno působení vlhkosti, bez styku se zemí | ≤ 20 % | - | - | - | U | L |
| 2 | Pod střechou, ale vysoká vlhkost okolního prostředí může vést k občasnému, ale ne trvalému zvýšení vlhkosti | příležitostně > 20 % | U | - | U | U | L |
| 3 | Nezakryto, ale bez styku se zemí. Je buď nepřetržitě vystaveno působení povětrnosti nebo je před ní chráněno, ale je vystaveno opakovaně zvýšené vlhkosti | často > 20 % | U | - | U | U | L |
| 4 | Ve styku se zemí nebo sladkou vodou a vystaveno působení vlhkosti | trvale > 20 % | U | U | U | U | L |
| 5 | Trvale vystaveno působení mořské vody | trvale > 20 % | U | U | U | U | L |

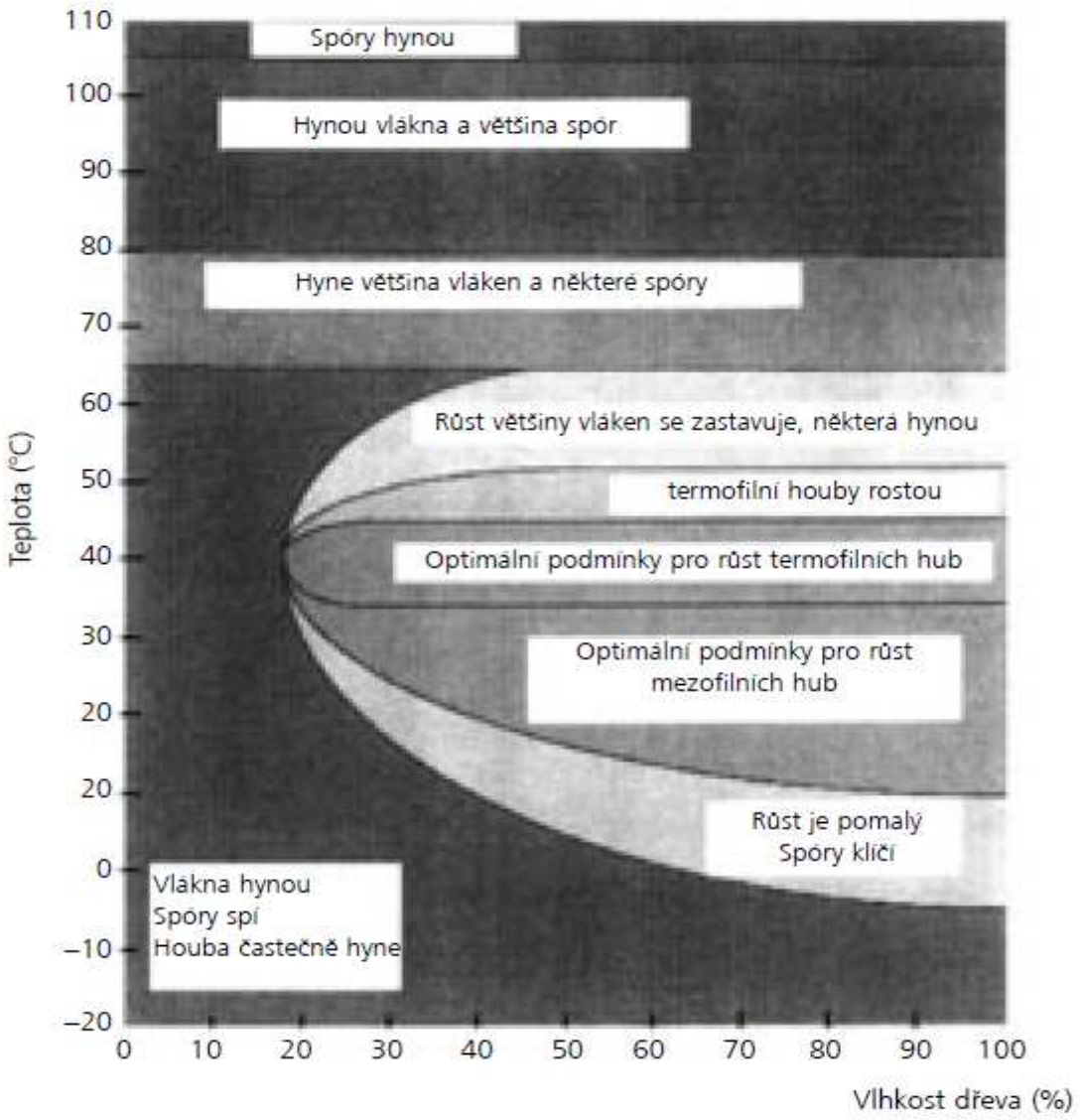
U – univerzální výskyt, L – lokální výskyt (např. jen v jižní Evropě)

Při vlhkosti dřeva nižší než 20 % se zastavuje růst dřevokazných hub, a proto není nutné preventivně chemicky ošetřovat dřevěné konstrukce, jejichž vlhkost nepřesáhne 20 % a jsou chráněné před povětrnostními vlivy,.

Nebezpečí ohrožení dřeva dřevozbarvujícími houbami nastává při vlhkosti povrchu dřeva vyšší než 22 % a teplotách mezi 22 ℃ – 25 ℃. Ohrožení dřeva plísněmi nastává při vlhkosti jeho povrchu nad 25 %, a to zejména při kondenzaci vzdušné vlhkosti a nedostatečném větrání.

Ohrožení dřeva houbami způsobujícími tzv. mokrou hnilobu (houby Ascomycetes) nastává při trvalém kontaktu dřeva se zemí nebo s vodou, a také, je-li zabudováno ve venkovním prostředí, v jeho spárách nebo trhlinách, kde se usazují nánosy prachu, hlíny apod.

Odolnost dřevin vůči dřevokazným houbám je pro různé dřeviny různá. K velmi odolným dřevinám patří například teak nebo akát, odolný je i dub, kaštan či túje, ke středně odolným pak se řadí ořech, borovice a modřín, málo houbám odolávají smrk, jedle, javor, lípa či topol.




*Obr. 4.158* Vliv teploty a vlhkosti dřeva na růst a šíření vláknitých hub

Nebezpečí ohrožení hmyzem nastává při teplotách nad 10 ℃ a p ři vlhkosti dřeva již nad 10 %. Teprve v případě, že podmínky vhodné pro uchování dřeva nelze zabezpečit konstrukčně, navrhuje se chemická ochrana dřeva.

Chemická ochrana dřeva se a spočívá v jeho ošetření ochrannými prostředky, které obsahují účinné látky proti biologickému napadení, proti vlhkosti a povětrnosti. Dřevo se může chránit preventivně nebo dodatečně, dále krátkodobě nebo dlouhodobě. Podle hloubky průniku se rozlišuje ochrana povrchová (průnik do 3 mm povrchu dřeva), polohluboká (průnik od 3 do 10 mm) a hluboká (průnik více než 10 mm).

Ošetření dřeva může být prováděno mnoha způsoby: postřikem nebo nátěrem, máčením, ponořováním, poléváním nebo nanášením, vakuotlakovou impregnací nebo její modifikací.

Ochranné prostředky proti houbám a hmyzu mohou být vodorozpustné, a to vyluhovatelné a nevyluhovatelné, dispergovatelné ve vodě nebo rozpustné v organických rozpouštědlech. Mohou obsahovat i hydrofobizační složky na ochranu proti povětrnosti.

V minulosti se na ochranu dřeva používaly zejména dehtové oleje, hašené vápno a dobytčí krev. Velmi oblíbené byly prostředky na bázi rtuti, arzénu a zejména pentachlorfenolu, které jsou dnes zakázány.

Dnes se vyrábí prostředky na bázi anorganických sloučenin boru, organokovových sloučenin mědi nebo hliníku. Jako fungicidy se používají organické sloučeniny na bázi triazolů, proti plísním jsou účinné sulfonamidy. Jako insekticidy jsou používány syntetické pyrethroidy, jako hydrofobizační látky se nejčastěji používají alkydové pryskyřice.

### 4.11.4.2 Ochrana proti požáru

Obecná představa o chování dřeva při požáru je špatná. Dřevo lze zapálit, může vyživovat oheň a dále ho šířit pomocí prchavých plynů, vznikajících při vysoké teplotě. Proces zuhelnatění dřeva je však odhadnutelný a šíření plamene lze omezit impregnací nebo povrchovou úpravou.

U průřezů s rozměry většími než cca 50 mm povrch dřeva vystavený požáru uhelnatí a odhořívá stálou rychlostí. Na povrchu se vytvoří zuhelnatělá vrstva dřevní hmoty, která brání přístupu vzduchu do vnitřních částí průřezu, tlumí hoření a má dobré tepelně izolační vlastnosti. V důsledku toho zůstává uvnitř zbytkového průřezu pevnost a tuhost dřeva v zásadě beze změny a únosnost konstrukčního prvku po určité době požáru se proto může určit na základě zbytkového průřezu. Z tohoto důvodu se velké průřezy lepeného lamelového dřeva chovají při požáru mimořádně příznivě, zatímco menší průřezy, např. prvky příhradových vazníků, se musí přiměřeně chránit.

Vzhledem k předvídatelnému chování dřeva při požáru se někdy ocelové konstrukce chrání dřevěným obložením. Ocelové spojovací prostředky ve spojích dřevěných prvků musí být rovněž chráněny, aby se zajistila vyhovující požární odolnost celé konstrukce. Jiné konstrukční materiály než dřevo vykazují v hořící budově všeobecně větší poruchy, u dřevěných prvků nedochází při požáru ani k teplotní roztažnosti ani k náhlé ztrátě únosnosti.

Ochrany proti ohni lze dosáhnout dodržováním protipožárních opatření, správně volených konstrukčních zásad (oddělení dřevěných konstrukcí od míst možného vzniku požáru, použití ochranných obkladů). Velmi dobře chrání dřevo obyčejná omítka tlustá 20 až 30 mm, která za předpokladu, že se mechanicky neporuší, zabezpečuje ochranu 20 až 40 minut.

Chemické prostředky na ochranu proti ohni lze rozdělit do dvou skupin: amonné soli, které při zvýšené teplotě vytvářejí plynné zplodiny, zabraňující přístupu vzduchu a pěnotvorné vícesložkové systémy obsahující pojivo, nadouvadlo a retardéry hoření, které při zvýšené teplotě vytvářejí vrstvu pěny, která má izolační funkci.

Velké dřevěné průřezy mohou být použity i bez dodatečné protipožární ochrany.

Dřevo se může rovněž používat pro speciální účely, např. na protipožární dveře, které jsou schopny tvořit uzávěr mezi požárem s teplotou téměř 1000 °C a únikovou cestou s teplotou 30 °C.

### 4.11.5 Druhy dřeva a řeziva pro stavební účely

Dřeviny lze dělit podle různých hledisek, botanicky se dělí na jehličnaté a listnaté, obě tyto skupiny pak lze dělit na dřeviny tvrdé a měkké, mezi nimiž však není přesná hranice, dále je lze dělit např. podle původu na domácí a dovezené apod.

Fyzikální a mechanické vlastnosti jednotlivých druhů dřeva se liší nejen podle druhu dřeviny, ale i v rámci jednoho druhu, neboť vliv na vlastnosti dřeva mají i podmínky růstu – podnebí, hustota okolního porostu, typ půdy apod. Liší se i vlastnosti dřeva z jednoho stromu podle toho, ze které části stromu řezivo pochází.

Obecně lze říci, že jehličnaté dřeviny rostou rychleji, proto je jehličnaté dřevo měkčí, méně trvanlivé, ale také lacinější.

Obchodní názvy kulatiny a řeziva popisuje norma ČSN EN 13556. Norma uvádí základní vědecké a obchodní názvy dřevin a zavádí jejich popis zkratkou, skládající se z vědeckého názvu a z místa původu (např. smrk obecný, Picea abies, pocházející z Evropy má zkratku PCAB EU).

#### 4.11.5.1 Jehličnaté dřeviny

Jehličnaté dřeviny tuzemského původu na stavbě převládají. Nejvíce se používá smrk.

Smrk má měkké, poměrně lehké a pryskyřičné dřevo s dlouhými vlákny. Smrkové dřevo je poměrně pružné a pevné, za sucha velmi dobře štípatelné. Málo se bortí a sesychá. V interiéru je velmi trvanlivé, venku málo odolné. Barva dřeva je žlutohnědá, bez tmavě zbarveného jádra. Používá se na prakticky všechny druhy stavebního řeziva – jako konstrukční dřevo i na stavebně-truhlářské výrobky.

Jedle má dřevo podobných vlastností jako dřevo smrkové. Zpracovatelnost dřeva je o něco horší, pevnost o něco nižší než u smrku. Z hlediska pravidelnosti růstu bývá zpravidla lepší než smrk. V suchu je jedlové dřevo velmi trvanlivé, méně odolné je v exteriéru. Vysoce trvanlivé je ve vodě. Dřevo je žlutobílé a je dobře štípatelné. Používá se stejně jako smrkové dřevo.

Borovice má dřevo měkké, ale tvrdší než smrk, lehké až středně těžké, křehčí a málo pružné. Má velký obsah pryskyřice, proto je velmi trvanlivé i ve vlhku, zejména ve vodě. Dřevo je bílé barvy se žlutočerveným jádrem. Mívá poměrně velký obsah suků. které mohou časem vypadávat.

Modřín má středně těžké dřevo, poměrně měkké, i když tvrdší než smrk či borovice. Barva je žlutobílá s červenohnědým jádrem. Má výbornou trvanlivost jak v suchu, tak i ve vlhku a ve vodě. Je vhodný k použití tam, kde jsou vysoké požadavky na bezpečnost a trvanlivost a také v místech s proměnlivou vlhkostí a teplotou. Dále se používá na stavebně-truhlářské výrobky.

### 4.11.5.2 Listnaté dřeviny

Buk je z listnatých dřevin u nás nejpoužívanější. Má tvrdé dřevo, těžké a dobře štípatelné. Dřevo je pevné, ale málo pružné, značně sesychá a praská. V exteriéru je málo trvanlivé, zato v suchu a ve vodě velmi trvanlivé. Barvu má bílou až okrovou.

Dub má tvrdé, těžké, velmi pevné a pružné dřevo, dobře štípatelné a vysoce trvanlivé. Má úzkou běl a široké hnědé jádro. Dělají se z něj jakostní vlysy a náročné stavebně-truhlářské výrobky.

Dřevo z ostatních druhů listnatých dřevin se na stavební konstrukce prakticky nepoužívá. Jasan, javor, bříza a lípa se používají na truhlářské a řezbářské práce.

### 4.11.5.3 Exotické dřeviny

Ostatní druhy dřevin se ve stavebnictví používají mnohem méně a většinou jako dekorační prvky nebo pro speciální účely (např. sauny, žaluzie).

Stále častěji se i u nás uplatňují exotické dřeviny jako je abachi, aburn, americká olše, americká třešeň, americký jasan, americký javor, americký ořech, badi, bangirai, bilinga, bongosi**,** cedr, eben, eukalyptus, finská borovice, framire, hemlock, ilomba, itauba, khaya, kasipo, koto, mahagon, massaranduba, meranti, niangon, oregon, pinie, ramín, saraya, sipo, švédská bříza, teak a další podle požadavku zákazníka.

S tím jak se zákazníci stávají stále náročnější, je možné v segmentu cizokrajných dřev pozorovat nárůst spotřeby. Zdaleka už nejde jen o drobné prvky, jakými jsou ramínové žaluzie. Z tmavočerveného meranti jsou dnes běžně nabízena okna nebo dveře. Pro pergoly a zahradní architekturu vůbec je kromě teakového dřeva nabízeno i malajské bangirai. Výrobky z posledních dvou dřev jsou přirozeně povětrnostně stálé. Není nutné je lakovat ani jinak upravovat.

Pro ekologicky smýšlejícího zákazníka může představovat určitý problém legalita těžby exotických dřev. Seriózní obchodník by měl disponovat příslušným dokladem (potvrzením o původu).

### 4.11.5.4 Třídění dřeva

Dřevo vykazuje, proti umělým konstrukčním materiálům (např. oceli), poměrně vysokou variabilitu vlastností. Na rozdíl od umělých konstrukčních materiálů, jejichž jakost může být při výrobě ovlivněna podle účelu použití, lze u rostlého dřeva zabezpečit požadovanou jakost pouze tříděním.

Vizuální třídění dřeva je založeno na kontrole viditelných charakteristik dřeva, jako jsou např. suky, šířka letokruhů, odklon vláken, trhliny, obliny a zakřivení, zbarvení a hniloba, které ovlivňují mechanické vlastnosti dřeva.

Norma ČSN 73 2824-1 zavádí třídy jakosti S 13, S 10, S 7. Pojem třída pevnosti se používá pro klasifikaci dřeva na základě strojního třídění. Třídy pevnosti jsou uvedeny v normě ČSN EN 338. Převod mezi třídami jakosti a třídami pevnosti je uveden v tabulce 4.159.

Vztah mezi třídami pevnosti podle ČSN EN 338 a jakostními třídami podle ČSN 73 2824-1 *Tab. 4.158*

| Zkušební norma | Jakostní a pevnostní třídy | | |
|---|---|---|---|
| ČSN 49 1531-1: 1998 | S0, SA | SI, SB | SII |
| ČSN 73 2824-1 | S13 | S10 | S7 |

### 4.11.5.5 Druhy řeziva

Podle normy ČSN EN 844-3 je řezivo definováno jako produkt vyráběný z kulatiny nebo výřezů podélným dělením a je eventuálně zkrácen a/nebo opracován a dosahuje určité rozměrové přesnosti.

Řezivo lze dělit podle dřeviny, podle tvaru a rozměrů příčného průřezu, podle způsobu výroby, účelu použití a jakosti dřeva.

Podle způsobu výroby se řezivo dělí na neomítané a omítané. Pojmem neomítané se rozumí řezivo s rovnoběžnými plochami a jedním nebo dvěma neopracovanými boky. Omítané řezivo se vyrábí rovnoběžným obráběním neomítaného řeziva a je definováno jako řezivo s pravoúhlým příčným průřezem s dovolenými oblinami, které nepřekročí pevně stanovený obsah.

Podle rozměrů se řezivo dělí na *latě, prkna, fošny a hranoly*. Prvky s průřezem menším 10 $cm^2$ se někdy označují jako lišty.

Druhy, rozměry a značení řeziva uvádí norma ČSN 73 2824-1. Řezivo se podle této normy označuje takto: druh řeziva+označení normy – třída+v jakém stavu tříděno - druh dřeva (např. Hranol ČSN 73 2824-1 – S10 TS – SM, kde TS znamená tříděno v suchém stavu a SM znamená dřevo smrkové).

Řezivo podle příčného průřezu *Tab. 4.159*

| Druh | Tloušťka $d$, případně výška $h$ | Šířka $b$ |
|---|---|---|
| Lať | $d \leq 40$ mm | $b < 80$ mm |
| Prkno[a)] | $d \leq 40$ mm[b)] | $b \geq 80$ mm |
| Fošna[a)] | $d > 40$ mm | $b > 3d$ |
| Hranol | $b \leq h \leq 3b$ | $b > 40$ mm |

Historické názvy se používají pro částečně omítané prvky. Dřevěné prvky se dvěma protilehlými neomítnutými stranami jsou *polštáře*, prvky s jednou neomítnutou stranou jsou *trámy*.

Prvky tvořené seříznutou oblinou jsou *krajiny* a mají dnes spíše charakter odpadu. Používaly se na dočasné ploty, nebo krmelce a přístřešky.

Fošny a prkna jsou tak zvané deskové řezivo.

U deskového řeziva je třeba rozlišovat pravou a levou stranu. Pravá strana je ta která je přivrácená k původnímu středu kmene.

Řezivo se má sušit pravou stranou nahotu a při montáži prkenné podlahy schodišťových stupňů má být pravá strana nahoře. Je to příznivější z hlediska tvarových změn.

Pro podlahové prvky platí norma ČSN EN 49 2120, která podlahové prvky rozděluje na *palubky, parkety, parketové vlysy a lamely, mozaikové parkety, lamparkety, podlahové tabule a podlahové panely.*

Norma ČSN EN 13756 uvádí a definuje termíny dřevěných podlahovin a norma ČSN EN 14342 definuje a specifikuje odpovídající charakteristiky dřevěných a parketových podlah a vhodné zkušební metody pro stanovení těchto charakteristik pro jejich použití v interiéru jako podlahoviny. Vztahuje se také na dřevěné dýhované podlahoviny.

Požadavky na jednotlivé typy podlahových prvků pak jsou popsány v samostatných normách ( např. ČSN EN 13226 pro parketové vlysy, ČSN EN 13488 pro mozaikové parkety, ČSN EN 13227 pro lamparkety apod.) K dalším pilařským výrobkům patří pražce, dlažební kostky apod.

#### 4.11.5.5.1 Dřevěné šindele

Určitou renesanci dnes zažívají přírodní střešní krytiny ze dřevšných čindelů, které izolují a zároveň jsou prodyšné.

Klasický šindel je obdélníkový dřevěný prvek o rozměrech kolem 500 - 600 mm délky, 70 - 150 mm šířky a tloušťky na širší straně od 15 mm. Šindele jsou nejčastěji ze smrkového, modřínového nebo cedrového dřeva.

Vzájemně do sebe zapadající šindele se přibíjejí v jedné nebo častěji dvou vrstvách (jednoduché nebo dvojité kladení) na střešní latě.

Štípané šindele mají třikrát delší životnost než šindele z řezaných prken, protože při štípání není narušeno vlákno dřeva. Uplatňují se, jak u rekonstruovaných roubenek a srubů, tak u moderních dřevostaveb. .

### 4.11.6 Materiály na bázi dřeva

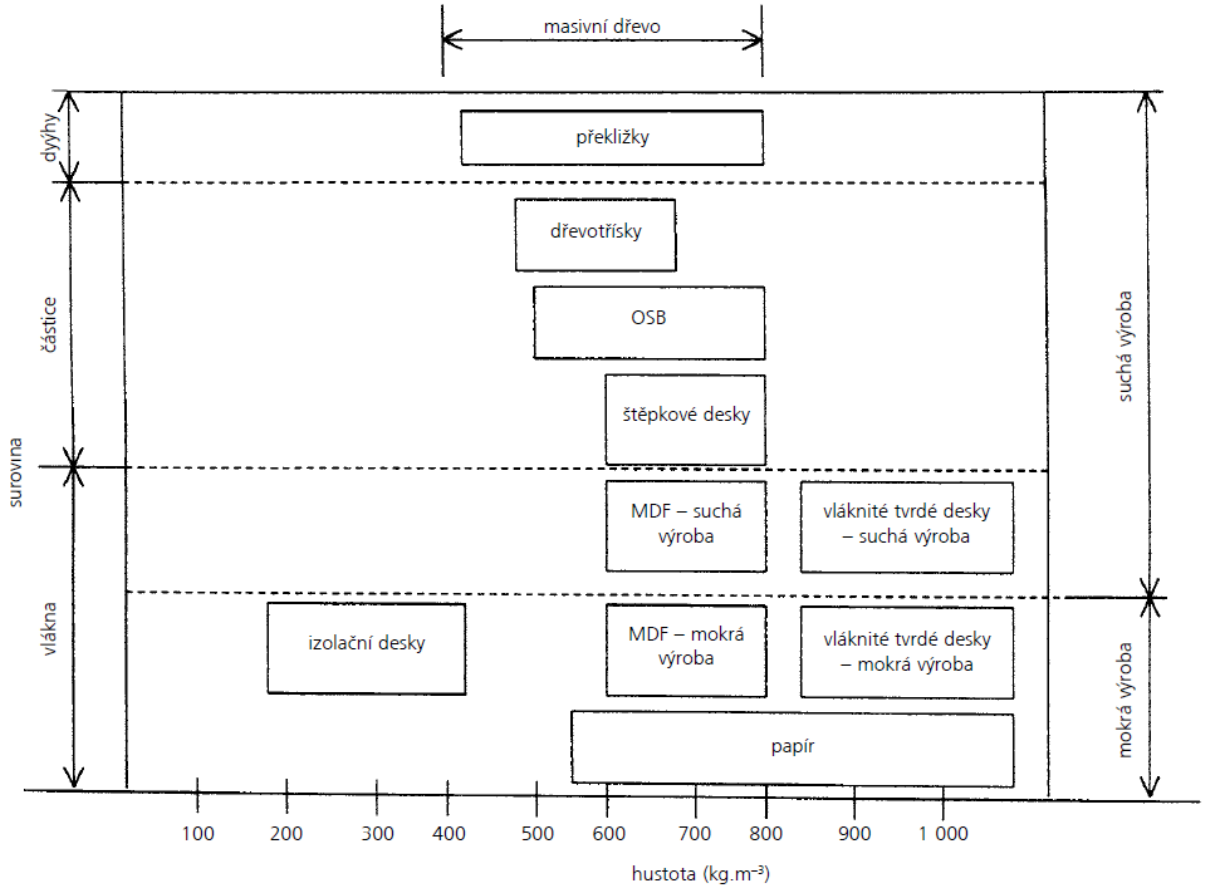
Při použití dřeva v podobě masivního řeziva mohou být zužitkovány pouze mohutnější stromy a i z nich jenom některé jejich části. Navíc během růstu stromu vznikají ve dřevě různé nepravidelnosti a vady, které nelze v masivních prvcích použít.

Pokud se však dřevní hmota rozdělí na menší částice a ty se opět spojí, lze tyto vady a nepravidelnosti potlačit a navíc lze využít i menší části stromů (např. tenké větve apod.). Tímto způsobem se vyrábí celá řada materiálů, které mohou mít lepší vlastnosti než masivní dřevo.

Výhodou je vysoce efektivní využití dřevní hmoty, převážně nízká objemová hmotnost (kolem 500 $kg.m^{-3}$) při vysoké pevnosti, snadná opracovatelnost a spojování, objemová stálost a vyšší požární odolnost a odolnost proti biologickým škůdcům.

K materiálům na bázi dřeva patří:

- desky na bázi dřeva (desky z rostlého dřeva, desky překližované, vrstvené, vláknité, třískové, cementotřískové a desky OSB ),
- lepené lamelové dřevo,
- zhuštěné dřevo,
- modifikované dřevo,
- kompozity, kombinující dřevo s jinými materiály.




*Obr. 4.159 Rozdělení deskových materiálů na bázi dřeva*

Desky na bázi dřeva definuje norma ČSN EN 13986, která také udává některé základní požadavky na tyto desky. Pro všechny desky na bázi dřeva definuje tři třídy vlhkosti, do kterých se zařazují desky podle místa užití. Jedná se o užití v suchém prostředí - třída 1 (vlhkost materiálu odpovídá teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu přesahující 65 % pouze po několik týdnů v roce), ve vlhkém prostředí – třída 2 (vlhkost materiálu odpovídá teplotě 20°C a relativní vlhkost okolního vzduchu přesahuje 85 % pouze po několik týdnů v roce) a ve venkovním prostředí - třída 3 ( klimatické podmínky vedou k vyšší vlhkosti než u třídy 2).

Dále ČSN EN 13986 uvádí požadavky na třídy reakce na oheň, na součinitel difúzního odporu, tepelnou vodivost a obsah formaldehydu (obecně třída E1 nebo E2).

Evropské normy pro desky na bázi dřeva také zavádějí dobrovolné barevné značení desek 2 barvami, první barva určuje způsob použití (bílá pro všeobecné použití a žlutá pro nosné desky), druhá barva určuje podmínky užití (modrá pro suché, zelená pro vlhké a hnědá pro venkovní prostředí).

Značení desek podle podmínek užití a účelu použití *Tab. 4.160*

| Prostředí a účel použití | | Značka |
|---|---|---|
| Podmínky užití | suché prostředí | – |
| | vlhké prostředí | H |
| | venkovní prostředí | E |
| Účel použití | všeobecné použití | – |
| | nosné účely | L |
| | • pro všechny kategorie trvání zatížení | A |
| | • jen pro mžikové a krátkodobé zatížení | S |

Součinitel tepelné vodivosti desek na bázi dřeva *Tab. 4.161*

| Druh desky | Objemová hmotnost $\rho$ (kg.m$^{-3}$) | Tepelná vodivost $\lambda$ (W.m$^{-1}$.K$^{-1}$) |
|---|---|---|
| Desky z rostlého dřeva, překližované desky | 300 | 0,09 |
| Vrstvené desky | 500 | 0,13 |
| | 700 | 0,17 |
| | 1 000 | 0,24 |
| OSB | 650 | 0,13 |
| Třískové desky | 300 | 0,07 |
| | 600 | 0,12 |
| | 900 | 0,18 |
| Cementotřískové desky | 1 200 | 0,23 |
| Vláknité desky | 250 | 0,05 |
| | 400 | 0,07 |
| | 600 | 0,1 |
| | 800 | 0,14 |

### 4.11.6.1 Desky z rostlého dřeva

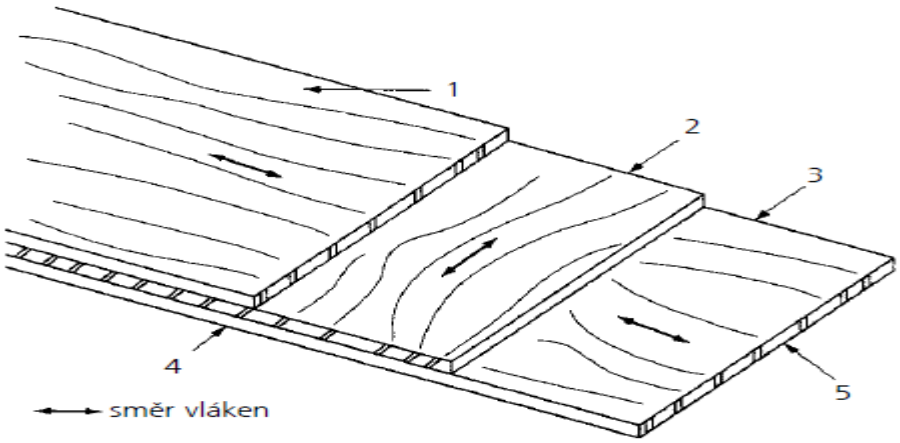
Podle normy ČSN EN 12775 je deska z rostlého dřeva definována jako deska, složená z dílců, slepených navzájem na užších stranách a u vícevrstvých desek také na plochách. Desky mohou být jednovrstvé nebo vícevrstvé, Jako dílce se používají latě (s tloušťkou < 40 mm a šířkou < 80mm), prkna ( tl. 10-40mm, š. > 80mm), lamely (tl. 3 -10 mm, š. > 25 mm), hranolky (tl. > 40 mm, š. < 80 mm) nebo fošny (tl. > 40 mm, š. > 80 mm). Desky mohou být velkoformátové (délka min. 3 m, šířka min.1 m) nebo středoformátové (buďto s délkou menší než 3 m nebo šířkou menší než 1 m).

Desky z rostlého dřeva se označují symbolem SWP. Normy ČSN EN 13353 je dělí na desky pro nosné nebo nenosné účely pro použití v suchém, vlhkém a venkovním prostředí a uvádí požadavky na jejich vlastnosti.

### 4.11.6.2 Překližované desky

Rozdělení překližovaných desek uvádí norma ČSN EN 313-1. Podle konstrukce norma rozlišuje překližky, jádrové desky (laťovky a dýhovky) a složené desky. Podle trvanlivosti se překližované desky dělí na desky pro použití v suchém prostředí, ve vlhkém prostředí a ve venkovním prostředí. Podle úpravy povrchu se desky dělí na nebroušené, broušené, povrchově upravené a oplášťované (např. dýhou, filmem, impregnovaným papírem).

Překližky jsou desky ze vzájemně slepených vrstev, přičemž směr vláken na sobě ležících vrstev je většinou kolmý. Typická tloušťka desek je 3 – 7 mm, Jedna vrstva může být tvořena jednou dýhou (tenkým listem dřeva o max. tloušťce 7 mm), popř. více dýhami nebo sesazenkami (tj. 1, 2, nebo více dýh, spojených k sobě na stranách nebo čelech) s rovnoběžným směrem vláken. Počet vrstev bývá převážně lichý a vrstvy, jež jsou od středu uloženy souměrně, mívají stejný směr (symetrická překližka).




*Obr. 4.160* Skladba překližky

1 – vrchní vrstva, 2 – jádro, 3 – spodní vrstva, 4 – podélná hrana, 5 – příčná hrana

Jádrové desky jsou definovány jako překližované desky s jednou středovou vrstvou. Středová vrstva bývá silnější a u dýhovek je tvořena loupanými dýhami, uspořádaným kolmo k rovině desky (přičemž většina nebo všechny jsou navzájem slepeny), u laťovek je z latí z plného dřeva o šířce 7 -33 mm (vzájemně slepených nebo neslepených). .

Složené překližované desky jsou desky, jejichž střední vrstva není z masivního dřeva nebo dýh a má většinou charakter podpůrné konstrukce. Může být např. voštinová. Z obou stran jádra jsou nejméně dvě navzájem zkřížené vrstvy.

Překližky typu HDO (High Density Overlay) a MDO (Medium Density Overlay) jsou na povrchu opatřeny vrstvou reaktoplastu, který zajišťuje velmi hladký a otěruvzdorný povrch. Používají se především jako bednění.

Norma ČSN EN 12369 -2 uvádí charakteristické hodnoty pro navrhování konstrukcí z překližovaných desek. Norma zavádí třídy překližovaných desek podle pevnosti v ohybu F3, F5, F10, F15, F20, F25, F30, F40, F50, F60, F70 a F80, kde číslo je dolní mezní hodnotou pevnosti v ohybu v MPa a podle modulu pružnosti E5, E10, E15, E20, E30 až 120, E170, kde číslo je 1/100 dolní mezní hodnoty modulu pružnosti v MPa. Pro konkrétní překližovanou desku se uvádí 4 třídy v tomto pořadí: pevnost podél/ pevnost napříč - modul podél/ moment napříč ( např. F10/20 E 30/40).

### 4.11.6.3 Dřevovláknité desky

Dřevovláknité desky definuje norma ČSN EN 316 jako desky tloušťky 1,5 mm a více, vyrobené z lignocelulózových vláken (rozvlákněním štěpků nebo odřezků) použitím ohřevu nebo tlaku. Spojení vláken je dosaženo buď zplstnatěním vláken a jejich přirozenou lepivostí, nebo syntetickou pryskyřicí přidávanou k vláknům. Výroba probíhá mokrým nebo suchým procesem.

Při mokrém procesu se vlákna naředí vodou a po přidání přísad (pro zlepšení pevnosti, odolnosti proti vlhku a hmyzu) se hmota odvodňuje a lisuje. Vlákna při výrobě mají vlhkost větší než 20 %.

Při suchém procesu se vlákna s vlhkostí menší než 20 % obalují práškovými lepidly, proudem vzduchu se navrství do surové matrace. Pak se matrace předlisuje a za horka se z ní lisují jednotlivé desky.

Norma ČSN EN 316 rozděluje vláknité desky podle způsobu výroby a podle hustoty.. (viz tab. 4.165) Při používání je nutno vláknité desky označit typem desky a dále značkou, udávající podmínky užití a účel užití (viz tab. 4. 163). Příklad označení: HB.HLA2 –zvlášť zatížitelná nosná tvrdá deska pro užití ve vlhkém prostředí pro všechny kategorie trvání zatížení. Požadavky na vláknité desky stanovují normy EN 622-1 až 5.

Rozdělení vláknitých desek *Tab. 4.162*

<table>
<tr><th>Výrobní proces</th><th colspan="4">Hustota (kg.m$^{-3}$)</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Mokrý proces</td><td>< 230 – 400)</td><td>< 400 – 560)</td><td>< 560 – 900)</td><td>> 900</td></tr>
<tr><td rowspan="2">izolační desky SB</td><td colspan="2">polotvrdé desky MB</td><td rowspan="2">tvrdé desky HB</td></tr>
<tr><td>nižší hustoty MBL</td><td>vyšší hustoty MBH</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Suchý proces</td><td>≤ 550</td><td colspan="2">≤ 650</td><td>≥ 800</td></tr>
<tr><td>ultralehké MDF</td><td colspan="2">lehké MDF</td><td>HDF</td></tr>
</table>

Požadavky na některé vláknité desky pro všeobecné použití v suchém prostředí *Tab.4.163*

| Typ | Použití | Označení | Tloušťka (mm) | Bobtnání (%) | Rozlupčivost (MPa) | Pevnost v ohybu (MPa) | Modul pružnosti v ohybu (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tvrdé (ČSN EN 622-2) | všeobecné použití v suchém prostředí | HB | ≤ 3,5 | 37 | 0,5 | 30 | |
| | | | > 3,5 – 5,5 | 30 | | 30 | |
| | | | > 5,5 | 25 | | 25 | |
| | nosné ve vlhkém prostředí | HB.LA1 | ≤ 3,5 | 17 | 0,8 | 38 | 3 800 |
| | | | > 3,5 – 5,5 | 15 | 0,7 | 36 | 3 600 |
| | | | > 5,5 | 12 | 0,65 | 34 | 3 100 |
| Polotvrdé (ČSN EN 622-3) | všeobecné použití v suchém prostředí | MBL/MBH* | ≤ 10 | 20/15 | 0,1 | 10/15 | |
| | | | > 10 | | | 8/12 | |
| | nosné ve vlhkém prostředí | MBH.HLS1 | ≤ 10 | 9 | 0,3 | 20 | 2 000 |
| | | | > 10 | | | 18 | 1 800 |
| Izolační (ČSN EN 622-4) | všeobecné použití v suchém prostředí | SB | ≤ 10 | 10 | | 0,9 | |
| | | | > 10 – 19 | | | 0,8 | |
| | | | > 19 | | | 0,8 | |
| | nosné ve vlhkém prostředí | SB.HLS | ≤ 10 | 6 | | 1,3 | 150 |
| | | | > 10 – 19 | | | 1,2 | 140 |
| | | | > 19 | | | 1 | 120 |

* MBL – polotvrdé desky nižší hustoty, MBH – polotvrdé desky vyšší hustoty.

Vláknité desky, vyráběné suchým procesem (MDF i HDF) se mimo jiné používají pro výrobu laminátových podlah, nabízených dnes často jako náhrada dřevěných parketových vlysů. Povrchová úprava (dřevěná kresba) je u těchto výrobků řešena nalisovanou fototapetou, napuštěnou melaminformaldehydovou pryskyřicí.

Hygienickou a ekologickou slabinou dřevovláknitých desek je 8 – 12 % pojiva, které obsahuje zbytkový formaldehyd a ztěžuje likvidaci odpadu z těchto desek spalováním. Jako perspektivní se proto jeví pokusy o náhradu syntetických pojiv přírodními enzymy typu oxidáz a hydroláz.

Jako zdroj vláken pro desky pojené aktivovanými enzymy jsou vhodné měkké a rychle rostoucí dřeviny, obilná a řepková sláma, len a konopí. Desky střední hustoty 750 – 950 kg.m$^{-3}$, pojené hydrolázou, přitom vykazují velmi dobré pevnostní charakteristiky a nízkou nasákavost .

### 4.11.6.4 Třískové desky

Třískové desky definuje norma ČSN EN 13986 jako deskové materiály vyrobené slisováním a ohřevem malých částic dřeva (třísek, hoblin, pilin) nebo jiných lignocelulózových materiálů ve formě částic (pazdeří, konopí, bagasa) a s přídavkem polymerního lepidla. Jsou zpravidla tvořena třemi vrstvami, dvě povrchové vrstvy jsou tvořeny jemnými mikrotřískami, střední vrstva je tvořena třískami hrubšími.

Norma ČSN EN 309 dělí třískové desky podle procesu výroby (plošně lisované, kalandrované, výtlačně lisované plné nebo odlehčené), podle stavu povrchu (surové, broušené,lakované, povrchově upravené nalisováním tuhého materiálu, např. dýhy nebo impregnované fólie), tvaru (rovné, profilované), podle velikosti a tvaru částic (třískové nebo z jiných částic) a podle účelu použití (pro všeobecné účely, pro vnitřní vybavení, pro nosné a nenosné účely v suchém nebo vlhkém prostředí).

Norma ČSN EN 312 rozděluje podle podmínek užití a účelu desky do sedmi tříd P1 až P7 a uvádí požadavky na pevnost v ohybu, modul pružnosti, rozlupčivost a bobtnání pro jednotlivé třídy. Požadavek na vlhkost těchto desek při dodání je 5 – 13 %, na obsah formaldehydu třída E1 nebo E2.

Norma ČSN EN 14755 je věnována výtlačně lisovaným třískovým deskám, které rozděluje na desky s objemovou hmotností větší než 550 kg.m$^{-3}$ typu ES (extruded solid) bez otvorů a typu ET (extruded tubes) s otvory a na desky s objemovou hmotností nižší než 550 kg.m$^{-3}$ typu ESL (extruded solid light) a ETL (extruded tubes light).

Požadavky na třískové desky *Tab. 4.164*

| Typ | P1 | | P2 | | | P3 | | | | P4 | | | | P5 | | | | P6 | | | | P7 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| tloušťka | pevnost v ohybu | rozlupčivost | pevnost v ohybu | modul pružnosti v ohybu | rozlupčivost | pevnost v ohybu | modul pružnosti v ohybu | rozlupčivost | bobtnání | pevnost v ohybu | modul pružnosti v ohybu | rozlupčivost | bobtnání | pevnost v ohybu | modul pružnosti v ohybu | rozlupčivost | bobtnání | pevnost v ohybu | modul pružnosti v ohybu | rozlupčivost | bobtnání | pevnost v ohybu | modul pružnosti v ohybu | rozlupčivost | bobtnání |
| mm | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | % | MPa | MPa | MPa | % | MPa | MPa | MPa | % | MPa | MPa | MPa | % | MPa | MPa | MPa | % |
| 3 – 4 | 14 | 0,31 | 13,0 | 1800 | 0,45 | 13,0 | 1800 | 0,50 | 17 | 15 | 1950 | 0,45 | 23 | 20 | 2550 | 0,50 | 13 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| > 4 – 6 | – | – | 14,0 | 1950 | – | 14,0 | 1950 | 0,50 | 16 | 16 | 2200 | – | 19 | 19 | – | – | 12 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| > 6 – 13 | 12,5 | 0,28 | 13,0 | 1800 | 0,40 | 15,0 | 2050 | 0,45 | 14 | 16 | 2300 | 0,40 | 16 | 18 | – | 0,45 | 11 | 20 | 3150 | 0,60 | 15 | 22 | 3350 | 0,75 | 9 |
| > 13 – 20 | 11,5 | 0,24 | 13,0 | 1600 | 0,35 | 14,0 | 1950 | 0,45 | 14 | 15 | 2300 | 0,35 | 15 | 16 | 2400 | – | 10 | 18 | 3000 | 0,50 | 14 | 20 | 3100 | 0,70 | 8 |
| > 20 – 25 | 10 | 0,20 | 11,5 | 1500 | 0,30 | 12,0 | 1850 | 0,40 | 13 | 13 | 2050 | 0,30 | – | 14 | 2150 | 0,40 | – | 16 | 2550 | 0,40 | – | 18,5 | 2900 | 0,65 | – |
| > 25 – 32 | 8,5 | 0,17 | 10,0 | 1350 | 0,25 | 11,0 | 1700 | 0,35 | 13 | 11 | 1850 | 0,25 | – | 12 | 1900 | 0,35 | – | 15 | 2400 | 0,35 | – | 17 | 2800 | 0,60 | – |
| > 32 – 40 | 7 | 0,14 | 8,5 | 1200 | 0,20 | 9,0 | 1550 | 0,30 | 12 | 9 | 1500 | 0,20 | 14 | 10 | 1700 | 0,30 | 9 | 14 | 2200 | 0,30 | 13 | 16 | 2600 | 0,55 | 7 |
| > 40 | 5,5 | – | 7,0 | 1050 | – | 7,5 | 1350 | 0,25 | 12 | 7 | 1200 | – | 14 | 9 | 1550 | 0,25 | – | 12 | 2050 | 0,25 | – | 15 | 2400 | 0,50 | – |

P1 – pro všeobecné použití v suchém prostředí
P2 – pro vnitřní vybavení v suchém prostředí
P3 – nenosná ve vlhkém prostředí
P4 – nosná v suchém prostředí
P5 – nosná ve vlhkém prostředí
P6 – zvlášť zatížitelná v suchém prostředí
P7 – zvlášť zatížitelná ve vlhkém prostředí

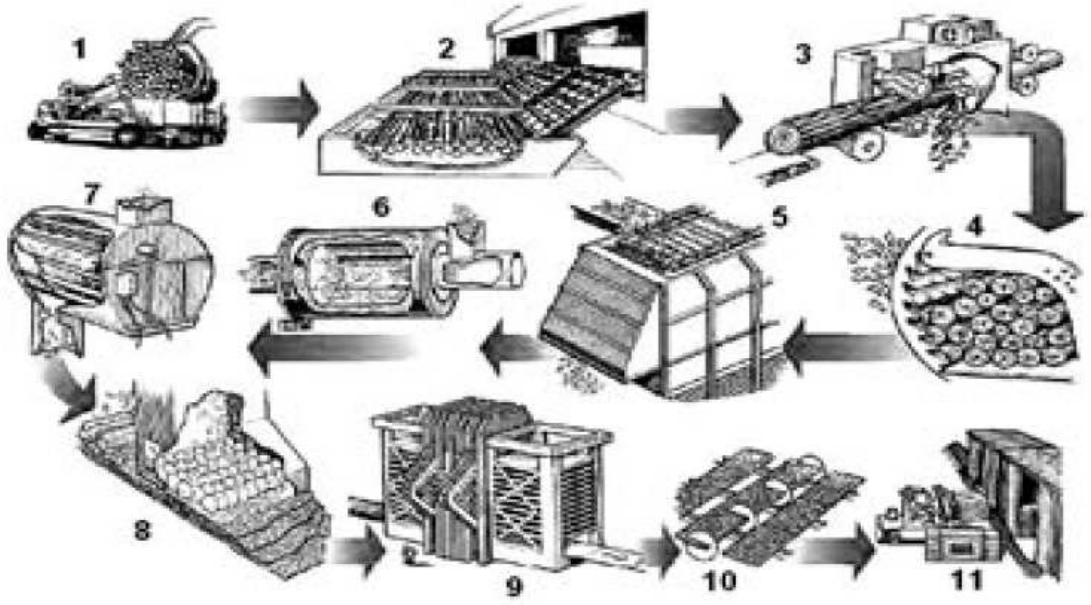
### 4.11.6.5 OSB desky

OSB desky, neboli desky z orientovaných plochých třísek (Oriented Strand Board) norma ČSN EN 13986 definuje jako vícevrstvé desky, vyrobené z plochých třísek předem určeného tvaru a tloušťky a lepidla.

Třísky v povrchových vrstvách OSB jsou orientovány rovnoběžně s délkou nebo šířkou desky, třísky ve střední vrstvě mohou být orientovány náhodně nebo obecně kolmo k třískám povrchových vrstev.

OSB desky se vyrábějí z velmi kvalitních dřevin, např. z borovice lesní.

Ploché třísky v deskách OSB mají délku 50 – 75 mm a šířku menší než polovina jejich délky. Tloušťky desek jsou v rozmezí 6 – 40 mm. Desky jsou běžně lepeny fenolformaldehydovou pryskyřicí, která činí přibližně 2,5 % hmotnostního podílu, je-li použita v práškové formě, používá se však i pojivo polyuretanové.




*Obr. 4.161* Výroba OSB desek

1 – těžba a doprava dřeva, 2 – pásový dopravník, 3 – odkornění, 4 – štěpkování, 5 – zásobník vlhkých štěpků, 6 – sušení štěpků, 7 – třídění, 8 – formovací linka, 9 – lisování, 10 – dokončovací linka, 11 – doprava

Požadavky a klasifikaci OSB desek uvádí norma ČSN EN 300, která je rozděluje do tříd OSB/1 (desky pro všeobecné účely a pro vnitřní vybavení pro použití v suchém prostředí), OSB/2 (nosné desky pro použití v suchém prostředí), OSB/3 (nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí) a OSB/4 (zvlášť zatížitelné nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí).

OSB desky mají nižší objemovou hmotnost než překližky a třískové desky, lepší opracovatelnost a vyšší pevnost. OSB desky potažené speciální fólií a boky zatmelenými vodotěsným polyuretanovým tmelem se používají na náročná stavební bednění.

Charakteristické hodnoty pro navrhování OSB, třískových a vláknitých desek jsou shrnuty v normě ČSN EN 12369-1.

Požadavky na OSB desky *Tab. 4.165*

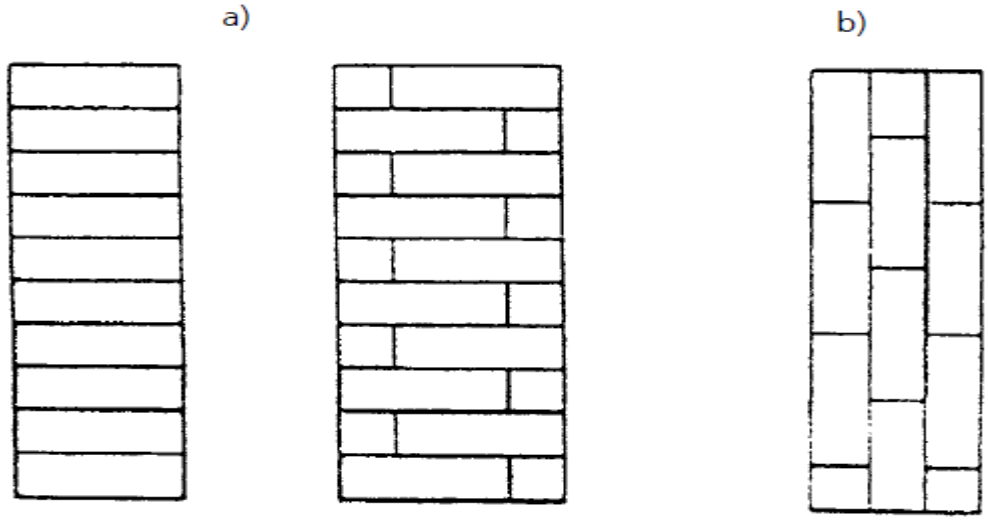
| Typ | Tloušťka (mm) | Pevnost v ohybu | | Modul pružnosti v ohybu | | Rozlupčivost (MPa) | Bobtnání po 24 hod (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ve směru hlavní osy (MPa) | ve směru vedlejší osy (MPa) | ve směru hlavní osy (MPa) | ve směru vedlejší osy (MPa) | | |
| OSB/1 | 6 – 10 | 20 | 10 | 2 500 | 1 200 | 0,3 | 25 |
| | 11 – 17 | 18 | 9 | | | 0,28 | |
| | 18 – 25 | 16 | 8 | | | 0,26 | |
| OSB/2 + OSB/3 | 6 – 10 | 22 | 11 | 3 500 | 1 400 | 0,34 | 15 |
| | 11 – 17 | 20 | 10 | | | 0,32 | |
| | 18 – 25 | 18 | 9 | | | 0,3 | |
| | 26 – 32 | 16 | 8 | | | 0,29 | |
| | 33 – 40 | 14 | 7 | | | 0,26 | |
| OSB/4 | 6 – 10 | 30 | 16 | 4 800 | 1 900 | 0,5 | 12 |
| | 11 – 17 | 28 | 15 | | | 0,45 | |
| | 18 – 25 | 26 | 14 | | | 0,4 | |
| | 26 – 32 | 24 | 13 | | | 0,35 | |
| | 33 – 40 | 22 | 12 | | | 0,3 | |

### 4.11.6.6 Lepené lamelové dřevo

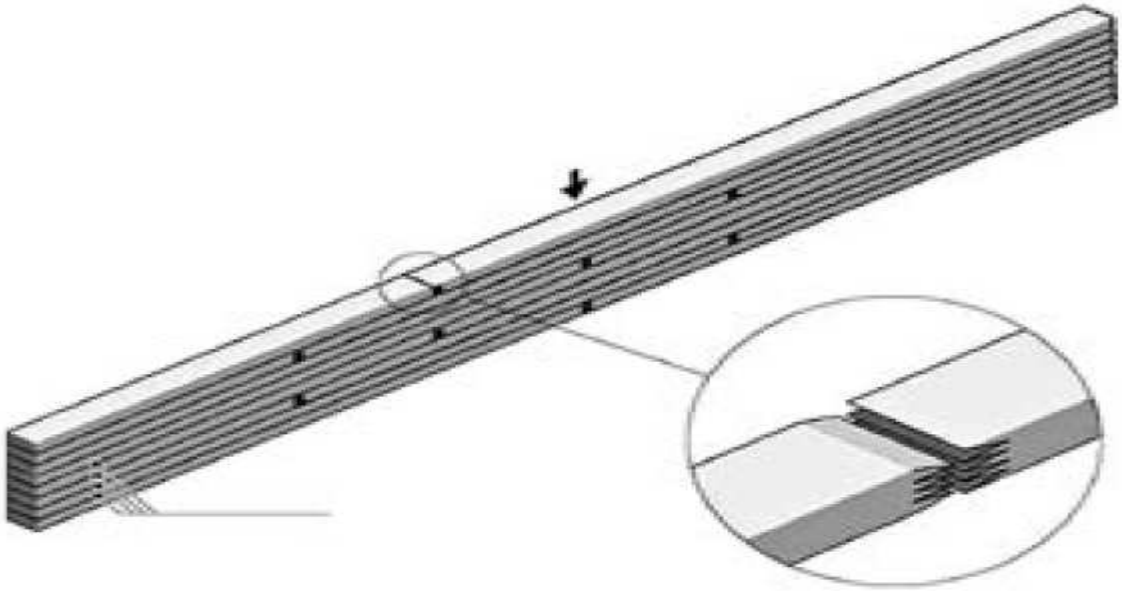
Lepené lamelové dřevo je podle ČSN EN 386 definováno jako konstrukční prvek vytvořený slepením dřevěných lamel s převážně rovnoběžnými vlákny. Norma rozlišuje horizontálně a vertikálně lamelované lepené dřevo (s lepenými plochami kolmými k delší a ke kratší straně průřezu).

Lepené lamelové dřevo se vyrábí jako homogenní (všechny lamely v průřezu mají stejnou jakost a dřevinu) nebo kombinované ( vnější a vnitřní lamely průřezu mají odlišnou jakost a dřevinu).

Jednotlivé lamely jsou obvykle spojovány zubovitými spoji.




*Obr. 4.162* Běžné uspořádání spojů lepeného lamelového dřeva

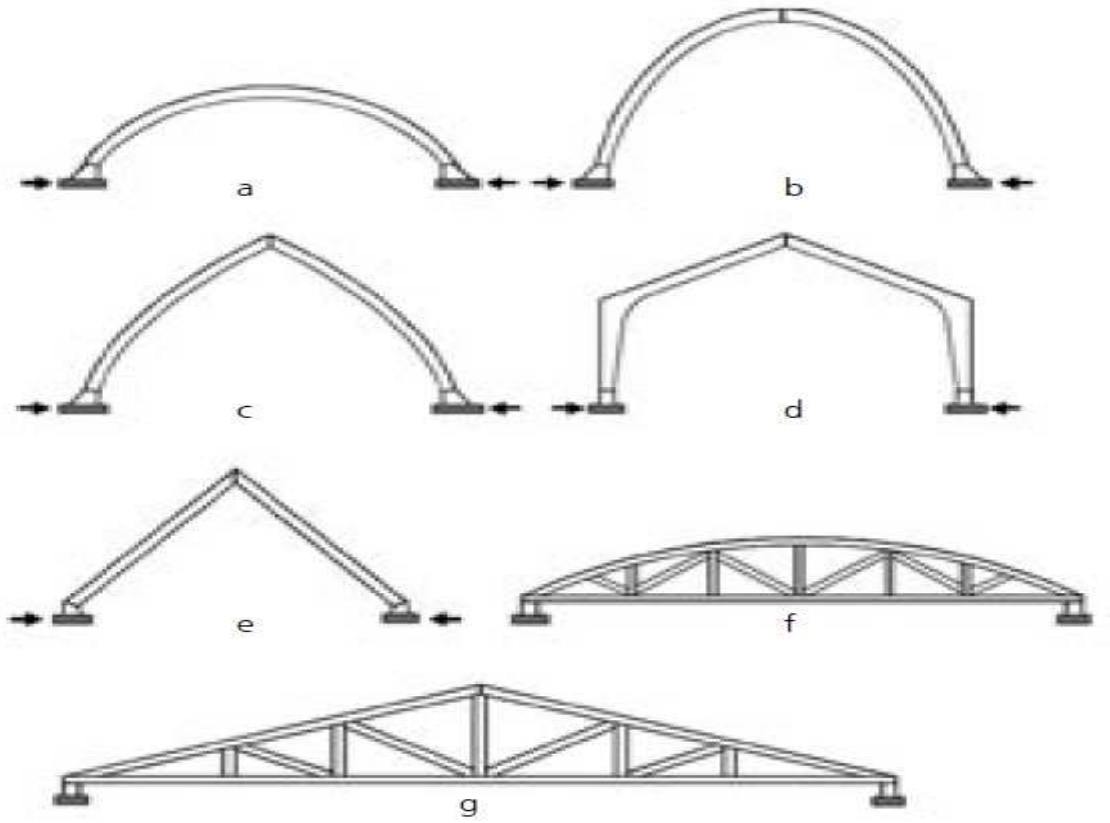


*Obr. 4.163* Typický nosník z lamelového dřeva

Protože lepení je považováno za nejdokonalejší spojení dřeva, používají se lepené konstrukce poměrně často. Lepené prvky mají řadu výhod, např. do méně namáhaných částí průřezu je možné použít dřevo nižších tříd, řezivo malých rozměrů, skládáním průřezu z většího počtu kusů je možné v podstatě vyloučit vady dřeva, což umožňuje značně zvýšit namáhání, při použití vhodných průřezů lze ušetřit 25 až 30 % dřeva. Lepené dřevo má také lepší rozměrovou stálost než masivní dřevo stejného průřezu.Lamelové prvky mají velmi dobrou požární odolnost, rychlost ohořívání lepeného lamelového dřeva je udávána 0,5 – 0,7 mm za minutu bez ztráty únosnosti.

Lepené lamelové dřevo se často používá na sportovní haly, stadiony, výstavní pavilony a také tam, kde se uplatní jeho nízká objemová hmotnost při vysoké pevnosti (nízké náklady na dopravu).

V České republice jsou v současné době vyráběny prvky s maximálními rozměry 35 m x 2 m x 0,24 m, obloukové prvky s poloměrem do 2,2 m o pevnostech GL 24 a GL 28 . Zvláštním typem výrobku z lepeného dřeva jsou duté lepené sloupy, které je možno použít jako stožáry vysokého napětí i jako nosné prvky.




*Obr. 4.164* Průmyslově vyráběné tvary nosníků z lepeného dřeva

a) kruhový oblouk, b) parabolický oblouk, c) segmentový (gotický) oblouk, d) tudorský oblouk, e) A – rám, f) parabolický nosník, g) sedlový nosník

Lepené vrstvené dřevo se vyrábí ve čtyřech standardních třídách pevnosti – GL 24, GL 28, GL 32 a GL 36. Charakteristické hodnoty některých vlastností pro tyto třídy podle normy ČSN EN 1194 jsou uvedeny v tabulce 4.166.

Charakteristické hodnoty pevnosti, tuhosti a hustoty lepeného dřeva *Tab. 4.166*

| Způsob namáhání | | Třída pevnosti | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | GL 24h/ GL 28c | GL 28h/ GL 28c | GL 32h/ GL 32c | GL 36h/ GL 36c |
| Pevnost v ohybu | $f_{m,g,k}$ | 24 | 28 | 32 | 36 |
| Pevnost v tahu | $f_{t,0,g,k}$ | 16,5/14 | 19,5/16,5 | 22,5/19,5 | 26/22,5 |
| | $f_{t,90,g,k}$ | 0,4/0,35 | 0,45/0,4 | 0,5/0,45 | 0,6/0,5 |
| Pevnost v tlaku | $f_{c,0,g,k}$ | 24/21 | 26,5/24 | 29/6,5 | 31/29 |
| | $f_{c,90,g,k}$ | 2,7/2,4 | 3/2,7 | 3,3/3 | 3,6/3,3 |
| Pevnost ve smyku | $f_{v,g,k}$ | 2,7/2,2 | 3,2/2,7 | 3,8/3,2 | 4,3/3,8 |
| Modul pružnosti | $E_{0,g,mean}$ | 11 600 | 12 600 | 13 700 | 14 700 |
| | $E_{90,mean,g}$ | 390/320 | 420/390 | 460/420 | 490/460 |
| Hustota | $r_{g,k}$ | 380/350 | 410/380 | 430/410 | 450/430 |

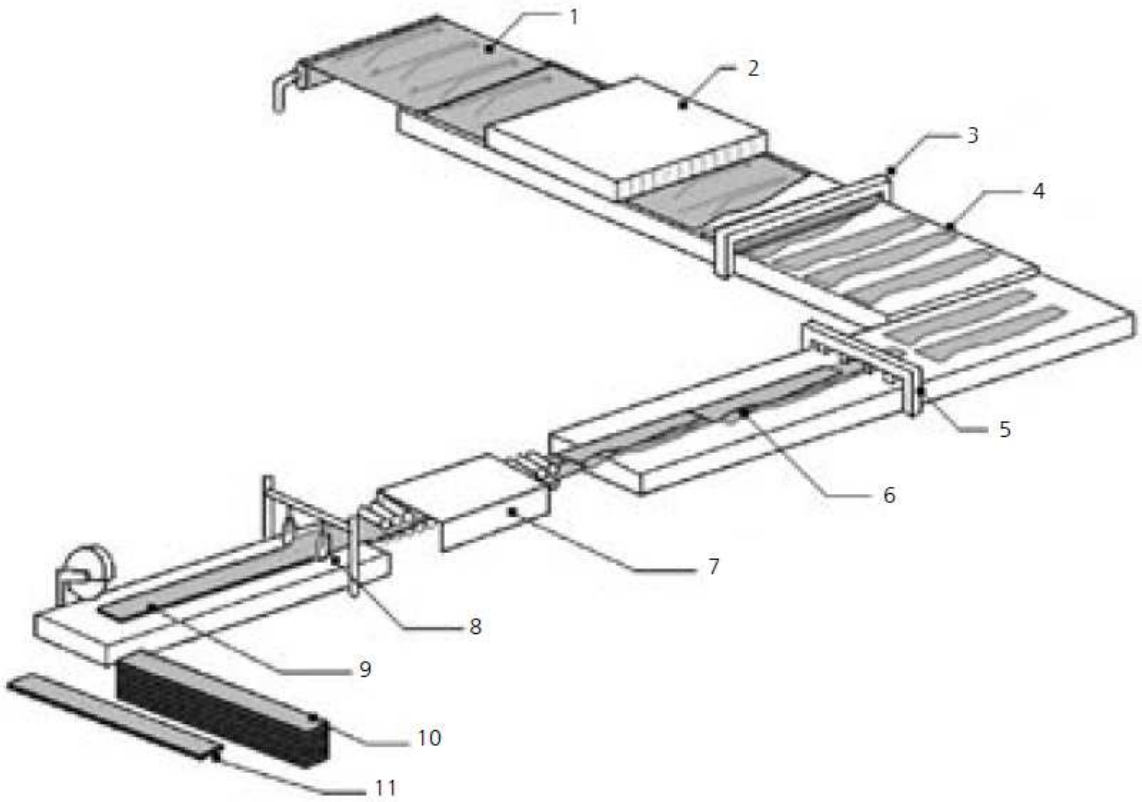
Pro zvýšení únosnosti prvků z lepeného dřeva je možno vyztužit je uvnitř pásy s vlákny vysoké pevnosti, popřípadě k nim přilepit jiné materiály (dřevo jiného druhu, materiály na bázi dřeva, skleněná nebo uhlíková vlákna, ocel).

### 4.11.6.7 Vrstvené dřevo

Vrstvené dřevo je materiál podobný překližce, norma ČSN EN 14279 jej definuje jako soubor vrstvených dýh s převážně rovnoběžnými vlákny. Tím se liší od překližek, u kterých se směr vláken střídá.. Tloušťka dýh se pohybuje od 2,5 do 6 mm, minimální počet vrstev je pět. Jako pojivo se užívají fenolové pryskyřice. Vytvrdnutí probíhá za vysokého tlaku a teploty kolem 145 °C.

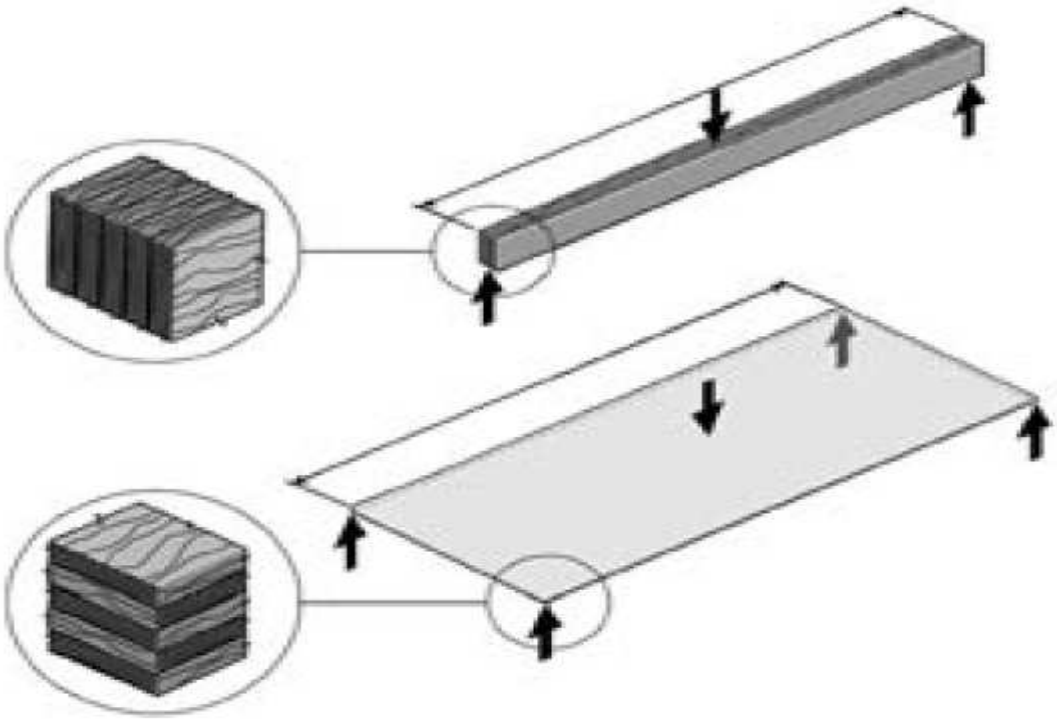
Po vytvrdnutí jsou prvky rozřezány na trámy a prkna, popř. lze vrstvené dřevo použít na příruby i stojiny I-nosníků. Vrstvené dřevo má velmi dobré parametry pevnosti a tuhosti.

Pevnost v ohybu vrstvených prvků se pohybuje kolem 50 MPa a průměrný modul pružnosti kolem 14 000 MPa. Vrstvené dřevo má vysokou objemovou stálost.




*Obr. 4.165* Výroba vrstveného dřeva

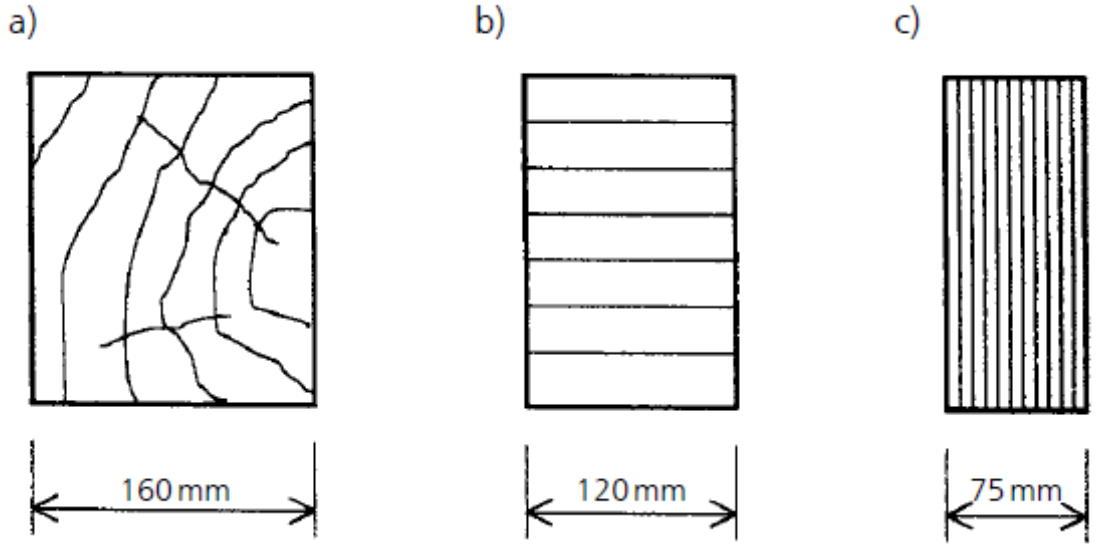
1 – dýha, 2 – sušení, 3 – řezání, 4 – třídění, 5 – aplikace lepidla, 6 – skládání vrstev, 7 – průběžné lisování za zvýšené teploty, 8 – řezání okrajů, 9 – řezání na požadovanou délku, 10 – doprava, 11 – třídění



*Obr.4.166* Rozdíl mezi vrstveným dřevem a překližkou.

Norma ČSN EN 14 374 zavádí tři třídy vrstveného dřeva - LVL/1 (pro použití v suchém prostředí), LVL/2 (pro použití ve vlhkém prostředí) a LVL/3 (pro použití ve venkovním prostředí) a uvádí požadavky na výchozí materiál (dýhy), kvalitu lepení, rozměry a tolerance, požadavky na zkoušky (pevnosti, modulu pružnosti, hustoty a vlhkosti) a na deklaraci reakce na oheň, uvolňování formaldehydu a přirozené odolnosti proti biologickému napadení. Prvky z vrstveného dřeva mohou být použity v konstrukci s vrstvami ve svislém i vodorovném směru.

Vrstvené dřevo je možno použít na nejnáročnější inženýrské konstrukce (např. na haly s velkým rozpětím).




*Obr. 4.167* Rozměry průřezů se stejnou pevností v ohybu

a) masivní dřevo, b) lepené dřevo, c) vrstvené dřevo

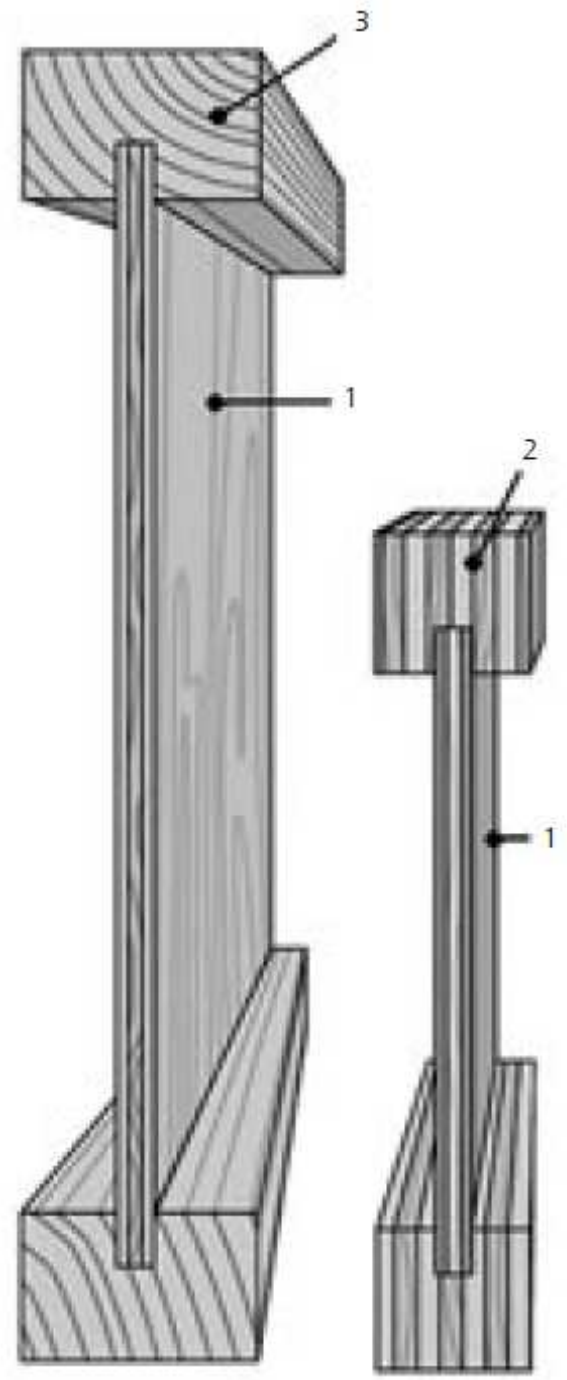
### 4.11.6.8 Vrstvené dřevo z dýhových pásů a z dlouhých třísek

Vrstvené dřevo z dýhových pásů (anglicky se označuje PSL = parallel strand lumber) se vyrábí z dýh, nařezaných na pásky 20 – 30 mm široké a dlouhé až 2400 mm. Rozřezání na pásky umožňuje vyřadit vadná místa. Dřevěné částice jsou pokryty lepidlem, poté jsou v kontinuálním lisu orientovány podélným směrem a zhutněny. Vytvrzují se pomocí mikrovlnného ohřevu.

Prvky z tohoto materiálu jsou téměř rovnocenné prvkům ze železobetonu. Vyrábějí se s výškou od 300 do 500 mm a šířkou kolem 300 mm. Délka může být v podstatě jakákoliv, omezení je dáno jen přepravními možnostmi (běžně do 20 m). Pevnost tohoto materiálu v ohybu je přibližně stejná jako u vrstveného dřeva, v tlaku a ve smyku je jeho pevnost vyšší.

Podobně jako vrstvené dřevo z dýhových pásů je vyráběn i další typ vrstveného dřeva, pouze namísto dýhových pásů jsou použity dlouhé třísky, široké až 30 mm a dlouhé až 300 mm. Tento materiál je označován zkratkou LSL (laminated strand lumber) nebo OSL (oriented strand lumber) a může mít jak deskový, tak nosníkový charakter. Jeho pevnost je srovnatelná s lepeným lamelovým dřevem. Jednotlivé typy materiálů na bázi dřeva je možno navzájem kombinovat, nejčastěji u I-nosníků.

Jako stojiny potom nejčastěji slouží třískové desky nebo vrstvené dřevo, na příruby se používá masivní dřevo, vrstvené dřevo nebo LSL. Některé možnosti jsou vyobrazeny na obr..4.160.




*Obr. 4.168* Průmyslově vyráběné typy I-nosníků na bázi dřeva

1 – vrstvené dřevo nebo překližka, 2 – vrstvené dřevo, 3 – masivní dřevo

### 4.11.6.9 Kombinované materiály

Dřevěné částice lze kombinovat s různými nedřevěnými materiály, např. s plasty, sádrou a cementem. Vznikají tak kompozitní materiály se zvláštními vlastnostmi a relativně nízkou cenou.

#### 4.11.6.9.1 Cementotřískové desky

Norma ČSN EN 633 definuje cementotřískové desky jako desky, vyrobené lisováním z částic na bázi dřeva nebo jiných rostlinných částic, pojených běžným portlandským cementem nebo cementy na bázi hořčíku s možnými přísadami. Přesnější vymezení vlastností cementotřískových desek přináší specifikační norma ČSN EN 634. Základní požadavky podle druhé části této normy jsou uvedeny v tab. 4.167.

Požadavky na cementotřískové desky podle ČSN EN 634-2. Tab. 4.167

| Vlastnost | Zkušební metoda | Jednotka | Požadavky (všechny tloušťky) |
|---|---|---|---|
| Hustota | EN 323 | $kg.m^{-3}$ | 1 000 |
| Pevnost v ohybu | EN 310 | $N.mm^{-2}$ | 9 |
| Modul pružnosti v ohybu | EN 310 | $N.mm^{-2}$ | Třída 1 – 4 500<br>Třída 2 – 4 000 |
| Rozlupčivost | EN 319 | $N.mm^{-2}$ | 0,5 |
| Bobtnání po 24 h | EN 317 | % | 1,5 |

Nejčastěji používaným pojivem je portlandský cement. Některé látky, obsažené ve dřevní hmotě (třísloviny, polysacharidy, lignin) však mohou výrazně zpomalovat tvrdnutí cementu a snižovat jeho pevnost. Tento problém lze řešit různými způsoby, např. vyluhováním dřeva ve vodě, izolováním povrchu dřevních částic (např. bitumeny) nebo mineralizací dřevních částic.

Problémy s inhibicí tvrdnutí odpadají při použití hořečnatého pojiva, kterému proto někteří výrobci dávají přednost. Desky s tímto pojivem však nejsou odolné proti vlhkosti, a proto je lze bez další ochrany používat pouze v interiéru.

Podle tvaru dřevních částic a jejich objemové hmotnosti lze cementotřískové desky v zásadě rozdělit na desky z dřevité vlny s nízkou objemovou hmotností (do 400 $kg.m^{-3}$), desky z hrubých třísek se střední objemovou hmotností (400 – 800 $kg.m^{-3}$) a na desky z jemných třísek s vysokou objemovou hmotností (nad 800 $kg.m^{-3}$).

Desky z dřevité vlny se pro svoji nízkou objemovou hmotnost používají na tepelnou izolaci stěn a stropů, na tepelné izolační obklady nosníků, průvlaků, pilířů, stropů a obvodových zdí, jako ztracené bednění stropních a věncových konstrukcí, k tepelné izolaci teplovzdušných kanálů, ke zhotovování příček a dělicích stěn apod.

Požadavky na desky z dřevité vlny jako tepelně izolační výrobky zavádí norma ČSN EN 13168. Desky se označují písmeny WW (popř. WW-C pro kompozitní desky) a v označení desky musí být uvedeny základní vlastnosti , např. třídy tolerance rozměrů, pravoúhlosti a rovinnosti, dále pevnost v tlaku a v ohybu, obsah chloridů, rozměrová stabilita a propustnost pro vodní páru.

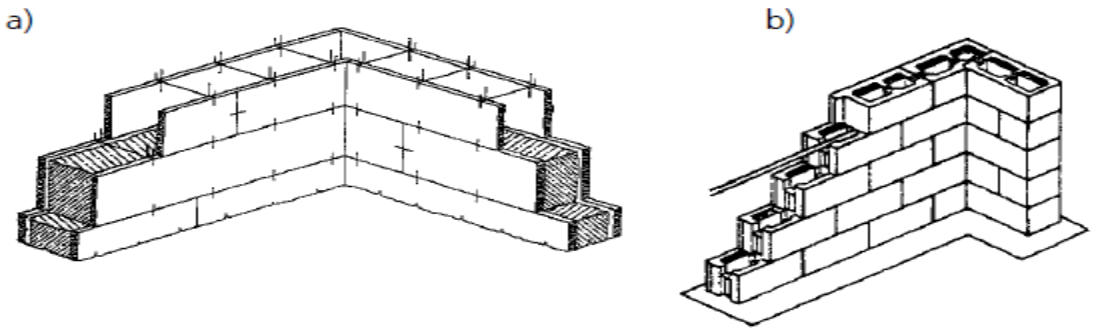
Pro všechny desky z dřevité vlny se u nás vžilo označení heraklit. Běžně se tak označují i desky pojené portlandským cementem, bez ohledu na to, že původní firemní název se týkal desek s pojivem hořečnatým.

Desky z dřevité vlny se vyrábějí nejčastěji v rozměru 500 x 2000 mm, v tloušťkách od 15 do 100 mm. Tyto desky se dají dobře kombinovat s jinými materiály a snadno se na ně nanáší omítka. K dosažení většího tepelně izolačního účinku se vyrábějí kombinované dílce z desek z dřevité vlny s vrstvou pěnového polystyrenu.

Cementotřískové desky se střední objemovou hmotností se vyrábějí z dřevních částic tloušťky 0,5 – 5 mm, šířky 2 – 10 mm, délky 20 – 50 mm. Jejich obvyklé rozměry jsou 2000 x 500 mm, tl. 25, 35, 50 a 70 mm. Při výrobě tohoto typu desek není tvar dřevních částic rozhodující, mohou být použity různé kusové odpady, používají se například štěpky a hrubší třísky. Dřevní částice se nejčastěji mineralizují vodním sklem, které současně snižuje nasákavost a zvyšuje odolnost desek proti škůdcům a plísním. Pro tyto desky se nejčastěji používá označení desky štěpkocementové.

Požadavky na desky z dřevěných štěpek, pojených portlandským cementem o objemové hmotnosti 630 ± 30 kg.m$^{-3}$ stanovuje norma ČSN 49 2632. Tyto desky, často s doplňkovou izolační vrstvou pěnového polystyrenu, se používají především jako ztracené bednění při zhotovování obvodových zdí, zejména v bytové výstavbě. Desky se navzájem spojují pomocí ocelových spon a betonáž lze provádět najednou pro celé patro pomocí čerpadla, eventuálně po jednotlivých řadách o výšce 500 mm.

Kromě štěpokocementových desek se vyrábějí také štěpkocementové tvárnice, které mohou být opatřeny vrstvou polystyrenu. Tyto tvárnice mají přesné rozměry, proto se kladou na sucho (bez malty) a plní se betonovou směsí vždy po 3 až 4 řadách. Výhodou těchto systémů je velmi rychlý postup výstavby, jednoduchá montáž, vynikající tepelně izolační a akumulační vlastnosti při ceně srovnatelné s klasickými materiály.




*Obr. 4.169* Konstrukce obvodové zdi ze štěpokocementových desek (a) a ze štěpkocementových tvárnic (b)

Cementotřískové desky s vysokou objemovou hmotností jsou vyráběny z jemnějších třísek a obsahují vyšší podíl cementu (25 % a více) než předchozí typy. Výroba probíhá tak, že dřevní hmota se po tří až čtyřměsíčním skladování roztřískuje na požadovanou velikost.

Dřevěné částice jsou v míchacím zařízení nejprve mineralizovány, potom se přidává cement a voda. Vzniklá hmota se rozprostře na ocelové plechy, které jsou stohovány na sebe a hmota je lisována na požadovanou tloušťku. Běžná výrobní tloušťka je od 8 do 40 mm.

Desky nechají pod tlakem vytvrdnout a poté dozrát v klimatizačním skladu. Po vyschnutí se ořezávají na přesný rozměr. Mohou být opatřeny perem a drážkou.

Často jsou desky tvořeny na povrchu vrstvou s jemnější frakcí třísek a střední vrstva je tvořena hrubšími třískami, takže jsou na povrchu hladké.

Objemová hmotnost cementotřískových desek se pohybuje kolem od 1000 do 1500 $kg.m^{-3}$. Desky mají poměrně vysokou pevnost v tahu za ohybu (přes 10 MPa), vysokou požární odolnost (většinou jsou řazeny do třídy a – nehořlavé). Jako všechny materiály s podílem dřevní hmoty mají poměrně velkou lineární roztažnost v závislosti na vlhkosti, proto je třeba umožnit těmto deskám dilataci.

Cementové pojivo zvyšuje součinitel tepelné vodivosti na hodnotu kolem 0,3 $W.m^{-1}.K^{-1}$, cementotřískové desky jsou proto použitelné pro podlahy s podlahovým vytápěním.

Desky mají výborné zvukově izolační vlastnosti (vzduchová neprůzvučnost 30 – 35 dB), mají však nízkou zvukovou pohltivost. Odolávají vlhku, prakticky nebobtnají a jsou odolné vůči mrazu, hmyzu a plísním.

Cementotřískové desky s vysokou objemovou hmotností se používají pro obklady stěn a stropů, na podlahy, na fasádní odvětrávací systémy (zde však může docházet k tvorbě výkvětů), na požární obklady a příčky, na ztracené bednění apod.

Pro protipožární účely se vyrábějí i cementotřískové desky, ve kterých jsou dřevěné třísky kombinovány s vermikulitovým plnivem.

### 4.11.6.9.2 Pazderový a konopný beton

Pazdeří je dřevitá dužina (tenkostěnné buňky lnoucí na lýkových vláknech), která se odděluje od lýkových vláken v procesu rozvolňování lněných a konopných stonků při průmyslovém zpracování.

Stonek lnu obsahuje 50-55 % pazdeří, v konopných stoncích je pazdeří o 5 % více.

Pazdeří z konopí je lehčí, může absorbovat tekutiny až ve čtyřnásobku vlastní váhy, je velmi porézní a má vysokou izolační účinnost.

Lněné pazdeří máčené v roztoku vodního skla tvořilo plnivo pazderového betonu, v němž byl pojivem cement.

Byl používán při výstavbě panelových domů G 40, které měly vrstvený obvodový plášť (pazderobeton + škvárobeton + železobeton).

Pazderový beton měl objemovou hmotnost 650 - 1200 $kg.m^{-3}$ a součinitel tepelné vodivosti 0,09 -0,15 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Jeho nepříznivou vlastností byla poměrně velká nasákavost.

Na 1 ha půdy lze vyprodukovat až 6 tun konopného pazdeří. Konopné pazdeří má proto velkou budoucnost využití v ekologickém stavebnictví.

Konopný beton (z anglického názvu HempCrete) tvoří směs konopného pazdeří, hašeného vápna, cementu a vody. Jde o recyklovatelný materiál, který nabízí vysokou tepelnou i zvukovou izolaci. Největší výhodou je nesporně rychlost výstavby, konopný beton totiž tvrdne velmi rychle.

V České republice je zákonem číslo 167/1998 Sb. o návykových látkách zakázáno pěstovat druhy a odrůdy rostliny konopí, které mohou obsahovat více než 0,3 % látek ze skupiny tetrahydrokanabinolů.

Jako základní surovina pro výrobu konopného betonu se proto musí využívat konopné pazdeří z konopí setého (Cannabis sativa L.), které obsahuje méně než 0,2 % obsahu THC a pěstitelé musí splnit všechny ohlašovací povinnosti dle vyhlášky 151/2005 Sb.

Slabou stránkou konopného betonu je nutná příprava konopného pazdeří procesem mineralizace. Pro dosažení mineralizaci je třeba nechat konopné pazdeří smísené s vápnem a vodou odležet, což vyžaduje velký objem takto upravovaného materiálu a snižuje to denní výkon zpracování konopného betonu.

Mechanické parametry konopného betonu se blíží v praxi běžně používaným polystyrenbetonům a konopný beton tedy může být využíván pouze jako výplňový materiál.

### 4.11.6.9.3 Plněné plasty

Speciálním typem kombinovaných materiálů jsou plasty (např. polypropylen, polyetylen) s obsahem dřevěných částic. Dřevěné částice v těchto materiálech mohou sloužit jako plnivo (dřevěná moučka) nebo výztuž (vlákna, štěpky, třísky). Plněné plasty mohou obsahovat až 70 % dřevních částic, běžnější je však obsah 50 %. Místo dřevních částic mohou být použity i jiné částice na celulózové bázi (např. bambus, sláma apod.).

Výhodou těchto materiálů je variabilita vlastností, které lze dosáhnout vhodnou volbou surovin a přísad a velmi snadné zpracovaní do požadovaného tvaru (nejčastěji extrudováním). Obecně mají vyšší pevnost (zejména v ohybu) než samotné plasty a vyšší modul pružnosti, mají však poměrně vysokou teplotní roztažnost. Jejich další výhodou je podstatně nižší nasákavost a odolnost vůči hnilobě. Používají se na povrchové úpravy objektů (jako obkladové desky), okenní a dveřní rámy, průmyslové podlahy apod.

Historicky nejstarším plastem využívajícím jako plnivo dřevěnou moučku byl bakelit.

### 4.11.6.10 Zhuštěné dřevo

Zhuštěné dřevo je materiál, jehož objemová hmotnost je zvýšena lisováním, a tím vzroste i jeho pevnost. Lisování probíhá při teplotách 140 až 160 °C a tlaku 10 až 15 MPa, rychlost lisování je cca 1 mm za minutu. Při procesu zhušťování lze dřevo i různě tvarovat, např. ohýbat či rolovat .Zhuštěné dřevo se nejčastěji používá v podobě překližek s objemovou hmotností kolem 1400 $kg.m^{-3}$. Tyto překližky se převážně používají jako tenké příložky, stojiny I-nosníků a vložky do exponovaných spojů dřevěných konstrukcí.

### 4.11.6.11 Modifikované dřevo

Modifikace je chemická úprava dřeva, při které jsou hydroxylové skupiny OH (obsažené v celulóze, hemicelulóze a ligninu) nahrazeny jinými skupinami. Hydroxylová skupina totiž hraje zásadní roli v tom, jak dřevo přijímá vlhkost. Vlhkost je přitom hlavní příčinou biologické degradace dřeva.

Pokud je hydroxylová skupina nahrazena jinou skupinou, pak dřevo zůstává trvale suché a jeho trvanlivost a biologická odolnost se výrazně zvětšují.

Nejčastější modifikací dřeva je acetylace, při které je vodík hydroxylové skupiny nahrazen větší skupinou $-COCH_3$. Tato úprava se provádí anhydridem kyseliny octové.

Dřevo ošetřené touto metodou má trvanlivost při kontaktu s půdou až 25 let, rovnovážná vlhkost dřeva nepřesáhne 10 %, takže objemové změny vlivem vlhkosti (bobtnání a sesychání) jsou výrazně menší (až o 80 %), zlepší se i akustické vlastnosti dřeva.

Vlastnosti chemicky modifikovaného dřeva (ČSN CEN/TS 15679) *Tab.4.168*

| Modifikační chemikálie | Nárůst objemové hmotnosti (%) | Snížení objemových změn (%) | Úbytek hmotnosti při hnědé hnilobě (%) | Rovnovážná vlhkost při 27 °C a při relativní vlhkosti vzduchu | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 5 % | 60 % | 85 % |
| Nemodifikované dřevo | – | – | 61,3 | 3,9 | 8,5 | 16,4 |
| Propylenoxid | 29,2 | 62,0 | 14,2 | 3,5 | 6,1 | 13,1 |
| Butylenoxid | 27,0 | 74,3 | 2,7 | – | 5,7 | 10,7 |
| Metyl izokyanát | 22,5 | 70,3 | 2,8 | – | – | – |
| Anhydrid kys. octové | 26,0 | 69,7 | 1,7 | 2,4 | 4,3 | 8,4 |
| Formaldehyd | – | – | 2,9 | 3,0 | 4,2 | 6,2 |
| Akrylonitril | 25,2 | 80,9 | 1,9 | – | – | – |

Další metodou úpravy dřeva je teplotní modifikace. Norma ČSN P CEN/TS 15679 definuje tepelně modifikované dřevo (označení TMT) jako dřevo, u kterého došlo po vystavení teplotě vyšší než 160 °C za sníženého přívodu kyslíku ke změně materiálu jeho buněčných stěn a tím i ke změně jeho fyzikálních vlastností. Vlastnosti dřeva musí být trvale změněny po celém průřezu dřeva.

Při teplotní modifikaci jsou pomocí zvýšených teplot a tlaku z dřevních buněk odstraněny hydroxylové skupiny. V současnosti se používá i mikrovlnný ohřev. Nasákavost dřeva poklesne až o 40 %, a tím se zmenší i objemové změny. Tepelně modifikované dřevo má vyšší odolnost vůči biologické degradaci, má však horší mechanické vlastnosti.

Účinnost modifikace se vyjádřuje pomocí koeficientu smrštění ASE (ASE = antishrink efficiency) :

$$ASE = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \times 100 ,$$

kde $S_1$, $S_2$ jsou koeficienty objemového smrštění dřeva nemodifikovaného ( $S_1$) a modifikovaného ($S_2$) a počítají se podle vzorce :

$$S = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100 ,$$

kde $V_1$ je objem suchého dřeva a $V_2$ dřeva plně nasyceného vodou.

Prvky z modifikovaného dřeva je vhodné používat zejména v exteriéru, např. jako okenní a dveřní rámy, lepené prvky pro mostní konstrukce apod.

### 4.11.7 Další celulózové materiály

Kromě materiálů na bázi dřeva se ve stavebnictví uplatňují i další materiály organického původu, jako je např. sláma, korek, celulózová vlákna (ze starého papíru, popř. odpady z výroby papíru), rostlinná vlákna apod.

Většina těchto materiálů má nízkou objemovou hmotnost a převážně vláknitou strukturu, používají se proto zejména jako tepelné izolace.

Nevýhodou přírodních rostlinných materiálů je jejich vlhkostní citlivost. Dlouhodobé vystavení materiálu na bázi rostlinných vláken účinku nadměrné vlhkosti může způsobovat biologickou degradaci působením bakterií, plísní či hub. Proto by tyto materiály použité ve stavební konstrukci měly být vždy spolehlivě odděleny od zdrojů vlhkosti. Další nevýhodou rostlinných materiálů bývá jejich hořlavost; ta se snižuje přísadami retardujícími hoření. Požární odolnost konstrukcí z hořlavých materiálů značně zvyšuje nehořlavá povrchová úprava (omítka nebo obklad). Přesto je z tohoto důvodu jejich použití vhodné spíše pro menší bytové stavby.

Pro desky z celulózových vláken platí stejné normy jako pro třískové desky na bázi dřeva.

### 4.11.7.1 Celulózová vlákna

Celulózová vlákna mohou být zajímavou ekologickou alternativou tepelných izolací z minerálních nebo skelných vláken. Celulózová vlákna jsou nejčastěji vyráběna ze starého, zejména novinového papíru. Starý papír se rozvlákní pomocí rozvlákňovací turbíny a pro zvýšení odolnosti proti požáru a proti živočišným škůdcům jsou vlákna obohacena kyselinou boritou (v množství cca 4% hmotnosti) a boraxem (síranem hořečnatým, v množství 12-14 % hmotnosti). Vlákna jsou dodávána volně sypaná v pytlích v podobě jemných vláken nebo granulí. Jsou také vyráběna vlákna pro stabilizaci a vyztužení asfaltových silničních směsí.Celulózová vlákna lze aplikovat několika způsoby. Nejjednodušším způsobem aplikace je volné vsypáváni vláken do dutin. Při tomto způsobu však není zaručena homogenita zaplnění prostoru a nelze regulovat objemovou hmotnost zásypu. Proto se k aplikaci častěji používá speciální foukací zařízení, u kterého lze nastavit jak dávkování vláken, tak i množství přidávaného vzduchu, čímž lze docílit požadovanou objemovou hmotnost výsledné izolace. Tímto způsobem lze zateplovat vodorovné konstrukce (např. stropy či podkroví), šikmé konstrukce (střešní prostor nad krokvemi) i konstrukce svislé (různé předstěny a příčky). Další možností je nástřik vláken s přídavkem vody nebo lepidla. Granule jsou určeny zejména do podlah a stropů, jejich výhodou je podstatně nižší prašnost a jednodušší aplikace (bez foukacího zařízení). Nástřik se speciálním pojivem může sloužit i jako akustická vrstva pro snížení hladiny hluku např. ve sportovním či hudebních prostorách nebo jako vrstva k zamezení odkapávání kondenzátu ze střešních konstrukcí v průmyslových a zemědělských stavbách.

Objemová hmotnost vláken se při volném zásypu bez stroje pohybuje mezi 35 až 45 $kg.m^{-3}$, při volném zasypání strojem na volné vodorovné plochy činí 30 - 60 $kg.m^{-}3$, při zhutnění strojem za sucha, případně nástřikem s vodou se pohybuje mezi 38 až 50 $kg.m^{-}3$, při max. zhutnění či při nástřiku s lepidlem je 45 - 90 $kg.m^{-3}$.Objemová hmotnost granulí je asi 500 $kg.m^{-3}$.

Součinitel tepelné vodivosti se pohybuje mezi 0,037 $W.m^{-1}.K^{-1}$ (výpočtová hodnota suchého materiálu) a 0,042 $W.m^{-1}.K^{-1}$ (při nástřiku s pojivem). Materiál má relativně nízký difúzní odpor ($\mu$ = 1,1 – 3).

Protože se jedná o organický materiál, má poměrně vysokou hmotnostní navlhavost (při teplotě 20 ℃ a relativní vlhkosti 90 % je relativní navlh avost: 16,62 % hmotnosti). Požární odolnost volně sypaného materiálu je klasifikována stupněm C1 – těžce hořlavý. Materiál nelze vystavovat agresivnímu prostředí (kyselinám a louhům), je použitelný do teploty cca 105 °C. Výrobce uvádí, že při vhodném způsobu aplikace (tzv. objemovým foukáním) vrstva vláken prakticky nesesedá, při volném sypání ne vodorovné ploše dochází k sednutí cca o 10 %.

### 4.11.7.2 Korek

Přírodní korek je kůra stromu Quercus Suber (korkového dubu), který roste zejména v teplých oblastech Pyrenejského poloostrova, Sardinie, Itálie a Severní Afriky. Kůra je získávána loupáním z živého stromu. Po sloupnutí se znovu obnovuje.

Korkové vrstvy se odřezávají ze stromů starých nejméně 15 až 20 let, další sklizeň je vždy po 8 až 10 letech. Každá buňka kůry obsahuje plyn podobný vzduchu, stěny buněk jsou tvořeny celulózou, suberinem a voskem. Suberin spolu s voskem způsobuje, že korek nepropouští ani tekutiny ani plyny. Korek má velmi dobré tepelně izolační vlastnosti, nízkou nasákavost, je velmi pružný a má relativně malé objemové změny.

Korek je téměř nehořlavý – při zkoušce hořlavosti plamenem autogenu nehoří, jen zčerná a je zařazen do skupiny C1 – těžko hořlavých látek. Korek lze použít v širokém rozsahu teplot (od -200 ℃ do + 200 ℃), další jeho výhodou je rozměrová stálost (na rozdíl od většiny přírodních materiálů) a odolnost vůči biokorozi. Za nevýhodu korku lze považovat značně proměnlivou kvalitu a dostupnost (nejkvalitnější korek pochází z Portugalska) a vyšší cenu.

Pro izolační účely se dříve používaly desky z korkové drtě pojené asfaltem (asfaltokorek) nebo kamenouhelnou smolou (Enormit). S těmito deskami se můžeme setkat při rekonstrukcích starých chladírenských objektů. Místo nich se dnes používají desky vyráběné bez pojiva autoklávováním. Někdy je tento materiál nazýván pečený, popř. expandovaný korek. Desky z autoklávovaného korku lze používat jako tepelné, akustické a antivibrační izolace

Desky se vyrábí z granulovaného korku (korkový šrot), který se ohřívá v autoklávu vodní párou na teplotu 380 ℃, dokud nenabobtná a n ezačne se uvolňovat pryskyřice (suberin). Korková drť slisovaná do bloku expanduje a uvolněná pryskyřice zároveň expandovaná zrna spojuje.. Z bloků se poté řežou desky požadované tloušťky (běžně 10 až 100 mm). Objemová hmotnost expandovaného korku se pohybuje od 90 do 140 $kg.m^{-3}$ pro tepelně izolační desky a od 175 do 320 $kg.m^{-3}$ pro vibrační desky.

Korkové produkty lepené syntetickými pryskyřicemi se skládají z formaldehydu, fenolu, močoviny a melaminu v rozdílných poměrech. Tyto výrobky mohou později uvolňovat formaldehyd a fenoly.

Při rekonstrukcích starších objektů je možné narazit na podlahy zhotovené z hořečnatého pojiva a korkové drtě. Tento tzv. korkolit byl variantou známějšího xylolitu (viz kapitolu 4.4.4).

Speciálním materiálem na bázi korku je *linoleum*. Pojmem linoleum bývá běžně označována krytina na bázi PVC, jedná se však o zcela odlišný materiál. Pravé linoleum je vyráběno z lněného oleje, přírodní pryskyřice, korkové moučky, dřevité moučky, vápence, pigmentů a juty. Má univerzální možnost použití, nevhodná je pouze pro prostory s nadměrnou vlhkostí. Linoleum je velmi pružné, trvanlivé, má výborné tepelně izolační vlastnosti.

### 4.11.7.3 Sláma

Sláma se jako konstrukční materiál začala používat koncem 19. století v několika „obilných“ státech v USA, kde farmáři neměli k dispozici jiný materiál. V našich zemích byla sláma tradičně používána jako střešní došková krytina, byla přimíchávána do cihel z nepálené hlíny a sloužila jako tepelná izolace půd. V současné době dochází ke znovuobjevování tohoto stavebního materiálu.

Slámu je možno používat v podobě balíků, které vyjdou z běžných zemědělských lisů na slámu nebo volně sypanou. Slaměné balíky mohou být použity jako výplň nosných stěn, kdy se ukládají nejčastěji do dřevěného hrázdění nebo jako tepelná izolace, doplňující dřevěnou nosnou konstrukci. Volnou slámu lze také ukládat do bednění.

Lisované balíky slámy (nejčastěji o rozměrech 350x400x600 mm) mají při objemové hmotnosti 90–135 kg.m$^{-3}$ součinitel tepelné vodivosti 0,039–0,046 W.m$^{-1}$.K$^{-1}$. Stavby ze slámy mají poměrně vysokou požární odolnost, protože oheň nemá ve slisovaných balících dostatek vzduchu k hoření. Třída hořlavosti balíků s objemovou hmotností 90 kg/m$^3$ je B2 - normálně hořlavé.

Z hlediska biologických a organických škůdců, nebezpečí alergií a plísní nejsou rizika využití slámy vysoká. Čistá světlá sláma má velmi nízký alergický potenciál a neobsahuje téměř žádné plísně nebo spory. Napadení hlodavci není časté , neboť celulóza jako základní surovina, ze které sláma sestává, může být strávena pouze termity nebo skotem s enzymatickým štěpením celulózy. Hlodavci slámové balíky vyhledávají především pro jejich tepelně izolační schopnost, V tom se sláma neliší od jiných tepelně izolačních vrstev., Případnému průniku hlodavců do dutin je potřeba zamezit omítkou, pletivem nebo mřížkou. Zároveň je nutné minimalizovat v balících obsah zrna, plevele a jiných rostlin.

Pro bezpečné využití je nutno zajistit rovnoměrnou hustotu balíků nebo volné slámy, eliminovat přítomnost vlhkosti jak technologické, provozní (kondenzace ve skladbě stěny), tak způsobené špatným řešení konstrukčních detailů (vzlínání nebo zatékání, odstřikování srážkové vody u paty stěny, atd.). Doporučuje se použití lehké parozábrany na vnitřní straně, s difúzně otevřenou skladbou stěny. Běžná vzdušná vlhkost je absorbována v mezibuněčných strukturách.Výhodou staveb ze slaměných balíků je snadná možnost výměny jednotlivých prvků v případě poškození.

Ze slámy se také vyrábějí stěnové panely. Tyto panely se vyrábějí lisováním slámy za vysoké teploty a tlaku bez použití dalších přísad (např. pojiv). Slaměné jádro je polepeno recyklovaným papírem (kartonem).

Vytlačovaný nekonečný pás se formátuje okružní pilou na požadovanou délku. Objemová hmotnost panelů se pohybuje od 340 do 440 kg.m$^{-3}$. Hořlavost je třídy C1 – těžce hořlavý materiál. Slaměné panely je možno používat pro opláštění dřevěné kostry, jako příčky, podhledy, obklady stěn, popř. jako ztracené bednění.

V některých zemích (zejména ve Skandinávii) se z architektonických důvodů dosud používá sláma i jako krytina šikmých střech v podobě slaměných došků. Slaměné došky jsou však vysoce hořlavé a smí být kladeny pouze na nehořlavý podklad z betonových nebo pálených tašek.

Nevýhodou došků je relativně malá životnost (20 až 25 let) a nesnadná dostupnost. Dnes pěstované odrůdy žita mají jen kratičké stéblo a potřebná dlouhá žitná sláma se musí s předstihem zajistit dostatečnou plochou osetou starými odrůdami žita

U nás se někde vrchní došky, určené pro použití na hřebeni, namáčely („kalily“) do řídké jílové kaše, říkalo se jim pak „kalenice“.

Výhodou slámy jako stavebního materiálu je především nízká cena, snadná dostupnost, naprostá ekologická nezávadnost a snadná recyklovatelnost.

### 4.11.7.4 Rákos

Použití rákosu je omezeno především na oblasti, kde roste. V České republice se používá výjimečně. Nejčastěji je rákos používán ve formě došků jako krytina na šikmé střechy. Nevýhodou této krytiny je především její hořlavost a také značná pracnost výstavby. Stavebník musí také počítat s tím, že nejexponovanější části, kterými jsou hřebeny, bude nutno po 8 až 10 letech opravit nebo provést znovu.

Rákos lze také použít jako tepelnou izolaci v podobě rákosových tepelně izolačních desek. V současné době se vyrábějí desky o tloušťce 20 až 50 mm, s objemovou hmotností kolem 190 kg.m$^{-3}$, jejichž součinitel tepelné vodivosti činí 0,042 – 0,048 W.m$^{-1}$.K$^{-1}$. Desky jsou vhodné pro izolace stropů, zdí a jako součást fasádního zateplení.

Podbití stropu rákosovou rohoží se dříve hodně používalo k vytvoření podkladu pro zachycení stropní omítky.

### 4.11.7.5 Ostatní rostlinné materiály

Nejčastěji jsou užívány rostlinné materiály v podobě vláken, z nichž lze ve stavebnictví používat bavlnu, sisal, kokosová vlákna, lněné a konopné pazdeří a konopná vlákna. Pazdeří je dřevitá dužina obsažená ve stoncích rostlin, ze kterých se získávají lýková textilní vlákna.

Desky z pazdeří definuje norma ČSN EN 15197 jako třískové desky, vyrobené za zvýšeného tlaku a teploty z pazdeřových částí s přídavkem lepidla.. Desky obsahují min. 70 % pazdeří a mohou obsahovat i dřevěné částice, například štěpky, třísky či dřevěný prach. Norma rozděluje pazdeřové desky na desky pro všeobecné použití v suchém prostředí, zejm. pro výplně (označení FB1), nenosné desky v suchém prostředí , zejména pro další úpravy (FB2), nábytkové desky (FB3) a nenosné desky pro vlhké prostředí (FB4).

Z technického konopí se průmyslově vyrábí tepelné izolace v podobě rohoží, stabilizovaných desek, tvrzených desek pro akustické izolace podlah a volných vláken k ucpávání dutin.

Výrobky mají objemovou hmotnost 24 – 42 kg.m$^{-3}$, součinitel tepelné vodivosti kolem 0,040 W.m$^{-1}$.K$^{-1}$, faktor difúzního odporu 1–2, činitel zvukové pohltivosti $\alpha_w$ = 1,00 při tloušťce 160 mm. Podle reakce na oheň je konopná izolace klasifikována do třídy E, což znamená hořlavou hmotu v kontaktu s plamenem, proto je nutno konopnou izolaci uzavřít požárně odolným obkladem, u nosných prvků dřevostaveb je nutno použít certifikovanou skladbu s odpovídající požární odolností. Výrobky jsou rozměrově stálé, jsou odolné proti plísním a velmi málo nasákavé.

Dalším velmi často používaným materiálem je bambus.Velkou předností bambusu je jeho vysoká pevnost a tvrdost povrchu a zároveň pružnost. Jeho zásoby jsou přitom téměř nevyčerpatelné, neboť za den dokáže narůst až o 1,5 m. Pěstuje se na všech kontinentech, nejlépe se mu však daří v jihovýchodní Asii a jižní Číně. Ve stavebnictví se používá zejména v Asii, a to jako nosný prvek, výztuž do betonu, na lešení apod.

Do České republiky jsou dováženy bambusové podlahové prvky. Bambusové parkety se vyrábějí z vyschlých proužků bambusu a mohou být masivní nebo slepované vertikálně či horizontálně . . Díky své mimořádné tvrdosti mají bambusové podlahy dlouhou životnost; k jejich přednostem patří rovněž odolnost vůči změnám vlhkosti a tepla, snadná údržba lakovaného povrchu a zdravotní nezávadnost. Další variantou použití bambusu jsou překližované bambusové desky, které jsou vyráběny v tloušťkách 15 – 45 mm.

Kokosová vlákna se získávají ze skořápek kokosových ořechů a jsou velmi tvrdá a pevná. Vyznačují se nízkou tepelnou vodivostí, odolností vůči vodě a bakteriím. Používají se v podobě svinovací plsti nebo tuhých desek. Ojediněle se nabízejí kokosová vlákna jako volná vlna, vhodná k ucpávkovým izolacím a k vyplňování dutých prostor. Plsti a desky se vyrábějí vzájemným proplétáním a stlačováním dlouhých kokosových vláken bez přidávání pojiv. Desky z kokosových vláken jsou velmi účinné jako akustické izolace.

Jak plsti, tak desky z kokosových vláken se používají především jako velmi účinné akustické izolace, mohou však být použity i jako izolace tepelné. Používají se i jako geotextilie.

Dodatečnou impregnací vláken roztokem vodního skla a speciálními technikami vznikají značně tuhé desky, vhodné k izolaci kročejového hluku v plovoucích podlahách nebo k akustické izolaci stěn.

Objemová hmotnost rolí z kokosové plsti se pohybuje kolem 80 $kg.m^{-3}$, tuhých desek kolem 100 až 120 $kg.m^{-3}$, hořlavost těchto výrobků je udávána třídou B2 (nesnadno hořlavé), pokud jsou impregnována protipožárním prostředkem. Neupravená kokosová vlákna jsou snadno hořlavá, a nesmí se proto v nadzemních stavbách používat.

#### 4.11.7.5.1 Dříve používané celulosové desky

Desky Likus měly obvodový dřevěný rámeček vyztužený příčkami. Vnitřní část byla ze špalíčků z nařezaných kukuřičných oklásků. Povrchovou úpravu tvořila překližka nebo tvrdá dřevovláknitá deska.

Desky se zhotovovaly v rozměrech 1000/2000 mm až 3000 mm. Jejich tloušťka byla v rozmezí 45 - 55 mm.

Při objemové hmotnosti okolo 350 $kg.m^{-3}$ vykazovaly součinitel tepelné vodivosti 0,09 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Používaly se na obvodové stěny a stropy provizorních stavebních objektů (“likusáků”).

Kůrovinové desky se vyráběly z rozvlákněné kůry jehličnatých stromů, s přísadou pilin, pazdeří, textilních vláken a jiných podobných materiálů. Formovaly se bez pojiva a vytvrzovaly se sušením.

Vyráběly se v rozměrech 1200/600 mm v tloušťkách do 40 mm, s objemovou hmotností 320 - 360 $kg.m^{-3}$.

Kůrovinové desky měly nasákavost až 70 % a součinitel tepelné vodivosti 0,05 - 0,09 $W.m^{-1}.K^{-1}$ . Používaly se k izolování stropů, jako vnitřní izolační vrstvy podlahových a příčkových panelů.

Desky Empa byly slisované z lněného a konopného pazdeří, bavlněného a textilního odpadu a asfaltové emulze s cihlářskou hlínou jako pojivem. Vyráběly se ve velikosti

500/1000/30 mm, s objemovou hmotností 195 - 220 $kg.m^{-3}$.

Součinitel tepelné vodivosti se pohyboval v rozmezí 0,05 - 0,08 $W.m^{-1}.K^{-1}$ .

Desky Empa velmi dobře přijímaly vlhkost a dosahovaly nasákavosti až 380 % z hmotnosti. Sloužily především jako tepelné a zvukové izolace stěn, příček a podlah.

Z celulosových hmot se dodnes vyrábějí také lisované desky a prošívané rohože. Svého času byly nejznámější rohože Solomit z tvrdé hořčičné slámy slisované za vysokého tlaku a prošité pozinkovaným drátem. Jejich součinitel tepelné vodivosti byl 0,08 - 0,15 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Byly označovány jako nehořlavé a hodily se pro zvukové izolace.

## 4.12 Ostatní výrobky

V této kapitole jsou uvedeny především chemické speciality, u kterých není běžně zdůrazňováno bližší složení a mnohdy je věcí know – how příslušného výrobce. Proto sem byly zařazeny nátěrové hmoty, stříkané izolace, bezesparé podlahoviny, lepidla, speciální malty a chemické přípravky.

Dále jsou zde umístěny výrobky, jejichž složení je atypické a neumožňuje korektní začlenění do některé z předcházejících kapitol. Tak se do této kapitoly dostaly izolace z ovčí vlny, sírové kompozity, akustické pískové desky a bentonitové výrobky.

Protože se jedná o kapitolu uzavírající přehled výrobků, plní tato kapitola také určitou sběrnou funkci. Proto se v ní pojednává o geosyntetických výrobcích, jejichž zařazení pod jednotlivé druhy termoplastů se nejevilo jako účelné. Z podobného důvodu jsou zde také injektážní hmoty.

### 4.12.1 Nátěrové hmoty

Nátěrové hmoty (NH) jsou souhrnným názvem pro výrobky, které se dají nanášet (v tekutém, těstovitém nebo práškovitém stavu) na vhodný podklad. Na tomto podkladu při správné aplikaci vytvářejí souvislou relativně tenkou trvanlivou vrstvu (nátěrový film).

I když funkce nátěru může být v některých případech pouze estetická, většinou je použitím nátěru sledována i funkce ochrany natíraného povrchu. Ochranná funkce nátěru je často dominantní (antikorozní nátěry železných kovů).

Formulace nátěrové hmoty musí být přizpůsobena podkladu, na který je nanášena. Podle podkladu, pro který jsou určeny také nátěrové hmoty, rozlišujeme (NH na kovy, NH na dřevo, NH na beton atp.).

Protože se na stavbě vyskytují prakticky všechny běžné materiály, používají se ve stavebnictví nátěrové hmoty všech typů.

Zvláštní skupinu ochranných materiálů, typickou právě pro stavebnictví, představují fasádní nátěrové hmoty, na které jsou kladeny specifické požadavky.

Je známo, že fasádní nátěr může dlouhodobě plnit svoji funkci jen tehdy, pokud množství vody, které nátěrem projde za jednotku času do okolí ve formě páry, bude stejné nebo větší než množství vody, které za stejnou dobu může nátěrem vsáknout.

Časovou závislost nasákavosti $W$ ($kg.m^{-2}$) lze přibližně popsat vztahem:

$W = w.\ t^{0,5}$,

kde $t$ je čas v hodinách (h) a w je koeficient nasákavosti ($kg.m^{-2}.h^{0,5}$).

O snadnosti úniku vodní páry rozhoduje především difúzní odpor nátěrové vrstvy $S_d$ (m).

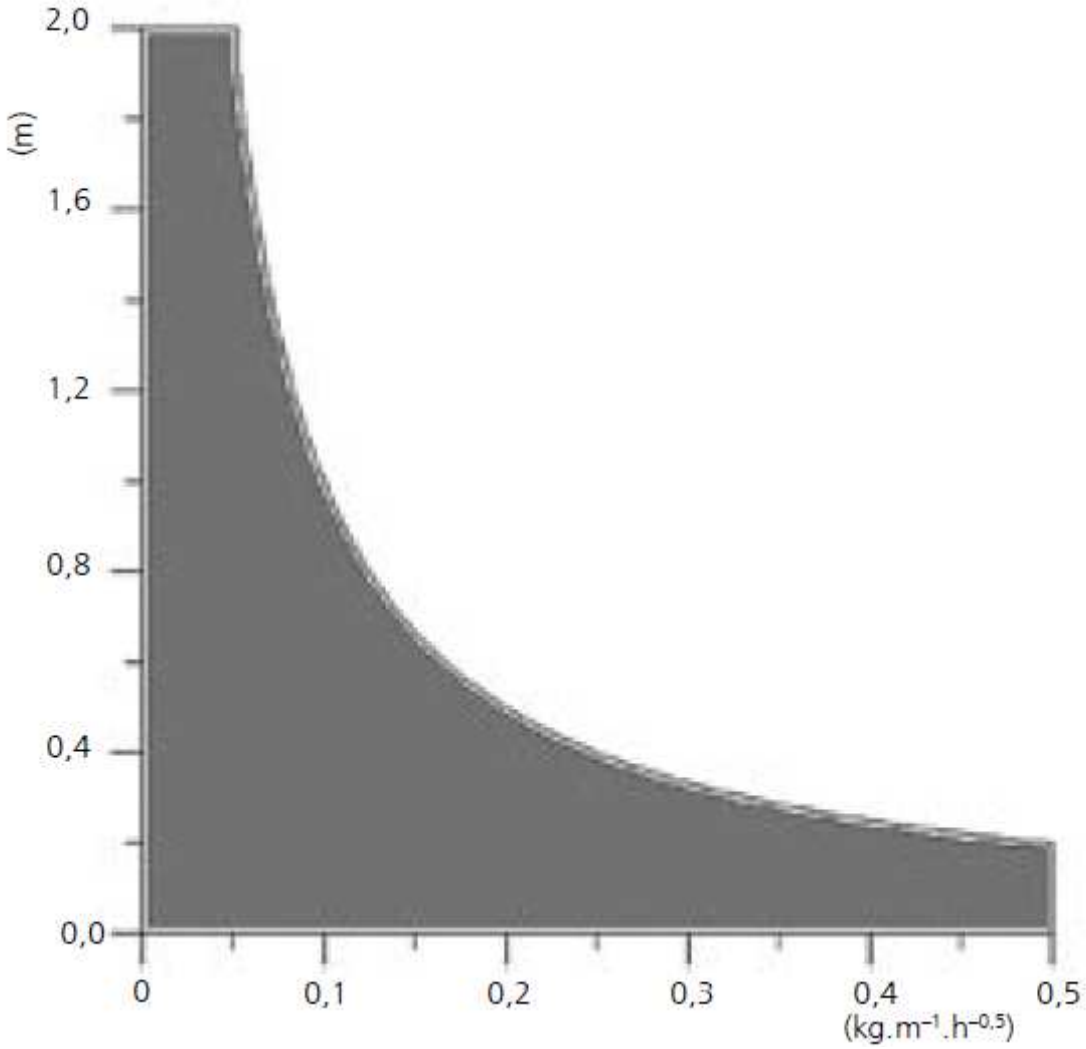
Požadavky na vzájemný vztah těchto veličin v úspěšném fasádním nátěru lze vyjádřit maximální hodnotou součinu $S_d$ a $w$ (Künzelův vztah):

$S_d \cdot w < 0{,}1$ kg. $m^{-1} \cdot h^{0,5}$.

Zároveň musí platit okrajové podmínky:

$S_d < 2$ m a $w < 0{,}5$ kg. $m^{-2} \cdot h^{0,5}$.

Grafickou reprezentaci oblasti obsahující body, které splňují výše uvedené požadavky, nazýváme Künzelův diagram (*obr. 4.170*).




*Obr. 4.170* Künzelův diagram

### 4.12.1.1 Formulace nátěrových hmot

Základem každé nátěrové hmoty je filmotvorná látka (pojivo), která tvoří podstatnou část této hmoty. Pojivo po aplikaci nátěrové hmoty vytváří vlastní ochranný film určující základní vlastnosti nátěru a nátěrové hmoty se proto rozdělují skupin především právě podle použitého pojiva.

Pojiva se v nátěrové hmotě vyskytují nejčastěji ve formě roztoků nebo disperzí, i když existují i nátěrové hmoty s tavnými pojivy práškovými.

Základní nátěrové hmoty jsou typicky tvořeny pojivem, ředidlem a pigmentem. Pojivová část nátěrové hmoty zpravidla obsahuje ještě další pomocné látky (rozlivové prostředky, odpěňovače, sušidla), pigmentová část typicky sestává z více barevných pigmentů doplněných málo barevným plnivem. Jako ředidlo často slouží směs několika látek (rozpouštědel), připravená s ohledem na optimální parametr rozpustnosti.

Laky neobsahují žádné pigmenty ani plniva. Jsou tvořeny samotnými roztoky nebo disperzemi pojiv obvykle s přísadou pomocných látek, zejména změkčujících aditiv a sušidel urychlujících zasychání.

Emaily mají nízký obsah pigmentů a plniv. Jsou určeny jako vrchní nátěrové hmoty vykazující slitý, hladký povrch a vysoký lesk.

S pomocí pigmentů se řeší barva NH a jejich celkové estetické působení. Na použitém pigmentovém systému jsou však do značné míry závislé ochranné vlastnosti nátěrových hmot.

Zvláště důležitá je role pigmentu u NH aplikovaných bezprostředně na kovový podklad. Jsou to právě pigmenty, které se účastní elektrodových reakcí zpomalujících korozi nebo které svým bariérovým efektem zabraňují přístupu agresivního media k podkladu.

Skutečnost jaké rozpouštědlo či rozpouštědla nátěrová hmota obsahuje, je podstatná spíše pro zpracovatelské vlastnosti nátěrové hmoty, ovlivňuje však i některé vlastnosti uživatelské (penetrační účinek, porozitu vznikajícího filmu, lesk nátěru).

Pro vlastnosti NH je klíčovou vlastností objemová koncentrace pigmentu (OKP) v nátěrové hmotě. Je prokázáno, že optimální je formulovat nátěr s určitou hodnotou OKP. Vhodná OKP se pro daný typ nátěru určuje jako podíl z tzv. kritické objemová koncentrace pigmentu (KOKP), která může být zjištěna experimentálně nebo výpočtem.

#### 4.12.1.2 Druhy nátěrových hmot

Klíčovou vlastností nátěrové hmoty je její barva a podle ČSN 37 6037 se nátěrové hmoty přesného odstínu označují čtyřmístným číslem. Podle základního rozdělení jednotlivých barevných tónů jsou čísly v příslušném rozsahu označovány hmoty:

0000 – bezbarvé,

1000 – 1999 nepestré (bílé, šedé černé),

2000 – 2999 hnědé,

3000 – 3999 fialové,

4000 – 4999 modré,

5000 – 5999 zelené,

6000 – 6999 žluté,

7000 – 7999 oranžové,

8000 – 8999 červené,

9000 – 9999 ostatní.

Podle ČSN 67 3067 se přibližný (nenormalizovaný) odstín označuje čtyřmístným číslem začínajícím nulou. Druhá číslice vyjadřuje základní barevný tón a další číslice upřesňují podobnost s normalizovaným odstínem. Nenormalizovaný odstín 0814 je tedy podobný červenému normalizovanému odstínu 8140.

Odstíny transparentně obarvených laků mají jako dvě první číslice nuly. Třetí číslice udává základní barevný tón a čtvrtá číslice intenzitu zabarvení (např. 0045 je odstín transparentně modrý, silnější intenzity zabarvení než odstín 0040).

Zejména u výrobků německého původu se můžeme setkat s poněkud jinou barevnou stupnicí (RAL).

V době výrobního monopolu státního podniku Barvy a laky (BaL) se nátěrové hmoty dělily do skupin označovaných jednopísmenným kódem, za nímž následovalo typové čtyřčíslí. S ohledem na zvyky zákazníků se s tímto způsobem značení setkáváme i u současných českých výrobců. Prvá číslice typového čtyřčíslí upřesňuje podobu nebo účel výrobku:

1xxx – fermež, bezbarvý lak, lepidlo,

2xxx – pigmentovaná nátěrová hmota (barva, email),

3xxx – pasta,

4xxx – nástřiková nebo vyrovnávací hmota,

5xxx – tmel,

6xxx – ředidlo,

7xxx – tužidlo, katalyzátor, sušidlo,lepidlo,

8xxx – podlahovina, pomocná látka,

9xxx – pryskyřice, pojivo.

Písmena na začátku kódu BaL rozdělují nátěrové hmoty (opět poněkud nesystematicky) buď podle pojiva či ředidla, nebo podle použití:

A – asfaltové,

B – polyesterové,

C – nitrocelulózové,

E – práškové,

H – chlórkaučukové,

K – silikonové,

L – lihové,

N – navalovací,

O – olejové,

S – syntetické,

U – polyuretanové,

V – vodou ředitelné,

P – pomocné přípravky.

Práškové nátěrové hmoty (NH) určené pro elektrostatické nanášení (E) jsou většinou epoxidové nebo polyesterové. Navalovací hmoty (N) pro lakování ocelových pásů (coil coating) bývají akrylátové nebo epoxidové.

Z dnešního pohledu už není úplně uspokojivé dělení ve skupině syntetických nátěrových hmot (S), kam kromě alkydových NH patří i epoxyesterové a epoxidové nátěrové hmoty. Jako příliš hrubá se dnes jeví i skupina vodou ředitelných hmot (V), ve které nejsou rozlišovány polyvinylacetátové a akrylátové výrobky, o dalších typech ani nemluvě.

Ve stavebnictví se kromě toho setkáváme s dalšími vodou ředitelnými NH určenými na úpravu silikátových povrchů, zejména s nátěry silikátovými, vápennými a cementovými.

### Asfaltové NH

S asfaltovými nátěrovými hmotami, s typickou černou barvou, se setkáváme nejčastěji na stavbě, v podobě povrchové úpravy stavebního nářadí a vybavení (nátěr kolečka, prohazovačky). Jde o vrstvy vytvrzené vypalováním (180 – 200 ºC), a proto jsou poměrně odolné.

Rozpouštědlové laky, používané jako penetrace pod asfaltové pásy, jsou popsány v kap. 4.9, stejně jako asfaltové emulze a suspenze používané při údržbě asfaltových střech.

### Polyesterové NH

S ohledem na plynulost výroby a s ohledem na kvalitu vzniklé vrstvy je vytvrzování polyesterového nátěrového filmu teplem, popřípadě též vytvrzování polyesterových laků zářivou energií, velmi oblíbené při výrobě nábytku.

Při povrchové úpravě prováděné přímo na stavbě je však použití tepelného dotvrzování a záření téměř nemyslitelné a s klasickými polyesterovými hmotami používanými v nábytkářství se na stavbě nesetkáme.

Stále častěji se však jako ochranné vrstvy v místech s mimořádně silným chemickým namáháním používají vinylesterové nátěrové hmoty plněné skleněnými vločkami (flakeline system).

Práce s vinylesterovými materiály je poměrně náročná a vyžaduje speciální výbavu, proto ji provádějí specializované firmy.

### Nitrocelulózové NH

Nitrocelulózové nátěrové hmoty se používají hlavně v nábytkářství. Ve stavebnictví se používají zřídka. Rychle zasychají a tento efekt se někdy využívá k izolaci úporně vyrážejících rezatých skvrn při malování interiéru.

### Práškové NH

Práškové hmoty pro elektrostatické nanášení jsou dostatečně zmíněny v kap. 4.8.4.1. Kromě ochrany hliníku se používají i k povrchové úpravě oceli a ocelové výztuže. Některé typy se hodí i pro výztuž do autoklávovaného pórobetonu.

### Chlorkaučukové NH

I přes silnou konkurenci polyuretanových hmot si chlorkaučukové barvy udržují svůj význam elastického a chemicky slušně odolného nátěru. Používají se k nátěrům jímek, vodních nádrží i bazénů a k ochraně betonových ploch vůbec.

### Silikonové NH

V původním značení BaL byly silikonové nátěrové hmoty chápány jako výrobky obsahující jako pojivo silikonovou pryskyřici v organickém rozpouštědle, většinou pigmentované hliníkem a používané především pro nátěry kouřovodů („stříbřenka“). Tyto hmoty se vyrábějí stále, jejich význam je však okrajový.

V současné stavební praxi se silikonovou nátěrovou hmotou většinou rozumí barvy s pojivem tvořeným akrylátovou disperzí s přídavkem bezrozpouštědlové silikonové emulze. Silikonová emulze dodá vyzrálému nátěru vysokou vodoodpudivost a podstatně tím sníží jeho nasákavost vodou.

Množství silikonové emulze bývá vysoké – srovnatelné s obsahem disperze. Jako jediné pojivo se však silikonová emulze nehodí, protože nemá dostatečnou schopnost fixovat pigmenty.

Vysoká vodoodpudivost nátěru s obsahem silikonové emulze v kombinaci s jeho značnou paropropustností má zásadní význam pro jeho ochrannou funkci.

Špičkovou povrchovou úpravu fasády představují silikonové fasádní barvy, které doplňují hydrofobní efekt pojiva ještě jemnou strukturou povrchu posetou mikroskopickými nerovnostmi o rozměrech desítek až stovek nanometrů. Tyto nepatrné povrchové výstupky snižují styčnou plochu mezi nátěrem a dešťovou kapkou o více než 90 %. Voda pak stéká po omítce mnohem lépe, stejně jako stéká po lotosovém květu (podobná úprava keramických obkladů je popsána v *kap. 4.2.4* včetně *obr. 4.48* ).

### Lihové NH

Ve stavebnictví nejsou lihové NH běžné. Vysoká penetrační účinnost lihu a jeho mísitelnost s vodou se občas využívá při formulaci NH, jejichž primárním úkolem je impregnace dřevěných prvků biocidními přípravky.

### Navalovací NH

Ve stavebnictví se setkáváme s technikou nanášení nátěru navalováním (coil coating) až ve formě hotových výrobků. Používají se kupříkladu ocelové střešní plechy, které jsou žárově pozinkované a následně opatřené navalovanou povrchovou úpravou.

### Olejové NH

Nátěrové hmoty na bázi vysychavých olejů a fermeží představovaly ještě ve druhé polovině minulého století hlavní typ nátěrů na dřevo i kov.

I když jsou olejové hmoty laciné, je dnes jejich použití omezeno jen na svépomocné práce a hobby aktivity. Z širší spotřeby je vyřadilo dlouhé zasychání, ztěžující návaznost dalších prací, a také zákaz používání suříku ($PbO.PbO_2$), který právě ve spojení s olejovým pojivem představoval mimořádně kvalitní antikorozní pigment.

Své postavení si udržuje fermež, která se často používá jako napouštědlo dřevěných podkladů (jak pod syntetické, tak pod disperzní NH).

Alkydové NH

Syntetické polyestery označované jako alkydy mají termoplastický charakter a snadno se rozpouštějí v organických rozpouštědlech. Při jejich použití ve formě lakařského pojiva vzniká oxypolymeračním zasycháním částečně duroplastická struktura, což zvyšuje odolnost vzniklého filmu. Hmoty s alkydovými pojivy jsou běžně označovány jako „syntetické NH“ (i když takto mohou být nazývány i hmoty s jinými pojivy). Jsou to rozpouštědlové univerzální hmoty vyráběné jako laky, barvy i jako emaily. Jsou dobře použitelné na kov i na dřevo. V poslední době jsou vytlačovány vodou ředitelnými NH.

Na trhu fasádních nátěrových hmot se s rozpouštědlovými barvami alkydového typu setkáváme jen vzácně. Při jejich vysychání se do ovzduší uvolňuje velké množství rozpouštědel a tento fakt nelze jen tak pominout. Jejich použití dále ztěžuje fakt, že natírané zdi musí být zcela suché. Určitou výhodou je možnost použití těchto hmot i při teplotách pod +5 °C, kdy už nelze používat NH dis perzní. Zajímavá může být pestrá barevná škála, ve které tyto NH bývají dostupné.

Epoxidové NH

Epoxidové NH jsou v původním kódu BaL ukryty mezi syntetickými NH. Typicky jsou formulovány jako dvousložkové materiály. Vytvrzování probíhá vznikem makromolekulární sítě, a epoxidové NH jsou proto dobře chemicky odolné.

Speciální typy pryskyřic mohou být použity k přípravě nátěrů s malým množstvím rozpouštědla. Tak vznikají nátěry s vysokou sušinou (high solids coatings). Jejich výhodou je jednak snížená emise rozpouštědel do ovzduší a pak také skutečnost, že se s nimi snadno vytvářejí silnější nátěrové filmy.

Příprava nátěrů, které by vůbec neobsahovaly těkavé organické látky, je při použití nízkoviskózních typů epoxidových pryskyřic a speciálních reaktivních ředidel sice také možná, bezrozpouštědlové epoxidové nátěry (solventless coatings) se však z cenových důvodů běžně nepoužívají.

Odůvodnitelné uplatnění nacházejí bezrozpouštědlové epoxidové nátěry pouze v náročných aplikacích. Jsou kupříkladu vhodné k provádění povrchové úpravy tepelných výměníků, protože dávají neporézní film. s vločkovým plnivem proto odolávají i v prostředí kondensující vodní páry (kondensační voda obsahuje málo solí a snadno vyvolává vznik osmotických puchýřů, které běžnou nátěrovou úpravu mohou zcela znehodnotit).

Slabinou EP hmot je nízká odolnost vůči UV záření a u laků také skutečnost, že způsobují ztmavnutí natíraného dřeva.

Epoxidové hmoty dobře snášejí alkalické prostředí. Používají se proto při sanaci korozně napadené ocelové výztuže v betonu. Antikorozní epoxidové nátěrové hmoty mohou obsahovat i méně běžné antikorozní pigmenty jako je zinek nebo lamelární železitá slída.

## Polyuretanové NH

Podobně jako epoxidové pryskyřice patří i polyuretany mezi polyadičně vytvrzované reaktoplasty. Snadnost vytvrzování při normální teplotě a vysoká variabilita uživatelských vlastností je srovnatelná s epoxidy. Jsou elastičtější a mnohde nahradily dříve používané chlorkaučuky, u kterých některým zpracovatelům vadil vysoký obsah ředidel.

Polyuretanové hmoty se osvědčují i pro nátěry dřeva, a to i v transparentní lakové podobě zachovávající dřevěnou kresbu. Příslušný lak však musí být k použití na dřevo výslovně deklarován. Dobře formulovaný lak na dřevo totiž musí obsahovat UV absorbéry, aby účinkem slunečního záření nedocházelo k destrukci ligninu v dřevěné hmotě.

## Disperzní NH

Disperzní hmoty označované běžně jako vodou ředitelné NH se uplatňují prakticky všude tam, kde se dříve používaly NH olejové a alkydové. Používají se k nátěrům dřeva, kovů i silikátových materiálů. Jejich základem byly původně PVAc disperze, dnes je běžnější použití disperzí polyakrylátových a polyuretanových.

Disperzní fasádní barvy dnes představují dobrý standard ochrany fasády. Založeny jsou převážně na akrylátovém disperzním pojivu. S ohledem na minimální filmotvornou teplotu (MFT), obvyklou u používaných disperzních pojiv, by se s nimi nemělo pracovat při teplotách nižších než +5 ºC. Soudobé disperzní fasádní barvy vynikají oproti vápenným a silikátovým barvám šíří palety barev.

## Emulzní NH

Na skupinu emulzních fasádních barev můžeme pohlížet jako na přechodový stupeň mezi barvami rozpouštědlovými a disperzními. Jejich pojivem je roztok pryskyřice, který je mechanicky rozptýlen na drobné kapičky ve vodném prostředí, obsahujícím značné množství povrchově aktivních látek.

Ve srovnání s rozpouštědlovými barvami mají emulzní barvy nižší obsah těkavých organických rozpouštědel (VOC) a jsou vodou ředitelné. Stále přísnější předpisy omezující obsah VOC v nátěrových hmotách zřejmě přispějí k jejich dalšímu rozvoji.

## Silikátové NH

Soudobé fasádní barvy na bázi vodního skla (označované jako barvy silikátové) téměř vždy obsahují přísadu polymerní disperze. Za horní hranici obsahu organických látek v silikátové nátěrové hmotě je považováno 5 %, při vyšším obsahu nelze zaručit charakteristickou dobrou paropropustnost silikátových barev.

Vedlejším produktem tvrdnutí alkalických silikátů jsou alkalické uhličitany, které zůstávají v nátěrovém filmu a mohou způsobovat výkvěty. Uhličitan draselný je k tvorbě výkvětů méně náchylný než uhličitan sodný. K formulaci silikátových barev se proto většinou používá draselné vodní sklo.

Silikátové barvy se musí nanášet na vyzrálou omítku, která už neobsahuje volný hydroxid vápenatý . Účinkem hydroxidu vápenatého by totiž vznikal křemičitan vápenatý (wolastonit) v práškovité nepojivé formě, a to na úkor pojivového gelu oxidu křemičitého. Ze stejného důvodu není možná aplikace silikátových barev na sádrovou omítku.

Silikátové barvy jsou v současnosti na trhu dostupné buď ve formě dvousložkového systému (vodní sklo a prášková složka), nebo jako jednosložkové barvy pro přímé použití. Pokud jsou správně aplikovány, jsou oba systémy z hlediska kvality výsledného nátěru prakticky rovnocenné a mají dlouhou životnost.

Formulace závěrečné nátěrové úpravy zdiva na silikátové bázi však vůbec není jednoduchá. Zdánlivě vyhovující úprava minerálním nátěrem s faktorem difúzního odporu stanoveným v laboratoři hodnotou $\mu = 35$ může po čase vykázat nárůst na $\mu = 150$. K nežádoucímu utěsňování nátěru zřejmě dochází sekundárními pomalými reakcemi hydraulicky aktivních složek.

Roztoků alkalických křemičitanů (vodního skla) je možno využít jako pojiva v antikorozních nátěrových hmotách na železo pigmentovaných práškovým zinkem. V těchto systémech je využíváno schopnosti zinku vytvořit při styku s ocelovým povrchem katodickou ochranu. Pokud je dosaženo vodivého kontaktu mezi jednotlivými částicemi zinku a ocelovým povrchem, vytváří se elektrický článek Zn-Fe, v němž je ocel katodou (viz kap. 3.9.3.2).

Pokud článek funguje, dochází ke zvýšení hodnoty pH vody, která difunduje nátěrovým filmem a působí jak na částice zinku, tak rovněž na ocelový podklad. V důsledku elektrochemické reakce se vytváří reakční zplodiny, které utěsňují póry ve filmu. Původně elektrochemická ochrana postupně přechází v ochranu bariérovou.

Vápenné NH

Vápenné nátěry mohou být prováděny v základní podobě nátěrem pouhého vápenného mléka. Vápenné mléko se připravuje ředěním vápenné kaše na suspenzi o sušině asi 15 %. Mléko málo kryje a běžně se musí použít 5 – 6 nátěrů.

K přípravě vápenného mléka pro bílení se dříve používalo to nejlepší a nejčistší měkce pálené vzdušné vápno. Hasilo se přebytkem vody a nechávalo se po dlouhou dobu (až několik let) odležet. Ke zvýšení povětrnostní odolnosti se do vápna přidával tvaroh (kasein) nebo lněný olej.

Lněný olej nebo Iněná fermež se do vápenného nátěru přidával již při hašení v množství asi 2 % objemu. Vzniklé vápenaté mýdlo zlepšovalo odolnost nátěru vůči vodě tím, že jej hydrofobizovalo.

Několikanásobné vápenné nátěry se označovaly jako *vápenná líčka*.

Lepivý kaseinát vápenatý vzniklý z tvarohu fixoval pevné částice zaschlého nátěru a snižoval otěr. Podobnou funkci má v průmyslových nátěrových hmotách malý přídavek polymerní disperze (cca 2 %).

Disperzi dnes používají i mnozí obyvatelé venkova při bílení chalup. Obvykle se používá přídavek cca 5 % styren-akrylátové disperze. Je to sporná technika, protože může snadno vést k vytvoření málo prodyšné vrstvy zhoršující vlhkostní bilanci zdiva.

Rozmíchání běžného suchého vápenného hydrátu s vodou neposkytuje při přípravě vápenného mléka pro nátěrové účely dobré výsledky. Připravenou kaši je nutno před použitím ponechat minimálně několik týdnů odležet.

Některé průmyslově vyráběné vápenné nátěrové hmoty obsahují ještě bílé pigmenty zvyšující kryvost a mají i vyšší sušinu. Pak dostatečně kryjí už při dvou nátěrech.

Nejmodernější vápenné nátěry se již opět vyrábějí bez disperze a přídavných pigmentů. Vychází se přitom z vápenného hydrátu, který je pro použití v NH speciálně upraven mikrodispergací a je stabilizován proti zpětné agregaci. Výsledné vápenné hmoty jsou máslovité a dobře se nanášejí v silnějších vrstvách. Snadno se z nich vytvářejí měkce tónované poloprůhledné lazury.

Na závěr je třeba připomenout, že vápenné nátěry se nanášejí na zvlhčené podklady a v teplém počasí se několik dní ještě vlhčí. Bez následného vlhčení, které usnadní karbonataci, nedojde k dokonalému vytvrzení a nátěry sprašují.

### Klihové NH

Klihové nátěrové hmoty (hlinky) jsou vlastně průmyslově vyráběným typem malířských barev určených k úpravě zdí interiérů. Dodávají se hlavně ve formě prášku, který se před použitím smíchá s vodou.

Pojivovým systémem byl původně vodorozpustný klih, který byl později nahrazován škrobem a kaseinem a posléze se přikročilo k používání vodorozpustných derivátů celulózy.

Vžitý název klihové barvy se pro tento typ nátěrových hmot používá i nadále, i když dnešní klihové NH obsahují jako pojivo především karboxymetylcelulózu nebo hydroxyetylcelulózu. V menší míře se uplatňuje i metylcelulóza (tylóza).

Tradičním plnivem a zároveň pigmentem malířských hmot je kaolin. Velmi bílé nátěry obsahují přísadu titanové běloby ($TiO_2$).

Setkat se můžeme i s malířskými hmotami dodávanými ve formě suspenze. Výhodou je, že mohou být použity okamžitě (bez čekání na dokonalé rozpuštění celulózového pojiva). Nevýhodou je vyšší cena.

Výhodou tekuté formy je možnost snadného doplnění výrobní receptury o přísadu akrylátové disperze. To dovoluje rozšířit paletu vyráběných hmot o výrobky s vyšší vodostálostí a otěruvzdorností.

Zpracovatelský komfort je v případě malířských hmot zřejmě rozhodující. S tekutými formami malířských hmot se setkáváme stále častěji i přes to, že ve srovnání s práškovými malířskými hmotami jsou jen omezeně skladovatelné a při skladování se musí stabilizovat protiplísňovým přídavkem.

V tekuté formě se na trhu objevily také interiérové nátěry obsahující v plnivu duté skleněné nebo keramické mikrokuličky. Díky snížené teplotní vodivosti zaschlého nátěrové filmu se plochy natřené takovýmito hmotami mohou jevit při přímém dotyku jako teplejší (jsou teplejší „na omak“). Tato vlastnost je však prakticky nevýznamná a z hlediska nákladů na vytápění obytných místností nepřináší úsporu.

### Cementové NH

Cementové barvy jako estetická povrchová úprava nejsou příliš rozšířenou skupinou nátěrových hmot. Na trhu se vyskytují spíše jako speciality plnící izolační funkci. Používají se převážně na betonové podklady.

Pojivem cementových fasádních barev je bílý cement a jako vedlejší modifikační pojivo se používají redispergovatelné polymerní prášky. Cementové fasádní barvy se dodávají jako suché směsi, z nichž se nátěrová hmota připravuje rozmícháním s vodou (obvykle v poměru 1:1).

Cementové fasádní barvy jsou citlivé na předčasné vyschnutí, ke kterému může dojít za teplého a suchého počasí. Nátěr, který po aplikaci rychle vyschne, nestačí zhydratovat. Má pak nedostatečnou pevnost a sprašuje.

Vodotěsnicí hmoty na cementové bázi byly objeveny již začátkem století, jejich větší rozšíření nastalo však až v nedávných letech. Jde obvykle o směsi obyčejných či speciálních cementů s různými polymerními přísadami a minerálními příměsemi.

Ke snížení velikosti mezizrnných prostorů se využívá zvýšené jemnosti cementového slínku, který se pro výrobu těchto hmot zvláště domílá.

Jako přísada se do cementových NH často využívá mikronizovaný amorfní křemen (silica fume). Reakcí amorfního křemene s hydroxidem vápenatým vzniklým hydratací křemičitanů vápenatých dochází ke vzniku dalších silikátů zvyšujících těsnost celé struktury.

Takto vytvořené NH slouží jako izolační hmoty určené na povrchové úpravy plošně prosakujících betonových konstrukcí. Mohou být použity jak ke zvýšení vodotěsnosti nových konstrukcí, tak i k opravám starých. Kromě hydroizolační funkce zlepšují též kvalitu povrchu a přispívají k zvýšení odolnosti proti některým agresivním látkám.

Vodotěsnicí hmoty se nanášejí nátěrem polotvrdým kartáčem nebo jako tenká vrstva stěrkou v tloušťkách od 1 do 4 mm v jedné či dvou vrstvách.

Jejich zásadní předností je možnost aplikace na vlhké podklady a jednoduchý způsob nanášení bez složitých mechanizačních prostředků. Nejsou vhodné k utěsňování trhlin v betonových konstrukcích, v nichž dochází k posunům nebo jimiž proudí voda, ani k opravám konstrukcí trvale vodou zaplavených.

K uplatnění krystalizačního utěsnění je nutný savý podklad s kapilárami, jimiž účinné složky pronikají do hloubky. V pórech pak za přítomnosti vlhkosti probíhá krystalizace, a tak se póry vyplňují a zvyšuje se vodotěsnost.

Silikátové těsnicí hmoty se aplikují při teplotách +5 až +25 $^{o}$C. Do zatuhnutí musí být chráněny před rozplavením vodou. Jejich těsnicí účinek se lépe využije při pozitivním tlaku vody než při negativním, kdy je vrstva namáhána na odtržení. Nejsou vhodné v případech střídavého vysušování a vlhčení konstrukce ani v případech, kdy lze očekávat větší deformace a vznik trhlin.

Svůj význam si zachovávají i hydroizolační polymercementové směsi bez výraznějšího krystalizačního efektu, které obsahují jako součást záměsové vody přísadu akrylátové disperze. Tyto kompozity jsou kromě vodotěsnicího účinku schopné plnit i funkci protikarbonatační ochrany.

Hydroizolační výrobky modifikované polyvinylacetátem (PVAc) se už prakticky nepoužívají. Malty modifikované PVAc se totiž při trvalé vodní expozici rozpadají i za méně než pět let.

#### 4.12.1.3 Skladování nátěrových hmot

Kvalitu nátěrové hmoty, a tím i kvalitu finálního nátěru podstatnou mírou ovlivňuje skladování nátěrových hmot.

U olejových nebo syntetických emailů dochází při skladování k tvorbě škraloupů. Při neodborném odstranění škraloupu nebo dokonce při pokusu o jeho zpětné vmíchání do nátěrové hmoty se email znečistí drobnými útržky škraloupu a v nanášené vrstvě tak vznikají slabá místa – zárodky příštího selhání.

Prakticky všechny pigmentované hmoty při skladování vytvářejí na dně obalu větší či menší vrstvu usazeného pigmentu. Zpětné rozmíchání pigmentu je někdy obtížné a neprovede-li se pečlivě, ztrácí email především přesný barevný odstín a kryvost. U antikorozních barev obsahujících antikorozní pigment je navíc ohrožena přímo základní antikorozní funkce nátěru.

Rychlost sedimentace závisí na viskozitě nátěrové hmoty. Proto se NH ředí až těsně před použitím v pomocné nádobce, a ne v celém obalu.

Skutečnost, že zmrznutí vodou ředitelných NH může mít za následek úplné zhroucení pojivového systému, je všeobecně známá. Ale i pouhé podnormální plusové teploty skladovacího prostoru rovněž narušují kvalitu NH.

Ochlazením dochází k vylučování některých rozpuštěných složek. V lacích vzniká zákal nebo i gelovité usazeniny. Rovnováha může být porušena natolik, že se vyloučené podíly nevrátí do roztoku ani po zahřátí. U pigmentovaných NH nejsou uvedené změny většinou vizuálně postižitelné a projevují se závadami až po dokončení nátěru.

### 4.12.2 Lepicí a vyplňující prostředky

Lepicí prostředky tvoří především rozsáhlá a chemicky velmi různorodá skupina lepidel. K podrobnějšímu roztřídění lepidel se používá dělení podle účelu, fyzikálního stavu, způsobu zpracování, způsobu dosažení pevnosti spoje, chemického složení a obsahu rozpouštědel. K lepicím prostředkům počítáme i lepicí pásky, které jsou v soudobém stavebnictví běžně používaným spojovacím prostředkem lepivého charakteru.

Tmely jsou tekuté, pastovité až těstovitě tvárné výrobky, schopné vyplňovat nerovnosti, spáry, trhliny a případně i spojovat různé povrchy.

Součástí tmelu bývají dvě funkčně rovnocenné složky – pojivo a plnivo. Úkolem plniva je především zahuštění pojiva a úprava jeho reologických vlastností, podílí se však významnou měrou i na dalších vlastnostech tmelu.

Lepicí tmely se vyznačují především dobrou adhezí ke spojovaným materiálům a jsou schopné vytvářet i poměrně silnou spojovací vrstvu. Používají se v podstatě ve funkci lepidla nebo lepicí malty.

Výplňové a těsnicí tmely mohou mít menší adhezní schopnost, musí však být schopné vytvořit výplň v těsněném prostoru nebo doplnit tmelený materiál a vzniklá úprava musí mít požadovanou odolnost a životnost.

Pokud je hlavní pojivo v tmelu anorganického charakteru a organické či makromolekulární látky jsou v pojivu přítomné pouze jako přísady, může být tmel, v souladu se zněním ČSN 72 2430-5, chápán jako speciální malta.

### 4.12.2.1 Lepidla

Přírodní rostlinná lepidla (škroby, pektiny, algináty, přírodní pryskyřice) nemají ve stavebnictví větší použití. Význam přírodních živočišných lepidel (klihy glutinové, kostní) také poklesl, v některých stavebních hmotách se však stále ještě můžeme setkat s kaseinem připravovaným z mléčné bílkoviny.

Syntetická termoreaktivní fenolformaldehydová, anilinformaldehydová, močovinoformaldehydová a melaminformaldehydová lepidla si zachovávají svůj význam při výrobě dřevěných kompozitních hmot a při lepení dřevěných nosníků.

V běžném stavebním lepení se výrazně prosadila lepidla disperzní, zejména akrylátová a polyvinylacetátová. S ohledem na všeobecný požadavek na snížení emisí organických těkavých rozpouštědel poklesl význam lepidel rozpouštědlových, i když kaučuková (chloroprenová) lepidla se ještě mnohde používají, zejména pro svou schopnost vytvořit okamžitý spoj (kontaktní lepení).

Pro pevné konstrukční spoje se používají hlavně epoxidová lepidla. Polyuretanová lepidla se uplatňují tam, kde je potřeba pružného adheziva.

Zvýšená kvalita lepidel přináší nové techniky lepení, které často snižují spotřebu lepidla bodovým nebo pruhovým lepením namísto lepení plnoplošného.

Kupříkladu při lepení parketových a laminátových podlah se osvědčilo bodové pružné lepení s použitím separační rohože opatřené pravidelným rastrem výřezů pro aplikaci lepidla.

Při lepení obkladových panelů se používá kombinace oboustranné lepicí pásky a paralelně pruhově nanášeného lepidla. Lepicí páska zajišťuje okamžitou přídržnost potřebnou do doby, než svou funkci začne plnit lepidlo.

### 4.12.2.2 Lepicí tmely a malty

Řada soudobých stavebních lepidel má podobu lepicích tmelů nebo lepicích malt často velmi sofistikovaného složení.

Velký rozvoj zaznamenaly lepicí tmely a malty pro zhotovování keramických obkladů a dlažeb. V prvních lepicích tmelech určených pro tento účel byl kasein, později se objevily tmely připravované s použitím akrylátové disperze. V soudobých výrobcích jsou přítomné hlavně redispergovatelné prášky.

Používání obkládacích tmelů vedlo k přechodu na techniku tenkovrstvého lepení obkladů pomocí zubového hladítka (floating). Tento způsob dnes v případě běžných obkladů převládá, i když je mu vyčítáno, že pod obkladovým prvkem vytváří izolačně nežádoucí systém kanálků.

Pro trvale smáčené stěny (např. u bazénových obkladů) se proto obvykle používá způsob kombinující natírání zadní strany obkladového prvku s tenkovrstvým lepením (buttering-floating), což zaručuje bezdutinové položení.

Některé tmely umožňují bezdutinové uložení i při jednoduchém floating kladení. Podmínkou je vhodná volba výšky zubů hladítka, která pro běžné prvky činí 8 –10 mm a pro velkorozměrové desky 15 – 20 mm.

Plnoplošné lepení zůstává zachováno v případě protichemických izolací kladených většinou do pryskyřičných tmelů. V tomto případě je spojitost a dostatečná tloušťka tmelové vrstvy hlavní podmínkou správné funkce.

Základní normou pro lepení keramiky je ČSN EN 12004, která předepisuje terminologii vztahující se k výrobkům, pracovním metodám a aplikačním vlastnostem malt a lepidel pro keramické obkladové prvky. Uvádí technické požadavky na cementové, disperzní a reaktoplastické malty a lepidla.

Celá řada norem se věnuje zkoušení materiálů používaných při kladení a spárování keramiky, protože tyto hmoty musí plnit specifické požadavky. Kromě přídržnosti (ČSN EN 1324, ČSN EN 1348, ČSN EN 12003) se sleduje příčná deformace (ČSN EN 12002) a zpracovatelské vlastnosti (ČSN EN 1308, ČSN EN 1346, ČSN EN 1347).

Samostatná norma ČSN EN 13888 definuje a specifikuje spárovací malty a lepidla pro keramické obkladové prvky. Hlavní zkoušky pro tyto hmoty jsou obsaženy v ČSN EN 12808 1- 5.

### 4.12.2.3 Speciální malty a tmely

Mezi speciální malty počítáme sanační a reprofilační materiály používané při opravách narušených betonových povrchů. Tyto materiály jsou většinou formulovány s použitím polymerů (jako polymercementové kompozity), protože je třeba, aby měly dobrou adhezi k opravovanému povrchu.

Dlouhodobá stálost nově vzniklého spojení v prvé řadě závisí na počáteční kvalitě vzniklého spoje. Právě pro nízkou počáteční adhezi nejsou úspěšné povrchové úpravy a reprofilace z nemodifikovaných malt a betonů, pokud není použita spojovací mezivrstva – adhezní můstek (primer).

Druhou podmínkou určující stálost opravy je existence, či neexistence objemových změn původního a nového materiálu. Dlouhodobě kvalitní spoj poskytují především dvojice materiálů objemově stálých a dvojice materiálů jejichž objemové změny jsou podobné.

Zejména v případě exteriérových aplikací je pro dlouhodobou stálost spojení sanovaného a sanačního materiálu důležitá srovnatelná teplotní roztažnost obou materiálů. Nebezpečná napětí, která u nestejně roztažných materiálů vznikají, mohou být sice v některých případech eliminována poddajností sanační vrstvy, nicméně vždy představují určité riziko.

Důležité problematice speciálních malt pro opravy a ochranu betonových konstrukcí se věnuje řada norem převzatých během posledních dvou let (ČSN EN 13057, ČSN EN 13395, ČSN EN 13412, ČSN EN 13579 ČSN EN 13580, ČSN EN 13581, ČSN EN 13687).

Požadavky na malty injektážní pro předpínací kabely přináší ČSN EN 447. Příslušnou zkušební normou pro tyto malty je ČSN EN 445. Aplikaci injektážních malt pro předpínací kabely se věnuje ČSN EN 446.

I když podle ČSN 72 2430-5 se za malty považují kompozity, jejichž pojivo je převážně anorganického charakteru, zpravidla jsou dnes jako malty označovány veškeré vytvrditelné kompozity, pokud obsahují plnivo milimetrových rozměrů (drobné kamenivo). To se ostatně promítá i do běžně používaného termínu polymermalta (viz kap. 4.10.2.8.1). U výrobků, jejichž plnivo dosahuje desetinomilimetrových rozměrů, se zpravidla dává přednost termínu tmel, i v případě, že jejich pojivo je anorganické.

S ohledem na moučkový nebo prachový charakter použitých plniv se reprofilační a vyrovnávací tmely používají všude tam, kde je požadován hladký povrch vytvrzeného kompozitu. Vhodné jsou především k opravám a úpravě hladkých ploch (např. kovových nebo dřevěných ploch před nátěrem) nebo k zaplňování drobných povrchových dutin (prasklin). K dosažení kvalitní hladké plochy obsahují některé tmely plniva umožňující úpravu povrchu ztvrdlého tmelu broušením.

K esteticky náročným opravám interiérových omítek se používá šlehaný akrylátový tmel, který jako „plnivo“ obsahuje drobné vzduchové bubliny a je snadno vtlačitelný i do vlásečnicových trhlin.

Samostatnou skupinu tmelicích hmot představují tmely pro těsnění spár. Pro jejich bezchybnou funkci je třeba, aby vykazovaly dostatečnou a dlouhodobou pružnost odpovídající dilatačním pohybům příslušné spáry.

Tahová pevnost pružných spárovacích tmelů zpravidla nepřekračuje 2,5 MPa, s ohledem na nízkou hodnotu modulu pružnosti však snášejí výrazné opakované (cyklické) protažení. Praktická tažnost kvalitních pružných tmelů činí desítky procent.

K dokonalému vyplnění spáry tmelem je nejefektivnější přímé vytlačování tmelu do spáry vhodně dimenzovanou hubicí. K usnadnění této práce se spárovací tmely často dodávají v kartuších.

Spárovací kartuše je v podstatě válcová nádoba opatřená na jedné straně pohyblivým pístovým dnem a na druhé straně kuželovitě protaženým plastovým víčkem, jehož seříznutím vzniká výtlačná hubice. Běžný objem kartuše je 300 – 600 $cm^3$.

Kartuše se umísťuje do výtlačného zařízení, nazývaného spárovací pistole, ve kterém se podle potřeby (mechanicky nebo pneumaticky) vyvolá posuv dna kartuše a vytlačování tmelu.

Pro větší práce se používá i balení do hadice z polyetylenové nebo aluminiové fólie. Hadice se po naplnění tmelem v pravidelných odstupech zaškrtí a rozřeže. Je to analogie postupu používaného při balení uzenářských výrobků do umělých střívek. Tmelové „salámy“ mívají objem cca 600 $cm^3$.

Pro dvousložkové tmely se vyrábějí speciální kartuše, ve kterých je možné obě dočasně oddělené složky smísit bezprostředně před použitím. V této úpravě se dodávají zejména polysulfidické tmely používané pro těsnění spár namáhaných ropnými produkty (viz též kap. 4.10).

V odolnosti vůči ropným produktům jsou polysulfidické materiály bez konkurence. Výtečná je i jejich povětrností odolnost. Nevýhodou je nízká adheze k některým materiálům, vyžadující v některých případech použití pomocného kotvícího nátěru (primeru).

V běžné stavební praxi převládají jednosložkové kartuše plněné akrylátovými, silikonovými nebo polyuretanovými tmely. Stále se používá i tmel butylový na bázi butylkaučuku a polyizobutylenu.

Cenově méně náročný butylový tmel lze použít k těsnění spár s pohybem do 7,5 %. Při jeho použití může k dalšímu snížení materiálových nákladů přispět i to, že kromě kartuší a hadic je dostupný i v ekonomičtějším „kbelíkovém“ balení.

Těsnění pomocí butylového tmelu představuje (u nepříliš mechanicky namáhaných míst) nejlevnější řešení z hlediska okamžitých nákladů. Je však třeba mít na paměti, že si butylový tmel zachovává elasticitu nejvýše 2 – 3 roky.

Polymerním pojivem akrylátového tmelu je disperze akrylátového polymeru nebo kopolymeru. K tuhnutí a vytvrzení tmelu dochází odpařováním vody. Akrylátový tmel v řadě případů dobře vyhoví a jeho cena i životnost je přijatelná. Neodolává však chemickým prostředků, a není proto vhodný pro sanitární aplikace.

Polyuretanový tmel patří k nejkvalitnějším těsnicím materiálům. V obvyklém provedení vykazuje velmi dobrou adhezi a mechanickou odolnost. Úspěšná aplikace polyuretanového tmelu však vyžaduje správnou volbu tvrdosti tmelu. Proto se spárovacích polyuretanové tmely vyrábějí v relativně širokém tvrdostním rozmezí 15 – 60 Sh a (tvrdost Shore A). Nejměkčí (a nejpružnější) typ 15 Sh a se používá pro vysoce dilatující mostní spoje, střední typ s tvrdostí cca 25 Sh a je vhodný pro dotěsňování okenních rámů a tmely s tvrdostí nad 40 Sh a se dají použít při opravách lodžií a balkonů i na pochůzných místech.

Zatímco u polyuretanového tmelu je volba konkrétního typu (konkrétní tvrdosti) tmelu velmi důležitá, silikonové tmely jsou (s ohledem na menší závislost modulu pružnosti na teplotě) univerzálnější. K nevýhodám silikonových tmelů patří horší adheze na porézní stavební materiály, obtížná (ne-li nemožná) přetíratelnost.

Při praktických aplikacích je třeba rozlišovat sanitární silikonový tmel určený ke spárování obkladů a neutrální silikonový tmel určený pro tmelení betonových dílců. Speciální druh silikonové tmelu se vyrábí k těsnění nebo dotěsňování klempířských výrobků (střešní silikonový tmel).

Základní barevné provedení silikonových tmelů je téměř transparentní nebo bílé. Protože při sanitárních aplikacích je vyžadováno často specifické barevné řešení, vyrábějí se zejména sanitární tmely v různých barevných odstínech.

Na současné špičce mezi pružnými spárovacími tmely jsou výrobky na bázi hybridních polymerů, které se dnes často označují jako *MS polymery*. Hybridní charakter těchto polymerů je dán současnou přítomností uhlíkaté a organokřemičité struktury. Zatímco uhlíkaté polymerní řetězce (např. polyéterového nebo polyuretanovými typu) tvoří tělo hybridního polymeru, koncové skupiny jsou organokřemičité (např. alkyldialkoxysilylového typu).

Velká variabilita jak v uhlíkové, tak v organokřemičité části dovoluje vytvořit širokou paletu MS polymerů, které mohou být jednosložkové (vytvrzované vzdušnou vlhkostí) nebo dvousložkové (vytvrzované katalyzátorem). Podobně jako PU tmely jsou MS tmely dodávány v široké tvrdostní škále (15 – 70 Sh A).

K výhodám MS polymerů patří vysoká povětrnostní odolnost, vysoká lepivost a mechanická pevnost, výborná přetíratelnost a vynikající tepelná stabilita od –50 ºC do 150 ºC. MS polymery s vyšší tvrdostí (50 – 70 Sh A) se proto používají i jako nová generace konstrukčních lepidel. Pro přípravu těsnicích tmelů jsou určeny především polymery s tvrdostí 15 – 40 Sh A.

Univerzální bezrozpouštědlová lepidla na bázi MS polymerů (vhodná pro savé i nesavé povrchy) jsou nabízena pod označením *flextec*. Výhodou je možnost aplikace na vlhké (nikoliv mokré) plochy. Tato lepidla vytvrzují účinkem vzdušné vlhkosti. V suchém prostředí je zcela suché plochy nutné před aplikací lehce zvlhčit.

V nedávné době se ke všeobecně používaným spárovacím tmelům počítaly ještě tmely olejové, které se dnes (s ohledem na nízkou elasticitu a omezenou životnost) pro spárování vůbec nedoporučují. Jejich dřívější používání při bytové výstavbě k výplni spár mezi obvodovými panely přineslo velké náklady na sanaci olejem kontaminovaných spár po té, co původní olejový tmel selhal.

Jedinou oblastí, kde si olejový tmel stále udržuje dobrou pozici, je tmelení spáry mezi okenní tabulí a dřevěným okenním rámem. V případě klasických (a obnovovaným nátěrem pravidelně udržovaných) špaletových oken slouží olejový sklenářský tmel bez větších problémů. Tam, kde se požaduje kvalitní utěsnění spáry mezi sklem a rámem, se olejový tmel dá použít jen jako tmel podkladní. Vlastní těsnění musí zajišťovat kvalitní trvale pružný tmel (např. silikonový).

K dosud používaným tradičním spárovacím materiálům je třeba připočítat ještě asfaltové tmely (zálivky), které se uplatňují při vyplňování vodorovných spár v silničním stavitelství. Jsou však vhodné jen pro dilatačně málo namáhané spáry (pohyb do 5 % z šířky spáry). Jejich hlavní nevýhodou je ztráta tažnosti za nízkých teplot.

Správné utěsnění dilatující spáry vyžaduje respektování optimální tloušťky tmelové vrstvy (pro elastické tmely se doporučuje zhruba třetina šířky spáry). Samotná šířka spáry musí být dostatečná. Relativní změny její šířky vyvolané dilatačními pohyby spárou oddělených prvků nesmí přesáhnout praktickou tažnost tmelu. Je třeba dbát o dobrou adhezi tmelu k bokům spáry a v některých případech se proto na boky spáry používají pomocné adhezní nátěry.

### 4.12.3 Montážní pěny

Montážní pěny tvoří samostatnou (a velmi specifickou skupinu) výplňových hmot. Dodávají se buď v tlakových kartuších určených pro speciální pistole, nebo v tenkostěnných tlakových obalech opatřených ventilem (sprejové nádobky). Výtokovou trysku bývá možné zároveň prodloužit dodávanou hadičkou.

Kromě standardní montážní pěny je dodávána i pěna rychlotuhnoucí (pro rychlou fixaci stavebních prvků), pěna zimní (použitelná při teplotě pod 5 °C), pěna nízkoexpanzní (určená pro výplně mechanicky málo odolných dutin) a pěna vysokoexpazní (se zvýšenou fixační silou).

K napěnění montážní pěny dochází účinkem vzdušné vlhkosti. Při vypěňování velkých uzavřených dutin se proto doporučuje střídat zapěňování s postřikem prostoru dutiny vodní mlhou.

Při nadouvání montážní pěny dochází k přibližně třicetinásobnému zvětšení objemu a výsledná objemová hmotnost standardní ztuhlé pěny pak činí okolo 30 $kg.m^{-3}$. Při vypěnění ve volném prostoru je zvětšení objemu výraznější.

Montážní pěny jsou založeny prakticky výhradně na polyuretanové bázi a jejich povětrnostní odolnost je nízká. S ohledem na pórovitou struktury jsou nízké i hodnoty dosahovaných mechanických vlastností.

Tahová pevnost standardní pěny se pohybuje okolo 0,3 MPa, tlaková pevnost je jen okolo 0,1 MPa.

Montážní pěny se dnes těší značné oblibě a řadu montážních postupů opravdu velmi usnadňují. V některých případech jsou však nezkušenými nebo méně svědomitými pracovníky používány i jako trvalé těsnicí opatření pro dilatační spáry nebo k vyztužení konstrukce. Takové aplikace jsou problematické.

Montážní pěna je především pomocným materiálem. Nemá (a ani nemůže mít) vlastnosti integrovaných pěn připravovaných ve speciálních zařízeních a s ohledem na pěnovou struktury nemůže rovněž konkurovat těsnicím vlastnostem trvale pružných tmelů.

V poslední době se poněkud překvapivě objevila speciální montážní pěna ve funkci zdicí malty. Používá se při zdění z přesných tvárnic, takže nejde o náhradu klasické malty, ale tenkovrstvého maltového lepidla. Výhodou je možnost práce při nižších teplotách a dobré tepelně izolační vlastnosti.

### 4.12.4 Bezesparé podlahoviny

Bezesparé podlahoviny, prováděné z různých vytvrditelných materiálů přímo na stavbě, představují velmi produktivní technologii, protože ukládání vrstvy podlahové hmoty na vodorovný podklad je relativně rychlé.

Výsledná bezesparost je často klíčovým uživatelským parametrem v potravinářství či zdravotnictví, protože bezesparé podlahy se snadno udržují v čistotě. V chemickém průmyslu mohou bezesparé podlahy plnit funkci chemicky odolné izolace.

Někdejší problémy s nedokonalou adhezí podlahových vrstev na podkladním betonu dnes prakticky nevidíme díky důslednému otryskávání podkladních betonových ploch. K čištění vodorovných podkladních povrchů se dnes téměř výlučně používají tryskací stroje s odstředivými koly.

Srdcem tryskacího systému je lopatkové kolo, které metá kovový tryskací materiál na plochu určenou k čištění. Magnetická a pryžová těsnění zabezpečují minimální ztráty tryskacího materiálu. Ve vzduchovém odlučovači se odděluje nespotřebovaný tryskací materiál od prachu a nečistot a znovu se vrací do oběhu. Prach a nečistoty se odvádějí hadicí do filtračního zařízení. Výkon současných modelů činí podle stupně znečistění plochy 100 – 300 $m^2$ za hodinu.

#### 4.12.4.1 Licí podlahoviny

Licí nebo též samorozlévací podlahové hmoty mohou být určeny jako vyrovnávací vrstvy, které se musí ještě opatřit další vrstvou nášlapnou, nebo to mohou být hmoty určené ke zhotovení finálního povrchu podlahy (licí podlahoviny v užším slova smyslu).

Vyrovnávací vrstvy (označované též jako vrstvy samonivelační) se vyrábějí buď na cementové, nebo na anhydritové bázi.

Ke hrubé vyrovnávce podkladu je vhodný pěnobeton, který se aplikuje v tloušťkách 50 – 350 mm. Díky vysokému obsahu vzduchu jsou jeho rozlivové vlastnosti dobré.

Po položení musí být pečlivě ošetřován (kropením), aby nedošlo k předčasné ztrátě vlhkosti. S výhodou se proto aplikuje v suterénních prostorách, kde je přirozená vysoká vlhkost ovzduší.

Do suchých prostor a pro vyrovnání menších výškových rozdílů podkladu je vhodnější anhydritová vrstva. Formulace anhydritové samorozlévací hmoty je relativně jednoduchá. Postačí jemně mletý ahydrit s přísadou budiče tuhnutí a vhodného plastifikátoru.

Část nezreagovaného anhydritu funguje v samorozlévací kompozici jako plnivo. Aplikace anhydritu vyžaduje účinné míchadlo a zařízení pro čerpání anhydritové směsi. Zpravidla se ahydritová směs připravuje ve specializované výrobně a na stavbu se dováží v autodomíchávači. Anhydrit není vodostálý a nemůže být použit jako finální podlahová vrstva. Obvyklá aplikační tloušťka anhydritu je 35 – 50 mm.

Cementové samonivelační směsi musí obsahovat ještě vhodná plniva, která často jsou na bázi mletého vápence. Podle granulace plniv se většinou vyrábějí vyrovnávací hmoty pro vyrovnání nerovností do 3 – 5 mm nebo pro vyrovnání nerovností do 50 mm. Některé cementové samonivelační směsi jsou použitelné i pro nášlapné vrstvy. Vhodné jsou ovšem jen pro lehčí namáhání.

Pro náročnější provoz se musí vyrovnávací vrstvy upravovat. Minimální opatření je nátěr, častěji se však provádí nášlapná vrstva z klasických kusových staviv (laminátové podlahy, vlýsky, PVC podlahoviny, korek).

V současnosti jsou licí podlahy určené jako finální vrstva založeny nejčastěji na epoxidové nebo polyuretanové bázi. Dříve oblíbené polyestery se považují za hygienicky problematické.

Licí podlahy na polymerní bázi se přednostně aplikují přímo na otryskaný podkladní beton nebo na dostatečně únosný cementový potěr (který se kvůli odstranění cementového mléka musí také tryskat). Podklad musí být suchý.

Výhodné někdy může být použití speciální samonivelační a vyrovnávací vrstvy na epoxid-cementové bázi. Zatímco vlhkost povrchové vrstvy cementového potěru činí po třech dnech 12 % a k vyschnutí na 3 – 4 % vlhkosti je třeba zhruba měsíce, vykazuje epoxid-cementová vrstva 4 % vlhkosti již po třech dnech. To umožňuje provádět další (čistě epoxidovou) nášlapnou vrstvu mnohem dříve než v případě klasického potěru.

Licí podlahové hmoty jsou obvykle formulovány jako dvousložkové systémy a již z výroby jsou pigmentovány na žádaný odstín. Tvrdicí složka je u většiny moderních výrobků rozdělena do dávek, které odpovídají svou velikostí obalům pryskyřičné složky.

Přesto, že se zdánlivě jedná o technologii nevyžadující žádný zvláštní řemeslný um, mělo by být kladení licích podlah svěřováno jen dostatečně vyškoleným a spolehlivým zaměstnancům, respektive přímo specializovaným firmám.

Z minulosti je známo více případů, kdy si nesvědomití pracovníci ulehčili práci svévolným naředěním podlahové hmoty. Dlouhodobé emise ředidla uzavřeného v podlahové hmotě pak v některých případech úplně znehodnotily celý objekt.

Podobné problémy může přinést i špatné provedení penetračního nátěru nebo „kropení“ tuhnoucí podlahové vrstvy ředidlem k odstranění bublin na jejím povrchu.

### 4.12.4.2 Polymerbetonové podlahoviny

Problematika polymerbetonů byla již poměrně podrobně prezentována v kapitole 4.10.2.8.1, na tomto místě je však účelné ještě zmínit technologii tak zvaných pancéřovaných podlah nebo také „vsypů“.

Původně se jedná o technologii zlepšování povrchové vrstvy ještě neztuhlé betonové vodorovné desky. Spočívá v tom, že se ještě zavlhlý povrch betonu posype (ručně nebo pomocí posypového vozíku) tříděným tvrdým kamenivem (používá se křemen, čedič, korund nebo karborundum), smísený popřípadě s pigmentem, cementem a dalšími aditivy.

Posyp (jehož množství činí 3 – 5 $kg.m^{-2}$) se pak ručně nebo strojně zahladí do betonového povrchu. Celý postup trochu připomíná kdysi oblíbené „kletování“. Vzniklé povrchy jsou tvrdé a méně nasákavé, nejsou však vhodné do prostředí s chemickým namáháním.

Polymerbetonová varianta této technologie se provádí tak, že na betonový podklad, opatřený penetračním nátěrem se nanese relativně tenká vrstva aktivované pryskyřice nebo licí podlahoviny a do ještě mokré vrstvy se provede příslušný vsyp. Po zatuhnutí se přebytečné plnivo omete a vysaje průmyslovým vysavačem. Podle potřeby se stejným způsobem provedou ještě další vrstvy. Na závěr se obvykle provádí ještě uzavírací nátěr hmotou, která byla používána jako pojivo.

Součástí posypu může být protiskluzná úprava, která se provádí jemným elastomerovým granulátem, jehož měkké a oblé částice zčásti vyčnívají z povrchu jako prakticky neviditelná krupice ztrácející se ve struktuře ostatního posypu. Deformace těchto částic pod tlakem způsobuje zbrzděni skluzu.

Zvláštní typ posypu představují polyesterové vločky v různém barevném a velikostním provedení, které vytvářejí vizuální efekt jemnozrnné žuly.

## 4.12.5 Injektážní hmoty

Pro těsnicí a zpevňovací injektáže se ve stavebnictví používá široké spektrum injekčních směsí:

cementové a jílocementové směsi,

mikromleté cementy,

směsi na bázi alkalického křemičitanu,

směsi na bázi koloidního $SiO_2$,

epoxidové injekční směsi,

polyuretanové injekční směsi,

akrylátové injekční gely.

Cílem injektážních metod je snížení propustnosti pórovitého materiálu nebo zaplnění trhlin a spár, jimiž voda proniká. Injektáže vytvářejí více či méně nepropustnou clonu v betonu, zdivu, případně v zemině, nebo působí ucpání trhlin či spár betonové konstrukce.

Akrylátové injekční gely byly původně založeny na bázi silně bobtnavého akrylamidu. Kvůli toxicitě akrylamidu bylo od jeho užívání upuštěno a byl nahrazen injekční směsí na bázi 2-hydroxyetylmetakrylátu. Bobtnavost gelu je sice v tomto případě nižší (zhruba na dvojnásobek původního objemu), ale odpadají problémy s toxicitou výchozích složek injekční směsi.

Výhodou akrylátové injekční směsi je velmi nízká viskozita (cca 0,002 Pa.s). Vznikající pružný gel je nepropustný pro vodu, roztoky solí, zásad, kyselin i pro organické kapaliny a navíc vykazuje dobrou adhezi ke všem běžným stavebním materiálům.

Injekční polyakrylátová směs je zpravidla trojsložková. Základní složkou je vodný roztok monomeru s vhodným síťovadlem, zbývající dvě složky jsou součástí redoxního katalytického systému.

Doba gelace je regulovatelná v širokém rozmezí od několika vteřin až po desítky minut. Velmi krátké doby gelace jsou vhodné do prostředí s proudící vodou. K důkladnému proinjektování betonové konstrukce je lepší volit hmotu s delší dobou gelace.

Akrylátové injekční gely se používají výhradně k těsnicí injektáži. Jejich zpevňující účinek je nepatrný a uplatní se jen v případě nesoudržných zemin. Vyschnutím se injektážní hmota sice smršťuje, ale při opětovném kontaktu s vodou znovu získává gelový charakter.

Polyuretanové injektážní hmoty vytvářejí ve styku s vlhkostí pěnu (uvolněním $CO_2$ v důsledku reakce vody s izokyanátovou skupinou). Tato pěna v krátké době (5 – 90 s) zatuhne v tvrdou nebo měkkou hmotu. Vzniklou tuhou pěnou se trvale utěsní místa průsaků, nebo alespoň zastaví nejprudší průsak. Injektovat je možné i trhliny menší než 0,1 mm, protože injektážní pryskyřice je nízkoviskózní.

Epoxidové injekční směsi se používají ke zpevňující a zmonolitňující injektáži poškozených betonových konstrukcí.

Injektáž tekuté epoxidové pryskyřice se provádí jednoduchými přenosnými čerpadly, které vhánějí pryskyřičnou směs do sanované konstrukce přes předem osazené injektážní trubičky (*pakry*).

Směsi na bázi alkalického křemičitanu a směsi na bázi koloidního $SiO_2$ a silikonové mikroemulze se používají k injektáži zdiva, která má plnit funkci vodorovné izolace. Injektážní roztok se v pouští do předvrtaných otvorů ve zdivu. Prosakováním roztoku do pórovitého zdiva a jeho vysýcháním dojde k vytvoření nepropustné vrstvy. Infúzní roztoky se aplikují do šikmých vrtů ve zdivu vzdálených 150 až 200 mm (podle propustnosti zdiva) z jedné nebo z obou stran. Kromě hmot na křemičité bázi se podobným způsobem vytvářejí i olejové a parafinické clony .

Pro správný postup při injektáži zdiva byla vypracována směrnice WTA 4-4-96, která byla vydána i v českém překladu.

## 4.12.6 Chemické přípravky

Chemické přípravky používané ve stavebnictví je možné charakterizovat jako výrobky, které slouží především k úpravě vlastností jiných hmot. Často mají za úkol upravit vzájemné vlastnosti dvou materiálů a mezi chemickými přípravky proto často nacházíme látky s výraznou mezifázovou aktivitou.

Kromě betonářských přísad počítáme k chemickým přípravkům i prostředky pro biologickou ochranu dřeva, prostředky pro čištění a předúpravu povrchů, separující prostředky, inhibitory koroze, prostředky pro protipožární úpravu a případ od případu i další výrobky. Někdy se sem řadí např. ředidla, popřípadě i tvrdidla.

### 4.12.6.1 Aditiva

Nejdůležitější typy betonářských přísad jsou podrobněji probrány v kap. 4.6.4.1, zde však je na místě připomenout, že stejné nebo podobné látky se používají i při přípravě maltových směsí.

Tuto skutečnost ostatně reflektuje i sada zkušebních norem ČSN EN 480 -1 – 13, která je výslovně určena ke zkoušení přísad do betonů, malt a injektážních malt.

Zatímco v betonářské praxi jsou přísady zpravidla kapalné (nebo jsou do kapalné formy upravovány částí záměsové vody), při výrobě suchých maltových směsí mají přísady práškovou podobu a jsou přímou součástí maltové směsi.

Vhodné jsou proto sodné soli karboxylových hydroxykyselin, které jsou krystalické a mají významný plastifikační účinek. Můžeme setkat s použitím solí kyseliny citronové, kyseliny vinné, kyseliny mannonové i kyseliny salicylové. Nejlepší výsledky dávají soli kyseliny glukonové nebo heptonové. Použití povrchově aktivních aditiv není vázáno jen na kompozity s cementovým pojivem, ale setkáváme s nimi i u kompozitů sádrových, popřípadě i asfaltových nebo polymerních.

Pro sádrové kompozity se používají povrchově aktivní aditiva typově podobná aditivům pro cementové kompozity (může jít i totožné přípravky).

K rozlišení mezi plastifikátorem a superplastifikátorem je možné použít velikost snížení mezipovrchového napětí vody. Z hodnoty cca 0,07 $N.m^{-1}$ klesá toto napětí na hodnotu 0,05 – 0,06 $N.m^{-1}$ v případě plastifikátorů a na hodnotu 0,04 $N.m^{-1}$ a méně v případě superplastifikátorů .

U systémů polymerních a asfaltových musí být vzhledem k hydrofobitě pojivového systému používána aditivita jiného složení.

### 4.12.6.2 Pomocné přípravky

Mezi pomocné chemické přípravky usnadňující nebo umožňující aplikaci některých materiálů řadíme výrobky sloužící k operativní úpravě vlastností jiných výrobků (ředidla) a přípravky diagnostické (fenolftaleinový roztok pro kontrolu hloubky karbonatace betonu).

Patří sem také přípravky pro předúpravu natíraných nebo lepených povrchů a čisticí přípravky vůbec.

K pomocným chemickým přípravkům tedy počítáme smáčedla, odmašťovadla, rozpouštědla a některé brousicí, lešticí prostředky.

Patří sem také odrezovací prostředky, které jsou založené většinou na roztoku kyseliny fosforečné, protože fosfáty vzniklé reakcí kyseliny fosforečné s kovem není nutné tak pečlivě oplachovat jako zbytky po jiných odrezovacích kyselinách.

Zvláštní případ kyselých čisticích přípravků představují roztoky používané k čistění kovů před jejich pájením („letovací vodičky“).

Mezi pomocné chemické přípravky je dále možné zařadit odstraňovače nátěrů.

Základem soudobých odstraňovačů nátěrů je většinou dichlormethan ($CH_2Cl_2$) kombinovaný s dalšími rozpouštědly, jako je propan-2-ol (izopropanol), xylen, toluen, aceton, butylacetát. Rozpouštědlová směs je zahuštěna do podoby obtížně vysychajícího gelu (zpravidla metylcelulózou), a tak může působit na natřený povrch po dostatečně dlouhou dobu. Další výhodou správně provedeného zahuštění je, že tixotropicita odstraňovacího přípravku usnadňuje jeho aplikaci na svislé plochy. Zhruba za hodinu přípravek změkčí nátěr natolik, že změklou nátěrovou vrstvu lze v kusech odstranit ocelovou nebo dřevěnou stěrkou.

Dostupné jsou i podobně formulované odstraňovače nátěrů ve spreji. Ty namísto celulózového zahušťovadla často obsahují rozpuštěný parafin, který se při odpařování rozpouštědla vylučuje na povrchu a brání dalšímu předčasnému odpařování. Za nevýhodu parafinových odstraňovačů se považuje to, že zbytky parafinu mohou zhoršovat adhezi nové nátěrové vrstvy.

Práce se sofistikovanou směsí rozpouštědel a změkčovadel používanou ve výše uvedených odstraňovačích je sice pohodlná a bezpečná, při práci většího rozsahu však do ovzduší uniká značné množství organických látek.

Při odstraňování starých olejových nátěrů nebo nátěrů alkydových se proto i dnes mohou dobře uplatnit alkalické (louhové) odstraňovače nátěrů založené na hydrolytickém účinku hydroxidu sodného (NaOH).

Roztok hydroxidu sodného je v alkalických odstraňovačích rovněž upravován do podoby tixotropní pasty usnadňující aplikaci. Vzhledem k extrémní agresivitě NaOH je možné louhové odstraňovače použít jen na nátěry na tvrdém dřevě nebo oceli. Vyloučené je použití na nátěry na hliníku. Bezpečností výbava a průkazné proškolení pracovníku jsou pro práci s NaOH nezbytností.

Do kategorie přípravků odstraňujících nežádoucí vrstvu dále patří přípravky pro odleptání vrstvy cementového mléka nebo znečištěného povrchu z betonových podkladů a přípravky pro čištění keramických ploch potřísněných spárovací maltou.

Přípravky používané k leptání betonu představují roztoky poměrně silných kyselin. Proto se před jejich aplikací provádí provlhčení, které omezuje průnik kyseliny do podpovrchových partií betonu.

Pokud se ze znečištěného betonu předem odstraňují organické a mastné nečistoty pomocí saponátových odmašťovačů, dojde k provlhčení automaticky. Pokud se odmaštění neprovádí, je nutné beton předem důkladně provlhčit čistou vodou.

Vlastní odleptávání se provádí kartáčováním povrchu asfaltérskými košťaty, kterými se roztírá kyselina po betonové ploše. Z hlediska možné koroze výztuže i z hlediska ekologického je nejvhodnější roztok kyseliny trihydrogenfosforečné (10 % $H_3PO_4$), není však tak účinný jako kyselina chlorovodíková o koncentraci 10 – 20 % (roztok 1 : 1).

Celý odleptávací postup je poměrně pracný. V krátkém časovém intervalu (3 –5 minut) po aplikaci kyseliny se vzniklá břečka oplachuje vodou a očištěný povrch se neutralizuje roztokem uhličitanu nebo fosforečnanu sodného (koncentrace cca 5 %). Následuje důkladný oplach, po jehož vyschnutí se nesmějí na povrchu betonu objevit žádné vysrážené sole. Povrch očištěného betonu musí vykazovat zřetelně alkalickou reakci ($pH \geq 9$).

Skutečnost, že odleptávání povrchu betonu nevyžaduje žádné drahé mechanizmy, je sice lákavá, je však třeba uvážit, že celý postup je náročný na pečlivou práci a značně zdlouhavý. Při použití kyseliny chlorovodíkové je zde navíc značné riziko kontaminace podkladního betonu chloridovými ionty a celá akce musí být dobře zabezpečena i z hlediska ochrany zdraví.

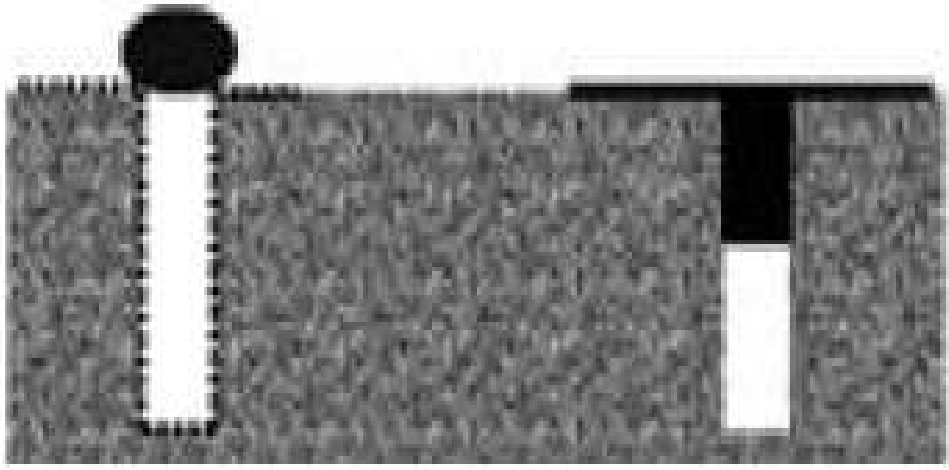
### 4.12.6.3 Separující přípravky

Přípravky určené k vytvoření separačních vrstev jsou do jisté míry opakem předcházejících přípravků, odstraňujících nežádoucí vrstvy. K takovýmto přípravkům patří především přípravky odbedňovací, přípravky na ochranu skel při provádění natěračských prací a speciální separační „neviditelné“ nátěry používané jako ochrana zdí proti sprejerům (*antigraffiti*).

Antigraffiti přípravky obsahují většinou kombinaci silikonové separační emulze s parafinickou emulzí usnadňující omytí zdi (princip obětované vrstvy).

Na bázi tvorby velmi tenké silikonové nebo fluoruhlíkové vrstvičky jsou založeny i přípravky pro hydrofobizaci silikátových povrchů.

Úpravou mezifázového napětí zabraňují vsáknutí vody do povrchových pórů. Jsou vhodné pro šetrné posílení ochrany materiálů před vnější povětrnostní vlhkostí, nemohou však nahrazovat hydroizolační opatření.



*Obr. 4.171* Účinek hydrofobizačního přípravku (vlevo kapka na hydrofobizovaném póru, vpravo kapka vody vtažená do nehydrofobizovaného póru)

Hydrofobizace betonu se považuje za účinnou pokud koeficient nasákavosti ošetřeného betonu je menší než 30 % z koeficientu nasákavosti betonu neošetřeného. V souvislosti s tím je možné uvést, že nátěrový systém vytvářející viditelný film zpravidla snižuje koeficient nasákavosti na méně než 5 % ve srovnání s neošetřeným betonem.

### 4.12.6.4 Protipožární přípravky

Protipožární přípravky mají svůj specifický charakter, a proto zpravidla nebývají řazeny mezi nátěrové hmoty, i když se při jejich aplikaci prakticky vždy jedná o nátěr nebo nástřik.

Nejčastějším principem jejich funkce je schopnost nadouvání původní nátěrové vrstvy účinkem plamene, tedy pyrolitická tvorba ochranné pěny. Nadouvající se nátěry jsou označovány také jako nátěry intumescentní. Tvorba tepelně izolující pěny na chráněném povrchu byla využívána k ochraně dřevěných konstrukcí již ve středověku. Používal se k tomu nátěr volskou krví, která žárem uvolňuje dusík a vytváří uhlíkatou pěnu, která jen neochotně dále hoří.

Žárová zpěnitelnost soudobých protipožárních nátěrů je ovšem mnohem výraznější. Je přitom potřebné, aby vznikala pěna bohatá na uhlík s dostatečnou mechanickou pevností. K tomuto účelu se používá směs snadno karbonizujících cukrů nebo škrobů, solí kyseliny fosforečné a plynotvorných látek, jako je kyandiamid. Pěnová vrstva pak může dosáhnout až tloušťky několika centimetrů.

Důležitou roli hraje obsah sloučenin fosforu, které se v žáru rozkládají a uvolňují kyselinu fosforečnou. Kyselina fosforečná reaguje s organickou hmotou za tvorby uhlíku a brání její úplné oxidaci.

Další možností protipožárního nástřiku je ochrana požárně problematického povrchu vrstvou tepelně izolujících minerálních vláken. Z hygienických důvodů se dnes takové izolace téměř nedělají. Dříve se však prováděly vcelku běžně, a to za použití azbestu. Dnes jsou stříkané azbestové izolace zcela nemyslitelné.

#### 4.12.6.5 Ostatní přípravky

Do kategorie ostatních chemických přípravků je možné zařadit zbývající přípravky s ochranným charakterem, jako jsou vypařovací inhibitory koroze (používané k dočasné ochraně skladovaných kovových předmětů) nebo přípravky s biologickou aktivitou (chránící materiály před biologickými škůdci).

Základní informace o přípravcích používaných pro ochranu materiálů před biologickým napadením jsou uvedeny v kap. 4.11.4.1.

### 4.12.7 Sírové kompozity

Elementární síra se běžně vyskytuje jako žlutá tuhá látka v podobě osmiatomových molekul ($S_8$) krystalizujících v kosočtverečné soustavě. V této formě má hustotu 2000 kg. $m^{-3}$ a za normální teploty stálá a dobře soudržná.

Kosočtverečná síra se kolem 114 ºC taví na řídkou žlutou kapalinu, která nad 160 ºC poněkud zhoustne a stává se tmavožlutou, při 200 ºC hnědne a mezi 250 až 400 ºC opět řídne.

K varu síry dochází za normálního tlaku až při 446 ºC. V širokém a dobře dostupném tepelném rozmezí tedy síra poskytuje manipulovatelnou kapalinu, která ochlazením opět přechází v původní pevnou látku.

Na bázi sirného pojiva se připravují tavné sirné tmely tvořené směsí síry s minerální nebo kovovou moučkou, popřípadě grafitem. Dají se používat k upevnění kotev (k zálivkám kotevních šroubů), ke spárování keramiky v chemických provozech a k tmelení železných trub a odpadních gulí.

Se sírou je možné pracovat podobně jako s asfaltem a obalováním kameniva sírou připravovat *sírobeton*. Pro tento účel je nejvhodnější křemenné hutné kamenivo složené nejméně ze dvou frakcí a doplněné křemennou moučkou.

Sírobeton (SB) obsahující asi 15 % sírového pojiva je v mnoha ohledech podobný kvalitnímu cementovému betonu, protože krystalická struktura ztuhlé síry mu dává tlakovou pevnost až 20 – 80 MPa, při současné ohybové pevnosti 4 – 8 MPa.

Koeficient lineární teplotní roztažnosti SB je blízký betonu, a sírobeton je proto mimořádně vhodný pro povrchovou úpravu poškozených betonových podkladů.

K výhodám SB patří, že konečných mechanických vlastnosti nabývá do 12 hodin po ztuhnutí. V běžné aplikační tloušťce 40 mm je SB pochůzný již půl hodiny po aplikaci a pojízdný vysokozdvižnými vozíky je po šesti hodinách.

Objemová hmotnost sírobetonu je srovnatelná s betonem. Na rozdíl od běžného betonu má nepatrnou nasákavost (< 0,2 %) a je vodotěsný. Chemická odolnost SB vůči neoxidujícím kyselinám a vůči ropným produktům je velmi dobrá.

Větší zkušenosti s aplikacemi sírobetonu mají v USA a v Kanadě, kde se SB začal používat již v sedmdesátých letech minulého století. V Evropě není použití SB zatím běžné. Další rozvoj této technologie bude zřejmě záviset na nabídce vhodné odpadní síry.

### 4.12.8 Ovčí vlna

Z ovčí vlny se vyrábí tepelně izolační materiály v podobě plsti, rouna, vaty na zateplování dutin nebo těsnících provazců. Ovčí vlnu lze také používat v podobě filcu k útlumu hluku v podlahách.

K základním vlastnostem ovčí vlny patří její vysoká hygroskopie (vlna je schopná přijmout do své struktury vzdušnou vlhkost až do jedné třetiny své hmotnosti a opět ji ovzduší vrátit), takže může přirozeně regulovat klima v místnosti.

Třetina hmotnosti vláken může být tvořena přijatou vodou, aniž by došlo ke zhoršení tepelně izolačních vlastností vlněné vrstvy, teprve potom začne voda kondenzovat i na povrchu vláken a zhoršovat izolaci.

Nedávné výzkumy vlastností ovčí vlny prokazují, že vlna má schopnost trvale na sebe vázat některé škodlivé látky, například formaldehydy, aldehydy (jsou složkou různých lepidel, ale i cigaretového kouře) nebo ozón (vzniká např. v kancelářích při činnosti laserových tiskáren a kopírek). Taktéž jsou schopné pohlcovat různé nepříjemné pachy a výpary z prostoru, což může mít význam například pro alergiky.

Tepelně izolační plsť je vyráběna technologií kolmého kladení mykaného ovčího rouna bez použití pojiv. Směs ovčí vlny je zformována do vlnovek, které jsou mechanicky přichyceny k armovací tkanině, která rohož zpevňuje a umožňuje laminování izolace na požadovanou tloušťku.

Tato technologie umožňuje zpracovat nestandardní vlněné rouno do tvaru rolí o různých šířkách (do 1 m), tloušťkách (obvykle 40 až 140 mm) a v hustotách podle přání zákazníka.

Součinitel tepelné vodivosti izolace je 0,038 W/(m.K), objemová hmotnost 12,5–25 kg/m$^3$.

Protimolová úprava se provádí prostředkem používaným pro ošetření oděvních výrobků, Podle výrobce se jedná o zdraví neškodnou úpravu, která . je stálá v otěru, na světle i při opakovaném chemickém čištění

I když zápalná teplota ovčí vlny je až 560 ºC a navíc je samozhášivá, někdy se pro zvýšení nehořlavosti se aplikují zhruba 2% retardéru hoření. Výrobky bez retardéru mají hořlavost B2. Tepelná izolace se připevňuje na podklad (desky nebo rošt) sponkováním či hřeby, do lehkých příček nalepovacími hroty nebo oboustrannou lepící páskou.

Ovčí rouno je vyráběno bez nosiče, vlákna jsou kladena v kolmém směru. Běžně se vyrábí v tloušťkách 50 až 100 mm. Izolaci lze do vodorovných nebo šikmých dutin jednoduše "nacpat" (nevyžaduje žádné ochranné pomůcky, lze ji trhat rukama), pro svislé prostory lze vlnu upevňovat speciálními sponami.

## 4.12.9 Nepálená hlína

Nepálená hlína jako přírodní materiál se používala ve stavbách a staveních od pradávna. S masovým nástupem pálených cihlářských prvků však došlo k postupnému utlumení a ukončení stavění z nepálené hlíny.

Až ke konci 20. století byl zaznamenán jeho návrat, a to hlavně z příznivého pohledu ekonomického a ekologického.

Pohodu vnitřního prostředí v hliněných stavbách zajišťuje jako interiérový prvek právě hlína, která voní, vstřebává nežádoucí pachy a je antialergická.

### 4.12.9.1 Tradiční zdi z nepálené hlíny

Zdi z nepálené hlíny prošly dlouhodobým vývojem. Dochovaná zástavba svědčí o bohatství typů a forem v místech, kde byla ložiska vhodné hlíny (zpravidla tam, kde vzkvétalo hrnčířství).

Nejstarší technologií je dusání hlíny do dřevěného bednění (s názvy nabíjenice, pěchovanica, pichovanice, sypanice, tlučénka, tlučenica aj.). Lehce zavlhlá hliněná směs se po vrstvách dusala do bednění, jehož konstrukce se odlišovala podle kraje. Krajově odlišná byla i pěchovadla.

Technologie nakládání (poskytující nakládané nebo též lepenične zdivo) vyžadovala již hlínu stavebně upravenou (promísením se slámou nebo plevami). Do zdi se směs (s konzistencí hnoje) ukládá bez pomoci bednění vidlemi nebo se též hroudy směsi vrhaly silou shora na zeď v šířce 450 až 600 mm po vrstvách (výšky 800 – 1000 mm) ve sklonu 30° až 40°.

Pracovník stojící na podezdívce ustupoval dozadu v ose zdi a před sebou v tomto sklonu kladl další vrstvy. Po vyschnutí první vrstvy zdi (asi po dvou týdnech) se stěny osekaly rýčem a pak se začala nakládat další vrstva.

Stavby z lepenice (vrstvené hlíny) jsou zajímavé z hlediska tvaru, neboť umožňovaly volně vytvářet půdorysně zakřivené zdi bez potřeby modulových os půdorysných osnov objektu. Osekání zdiva do konečného tvaru připomíná práci sochaře.

Další starou technologií vhodnou pro rychlé zdění, používanou výhradně v podunajské oblasti, je zdění z válků. Pro výrobu válků se používala povrchová hlína, která se navlhčila a nechala odležet do druhého dne. Ráno se rozšlapala do konzistence hustého těsta za současného přidávání zbytků ječmenné slámy. Oddělené množství těsta se na zemi posypané plevami vyválelo do tvaru válku (chlebové šišky) délky asi 300 mm a šířky 150 mm.

Mokré války se do šířky zdi kladly šikmo na podezdívku z lomového kamene, v charakteristické klasové vazbě (tvořící šipky) bez malty. Jeden řádek ze šikmo nakloněných válků se prováděl jeden den, druhý den se války ukládaly v opačném sklonu. Povrch zdi na straně vystavené dešti se omazával hliněnou nebo vápennou omítkou.

Déšť poškozuje povrch režné zdi, klasovitá kresba se ztrácí a z válků trčí sláma. Proto byla slaměná došková nebo dřevěná šindelová krytina vždy dostatečně vyložena.

Jindy se nepálená hlína používala jako výplňová hmota do dřevěných hrázděných staveb, stropních záklopů nebo jako dusaná podlaha do obytných a zemědělských stavení. K dusaným výrobkům lze zařadit i nepálené hliněné podlahové čtverce (kachle).

Největšího rozšíření v našich zemích doznala vysušená, nepálená cihla, takzvaná vepřovice (podle prasečích štětin, přidávaných do hlíny) nebo též kotovica, kotovina (podle německého Kot – bláto).

Připravená směs hlíny, řezanky (o délce stébla do 70 mm), plev nebo pazdeří, prasečích chlupů apod. se dusala do forem, obvykle dřevěných, umístěných na podložce. Velikost cihel vyráběných dříve byla přibližně 300 x 150 x 70 až 100 mm. Výška větší než 120 mm se nedoporučovala.

Tvary nepálených cihel byly různé, podle toho, zda měly být použity pro zdi, pilíře nebo v kombinaci se dřevem (sloupková konstrukce) či kamenem.

Po odformování se cihly nechaly na podložce vysychat 2 dny, potom se přemístily a uložily na boční stěnu s mezerami 30 mm. Vysychání bylo pozvolné, cihly se pravidelně obracely, chránily se před prudkým sluncem a deštěm.

Po třech až čtyřech týdnech sušení, kdy proběhlo smrštění, bylo možné tyto cihly použít pro stavbu. Zdilo se na vazbu a na hliněnou maltu připravenou z polotučné nebo téměř tučné hlíny ostřené pískem stejnoměrně zrnitým (frakce 0/2), aby bylo možné provádět tenké ložné spáry .

Rozvoj zpracování dřeva na pilách vedl ke vzniku polínkového (krčkového) zdiva. Zdění v tomto případě spočívá v kladení krátkých celých či půlených špalíků (krčků), nebo polínek do hliněné malty. V nosných stěnách mohly být dřevěné prvky vázány (kratší příčně uložená polínka se střídala s delšími trámky pokládanými podélně); nebo se špalíky či polínky pojenými hliněnou maltou výplňovala trámová konstrukce a vytvářelo se tak hrázděné zdivo.

Přesto, že polínkové stěny byly v předminulém století používány spíše na stavby sociálně slabších vrstev, vykazovaly, při zhotovení na solidní kamemé podezdívce, dobrou životnost.

Tuto skutečnost si uvědomili svépomocní stavitelé v USA, kde pod názvem cobwood nebo cordwood došlo k určité renesanci této technologie.

Namísto hliněné malty se někdy používá malta vápenopilinová.

### 4.12.9.2 Soudobé zdi z nepálené hlíny

Neblahé zkušenosti se zřícením domů nebo jejich částí z nepálených cihel při záplavách v roce 1997 a 2002 ukázaly, že v suchém prostředí má nepálená cihla velkou životnost. Majitelé mnohokrát přestavovaných a upravovaných objektů si mnohdy ani nebyli vědomi toho, že podstatná část jejich obydlí je z nepálených cihel. Zároveň se ukázalo, že povodeň nebo i jen zátopa způsobí úplnou destrukci zdiva z těchto cihel.

Nepálené cihly je tedy možné používat jen do suchého chráněného prostředí (bez nebezpečí povodní a zátop). Vzhledem ke své malé ekonomické náročnosti se hodí i dnes pro výstavbu nízkopodlažních budov, jako jsou garáže a sklady . Lze je použít i jako výplně do svislých nosných konstrukcí nebo do interiéru budov.

K vyztužení a k úpravě zpracovatelnosti se dříve do hlíny přidávaly plevy, pazdeří či srst, dnes se k témuž účelu zkouší krátká polypropylenová vlákna, vyvinutá původně k úpravě vlastností cementových malt.

Ve snaze o využití druhotných surovin se zkouší přidávat do stavební hlíny cihelný recyklát nebo drcený pěnový polystyren.

Za nejperspektivnější typ nepáleného zdicího materiálu se považují cihly lisované pomocí ručního nebo hydraulického lisu, které vykazují vyšší zhutnění i pevnost v tlaku a vyšší odolnost vůči vodě a vlhkosti než cihly vyráběné ručně. V České republice výrobce takovýchto nepálených cihel zatím není.

Při vývoji novodobých technologií pro tvorbu zdiva z nepálené hlíny je třeba vycházet z toho, že fyzikálně-mechanické vlastnosti hlín určených pro konstrukční účely jsou dány především skladbou hliněné směsi, způsobem její stabilizace, kvalitou zpracování a obsahem vlhkosti.

Kondenzace vodní páry je vydatným zdrojem vlhkosti ve stěně, která je příčinou změn výše uvedených vlastností a na povrchu stěny může vytvářet dobré podmínky pro vznik plísní. Celková degradace pak nastává u hlíny s obsahem organických složek. Proto je třeba všechny konstrukce z nepálené hlíny, masivní i vylehčené, navrhovat tak, aby vodní pára u vrstvených stěn kondenzovala mimo hliněnou vrstvu.

Povrch nechráněné exteriérové hliněné stěny podléhá erozi (korozi). Tento proces spočívá v opakovaném sycení a bobtnání povrchových vrstev stěny dešťovou vodou a v jejich opětovném vysychání v letním období, respektive v zamrzání vody v pórech v zimním období.

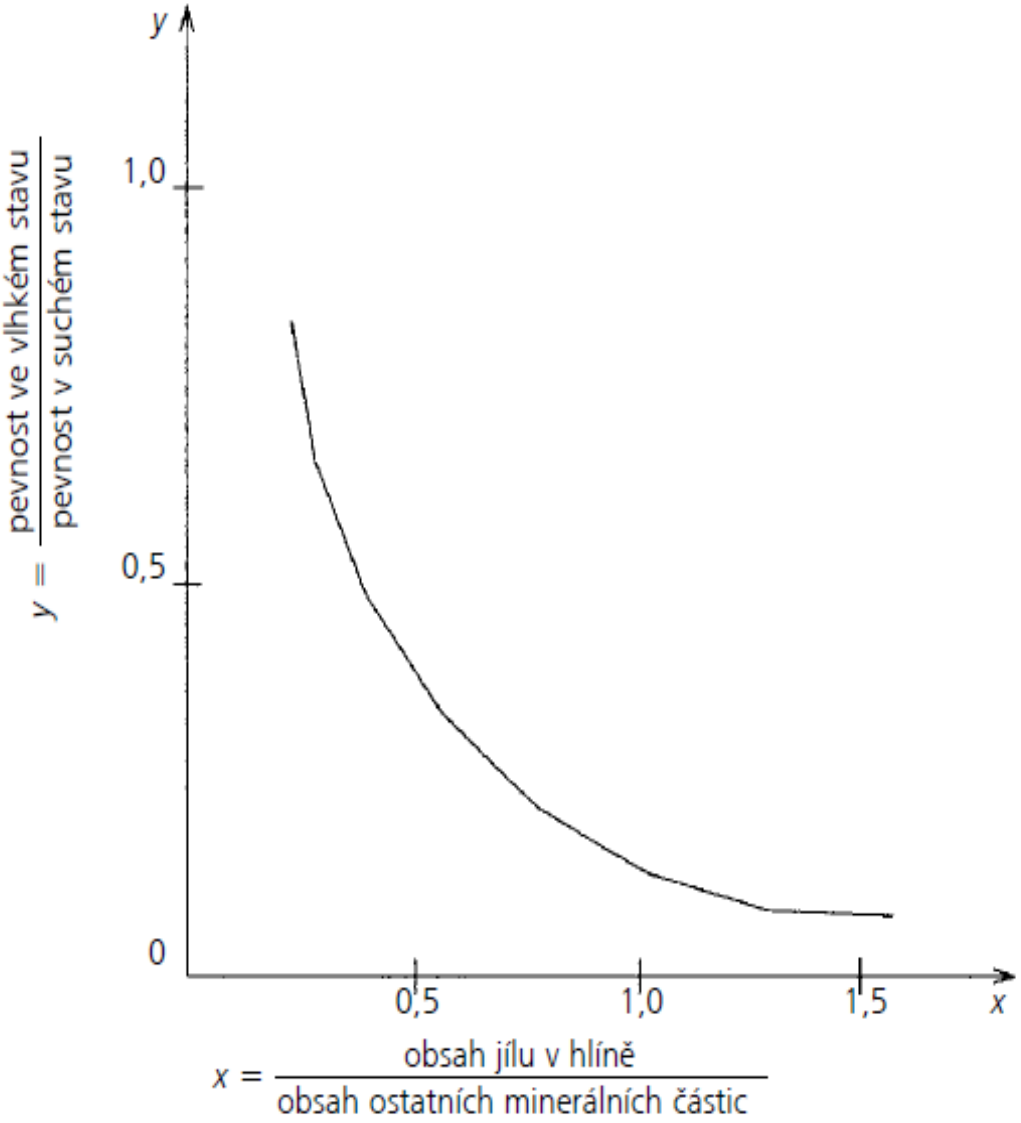
Cyklicky vznikající povrchové trhliny při následném dešti dovolují vnikání vody do hlubších vrstev stěny a způsobují tak její povrchové rozrušování a postupné odpadávání vrstviček hlíny, Zároveň je vyplavována zpravidla méně soudržná spojovací hliněná malta. Nerovný povrch stěny urychluje další proces.

Soustředěné působení vody nebo vysoké vlhkosti na hliněnou konstrukci je tedy velmi škodlivé a nežádoucí.

Pokles pevnosti (v tlaku a tahu za ohybu) závisí na množství vody v hlíně, na obsahu a druhu jílových minerálů, na době vystavení působení vody a na zatížení. Závislost pevnosti v tlaku hlíny na její vlhkosti a složení ukazuje směrný graf na *obr. 4.172* .

Hliněný materiál je možné charakterizovat jako materiál s dobrou schopností vázat i uvolňovat vzdušnou vlhkost.

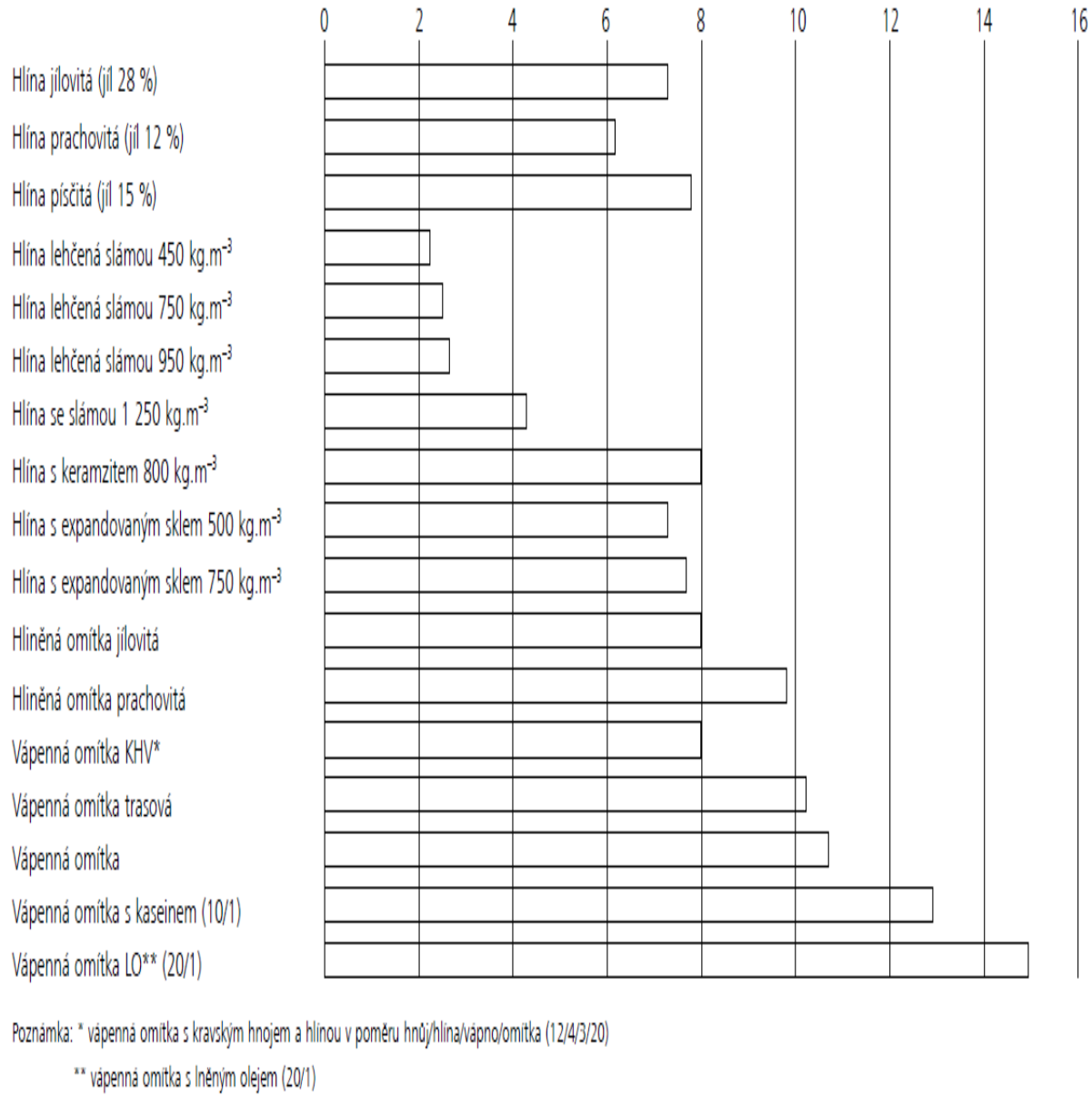
Z experimentálních měření vyplývá, že hliněný materiál přijímá podstatně rychleji vzdušnou vlhkost než materiály jiné, jako je např. pálená lehčená cihla, obyčejný beton, pórobeton, a proto je v domech z nepálené hlíny příjemné mikroklima, které působí příznivě na lidské zdraví.




*Obr. 4.172* Závislost pevností hlíny na její vlhkosti a složení

Pro pohodu vnitřního prostředí není podstatné celkové množství vlhkosti, které je materiál schopen přijmout, ale rychlost, se kterou se to děje.

Z výsledků měření je též patrné, že proces vysychání je pomalejší než navlhání. Hodnota faktoru difúzního odporu μ je závislá na objemové hmotnosti (stupni zhutnění) a poměru obsažených organických přísad a hlíny, viz *obr. 4.173*. Nízké hodnoty μ vysvětlují relativně nízkou hodnotu rovnovážné vlhkosti (kolem 3 % u nepálené hlíny).




*Obr. 4.173* Hodnoty faktoru difuzního odporu μ v závislosti na druhu materiálu podle DIN 52615

Praktická (ustálená) vlhkost v hliněných stěnách se v klimatických podmínkách střední Evropy pohybuje mezi 2 % hmotnosti v létě a až 5 % hmotnosti v zimě. Nestálost obsahu vlhkosti ve stěně v průběhu ročního období je způsobována zejména povětrnostními vlivy.

Vysušená hlína je hydrofilní a pro širší využití modifikace s cihelným nebo směsným recyklátem musí být stanoveny tepelné vodivosti a pevnosti při různé relativní vlhkosti prostředí, včetně nasyceného stavu, kdy pevnost nepálených cihel limituje k nule.

Z výše uvedeného je zřejmé, že nepálená hlína je materiálem dosti specifickým. Ke zkoušení nových výrobků je třeba vyvinout nové zkušební metody, které umožní získání objektivních technických údajů potřebných pro další rozvoj technologie hliněného zdiva.

### 4.12.10 Akustické desky z kartonu a křemičitého písku

Zvukově izolační desky, kombinující vrstvy kartonu a písku mohou být zajímavou alternativou k běžným zvukově izolačním materiálům.

Tyto desky jsou tvořeny několika vrstvami (obvykle dvěma až třemi) vlnitého kartonu a dutiny, tvořené vlnami jsou vyplněny křemičitým pískem. Okraje desek jsou zalepeny papírovou lepenkou.

Desky jsou vyráběny v tloušťkách 10 a 15 mm v základním rozměru 1200 x 800 mm. Plošná hmotnost desek se pohybuje od 12 do 18 $kg.m^{-2}$, zařazeny jsou do požární třídy B2.

Desky lze řezat běžnými způsoby (okružní pilou, přímočarou pilou, nožem), oříznuté okraje je však nutno zalepit páskou.

Desky se volně pokládají na doraz na vazbu, nemusí se spojovat ani šroubovat na podklad, proto je jejich pokládka na podlahu velmi rychlá.

Pomocí těchto desek lze při poměrně malé tloušťce dosáhnout zlepšení zvukové neprůzvučnosti až o 36 dB a zlepšení kročejové neprůzvučnosti až o 33 dB.

Desky lze použít i na stěny a stropy.

### 4.12.11 Geosyntetické výrobky

Geosyntetika jsou ploché výrobky z termoplastických materiálů primárně určené pro zabudování do země nebo pro plošný kontakt s zeminou. Geosyntetické výrobky mohou být ohebné (zhotovené z tenkých vláken – jako tkanina nebo plsť) nebo mohou mít podobu polotuhých děrovaných fólií, případně žebrovaných desek.

Jedná se o výrobky, které v posledních letech zaznamenávají velký rozvoj a uplatňují se v mnoha oblastech stavebnictví – dopravní stavby, vodní stavby, podzemní stavby, pozemní stavby a skládky.

Začátky používání geosyntetik sahají do padesátých let minulého století, kdy první výrobky byly aplikovány v Holandsku do zemních hrází v rámci projektu ochrany pevniny před záplavami.

V rámci evropské normalizace se pojem geomembrány a geosyntetika začal používat také pro ploché výrobky užívané jako izolace proti podzemní vodě, např. pro asfaltové pásy a folie z plastů i pro rohože z bentonitu (viz EN 13968 nebo EN 13491)

### 4.12.11.1 Použití geosyntetických výrobků

Geosyntetické výrobky stále častěji doplňují nebo nahrazují tradiční technologie a umožňují nová a lepší řešení stavebních konstrukcí, především v oblasti zemních konstrukcí. Mezi nejběžnější použití těchto výrobků lze zařadit řadit separaci materiálů různé kvality ve stavebních konstrukcích, filtraci vody a ostatních kapalin v zemním prostředí, vyztužování v konstrukci zemních těles silničních a železničních cest, mechanickou stabilizaci podkladních vrstev dopravních ploch, protierozní ochranu svahů, budování drenážních systémů, výstavbu protipovodňových hrází, ochranu hydroizolací před poškozením, výstavbu a rekultivaci skládek a mnoho dalších.

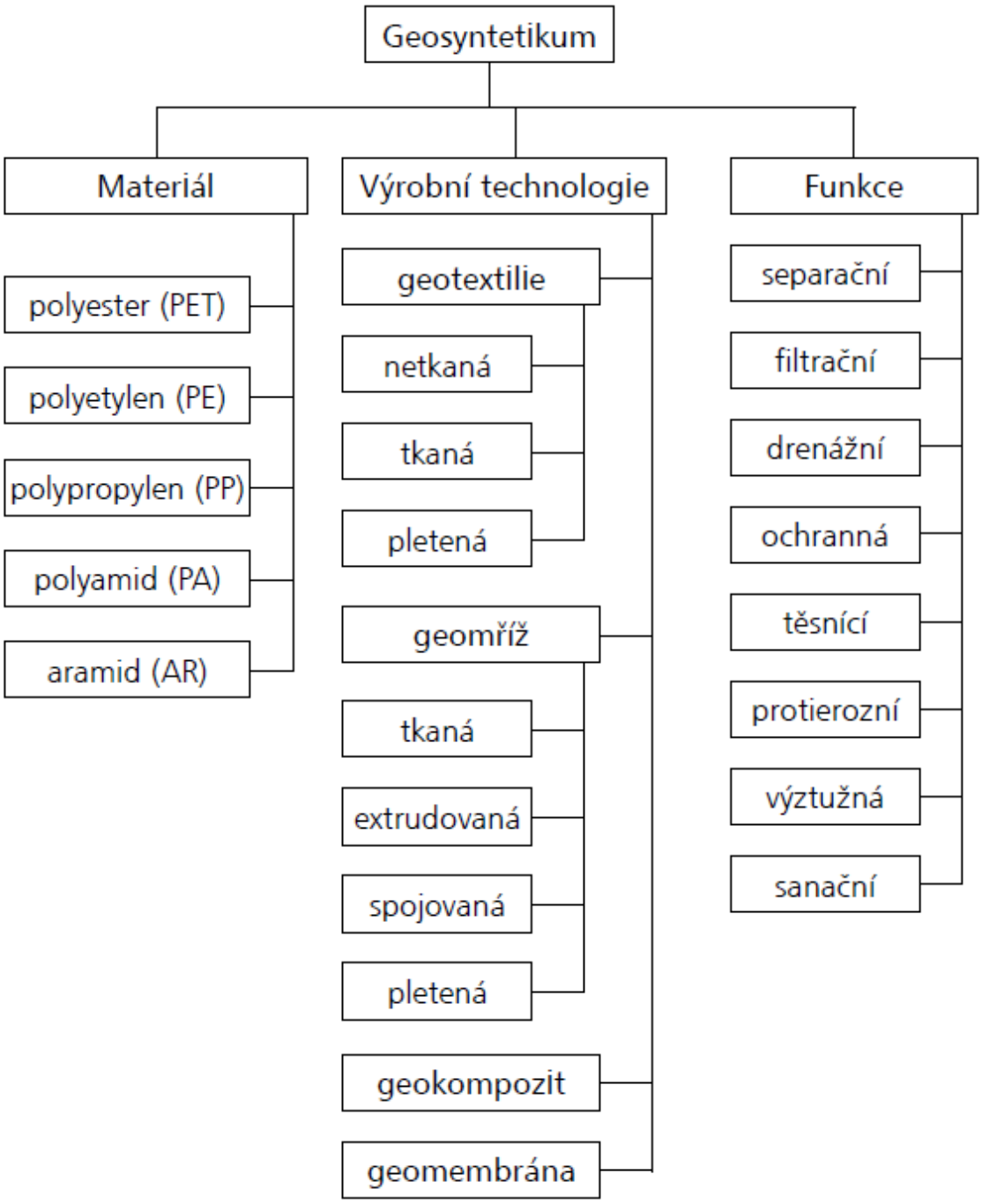
### 4.12.11.2 Rozdělení geosyntetických výrobků

Geosyntetické výrobky můžeme dělit podle řady kritérií, např. podle typu polymeru, technologie výroby a použití (*obr. 4.133).*

Prvním krokem při návrhu konstrukce, ve které má být geosyntetický výrobek použit, je stanovit jeho funkci. Existuje řada funkcí, které tyto výrobky mohou plnit a které jsou definovány ve zjednodušené formě následovně:

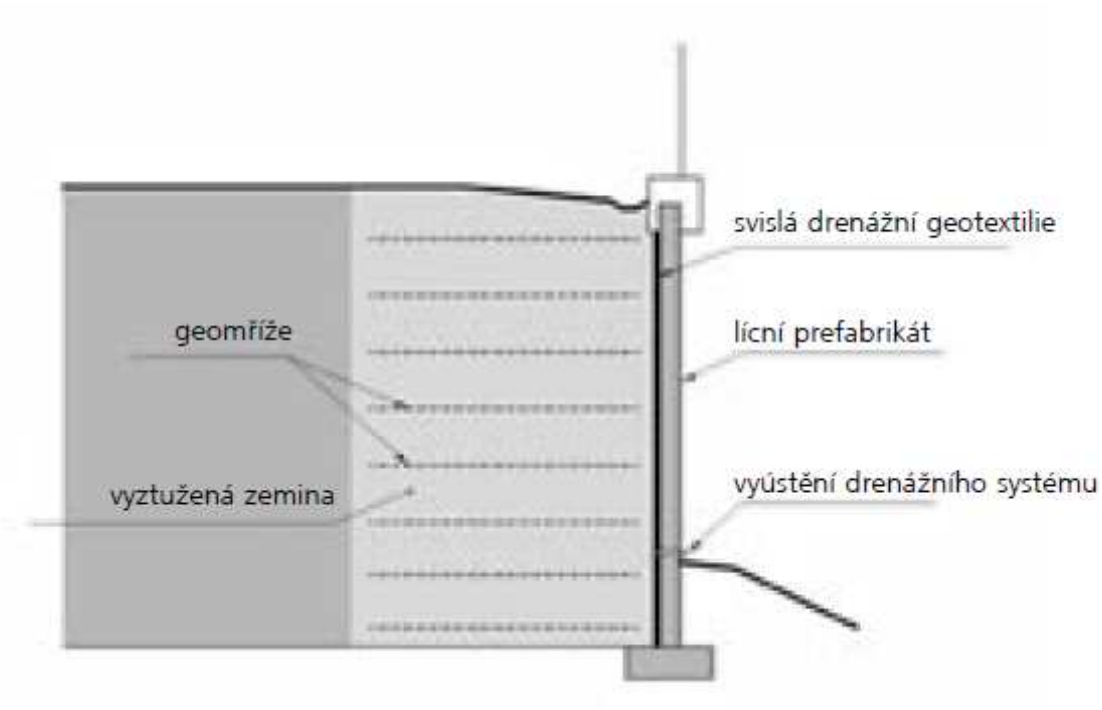
-

- separační funkce (oddělení dvou rozdílných materiálů bránící jejich promíchání),
- filtrační funkce (propouštění vody kolmo k rovině výrobku a současná zábrana pohybu částic zeminy ve směru proudění,
- drenážní funkce (odvod kapaliny z okolního prostředí v rovině výrobku),
- ochranná funkce (zajištění funkce chráněného prvku před dalšími pokládanými prvky),
- izolační funkce v kombinací s folií (zabránění průniku pevných, kapalných či plynných částic),
- protierozní funkce (ochrana povrchu zemní konstrukce před vnějšími vlivy,
- výztužná funkce (zachycení tahových napětí v zemní konstrukci,
- sanační (použití při sanacích sesuvů apod.)




*Obr. 4.174* Základní rozdělení geosyntetických výrobků

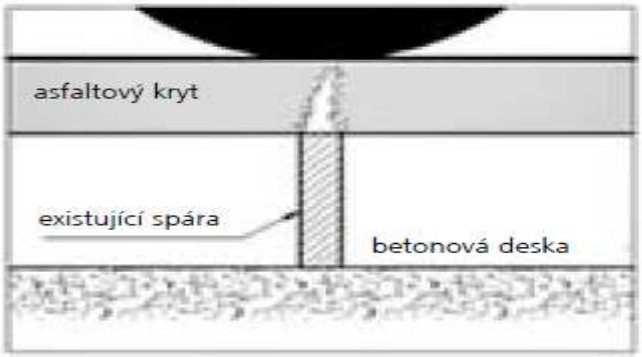
-



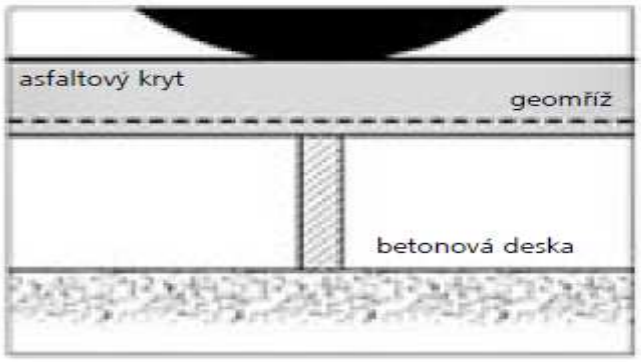

-

*Obr. 4.175* .Použití geotextilií a geomříží k vyztužování zeminy za opěrnou zdí

a)




b)




*Obr. 4.176* Vyztužení vozovky neomříží nad spárou v podkladu
a) nevyztužená vozovka b) vyztužená vozovka

### 4.12.11.3 Vlastnosti geosyntetických výrobků

Pro správnou funkci geosyntetického výrobku v konstrukci je nutné provést spolehlivý návrh a zajistit materiál požadovaných vlastností. V tomto případě můžeme rozdělit vlastnosti na:

popisné vlastnosti,

mechanické vlastnosti,

hydraulické vlastnosti,

mechanickou , chemickou a klimatickou odolnost.

Mezi popisné vlastnosti patří plošná hmotnost ($g.m^{-2}$), která je jedním z rozlišovacích parametrů u netkaných geotextilií pro separační (lehčí), filtrační (středně těžké) a ochrannou (těžké) funkci. Další z vlastností z této skupiny je tloušťka prvku (mm). Tento parametr má své uplatnění při posuzování drenážní funkce, kdy je potřebné znát vliv změny tloušťky vlivem přitížení na jeho drenážní kapacitu. Pro filtrační funkci geosyntetik se zjišťuje velikost průliny (mm).

Nejdůležitější mechanickou vlastností je pevnost v tahu v závislosti na přetvoření. Vzhledem k použitému základnímu materiálu je tahová pevnost ovlivňována řadou činitelů. Jedním z nich je teplota, která může významně ovlivnit dosaženou pevnost. To se projevuje především u polyolefinů, kdy s rostoucí teplotou klesá tahová pevnost výrobku. Dalším z faktorů je rychlost zatěžování při tahové zkoušce. Při vyšší rychlosti se dosahuje větších pevností.

Zkouška tahové pevnosti se provádí při 20 ºC podle EN ISO 10319. Při této tahové zkoušce se zaznamenává i přetvoření a výsledkem zkoušky je pak pracovní diagram geosyntetika.

pracovního diagramu se, jako charakteristické hodnoty, většinou odečítají tahová napětí odpovídající protažení 1 %, 3 %, 5 % a samozřejmě také pevnost při porušení ($kN.m^{-1}$) a k tomu odpovídající přetvoření.

Významný vliv na výsledky mechanických zkoušek má i doba zatěžování. Při dlouhodobém zatěžování totiž dochází u těchto materiálů k tečení (creepu). Z nejvíce používaných polymerů mají menší tečení výrobky z polyesterů, naopak u výrobků z polypropylenu a polyetylenu je vliv creepu (tečení) větší.

Při zkoušení geosyntetických výrobků se používají zkoušky simulující možné mechanické poškození tělesy z okolního prostředí při skutečném používání (např. zkouška padajícím kuželem, protlačování válcového razníku apod.).

Zkouší se i vlastnosti popisující spolupůsobení mezi zeminou a geosyntetickou výztuhou (úhel tření na kontaktu zemina-výztuha, zkouška na vytažení).

Mezi hydraulické vlastnosti patří propustnost, kterou dále rozlišujeme na propustnost kolmo k rovině výrobku a propustnost v rovině výrobku.

Pro filtrační funkci je důležitá znalost propustnosti kolmo na rovinu výrobku (její hodnota vztažená na jednotku tloušťky výrobku se nazývá permitivita).

Pro drenážní funkci je třeba znát propustnost v rovině výrobku (její hodnota vztažená na jednotku tloušťky výrobku se nazývá transmisivita). U drenážní funkce musí být zároveň splněny podmínky filtrační.

Příklady vlastností netkaných a tkaných geotextilií do zemních těles *Tab. 4.169*

| Vlastnost | Parametr | | | |
|---|---|---|---|---|
| Netkané z PP | | | | |
| Plošná hmotnost ($g.m^{-2}$) | 110 | 200 | 300 | 400 |
| Odolnost vůči protlačení (kN) | 1,17 | 2,3 | 3,35 | 4,2 |
| Pevnost v tahu podélně/příčně (kN/m) | 7,3/7,3 | 13,5/13,5 | 20/20 | 26/26 |
| Tažnost podélně/příčně (%) | 70/40 | 80/45 | 80/45 | 80/45 |
| Hydraulická propustnost kolmo na rovinu při zatížení 2 kPa ($m/s.10^{-3}$) | 4 | 4 | 4 | 2 |
| • při zatížení 200 kPa ($m/s.10^{-3}$) | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Hydraulická propustnost v rovině při zatížení 2 kPa ($m/s.10^{-3}$) | 10 | 10 | 10 | 10 |
| • při zatížení 200 kPa ($m/s.10^{-3}$) | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Tloušťka při zatížení 2 kPa (mm) | 1,2 | 2 | 2,8 | 3,3 |
| Tkané z PES | | | | |
| Plošná hmotnost ($g.m^{-2}$) | 500 | 600 | 1000 | 1150 |
| Pevnost v tahu podélně/příčně ($kN.m^{-1}$) | 50/50 | 100/50 | 300/100 | 400/100 |
| Tažnost podélně/příčně (%) | 12/12 | 12/12 | 12/12 | 12/12 |
| Pevnost v tahu při prodloužení 5 % podélně/příčně ($kN.m^{-1}$) | 27/27 | 52/27 | 185/27 | 240/52 |

O odolnosti proti působení vnějších vlivů rozhodují jak vlastnosti mechanické, tak i chemické a klimatické. Kromě mechanické odolnosti se proto vyšetřuje chemická odolnost vůči různým chemickým látkám a vlivům. Musí být zvlášť pečlivě sledována při aplikacích ve skládkovém hospodářství.

Chemicky choulostivější jsou geosyntetika z polyesteru, které degradují vlivem hydrolýzy v silně alkalickém prostředí. Proto se musí při návrhu zohlednit tento vliv při stanovování pevnosti. Polypropylen a polyetylen jsou v alkalickém prostředí odolné. K jejich narušení v zemi může dojít jen málo pravděpodobným účinkem oxidujících látek nebo agresivních rozpouštědel.

Poslední z odolností, která se běžně vyšetřuje, je odolnost vůči UV záření a povětrnostním vlivům. Ta je významná především při aplikacích v protierozní ochraně, kdy výrobek je po určitou dobu vystaven UV záření, než dojde k jeho překrytí travním porostem. Podobné je to u vyztužených svahů a opěrných konstrukcí.

Zemní konstrukce vyztužené geosyntetiky patří mezi geotechnické konstrukce a vztahují se na ně příslušné geotechnické normy a předpisy (ČSN EN 1997, ČSN 73 6133). Při návrhu je třeba posoudit stabilitu celého okolního prostředí.

### 4.12.11.4 Ochranné technické textilie

Zcela samostatnou skupinou je použití tkaných či netkaných geotextilií (plstí) k ochraně či separaci stavebních konstrukcí, jako je ochrana hydroizolačních fólií proti mechanickému poškození, případně oddělení materiálů, které by neměly přijít do vzájemného kontaktu. Vyrábějí se obvykle o plošné hmotnosti 200 až 1500 $g.m^{-2}$. Pro jejich použití jsou rozhodující pevnost a tažnost. Mohou být použity i k vzájemné separaci např. pěnového polystyrenu a asfaltových či dehtových hmot.

Technické parametry vybraných netkaných ochranných textilií *Tab. 4.170*

| Vlastnost | Parametr | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plošná hmotnost ($g.m^{-2}$) | 200 | 400 | 500 | 800 | 1 000 | 1 200 | 1 500 |
| Tloušťka při zatížení 2 kPa (mm) | 2,34 | 3,09 | 3,56 | 8,15 | | 8,05 | 11,56 |
| Pevnost v tahu podélně/příčně ($kN.m^{-1}$) | 6/5 | 16/12 | 18/16 | 39/28 | 42/39 | 47/43 | 81/62 |
| Tažnost podélně/příčně (%) | 55/74 | 90/110 | 88/114 | 90/113 | 82/98 | 79/92 | 73/91 |
| Hydraulická propustnost kolmo ($m/s.10^{-3}$) | | 6,7 – 12,0 | 5,1 – 8,8 | | | 5,4 – 6,7 | |

## 4.12.12 Bentonitové izolace

Použití jílů patří mezi nejstarší izolace proti vlhkosti vůbec. Jílová těsnění ve středověku byla u nás prakticky jediným prostředkem k ochraně staveb proti pronikání vlhkosti. Jílovité zeminy se totiž vyznačují schopností přijímat vodu za současného objemového nabývání. Přitom voda vrstvou jílu na druhou stranu neprochází a jíl tak působí jako těsnicí clona.

V moderní době nastal návrat k tomuto systému a na trhu se objevila řada výrobků využívající právě jílovité zeminy. Jde především o bentonity, což jsou velmi jemnozrnné různě zbarvené zeminy stáří asi 100 milionů let složené především z jílového materiálu montmorillonitu, který je nositelem charakteristických vlastností bentonitu.

### 4.12.12.1 Vlastnosti bentonitu

Montmorillonit je vrstevnatý hlinitý vodný křemičitan tvořící destičkovité krystaly s velkým měrným povrchem. vysoké sorpční schopnosti a schopnosti výměny bází, tj. přijímání určitých kationtů z roztoku a místo nich ze své molekuly uvolňování jiných prvků, např. Mg, Ca, alkálií.

Bentonit obsahuje další jílové materiály – kaolinit, illit, beidellit, sloučeniny železa, křemen, živce atd. Ty však většinou představují škodliviny a při úpravě je snaha je odstranit.

Ložiska bentonitu byla kolem roku 1881 objevena ve Fort Bentonu v USA – tak vznikl jeho název. První průmyslové využití bylo ve Velké Britanii při odbarvování jedlých tuků a olejů.

Použití bentonitu je mnohostranné, řídí se jeho mineralogickým složením a technologickými vlastnostmi. Významněji se v technické praxi objevuje od poloviny dvacátého století. Používá se ve slévárenství, při peletizaci železných rud, jako sorbent při odbarvování, filtraci, čištění odpadních vod, jako plnidlo v barvářství a kosmetice apod.

Ve stavebnictví má význam především jako materiál do vrtných výplachů a jako těsnicí materiál proti pronikání vody.

V českých zemích se těží bentonit od roku 1941 v Braňanech u Mostu. V České republice jsou ložiska poměrně bohatá, vesměs však jde o méně bobtnavé (draselné, vápenaté a hořečnaté) bentonity. Silně bobtnavé (sodné) bentonity se u nás nevyskytují. Jejich ložiska jsou především v USA.

Z hlediska hydroizolačního, tj. schopnosti vytvořit pro vodu nepropustnou vrstvu, jsou pro bentonit podstatné především tyto vlastnosti :

nízká propustnost pro vodu – součinitel propustnosti $k = 10^{-10}$ až $10^{-14}$,

schopnost bobtnat ve styku s vodou, tzn. absorbovat do své molekulární mřížky vodu při současném zvětšení svého objemu až o 700 %,

vysoká sorpční schopnost pro kationty a vysoký měrný povrch,

vysoká plasticita a vaznost, tj. vysoký index plasticity ($I_p$ >50 %).

Vysoká bobtnavost je typická především pro Na-bentonity. Nebobtnavé vápenohořečnaté bentonity lze za jistých nákladů převést na sodnou formu (tzv. natrifikace). Proces je však nákladný a upravené hmoty vlastností přírodních Na-bentonitů bohužel zcela nedosahují.

### 4.12.12.2 Hydroizolace z bentonitu

Historicky nejstarším využitím bentonitů v hydroizolační technice bylo přímé ruční vytváření těsnicích clon v místech průsaků. V druhé polovině dvacátého století se bentonitové izolace začaly používat i na velkých stavbách na základě vývoje nových bentonitových výrobků i nových technologií kladení. Bentonitové materiály našly

uplatnění jak při vytváření plošných izolací, tak se ukázaly vhodné pro těsnění pracovních a dilatačních spár.

Bentonitové výrobky pro plošné hydroizolační vrstvy. Bentonitová hmota začala být původně používána ve formě předem vyrobených „cihel" z kartonu naplněného bentonitem. Širší uplatnění našly však až sendvičové bentonitové desky, v nichž vrstva bentonitu je upevněna mezi dvě papírové vlnité lepenky. Lepenka má v tomto výrobku jedinou funkci – upevnit ke konstrukci rovnoměrnou vrstvu bentonitu do doby než bude zajištěna přítlakem přitěžovací vrstvy, tj. betonem či zeminou.

Čtvercové desky se vyráběli o hraně 1220 mm a tloušťce 4,75 mm (nebo v jiných rozměrech podle dodavatele). z těchto výrobků se pak vytvářela hydroizolační vrstva jejich kladením na upravený betonový podklad u vodorovných izolací a mechanickým připevněním ke konstrukci u svislých izolací. V rozích a u hran se konstrukčním tvarům desky přizpůsobily pouhým ohnutím. Výhodou těchto těsnicích bentonitových systémů bylo snadné vytváření spojů pouhým vzájemným přesahem 100 mm při vystřídání spojů nejméně o 300 mm.

Po položení desek se přímo na jejich povrch betonovala vlastní konstrukce v tloušťce nejméně 50 mm. Tím se jednak zajistilo nutné přitížení a mohlo dojít k provlhčení bentonitové vrstvy. Vlhkost pak způsobila rozpínání bentonitu, jeho vytlačení do zbývajících dutin a vytvoření souvislé hydroizolační vrstvy. Volná bentonitová izolace musí ve vlhkém prostředí zůstat chráněna , jinak by se rozpínací a tím těsnící účinek nemohl projevit.

Postupem času se ochranná lepenková vrstva v průběhu několika měsíců rozložila a stavba zůstala chráněna nepropustnou bentonitovou vrstvou. U svislých stěn se bentonitové desky upevňovaly opět s přesahem ocelovými hřebíky nebo talířovými hmoždinkami. Svislé spoje desek v řadách nad sebou se vystřídaly . Nabobtnání bentonitu dotěsní i místa malých poškození (např. od zrezivělých hřebíků). Jako doplňky k základnímu výrobku se dále dodávají bentonitové tyčky k zesílení koutů izolační vrstvy nebo bentonitový granulát či pasta k vyplnění spár a míst prostupů.

*Bentonitové rohože*. Dalším vývojovým stupněm bentonitových izolací je náhrada poměrně tuhé papírové lepenky ohebným materiálem, který do uložení v konstrukci fixuje částice bentonitu a navíc umožňuje vytváření větších celků jedním položením. Jako nosné a výztužné materiály se ukázaly vhodné některé typy geotextilií a plastové fólie.

V prvém případě je vrstva bentonitového granulátu uložena mezi dvě vrstvy geotextilie, které jsou vzájemně sešity a tím je bentonit fixován. Geotextilie bývá tkaná či netkaná z polyetylenových nebo polypropylenových vláken, celková tloušťka rohože s bentonitem bývá kolem 6 mm, šířka koberce až 4 m.

Vzniklý ohebný koberec je dodáván v rolích a na stavbě se pouze rozvine s přesahy ve spojích. Ty mají být nejméně 100 mm.U tohoto systému se někdy objevují problémy s nedostatečnou těsností spojů, zvláště pokud v době pokládání materiál je zaplaven vodou takže dojde k zmíněnému předčasnému bobtnání nebo dokonce odplavení.bentonitu. Příklad složení a technických parametrů rohože je uveden v *tab. 4.171*.

Příklad technických parametrů bentonitové rohože *Tab. 4.171*

| Vlastnost | Technická data |
|---|---|
| Podkladní vrstva | netkaná PP textilie 200 $g.m^{-2}$ |
| Překryvná vrstva | netkaná PP textilie 200 $g.m^{-2}$ |
| Výztužná vrstva | PP plst 100 $g.m^{-2}$ |
| Těsnící materiál | Na-bentonit 4 500 $g.m^{-2}$ |
| Plošná hmotnost | 5 000 $g.m^{-2}$ |
| Tloušťka v suchém stavu | 8,0 mm |
| Pevnost v tahu podélně/příčně | 17 $kN.m^{-1}$/25 $kN.m^{-1}$ |
| Tažnost podélně/příčně | 22 %/85 % |
| Vnitřní pevnost ve smyku – tření<br>soudržnost | 40°<br>54 kPa |
| Součinitel propustnosti při zatížení 50 kPa | do $5.10^{-11}$ $m.s^{-1}$ |
| Rozměry role délka/šířka | 30 m/3,60 m |
| Hmotnost role | cca 450 kg |

Bentonitové výrobky s plastovou fólií. U bentonitových výrobků s plastovou fólií dochází ke kombinaci dvou vodotěsných materiálů, a to plastové fólie a bentonitu. Obvykle na fólii z polyetylenu (HDPE) je nanesena vrstvička bentonitu a celý výrobek, dodávaný v rolích, se pouze na místě rozvine obvykle tak, aby černá vrstva PE fólie směřovala proti předpokládanému působení vody, tj. většinou na vnější stranu konstrukce.

Pokud z nějakých důvodů má přijít bentonitová vrstva u desek na vnější stranu, podkládá se samostatnou polyetylenovou fólií tloušťky nejméně 0,15 mm. Spoje se opět vytvářejí pouhým přeložením (nejméně 80 mm) a chrání přelepením páskou aniž by bylo nutné nahřívání, natavování či nějaký mokrý proces. To umožňuje bez větších obtíží i izolační práce v chladném zimním období. Zabetonováním izolace dojde opět k aktivaci bentonitu a tak na těsnicím účinku se podílí jak nepropustná fólie, tak i vrstva bentonitu.

Některé firmy kombinují technologie kladení bentonitových rohoží k vytváření vodorovné hydroizolace s bentonity s PE folií používaných jako svislá izolace. Bentonitová rohož se při následném betonování základové desky propojí s betonem a odpadne tak volné rozlévání vody za izolací při případné lokální poruše. Dražší kombinace bentonitu a folie pak bude jen na svislých stěnách.

Bentonitové výrobky pro těsnění pracovních a dilatačních spár. Schopnost bobtnání ve vlhkém prostředí umožnila dnes velmi významné používání bentonitu jako těsnicí hmoty v pracovních a dilatačních spárách betonových konstrukcí. Jde o tzv. bobtnavé nebo rozpínavé pásky , které jsou vyrobeny z bentonitu (75 %) v kombinaci se želatinou nebo s butylkaučukem. Tyto pásky se vyrábějí v různých průřezových rozměrech (např. 10 x 15 mm nebo 20 x 25 mm), bývají v příčném řezu plné nebo duté s jedním až třemi podélnými kanálky.

Rozpínavé pásky se mechanicky upevňují do pracovní či dilatační spáry u vybetonované části konstrukce. Pokračující betonáží dojde k sevření pásku a jeho provlhčení. Bentonitová hmota začne bobtnat a dotěsní tak případnou netěsnou spáru. Aby nedošlo k odlomení okraje betonu musí být pásek umístěn nejméně 80 mm od hrany konstrukce. Případné podélné kanálky v pásku umožňují navíc dodatečné injektování této spáry.

Při porovnání hydroizolací z bentonitu s ostatními hydroizolačními materiály jsou zřejmé přednosti i nedostatky tohoto materiálového systému.

Výhody bentonitových výrobků :

- dlouhodobá, prakticky neomezená životnost,
- netoxický přírodní materiál,
- pokládka není závislá na teplotě okolí i konstrukce,
- schopnost kopírovat nerovnosti povrchu,
- mírné sedání konstrukce neovlivňující vodotěsnost,
- schopnost samostatného zacelení drobných poškození a vad,
- jednoduchá a rychlá instalace bez složitého vybavení,
- snadné řešení řady konstrukčních detailů.
- možnost kladení na hotovou konstrukci i na pažení (není pak nutná ochranná přizdívka)

Nevýhody bentonitových výrobků :

- nutné přitížení položené vrstvy (min 1,4 $kN.m^{-2}$),
- do přitížení nesmí přijít materiál do styku s vodou (pokud bentonit vlhkostí před přitížením expanduje, materiál je trvale znehodnocen,
- vyšší cena,
- větší tloušťka izolační vrstvy a tím možnost mírného sedání.
- možnost poškození při zahrnování nedostatečně chráněné svislé izolace,
- u proudící podzemní vody je nebezpečí postupného odplavování bentonitu tvořícího hydroizolační vrstvu (zvláště při betonáži základových desek dělených pracovními spárami). Při postupné betonáži jednotlivých segmentů je nutno vodorovnou hydroizolaci vytáhnout za čelo přes pracovní spáru. Tam pak izolace zůstává nějakou dobu odkrytá a vystavená účinkům srážkové či prosakující podzemní vody.

### 4.12.13 Stříkané hydroizolace

Snaha vytvořit hydroizolační systém co možná bez spojů, které jsou rizikovými místy každé hydroizolace, vedla k používání nástřiků různého složení a tloušťky, které vytvářejí spojitou bezesparou hydroizolační vrstvu. První zkušenosti byly získány na povlakových krytinách střech, v poslední době ale tyto izolační hmoty pronikají i do izolací mostů, spodní stavby i ražených tunelů.

Pro tyto účely se používají především:

hmoty na bázi akrylátů,

hmoty polyuretanové,

hmoty na bázi cementu a vinylacetátu..

Vlastnosti nastříkaného povlaku prvních dvou skupin jsou uvedeny v příslušných kapitolách. Novější materiály vytvořené na bázi cementu a esteru vinylacetátu vytvářejí hmotu dobře se spojující a snášející s betonovým podkladem i případně další nanášenou vrstvou betonu.

### 4.12.14 Přírodní linoleum

Původní linoleum pochází z roku 1860 kdy Walton při výrobě korkového podlahového pásu nahradil původní gutaperčové pojivo lacinějším lněným olejem a borovicovou kalafunou.

Právě lněný olej získávaný ze sušených zralých semen lnu setého (*Linum usitatissimum*) dal korkovému koberci nalepenému na jutovou podložku jméno (linoleum nebo lino).

Dlouhotrvající zasychání lněného pojiva omezovalo produktivitu výroby a linoleum bylo časem vytlačeno lacinějšími podlahovinami z PVC, kterým se běžně začalo říkat linoleum.

Skutečnost, že proti PVC podlahovinám se objevily hygienické a ekologické výhrady (kvůli obsahu ftalátových změkčovadel a obtížné recyklaci) vytvořila prostor pro renesanci původní výrobní technologie.

Korková drť byla zčásti nebo zcela nahrazena dřevěnou moučkou a jako část plniva je používán i mletý vápenec. Současným použitím ekologicky šetrných pigmentů se získávají různé barevné úpravy.

Podlahové pásy se dnes nejčastěji se vyrábějí v tloušťce 2 až 3,2 mm. Odhadovaná životnost se pohybuje okolo 50 - 70 let a díky přírodním látkám používaným na výrobu lze výrobek považovat za hygienicky i ekologicky vlídný.

K odlišení od „linolea“ z PVC se dnes zpravidla používá sousloví přírodní linoleum, je však pravděpodobné, že se jako obecné jméno prosadí původně obchodní název *marmoleum*.

# 5 ZKOUŠENÍ STAVEBNÍCH HMOT

Hodnocení stavebních materiálů bylo dlouho prováděno pouze kvalitativně a v podstatě subjektivně. Starověký stavebník vycházel především z místně dostupného materiálu se kterým měl zkušenosti. K jeho zpracování používal tradiční postupy předávané z generace na generaci.Vlastnosti zpracovávaného materiálu hodnotil většinou pouze smyslově a mnohdy spíše intuitivně.

S nástupem průmyslově vyráběných stavebních materiálů vyvstala potřeba objektivních a číselně vyjádřitelných jakostních parametrů. Objektivní materiálové údaje potřebují projektanti, stavitelé i uživatelé. Metody pro zkoušení materiálů proto prošly intenzivním rozvojem.

I když význam praktických zkušeností s chováním materiálů na stavbě a v hotovém stavebním díle nesmí být podceňován, je zřejmé, že dnes získáváme většinu poznatků o vlastnostech a kvalitě materiálů právě prostřednictvím zkušebních metod.

Snaha po vzájemné srovnatelnosti výsledků vedla ke vzniku národních normalizovaných zkušebních postupů, nyní často sjednocovaných na mezinárodní úrovni.

Prosazení některého národního zkušebního postupu na mezinárodní úrovni je (s ohledem na postoj ostatních účastníků) vcelku obtížné. Mezinárodní zkušební postupy proto jsou proto často koncipovány znovu. Pro nové mezinárodní normy pak je typické, že obsahují vyšší požadavky na přesnost a správnost měření než předcházející normy národní.

Spektrum zkoušených vlastností se zároveň rozšiřuje. Stále častěji jsou vyžadovány zkoušky dokladující zdravotní nezávadnost, snadnou údržbu a ekologickou přijatelnost. Na významu nabývají zkoušky dokladující životnost materiálů v různých podmínkách.

Další specifické zkoušky přibývají zároveň s tím jak se objevují nové materiály, které jsou často určené pro velmi speciální použití.

To všechno vede k tomu, že náklady na vybavení zkušebních laboratoří enormně vzrůstají.

Pokud mají prostředky vložené do vybavení zkušebních laboratoří přinášet

odpovídající prospěch, je nezbytné organizovat provoz v těchto laboratořích v souladu se zásadami označovanými jako správná laboratorní praxe.

Správná laboratorní praxe, aplikovaná při zkoušení stavebních hmot, představuje ucelený systém, zahrnující přesně stanovené požadavky na laboratorní prostředí, přesnost a správnost přístrojů, kvalifikaci pracovníků provádějících zkoušky a způsob odběru či výběru zkoušených vzorků.

V moderních podnicích je správná laboratorní praxe nedílnou součástí celkového systému řízení jakosti a doklady o jejím úspěšném zavedení se používají i při vytváření pozitivního image podniku.

Dodržování správné laboratorní praxe má zásadní význam i při vývoji nových stavebních hmot a při provádění vědeckých studií v oblasti materiálové inženýrství.

V případě akreditovaných laboratoří je dodržování správné laboratorní praxe kontrolováno orgány příslušného státního dozoru.

## 5.1 Právní zabezpečení požadavků na stavební výrobky

Technické požadavky na stavební výrobky vycházejí především ze:

- Stavebního zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu,
- zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky (včetně změn a doplnění některých zákonů, ve znění zákona č. 71/2000 Sb., zákona č. 102/2001 Sb., zákona č. 205/2002 Sb., zákona č. 226/2003 Sb., zákona č. 277/2003 Sb., zákona č. 186/2006 Sb., zákona č. 229/2006 Sb., zákona č. 481/2008 Sb., zákona č.281/2009 Sb., zákona č. 490/2009 Sb. a zákona č. 155/2010 Sb.),
- nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky (včetně změny ve znění nařízení vlády č. 312/2005 Sb.),
- nařízení vlády č. 190/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky s označením CE (včetně změn, ve znění nařízení vlády č. 251/2003 Sb. a zákona č. 128/2004 Sb.

.

Zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky, který nabyl účinnosti dnem 1. září 1997, vycházel z toho, aby právní úprava v oblasti technických norem a státního zkušebnictví byla přizpůsobena stavu ve státech Evropské unie v rozsahu požadavků kladených na přidružené členy EU, mezi které ČR v době vydání zákona patřila. Z hlediska obsahu uvedeného zákona byl od svého vydání do dnes změněn sedmkrát, a to z důvodu:

- uplatnění mezinárodní smlouvy, tj. Protokolu k Evropské dohodě o posuzování shody a akceptaci průmyslových výrobků (PECA), ke kterému došlo zákonem č. 71/2000 Sb.,
- obecné bezpečnosti výrobků, která byla upravena zákonem č. 102/2001 Sb., o obecné bezpečnosti výrobků,
- úpravy zákona pro podmínky členství České republiky v Evropské unii, která byla provedena zákonem č. 205/2002 Sb.,
- změny smlouvy PECA, spočívající ve zrušení dosavadního omezení uznávání výsledků posuzování shody pouze u výrobků, které mají původ na území smluvních stran, tj. v České republice a v členských státech Evropské unie (změna byla provedena zákonem č. 226/2003 Sb.).
- úprava zákona pro naplnění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/95/ES o všeobecné bezpečnosti výrobků byla provedena zákonem č. 277/2003 Sb.,
- vydáním nového stavebního zákona č. 183/2006 Sb. byly provedeny drobné změny, které jsou uvedeny v zákoně č. 186/2006 Sb. a zákoně č. 229/2006 Sb.

### 5.1.1 Stavební zákon č. 183/2006 Sb.

Stavební zákon v §156 Požadavky na stavbu říká, že pro stavbu mohou být navrženy a použity jen takové výrobky, materiály a konstrukce, jejichž vlastnosti z hlediska způsobilosti stavby pro navržený účel zaručují, že stavba při správném provedení a běžné údržbě po dobu předpokládané existence splní požadavky:

- na mechanickou odolnost a stabilitu,
- požární bezpečnost,
- hygienu, ochranu zdraví a životního prostředí,
- bezpečnost při udržování a užívání stavby včetně bezbariérového užívání stavby,
- ochranu proti hluku
- na úsporu energie a ochranu tepla.

Toto rozdělení vychází z prováděcí vyhlášky č. 137/1998 Sb. „starého“ Stavebního zákona č. 50/1976 Sb. a podrobněji o tom hovoří kapitola 5.1.3.1.

Dále zákon říká, že výrobky pro stavbu, které mají rozhodující význam pro výslednou kvalitu stavby a představují zvýšenou míru ohrožení oprávněných zájmů, jsou stanoveny a posuzovány podle zvláštních právních předpisů, kde zvláštními předpisy jsou myšleny zákony a nařízení vlády citované v této kapitola.

### 5.1.2 Zákon č. 22/1997 Sb.

Zákon o technických požadavcích na výrobky č. 22/1997 Sb. upravuje:

- způsob stanovování technických požadavků na výrobky, které by mohly ve zvýšené míře ohrozit zdraví nebo bezpečnost osob, majetek nebo životní prostředí, popřípadě jiný veřejný zájem (dále jen „oprávněný zájem“),
- práva a povinnosti osob, které uvádějí na trh nebo distribuují, popř. uvádějí do provozu výrobky, které by mohly ve zvýšené míře ohrozit oprávněný zájem,
- práva a povinnosti osob pověřených k činnostem podle tohoto zákona, které souvisí s tvorbou a uplatňováním českých technických norem nebo se státním zkušebnictvím,
- způsob zajištění informačních povinností souvisejících s tvorbou technických předpisů a technických norem, vyplývajících z mezinárodních smluv a požadavků práva Evropských společenství.

Zákon č. 22/1997 Sb. specifikuje řadu dále používaných pojmů a definuje i některé osoby, orgány nebo instituce.

Podle zákona především:

- pod pojem technické požadavky na výrobek spadá veškerá technická specifikace obsažená v právním předpisu, technickém dokumentu nebo technické normě, která stanoví požadované charakteristiky výrobku, jakými jsou úroveň jakosti, užitné vlastnosti, bezpečnost a rozměry, včetně požadavků na jeho název, pod kterým je prodáván, úpravu názvosloví, symbolů, zkoušení výrobku a zkušebních metod, požadavky na balení, označování výrobku nebo opatřování štítkem, postupy posuzování shody výrobku s právními předpisy nebo s technickými normami, výrobní metody a procesy mající vliv na charakteristiky výrobků,

- výrobcem je osoba, která vyrábí nebo i jen navrhla výrobek, a v případech stanovených nařízením vlády též osoba, která sestavuje, balí, zpracovává nebo označuje výrobek, za který odpovídá podle tohoto zákona a který hodlá uvést na trh pod svým jménem,

- dovozcem je ten, kdo uvede na trh výrobek z jiného než členského státu Evropské unie nebo uvedení takového výrobku na trh zprostředkuje,

- distributorem je ten, kdo v dodavatelském řetězci provádí následnou obchodní činnost po uvedení výrobku na trh,

- notifikovanou osobou je právnická osoba, která byla členským státem Evropské unie oznámena orgánům Evropského společenství a všem členským státům Evropské unie jako osoba pověřená členským státem Evropské unie k činnostem při posuzování shody výrobků s technickými požadavky.

#### 5.1.2.1 Technický předpis a technický dokument

Technický předpis je právní předpis, obsahující technické požadavky na výrobky, popřípadě pravidla pro služby nebo upravující povinnosti při uvádění výrobku na trh, popřípadě do provozu, při jeho používání nebo při poskytování nebo zřizování služby nebo zakazující výrobu, dovoz, prodej či používání určitého výrobku nebo používání, poskytování nebo zřizování služby.

Technickým dokumentem je pro účely plnění informačních povinností dokument, který obsahuje technické požadavky na výrobek a není technickým předpisem ani technickou normou a který by mohl vytvořit technickou překážku obchodu.

#### 5.1.2.2 České technické normy

Česká technická norma je dokument řádně schválený pro opakované nebo stálé použití a označený písmenným označením ČSN, jehož vydání bylo oznámeno ve Věstníku Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). Česká technická norma není obecně závazná.

ÚNMZ oznamuje ve Věstníku ÚNMZ harmonizovaní české technické normy, stanovení normy jako určené normy a změny nebo zrušení norem. V oznámení je též uveden technický předpis, k němuž se tyto normy vztahují.

Tvorbu a vydávání českých technických norem, jejich změny a zrušení zaručuje stát. České technické normy nebo jejich části vydané na jakémkoliv nosiči smějí být rozmnožovány a rozšiřovány jen se souhlasem pověřené právnické osoby nebo za podmínek stanovených zákonem.

#### 5.1.2.2.1 Harmonizované české technické normy

Česká technická norma se stává harmonizovanou českou technickou normou, přejímá-li plně požadavky stanovené evropskou normou nebo harmonizačním dokumentem, které uznaly orgány Evropského společenství jako harmonizovanou evropskou normu, nebo evropskou normou, která byla jako harmonizovaná evropská norma stanovena v souladu s právem Evropských společenství společnou dohodou notifikovaných osob.

#### 5.1.2.2.2 Určené normy

Pro specifikaci technických požadavků na výrobky, vyplývajících z nařízení vlády nebo jiného příslušného technického předpisu, může ÚNMZ určit české technické normy, další technické normy nebo technické dokumenty mezinárodních popřípadě zahraničních organizací, nebo jiné technické dokumenty obsahující podrobnější technické požadavky, tj. určené normy.

### 5.1.2.3 Státní zkušebnictví

Státní zkušebnictví je soubor činností uskutečňovaných ÚNMZ a osobami pověřenými podle zákona, jejichž cílem je zabezpečit u výrobků stanovených zákonem posouzení jejich shody s technickými požadavky stanovenými nařízeními vlády (např. nařízením vlády č. 163/2002 Sb.).

### 5.1.2.4 Autorizace a autorizované osoby

Autorizací se rozumí pověření právnické osoby k činnostem při posuzování shody výrobků zahrnujícím i posuzování činností souvisejících s jejich výrobou, popřípadě s jejich opakovaným použitím, a vymezených v technických předpisech.

Autorizaci pro činnost podle tohoto zákona uděluje ve vymezeném rozsahu ÚNMZ rozhodnutím na základě žádosti. Autorizované osoby se oznámením podle příslušných ustanovení zákona stávají notifikovanými osobami.

Autorizované osoby zajišťují činnosti v rozsahu vymezeném v rozhodnutí o autorizaci a v rozsahu stanoveném nařízeními vlády (např. č. 163/2002 Sb. a č. 190/2002 Sb. v platném znění) a vydávají na základě technických zjištění certifikáty nebo jiné dokumenty, jejichž platnost mohou omezit, popřípadě pozastavit a poskytovat kopie certifikátů nebo jiných dokumentů včetně souvisejících dokladů a informace o vydání, odmítnutí nebo zrušení certifikátů.

### 5.1.2.5 Certifikace

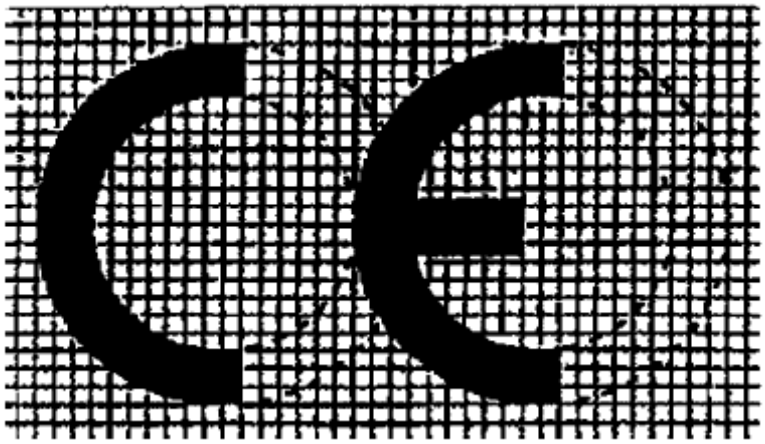
Certifikace je činnost autorizované osoby, prováděná v rozsahu vymezeném technickým předpisem, nebo k tomu akreditované osoby, prováděná na žádost výrobce, dovozce nebo jiné osoby, při níž se vydáním certifikátu osvědčí, že výrobek nebo činnosti související s jeho výrobou, popřípadě s jeho opakovaným použitím jsou v souladu s technickými požadavky v certifikátu uvedenými.

### 5.1.2.6 Stanovené výrobky

Mohou výrobci nebo dovozci uvést na trh nebo, stanoví-li tak nařízení vlády, mohou být tyto výrobky uvedeny do provozu jen tehdy, splňují-li stanovené technické požadavky.

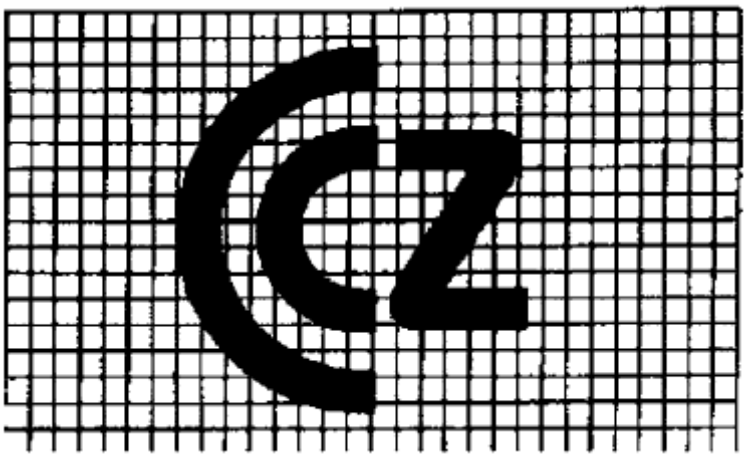
Stanovený výrobek, má-li být uveden na trh, popřípadě do provozu, musí nebo může být v rozsahu a za podmínek stanovených nařízením vlády opatřen stanoveným označením .

Označení CE na stanoveném výrobku vyjadřuje, že výrobek splňuje technické požadavky stanovené ve všech nařízeních vlády, které se na něj vztahují a které toto označení stanovují nebo umožňují, a že byl při posouzení jeho shody dodržen stanovený postup. Pokud je stanovený výrobek opatřen označením CE, nesmí být souběžně označen českou značkou shody CCZ.



Obr. 5.1 Grafická podoba označení CE (nařízení vlády č. 291/2000 Sb.)

Českou značku shody, kterou tvoří písmena CCZ, lze použít pouze u výrobků, na něž se nevztahují předpisy Evropských společenství. Tato značka vyjadřuje, že výrobek splňuje technické požadavky stanovené ve všech nařízeních vlády, které se na něj vztahují a které toto označení stanovují nebo umožňují, a že byl při posouzení jeho shody dodržen stanovený postup.



Obr. 5.2 Grafická podoba české značky shody CCZ (nařízení vlády č. 179/1997 Sb.)

#### 5.1.2.7 Akreditace a osvědčení o akreditaci

Akreditace je postup zahájený na žádost právnické osoby nebo fyzické osoby, která je podnikatelem, na jehož základě se vydává osvědčení o tom, že tato osoba je způsobilá ve vymezeném rozsahu provádět zkoušky výrobků, kalibraci měřidel a certifikační nebo jinou obdobnou technickou činnost.

Osvědčení o akreditaci vydá na základě žádosti akreditující osoba právnické osobě nebo fyzické osobě. Osvědčení je vydáno, pokud žadatel splňuje všechna akreditační pravidla. Osvědčení o akreditaci vymezuje předmět, rozsah a podmínky těchto činností a dobu, na kterou bylo vydáno.

Vydaná osvědčení se zveřejňují ve Věstníku ÚNMZ.

### 5.1.3 Nařízení vlády č. 163/2002 Sb.

Nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým jsou stanoveny technické požadavky na vybrané stavební výrobky, navazuje na zákon č. 22/1997 Sb. a konkretizuje některá jeho ustanovení právě v souvislosti se stanovenými stavebními výrobky.

Některé pojmy uváděné v nařízení vlády č. 163/2002 Sb.:

- stavebním výrobkem je každý výrobek určený výrobcem nebo dovozcem pro trvalé zabudování do staveb, pokud jeho vlastnosti mohou ovlivnit alespoň jeden ze základních požadavků na stavby (viz odstavec 2.1), kdy trvalým zabudováním výrobku do stavby je takové zabudování, při kterém se vyjmutím nebo výměnou výrobku trvale mění vlastnosti stavby, přičemž vyjmutí nebo výměna výrobku jsou stavebními nebo montážními činnostmi,

- určeným použitím výrobku je použití určené výrobcem nebo dovozcem, které se vztahuje k úloze, kterou má výrobek při plnění základních požadavků na stavby,

- systémem řízení výroby je stálé vnitřní řízení výroby prováděné výrobcem v místě výroby, v jehož rámci musí být všechny údaje, požadavky a opatření systematicky dokumentovány formou písemných postupů a instrukcí; dokumentace musí zajistit jednoznačné vymezení zabezpečení výroby v dané oblasti a umožnit dosažení a udržení požadovaných vlastností výrobků a účinnosti prověřovaného systému řízení výroby, v němž je příslušný výrobek zhotovován.

### 5.1.3.1 Základní požadavky na stavební výrobky

Základní požadavky na stavební výrobky lze odvodit ze základních požadavků na stavby. Výrobky použité při stavbě musí umožnit, aby stavby (i jejich části) byly vhodné k určenému použití a zároveň plnily níže uvedené základní požadavky na stavby.

U staveb je požadována:

- mechanická odolnost a stabilita, což znamená, že stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby zatížení, která na ni budou pravděpodobně působit v průběhu stavění a užívání, neměla za následek: zřícení celé stavby nebo její části, větší stupeň nepřípustného přetvoření, poškození jiných částí stavby nebo technických zařízení nebo instalovaného vybavení následkem deformace nosné konstrukce, poškození událostí v rozsahu neúměrném původní příčině),

- požární bezpečnost, což znamená, že stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby v případě požáru: byla po určitou dobu zachována nosnost a stabilita konstrukce, byl omezen vznik a šíření požáru a kouře ve stavebním objektu, bylo omezeno šíření požáru na sousední objekty, mohly osoby a zvířata opustit stavbu nebo být zachráněny jiným způsobem, byla brána v úvahu bezpečnost záchranných jednotek,

- hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí**,** což znamená, že stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby neohrožovala hygienu nebo zdraví jejích uživatelů nebo sousedů, především v důsledku: uvolňování toxických plynů, přítomnosti nebezpečných částic nebo plynů v ovzduší, emise nebezpečného záření, znečistění nebo zamoření vody nebo půdy, nedostatečného zneškodňování odpadních vod, kouře a tuhých nebo kapalných odpadů, výskytu vlhkosti v částech stavby nebo na površích uvnitř stavby,

- bezpečnost při užívání**,** což znamená, že stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby při jejím užívání nebo provozu nevznikalo nepřijatelné nebezpečí úrazu, například uklouznutím, smykem, pádem, nárazem, popálením, zásahem elektrickým proudem a zraněním výbuchem,
- ochrana proti hluku**,** což znamená, že stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby hluk vnímaný obyvateli nebo osobami poblíž stavby byl udržován na úrovni, která neohrozí jejich zdraví a dovolí jim spát, odpočívat a pracovat v uspokojivých podmínkách,

- úspora energie a ochrana tepla, což znamená, že stavba a její zařízení pro vytápění, chlazení a větrání musí být navrženy a postaveny takovým způsobem, aby spotřeba energie při provozu byla nízká s ohledem na klimatické podmínky místa a požadavky uživatelů.

Tyto požadavky musí být při běžné údržbě plněny po dobu ekonomicky přiměřené životnosti stavby, za předpokladu působení běžně předvídatelných vlivů.

### 5.1.3.2 Požadavky na stanovené výrobky

Stanovené výrobky jsou výrobky, které představují zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu a u kterých proto musí být posouzena shoda.

Technické požadavky na stanovené výrobky jsou požadavky, které musí tyto výrobky splňovat, aby mohly být uvedeny na trh, popřípadě do provozu, a změny souvisejících ustanovení vyhlášek (technických předpisů) vydaných ministerstvy a jinými ústředními správními úřady, pokud by vznikl rozpor s nařízeními vlády.

Skupiny stanovených stavebních výrobků jsou výrobky:

- pro betonové a železobetonové části staveb,
- pro zděné stavby,
- ze dřeva a dřevěné konstrukce,
- pro kovové konstrukce,
- ochranné, tepelně a zvukově izolační materiály a výrobky, hydroizolační, materiály, střešní krytiny a lepidla,
- ze skla,
- pro kanalizační systémy a rozvody kapalin a plynů,
- pro otvorové výplně,
- zvláštní materiály, výrobky, konstrukce a zařízení,
- pro technická zařízení staveb,
- pro vnitřní a vnější povrchové úpravy stěn, stropů, podlah,
- pro hygienická zařízení a ostatní speciální výrobky.

### 5.1.3.3 Stavební technické osvědčení

V případě, že výrobce nebo dovozce hodlá uvést na trh výrobek, jehož vlastnosti nejsou v souladu s určenými normami, nebo pokud takové normy nebo technické předpisy nekonkretizují z hlediska určeného použití výrobku ve stavbě základní požadavky, které se na dané výrobky vztahují, zajistí výrobce nebo dovozce technická zjištění vlastností výrobku autorizovanou osobou.

Na základě technických zjištění vydává autorizovaná osoba výrobci, dovozci nebo sdružení výrobců nebo dovozců stavební technické osvědčení, kterým osvědčuje vhodnost technických vlastností výrobků ve vztahu k základním požadavkům na stavby podle toho, jakou úlohu mají výrobky ve stavbě plnit.

Výrobce nebo dovozce provádí nebo zajišťuje u výrobků posuzování shody jejich vlastností se základními požadavky postupem posouzení shody vyznačeným u jednotlivých výrobků.

### 5.1.3.4 Způsoby posuzování shody stanovených výrobků

Pro jednotlivé výrobky ze skupiny stanovených výrobků, v závislosti na jejich technické složitosti a míře možného nebezpečí spojeného s jejich užíváním, jsou stanoveny postupy posuzování shody. Novela NV 312/2005 Sb. sladila postup posuzování schody tak, aby více odpovídaly postupům podle směrnice Rady 89/106/EHS a NV 190/2002 Sb.

Jednotlivými postupy posuzování shody jsou zejména:

- posouzení shody za stanovených podmínek výrobcem nebo dovozcem,
- posouzení shody vzorku (prototypu) výrobku autorizovanou osobou,
- posouzení shody, při níž autorizovaná osoba zkouší specifické vlastnosti výrobků a namátkově kontroluje dodržení stanovených požadavků u výrobků,
- posouzení systému jakosti výroby nebo prvků systému jakosti v podniku autorizovanou osobou a provádění dohledu nad jeho řádným fungováním,
- posouzení systému jakosti výrobků nebo prvků systému jakosti v podniku autorizovanou osobou a provádění dohledu nad jeho řádným fungováním,
- ověřování shody výrobků s certifikovaným typem výrobku nebo se stanovenými požadavky, které provádí výrobce, dovozce, akreditovaná nebo autorizovaná osoba na každém výrobku nebo statisticky vybraném vzorku,
- ověřování shody každého výrobku se stanovenými požadavky autorizovanou osobou.

#### 5.1.3.4.1 Prohlášení o shodě

Prohlášení o shodě je písemný dokument obsahující základní informace o výrobku. Vypracovává jej výrobce nebo dovozce v českém jazyce a obsahuje tyto náležitosti:

- identifikační údaje o výrobci nebo dovozci, který prohlášení o shodě vydává (jméno a příjmení, trvalý pobyt, místo podnikání a identifikační číslo fyzické osoby, nebo název, popřípadě obchodní firmu, sídlo a identifikační číslo právnické osoby),
- identifikační údaje o výrobku (například název, typ, značka, popis provedení), u dovážených výrobků též jméno a adresu výrobce a místo výroby,
- popis a určení výrobku (výrobcem, popřípadě dovozcem určený účel použití ve stavbě),
- údaj o použitém způsobu posouzení shody; identifikační údaje dokladů o zkouškách a posouzení shody,

- odkaz na určené normy, technické předpisy nebo stavební technické osvědčení, které byly použity při posouzení shody,
- údaje o autorizované osobě, pokud vydala stavební technické osvědčení nebo se podílela na posuzování shody, údaje o této osobě (název, popřípadě obchodní firmu, sídlo, identifikační číslo autorizované osoby) a evidenční číslo a datum vydání jejího nálezu (stavebního technického osvědčení, zkušebního protokolu, zprávy, popřípadě certifikátu) o předmětném výrobku nebo o posouzení systému řízení výroby,
- potvrzení výrobce nebo dovozce o tom, že vlastnosti výrobku splňují základní požadavky podle tohoto nařízení, popřípadě požadavky jiných technických předpisů, že výrobek je za podmínek obvyklého, popřípadě výrobcem nebo dovozcem určeného použití bezpečný a že přijal opatření, kterými zabezpečuje shodu všech výrobků uváděných na trh s technickou dokumentací a se základními požadavky,
- datum a místo vydání prohlášení o shodě; jméno a funkce odpovědné osoby výrobce nebo dovozce a její podpis.

### 5.1.4 Nařízení vlády č. 190/2002 Sb.

Nařízením vlády č. 190/2002 Sb. se v souladu s právem Evropských společenství stanoví technické požadavky na stavební výrobky, které mají být uváděny na trh s označením CE.

Toto nařízení se vztahuje na stavební výrobky, pokud požadavky pro ně jsou stanoveny:

- harmonizovanými českými technickými normami nebo zahraničními technickými normami přejímajícími v členských státech Evropské unie harmonizovanou evropskou normu,
- evropskými technickými schváleními,
- určenými normami vztahujícími se k tomuto nařízení.

#### 5.1.4.1 Evropské technické schválení

Evropským technickým schválením je dokument vydaný autorizovanou osobou pověřenou, který vyjadřuje kladné technické posouzení vlastností výrobku, přičemž tato autorizovaná osoba posuzuje vhodnost výrobku k výrobcem určenému použití ve stavbě s ohledem na základní požadavky na stavby.

Výrobce může požádat o vydání evropského technického schválení pro výrobek:

- pro který nebyla vydána harmonizovaná norma ani určena norma ani nebylo vydáno pověření Komise pro zpracování harmonizované normy, nebo u kterého Komise rozhodla, že harmonizovaná norma nebude pro tento výrobek zpracována,
- který se podstatně odchyluje od harmonizovaných nebo určených norem.

Doba platnosti evropského technického schválení je časově omezena, zpravidla na dobu 5 let; tato doba může být prodloužena. Vydání evropského technického schválení oznamuje Úřad ve Věstníku.

### 5.1.4.2 Označení výrobku CE

Označení CE na stanoveném výrobku vyjadřuje, že výrobek splňuje technické požadavky stanovené ve všech právních předpisech, které se na něj vztahují a které toto označení stanovují nebo umožňují, a že byl při posouzení jeho shody dodržen stanovený postup. Jestliže však jeden nebo několik právních předpisů po přechodnou dobu připouští, aby výrobce zvolil, kterými ustanoveními se bude řídit, pak označení CE vyjadřuje shodu pouze s těmi právními předpisy nebo jejich ustanoveními, které výrobce použil. V tomto případě musí být v dokumentaci, upozorněních nebo návodech, požadovaných dotyčnými právními předpisy a přiložených k příslušným výrobkům, uvedeny údaje o právních předpisech nebo jejich ustanoveních, které výrobce použil.

## 5.2 Správná laboratorní praxe

Správná laboratorní praxe vyžaduje, aby ve zkušební laboratoři samostatně pracovali pouze pracovníci s náležitou kvalifikací, tedy pracovníci ovládající příslušné zkušební postupy a příslušné bezpečnostní instrukce.

Zároveň je nezbytné, aby celková organizace laboratorního provozu zajišťovala pečlivé a nestranné provádění jednotlivých zkoušek, jednoznačnou identifikaci všech zkoušených vzorků a spolehlivou dokumentaci všech provedených prací včetně získaných výsledků.

### 5.2.1 Laboratorní prostředí

K provádění jakéhokoliv měření je potřebná bližší charakteristika prostředí, jehož působení je zkoušený vzorek vystaven. K popisu prostředí se zpravidla používá složení, tlak a teplota, což se v případě stavebních materiálů vystavených působení běžné atmosféry většinou redukuje na stanovení vlhkosti a teploty vzduchu.

Zkušební postup musí zaručit co nejpřesnější stanovení vlastností výrobku. To není jednoduché, protože průběh a výsledek zkoušky je ovlivňován řadou různých vlivů, mezi nimi hlavně vlivy prostředí (teplota, vlhkost a tlak vzduchu), které nemůžeme vyloučit.

Z těchto důvodů je ve zkušebních předpisech stanovena teplota a vlhkost vzduchu, teplota zkoušených vzorků, případně i teplota zkušebních kapalin, tlak vzduchu apod.

Jde-li o zkoušky v normálním prostředí**,** je požadována teplota vzduchu 20 ± 5 °C, není-li stanoveno jinak. V případech, kdy má teplota značný vliv na průběh zkoušky, je tolerance menší (viz např. zkoušky cementu).

Relativní vlhkost vzduchu má být v normálním prostředí 55 až 80 %, v suchém prostředí 30 ± 3 % a ve vlhkém prostředí 95 ± 5 %.

V případě, kdy se má zkouškou prokázat vliv prostředí na určitou vlastnost, je třeba při zkoušce co nejvěrněji napodobit podmínky, kterým má být materiál nebo výrobek ve skutečnosti vystaven.

### 5.2.2 Úprava a skladování vzorků

Vzorek je určité množství materiálu, odebrané pro zkoušky z hodnoceného celku (hodnocené části výroby, dodávky) nebo speciálně vyrobeného pro ověření (pro průkazní, studijní, prototypové zkoušky ap.). V případě výrobků (např. kusových staviv) se jako vzorek označuje vybraná sada těchto výrobků.

Odebraný vzorek se před vlastní zkouškou příslušné vlastnosti často upravuje, např. promícháním, dělením, sušením, zhotovením zkušebních těles.

Odběr zkušebního vzorku a jeho úprava může značně ovlivnit výsledek zkoušky. Proto se musí při odběru i při úpravě vzorku postupovat v souladu s pokyny, které jsou součástí zkušebního předpisu. Pokud takové pokyny zkušební předpis neobsahuje, musí být předem dohodnuty a zaznamenány ve zkušebním plánu.

Odběr vzorku nesmí být ovlivněn lidským činitelem, tj. pracovníkem provádějícím odběr. Nejjednodušší je odběr kapalin z nádrže, jejíž obsah lze před odběrem dokonale promíchat. V ostatních případech musíme brát ohled na možnou nehomogenitu souboru, z něhož odebíráme vzorek.

U kapalin ve velkých nepromíchávaných zásobnících je rozdíl mezi kapalinou u hladiny a v níže položených vrstvách a tato skutečnost se musí při odebírání vzorků zohlednit. I při odběru z potrubí může složení kolísat v závislosti na době odběru.

U kusových výrobků může být odběr ovlivněn přístupností nebo vnějším vzhledem výrobku. Proto se doporučuje odebírat vzorky v pořadí stanoveném náhodnými čísly (obvykle se k tomuto účelu používá tabulka náhodných čísel, která je součástí příslušné normy). U velkých a těžkých dílců je vhodné výběr organizovat tak, aby nebylo nutno výrobky zbytečně přemisťovat. Nejlepší je v plánu kontrol počítat s odběrem předem určených dílců přímo z výrobní linky.

Složitější je odběr vzorku zrnitých nebo sypkých materiálů, jejichž vlastnosti jsou závislé na místě odběru a okamžitém čase dodávky. U těchto materiálů dochází prakticky vždy k větší či menší separaci zrn podle jejich velikosti, tvaru a složení.

Při statickém odběru (z hromady nebo zásobníku) rozhoduje o distribuci zrn zejména hloubka od povrchu ve vertikálním i horizontálním směru. Přitom je zřejmé, že odběr hlubších vrstev je často dosti obtížný a průměrný (charakteristický) vzorek se těžko získává.

Při dynamickém odběru (z dopravníku nebo potrubí) je složení vzorku výrazně ovlivněno délkou časového intervalu odběru a směrem odběru vůči základnímu směru pohybu materiálu.

Proto se u sypkých materiálů vždy odebírá vzorek podstatně větší hmotnosti, než je potřeba pro vlastní zkoušky. Z tohoto hrubého vzorku se pak připravuje zmenšený průměrný vzorek. Způsob zmenšení vzorku musí zajistit stejnou pravděpodobnost rozložení zrn ve zmenšené části, jako byla v hrubém vzorku. Pro zmenšování se mohou používat automaticky pracující děliče, nejrozšířenějším způsobem je však stále postupné zmenšování kuželovitě nasypané hromady vzorku (kvartování).



Obr.5.3 Zmenšování vzorku sypkých materiálů kvartováním

U odebraných vzorků je nutno zabezpečit jejich dokonalé označení tak, aby byla jednoznačně zřejmá vazba mezi původem vzorku, jeho odběrem a výsledky zkoušek na něm provedených.

Označení zabraňuje záměně výsledků a zajišťuje možnost chronologického sledování vývoje vlastností. Proto je výhodné označení, které kromě dohodnuté značky (písmenné nebo číselné) rovnou obsahuje i datum odběru vzorku, popř. i datum výroby.

Označení se uvede pokud možno přímo na zkušebním vzorku. Někdy lze použít i dobře držící štítek nebo připojenou visačku. Není-li to možné, označí se obal vzorku a dovnitř obalu se ještě vloží druhopis označení. U zkušebních těles vyrobených z malty nebo betonu se dříve značka vyryla do vrchní zatuhlé plochy. Dnes se k označování většinou používají nesmytelné, vodou ředitelné nátěrové hmoty (nejčastěji akrylátové barvy).

V akreditovaných laboratořích musí být vedena přísná evidence všech vzorků formou zápisu o přijetí vzorku a eviduje se i osud vzorku po provedené zkoušce (likvidace vzorku, vrácení zákazníkovi).

Celkové množství odebraného vzorku musí být takové, aby bylo zabezpečeno potřebné množství pro provedení všech požadovaných zkoušek, popř. ještě část zůstala jako rezervní vzorek pro případ nutnosti opakovat některou zkoušku.

Úprava zkušebních vzorků pro zkoušku závisí na druhu zkoušeného materiálu nebo výrobku a na zkoušené vlastnosti. Ke zkouškám fyzikálních vlastností se vzorek upravuje sušením nebo naopak nasycením vodou. Při sušení se musí dbát toho, aby teplotou nedošlo k poškození vzorku. Nízká je teplotní odolnost např. plastů a asfaltů.

Pro některé zkoušky je nutno upravit zrnitost sypkých látek nebo pevné látky rozdrtit a rozemlít na prášek. K některým látkám je nutno přidat stabilizující přísady. Výrazné úpravy obvykle vyžadují vzorky určené pro chemickou analýzu.

K úpravě zkušebních vzorků je třeba počítat i výrobu zkušebních těles a úpravu kusových výrobků pro zkoušky pevnosti a dalších vlastností.

Zkušební tělesa se často zhotovují obráběním, tj. přímým opracováním na předepsaný tvar a rozměry. Zhotovují se řezáním, broušením, soustružením nebo vyvrtáním ze vzorku materiálu, např. vyřezáním krychlí nebo hranolků z hornin, ze dřeva, z plastů, vyříznutím a osoustružením zkušebních tyčí z kovů, plastů nebo ze dřeva apod. Speciálním případem jsou zkušební válce získané jádrovými vývrty hornin nebo betonu vrtací soupravou s diamantovým trubkovým vrtákem průměru 50 až 150 mm.

Při výrobě zkušebních těles obráběním je třeba u anizotropních a ortotropních materiálů orientovat správně těleso s ohledem na strukturu materiálu (např. u dřeva nebo vyztužených plastů ve směru vláken nebo kolmo na vlákna).

U tvarově hotových výrobků, jakými jsou např. cihly, cihelné bloky, tvárnice se obráběním pouze upravují zkušební plochy. Pro zkoušky pevnosti se totiž musí zajistit rovinnost tlačných ploch (spodní i horní), což se provádí broušením. Další možností úpravy těchto ploch je koncování, které spočívá v nanesení tenké vrstvy jemné cementové malty vyšší pevnosti. Místo cementové malty se používá také zalití roztavenou sirnou směsí. Koncování se musí také provést u zkušebních válců získaných jádrovými vývrty a betonových zkušebních válců vyrobených ve formách.

V případě malt a betonů zhotovujeme zkušební tělesa ve formách tvaru krychlí, hranolů, trámečků, trámců a válců. Vzorkem malty nebo betonu se plní formy a po ztvrdnutí se získají zkušební tělesa. Během výroby a po odstranění formy se až do doby zkoušky tato zkušební tělesa ošetřují předepsaným způsobem.

Ošetřováním tělesa rozumíme podmínky, za jakých je uchováváno. Může být předepsáno uložení tělesa ve vodní lázni, ve vlhkém prostředí, v prostředí normální teploty, při nízké nebo naopak zvýšené teplotě nebo v prostředí stavby.

I při výrobě těles ve formách je nutno dbát na to, aby zkušební tělesa měla předepsané rozměry s přípustnými tolerancemi rozměrů, kolmosti stěn a hran a rovinnosti ploch. Přípustné tolerance zkušebních těles kladou značné nároky na tuhost a přesnost rozměrů používaných forem.

### 5.2.3 Měření základních veličin

Základem práce v každé laboratoři, zaměřené na zkoumání či hodnocení stavebních materiálů, je zjišťování hmotnosti a rozměrových charakteristik zkoušených vzorků. K základním stanovením se dále počítá měření času, které je nezbytné k popisu vzorků (stáří vzorku) či k popisu určitého sledovaného děje (doba tuhnutí). Základním měřením ve stavební laboratoři je i měření charakteristik prostředí, zejména teploty a vlhkosti vzduchu. Na základní měření pak navazují stanovení dalších fyzikálních či fyzikálně-chemických veličin. K nejvýznamnějším navazujícím zkouškám patří zkoušky mechanických vlastností.

#### 5.2.3.1 Měření délek

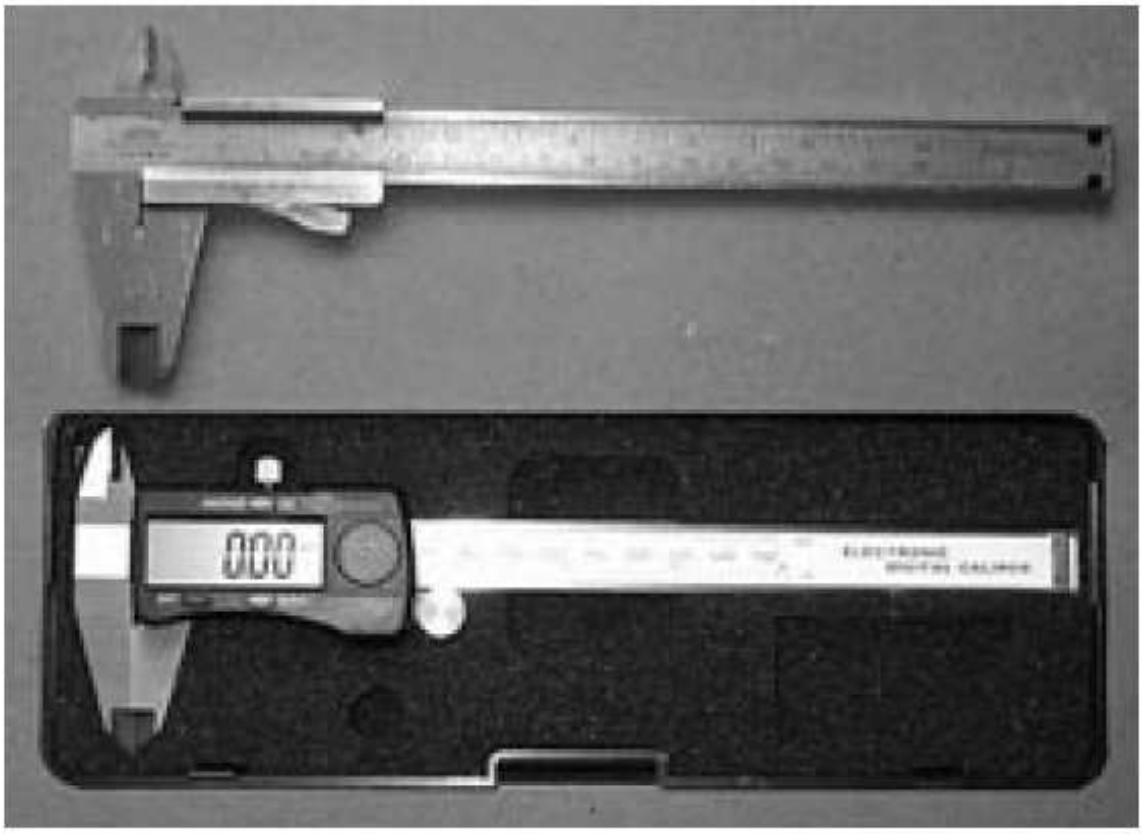
Stanovení rozměrů zkušebních vzorků pomáhá charakterizovat vzorek a je nezbytnou součástí téměř všech postupů zjišťujících další fyzikální vlastnosti vzorků.

Při měření rozměrů větších vzorků většinou vystačíme s ocelovým měřítkem nebo ocelovým svinovacím pásmem. Pro přesnější měření drobnějších vzorků používáme různá měřidla, např. posuvná kontaktní měřidla nebo měřidla s mikrometrickým šroubem.

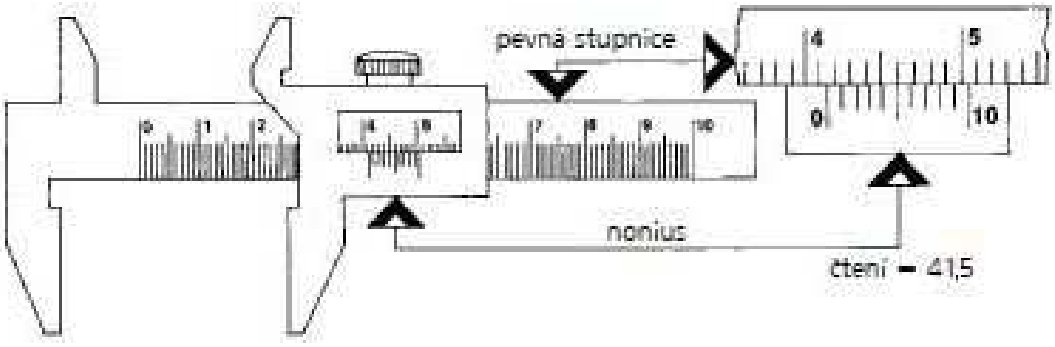
Klasická posuvná kontaktní měřidla (slangově zvaná šupléry) jsou pro přesnější měření vybavena desetinným noniem (pomocnou stupnicí umožňující odečet desetin milimetru), moderní typy mají digitální display.

Každé měřidlo s noniem má dvě stupnice – stupnici hlavní a stupnici noniovou. Na desetinném noniu odpovídá deseti dílkům hlavní stupnice devět dílků nonia. Čteme tak, že proti nule stupnice nonia odečteme celé dílky stupnice hlavní (na obrázku 41 mm) a pak zjistíme, kolikátá ryska stupnice nonia se kryje s některou ryskou stupnice hlavní a k předchozí přečtené hodnotě přidáme právě tolik desetin. V obrázku jde o pátou rysku, proto výsledné čtení bude 41,5 mm.

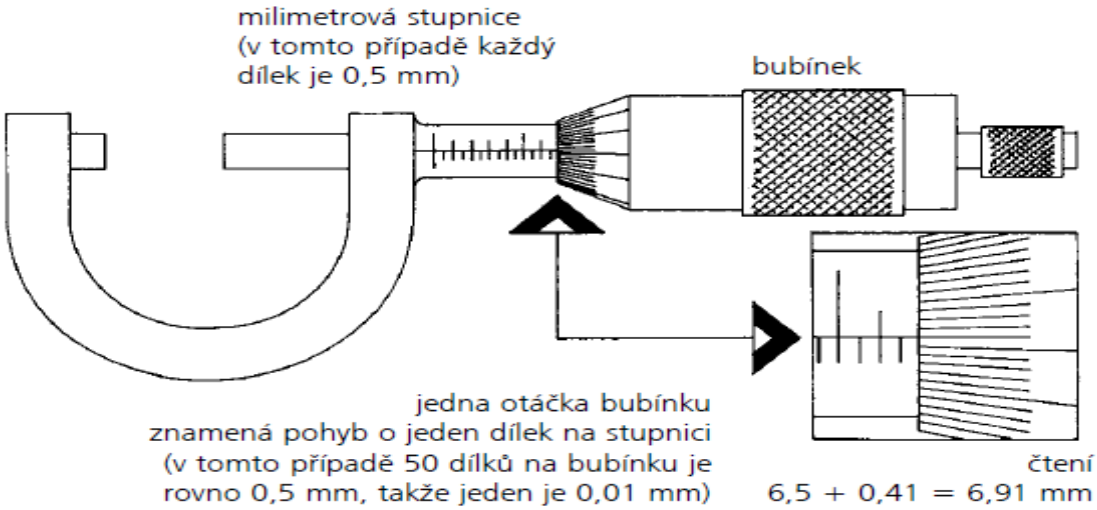
Na přístrojích s mikrometrickým šroubech (mikrometrech) můžeme odečítat i další desetinná místa.



Obr. 5.4 Posuvné měřítko s noniem a digitální




Obr. 5.5 Práce s noniem




Obr. 5.6 Mikrometr

Rozměry drobných částic, typických pro zrnité materiály, se mohou určovat pomocí kontrolních sít. U velmi drobných částic se uplatňují mikroskopické a sedimentační metody.

Pro rozhodčí zkoušky nebo pro zkoušky prováděné akreditovanými zkušebnami se musí používat cejchovaná délková měřidla, jejichž přesnost a správnost je dokladována osvědčením. Stav těchto měřidel se periodicky posuzuje ověřováním v předepsaných lhůtách.

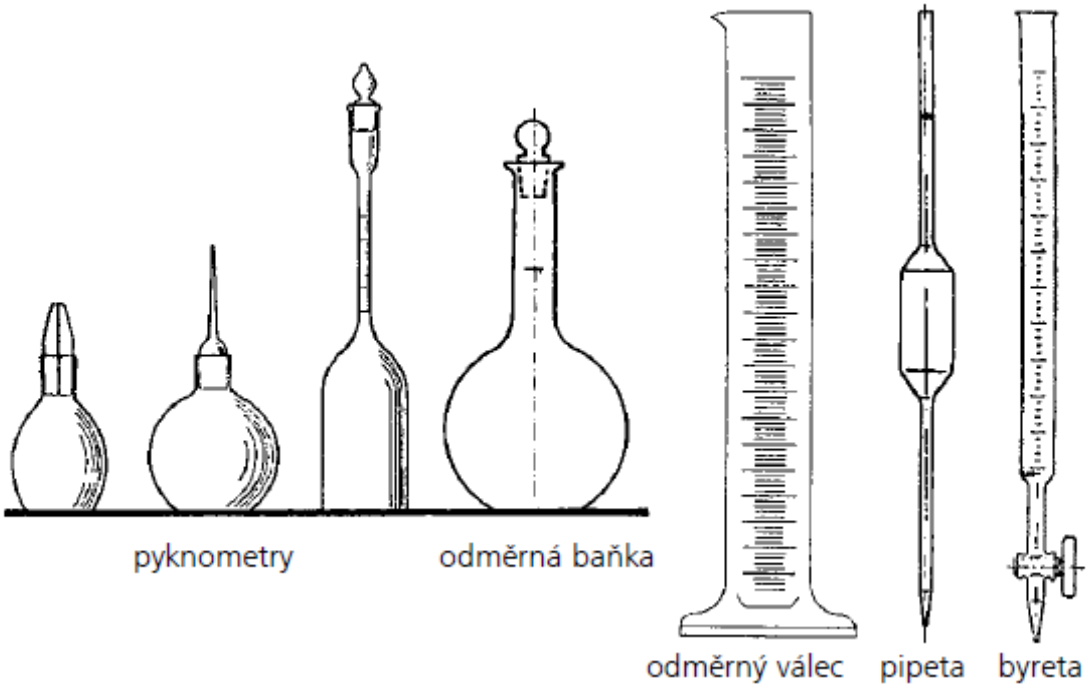
Plátěná pásma a skládací metry jsou měřidla, která nelze osvědčit a jsou proto vhodná jen pro orientační zjišťování délek. Neměla by být používána tam, kde z délkových údajů vypočítáváme nějaké další fyzikální vlastnosti.

### 5.2.3.2 Měření objemů

U geometricky pravidelných vzorků (např. hranolu, válce, krychle) se objem dá vypočítat ze změřených délkových rozměrů. Tento způsob se používá např. při určení objemu cementových trámečků. Základní rozměr těchto trámečků je 160 x 40 x 40 mm. Pokud se při změření každého rozměru dopustíme jen jednomilimetrové nepřesnosti, činí výsledná chyba objemu skoro 6 % (0,625 %+2,5 %+2,5 %). Měření rozměrů zkušebních trámečků se proto provádí pomocí posuvného kontaktního měřidla.

Objemy nepravidelných vzorků pevných látek se zjišťují nejlépe nepřímo ponořením do nějaké kapaliny a následným měřením vytlačeného objemu (buď přímým měřením, nebo nepřímo vážením).

K odměřování kapalin se pro běžnou práci v laboratoři používají odměrné válce. Při odečítání výšky hladiny čteme u kapalin s kapilární elevací vždy proti dolní části vytvořeného menisku (zaoblení hladiny u stěn). Přesnost odečtu objemu nalitého v odměrném válci je asi 1 %. K odměřování přesnějších množství kapalin slouží odměrné baňky, pipety či byrety. Umožňují odměření objemu na 0,1 %.




*Obr. 5.7 Nádoby k odměřování kapalin*

Odměrné baňky obsahují udaný objem při naplnění po rysku jen tehdy, odpovídá-li teplota kapaliny udané teplotě, obvykle 20 ℃.

K jednorázovému odměření předem známého menšího množství jsou vhodnější pipety, k postupnému dávkování proměnných malých množství jsou nejvhodnější byrety.

Přesné pipety jsou kalibrovány na vylití, tj. počítá se s množstvím kapaliny zadrženým v ústí pipety působením kapilárních sil a tyto pipety se nevyfukují. To platí i tehdy, je-li pipeta opatřena balónkem nebo pístovým nástavcem umožňujícím hygienické a bezpečné nasávání agresivních kapalin. Výjimku z tohoto pravidla tvoří pístové pipety s výměnnými špičkami, které jsou konstrukčně uzpůsobeny k vypuzení přesného množství kapaliny stiskem pístu.

### 5.2.3.3 Vážení

Zjišťování hmotnosti (vážení) je považováno za přístrojově i metodicky nejlépe propracovaný zkušební postup.

Při zkoušení stavebních materiálů se setkáváme s řadou různých typů a druhů vah. Volba vah závisí na množství vážené látky a požadované přesnosti. Obvykle postačí váhy, jimiž dosáhneme přesnosti 1 až 5 % navážky. Jedním ze základních údajů o vahách je jejich citlivost. Ta je dána nejmenším množstvím látky, které lze na vahách zjistit. U vah s ručičkovým ukazatelem je to velikost jednoho dílu stupnice.

Klasické mechanické váhy s vahadlem se zpravidla dělí podle váživosti na váhy analytické, předvážky, váhy obchodní (technické) a průmyslové váhy. Mohou být jednomiskové nebo dvoumiskové (se závažím).

Váhy analytické jsou určeny k vážení s desetinomiligramovou citlivostí (1 dílek stupnice představuje $10^{-4}$ g). Množství navažované látky na analytických vahách obvykle nesmí překročit 200 g. Uplatňují se hlavně při chemických rozborech.

Předvážky se konstruují s citlivostí desetiny nebo setiny gramu. Váživost (maximální navážka) klasických předvážek bývá 200 g nebo 1000 g.

Váhy obchodní (sklonné) mívají stupnici s dělením po 2 g nebo 5 g a jejich váživost se pohybuje od 5 kg do 25 kg.

Průmyslové váhy slouží k vážení vzorků materiálů desítky kilogramů těžkých.

Zavedením digitálních vah toto dělení zčásti ztrácí smysl, protože tyto váhy umožňují podstatně vyšší váživost při nezměněné citlivosti. Jejich konstrukce je navíc robustní a váhy nejsou tak choulostivé na obsluhu jako váhy klasické. Nevýhodou je vysoká cena těchto zařízení.

Pro běžné laboratorní práce vystačí technické laboratorní váhy s citlivostí 0,01 g. Ty mohou být buď klasické kyvné (dvoumiskové), nebo moderní s jednou miskou a digitálním údajem o zjištěné hmotnosti. Pro chemické rozbory a některé přesné postupy (např. zjišťování hustoty) jsou potřeba váhy s citlivostí 0,0001 g.

Před vlastním vážením je třeba zkontrolovat ustavení vah. Podle vestavěné libely srovnáme desku vah do vodorovné polohy pomocí stavěcích šroubů. U mechanických vah s vahadlem musí váhy rovnoměrně kývat a ustalovat se na nulové výchylce. Na klasické váhy klademe váženou látku a závaží vždy v aretované poloze, aby prudkým rozkýváním nedošlo k vypadnutí vahadla z čepů a poškození vah. Digitální váhy se zpravidla nearetují.

Při vážení malých množství nesypeme látku přímo na misky vah, ale používáme tzv. váženek, což jsou otevřené podlouhlé misky umožňující snadné odsypání vzorku.

V laboratořích se při navažování často užívá diferenční vážení. Navažování je postup, při němž chceme navážit určité množství látky, aniž nám jde předem o přesnou velikost navážky. Aby se vyloučily chyby, které nastávají ulpíváním částeček vzorku na vážence, násypce, miskách apod., postupuje se dvojím vážením.

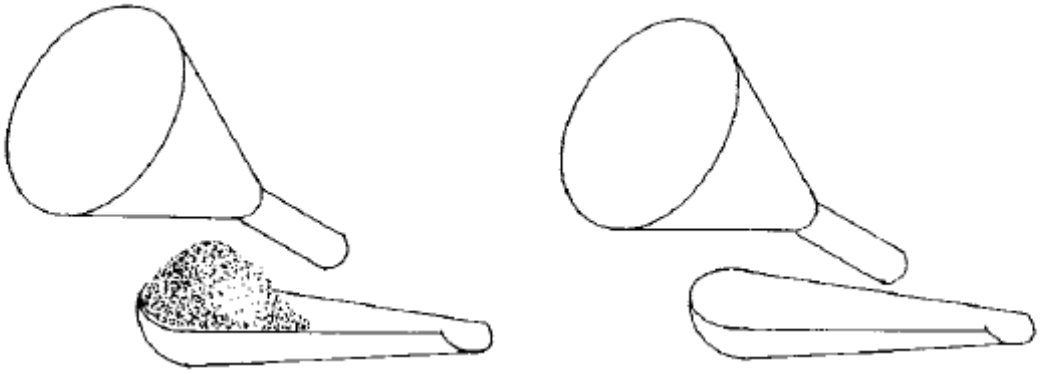
Při prvním zvážíme váženku (lodičku) s nasypaným odhadnutým množstvím látky ($m_2$). Potom odsypeme potřebné množství vzorku ke zkoušce a znovu zvážíme váženku (lodičku) s případně zbylým množstvím látky ($m_1$).

Rozdíl obou hmotností:

$(m = m_2 - m_1)$

je skutečná hmotnost vzorku použitá ke zkoušce.

Pokud odsypáváme vzorek násypkou, je nutné i tuto násypku vzít do obou vážení. Obdobně se pracuje i při navažování kapalin.



Obr.5.7 Metoda diferenčního vážení

### 5.2.3.4 Měření času

Měření času dnes nezpůsobuje zvláštní problémy. Pro většinu běžných měření mají náramkové digitální hodinky se stopkami vyhovující přesnost. Největší chyby se stejně dopouštíme reakční prodlevou při jejich odečítání.

Řada stanovení je časově vázána na úseky, které se počítají ve dnech nebo týdnech (zrání cementových tělísek). Je proto nezbytně nutným pracovním návykem vést řádnou datovou evidenci a datem (respektive i časem) zhotovení označovat i skladované vzorky.

### 5.2.3.5 Měření teploty

Některá měření vyžadují dodržení standardních podmínek při provádění. Mezi tyto podmínky patří i určitá teplota v místnosti. Jiná měření jsou na odečítání teploty bezprostředně výsledkově závislá (výpočet součinitele tepelné vodivosti). Běžné teploměry nejsou dostatečně spolehlivé a je třeba používat cejchované laboratorní teploměry. Přesný odečet teploty umožňují digitální teploměry, měly by však být rovněž cejchovány.

### 5.2.3.6 Měření vlhkosti

Určitá vlhkost je požadována při provádění některých zkoušek a zejména při skladování vzorků. Vlasové ručičkové vlhkoměry jsou krajně nespolehlivé, protože při příliš velkém vyschnutí svazku vlasů, který v nich představuje měřicí element, ukazují špatně. Vlasový vlhkoměr, který není pravidelně ukládán do vysoce vlhkého prostředí (noční regenerace) takto vyschne skoro vždy.

K přesnému zjištění vzdušné vlhkosti je možné použít psychrometr, který umožňuje zjistit vlhkost na základě teplotních údajů, získaných současným odečtem na vlhkém a suchém teploměru. Dnes se ale stále častěji setkáváme s elektrickými automatickými přístroji (digitálními hygrometry), jejichž přesnost je pro účely materiálového zkušebnictví dostatečná.



*Obr. 5.8* Digitální hygrometr kombinovaný s teploměrem

Digitální hygrometry jsou navíc často provedeny jako datalogery, umožňující dlouhodobé sledování vlhkosti a pravidelné ukládání naměřených hodnot.

### 5.2.4 Chyby měření

Každé, i to nejjednodušší stanovení je vždy prováděno s určitou nepřesností, naměřená hodnota se od skutečné hodnoty poněkud liší. Tato odchylka se nazývá chyba měření.

Chyba měření je zákonitý jev a prakticky není možné realizovat zcela bezchybné měření. Je však často možné vhodnými opatřeními snížit chybu (zvýšit přesnost) měření.

Na tomto místě je vhodné si uvědomit, že zvýšení přesnosti měření zpravidla znamená i zvýšení nákladů na měření, a je proto nutné přistupovat k otázce přesnosti měření jako k otázce optimální přesnosti měření. Schopnost spokojit se s právě postačující přesností výsledku je známkou vyspělého ducha.

Konstrukce přístroje, pracovní návyky obsluhy i měřicí metoda sama o sobě jsou zdrojem nepřesností, označovaných jako chyby soustavné. Kromě toho se při každém měření zpravidla uplatňují i chyby náhodné, které jsou výsledkem malých nepravidelných odchylek v momentální podobě zkoušeného vzorku nebo v momentálních podmínkách zkušebního postupu. Třetí skupinu chyb představují chyby hrubé, což jsou obvykle ojedinělé větší chyby, které vznikají nedopatřením, nedbalostí nebo omylem.

Vliv náhodných chyb se snažíme zmenšit opakovaným prováděním měřením. Tyto chyby jsou zcela nepravidelné. Protože jsou se stejnou pravděpodobností jak kladné tak záporné, dochází při výpočtu průměrné hodnoty měření do značné míry k jejich eliminaci. Dalším statistickým ošetřením souboru výsledků můžeme v mnoha případech najít a vyloučit případně vzniklou hrubou chybu.

Chyby soustavné musíme vhodnou volbu přístroje nebo metody minimalizovat. Jejich soustavnost nedovoluje eliminaci statistickým zpracováním.

Mezi jednotlivými druhy chyb není ostrá hranice. Drobné chyby obsluhy mohou mít charakter chyb náhodných a náhodná odchylka vzorku může naopak způsobit značnou hrubou chybu. Všechny chyby se podílejí na ovlivňování výsledku (ve svém účinku se mohou posilovat, nebo se naopak navzájem kompenzují).

Výsledná celková chyba, která je dána rozdílem mezi nalezenou hodnotou a skutečnou hodnotou se označuje jako absolutní chyba ($\delta_{abs}$):

$$\delta_{abs} = \mu - x_1$$

kde $\mu$ je skutečná hodnota

x je hodnota naměřená.

Absolutní chyba může být kladná nebo záporná. V praxi se někdy uvádí v kladné podobě bez ohledu na původní znaménko (správně by se mělo uvádět, že jde o absolutní hodnotu absolutní chyby).

Pro posuzování spolehlivosti výsledku zpravidla používáme podíl absolutní chyby k hodnotě skutečné, jemuž říkáme relativní chyba ($\delta_{rel}$):

$$\delta_{rel} = \frac{\delta_{abs}}{\mu}$$

Ve skutečnosti samozřejmě neznáme skutečnou hodnotu a pro výpočet ji musíme nahrazovat odhadem. Takovým odhadem může být nalezená hodnota (x) nebo lépe průměr z několika nalezených hodnot, získaných opakovaným měřením.

Maximální relativní chyba měření se u závazných zkušebních postupů často předepisuje. Přípustné chybě je pak třeba přizpůsobit citlivost použitých měřicích zařízení a celý postup měření.

V praxi sice nemůžeme znát přesnou hodnotu chyby prováděného měření, nicméně jako vodítko nám obvykle může posloužit třída přesnosti příslušného měřidla. Udává v procentech mezní relativní chybu z právě měřené hodnoty (mezní chyba indikace).

Protože hodnoty menší než jeden dílek můžeme pouze odhadovat, musíme při posuzování chyby měření zohledňovat i citlivost měřidla (hodnotu nejmenšího vyznačeného dílku stupnice). Pro každé měření je proto třeba volit měřidlo s dostatečnou citlivostí.

K zjištění, jak se chyby jednotlivých operací (dílčích měřených veličin) promítají do chyby veličiny výsledné, se využívá obecná teorie chyb. S její pomocí lze dokázat, že při součtu (nebo rozdílu) dílčích měření se sčítají absolutní chyby těchto měření.

Pokud ve vzorci vystupuje součin nebo podíl dvou měření, sčítají se jejich relativní chyby.

V obou případech se sčítají chyby včetně znaménka, může tedy docházet i k zmenšení celkové chyby. Při odhadu, jakou chybou může být zatížen výsledek získaný z dílčích měření, se uvažuje nejméně příznivá varianta (stejné znaménko všech dílčích chyb). Při mocnění a odmocňování se relativní chyba násobí exponentem.

Vyšší přesnosti výsledku můžeme dosáhnout několikerým opakováním stanovení a použitím aritmetického průměru z těchto stanovení jako výsledku. Výslednou chybu stanovení v tomto případě odhadujeme na základě statistického zpracování souboru výsledků.

Nesmíme nicméně zapomenout, že statistické zpracování sice umožňuje odhad velikosti náhodných chyb a mnohdy upozorní na chybu hrubou, v žádném případě však nevypovídá o přítomnosti a velikosti chyb soustavných. Měření tedy může být přesné a přitom nesprávné.

U normových stanovení je počet platných míst výsledku často předepsán, včetně způsobu zaokrouhlování a případného statistického zpracování.

Současně s tím, jak jsou zaváděny do našeho zkušebnictví evropské normy, setkáváme se stále častěji s opakovatelností a reprodukovatelností výsledku.

Je třeba zdůraznit, že opakovatelnost je vlastností metody, nikoliv výsledku. Vyjadřuje schopnost metody poskytnout stejný výsledek při opakování zkoušky zcela stejným způsobem (stejná metoda, stejný přístroj, stejná obsluha, stejné místo).

Reprodukovatelnost pak zahrnuje i funkční shodnost dvou různých přístrojů a schopnost dvou laboratoří vytvořit stejné zkušební podmínky (stejná metoda, dva přístroje, jiná obsluha a místo).

### 5.2.5 Akreditovaná laboratoř

Akreditovaná zkušební laboratoř pro zkoušení stavebních materiálů a výrobků musí být tak vybavena a provozována, aby byla způsobilá provádět příslušné zkoušky. Musí mít kvalifikovaný odborný personál a musí být vybavena veškerým zařízením potřebným pro správné provádění zkoušek a měření podle požadavku zkušebních předpisů.

Akreditací se rozumí oficiální uznání odborné způsobilosti a nezávislosti na výrobě, obchodu a spotřebě, které získává laboratoř na národní nebo evropské mezinárodní úrovni. Akreditaci vydává národní akreditační orgán na základě prověření laboratoře podle akreditačních kritérií.

Akreditační kriteria jsou u nás dána převzatou evropskou normou ČSN EN ISO/IEC 17025. Národním akreditačním orgánem je od 1.1.1993 Český institut pro akreditaci (ČIA).

Zda musí být zkoušky provedeny akreditovanou laboratoří nebo zda je může provést laboratoř neakreditovaná, závisí na požadavku objednatele zkoušky. Při zadání státním orgánem (např. ministerstvem dopravy pro stavby železniční dráhy, dálnic, silnic a mostů) se požadují akreditované laboratoře. Stejně tak zkoušky pro povinnou certifikaci výrobku vždy musí provádět akreditované laboratoře.

Účelem akreditace (slovo akreditace pochází z latinského accredere - dávati víru) je vytvořit a udržet důvěru všech zákazníků v činnost laboratoře při zkoušení vlastností výrobků v regulované i v neregulované oblasti při prokazování shody. Samozřejmě, že stejnou důvěru musí získat především i samotné akreditační orgány. Proto musí být objektivní, neutrální a musí podléhat kontrole z hlediska veřejně stanovených a vyhlášených kritérií.

Proces akreditace se skládá z následujících částí:

- posouzení dokumentace,
- posuzování akreditačních kritérií na místě v laboratoři posuzovací komisí,
- rozhodnutí o akreditaci na základě dílčích zpráv odborných posuzovatelů, a souhrnné zprávy a vydání osvědčení o akreditaci.

K osvědčení o akreditaci se vydává příloha, ve které jsou uvedeny zkoušky, které může laboratoř provádět jako akreditované.

Osvědčení o akreditaci se vydává na omezenou dobu 3 let, poté je nutná nová akreditace (reakreditace) s platností na 5 let.

Součástí akreditačního procesu je dále i pravidelné roční prověřování. Provádí se pravidelná dozorová návštěva subjektu (PDN), během období mezi dvěma akreditacemi.

Jestliže se při pravidelných dozorech zjistí, že laboratoř neplní nebo neprokáže schopnost trvalého plnění některého závažného akreditačního kritéria nebo že neodstranila zjištěné neshody, ČIA mu osvědčení o akreditaci pozastaví nebo zruší.

Akreditační orgán účtuje za akreditaci poplatek, jehož výše je závislá pouze na rozsahu provedené práce dané počtem zkoušek a počtem pracovníků v laboratoři. Skládá se z registračního poplatku, úhrady práce posuzovatelů a z ročních poplatků za provádění dozoru.

V současné době se celková cena za první akreditaci pohybuje zhruba od 100 000 do 300 000 Kč.

Zajištění způsobilosti a správné činnosti akreditovaných laboratoří je dáno zavedením systému jakosti laboratoře shrnutým v dokumentu zvaném příručka jakosti.

Akreditovaná zkušební laboratoř musí mít technického vedoucího, který má plnou odpovědnost za technickou činnost a dostatek pracovníků, kteří mají potřebné vzdělání, kvalifikaci, technické znalosti a zkušenosti pro plnění svých funkcí.

Pracovníci nesmějí být finančně závislí na výsledku zkoušek a musí být vyloučeny všechny vnější vlivy (komerční,finanční aj.) na jejich technický úsudek. Výcvik pracovníků má být periodický a průběžně aktualizovaný.

Prostory, ve kterých se ukládají zkušební vzorky a provádějí zkoušky nesmí znehodnocovat jejich výsledek. To se týká především teploty a vlhkosti a musí být monitorovány, a to nejlépe registračně.

Tam, kde výsledek zkoušky je citlivý na vliv teploty nebo vlhkosti, např. při zkouškách cementů, betonů nebo při měření délkových a objemových změn, je nejvhodnější prostory vybavit klimatizací.

Podmínky pro vstup cizích osob u akreditovaných laboratoří musí být stanoveny a zabezpečeno, aby zkouškám mohl být přítomen zástupce objednatele zkoušky.

Jiným cizím osobám nesmí být přítomnost u průběhu a vyhodnocení zkoušky dovolena.

Laboratoř musí být vybavena veškerým zařízením potřebným pro správné provádění zkoušek a měření podle požadavku zkušebních předpisů a toto zařízení musí být řádně udržováno a podle potřeby kalibrováno před uvedením do provozu a dále v předepsaných intervalech.

Každé zařízení, které bylo poškozeno nesprávným zacházením, přetížením a podobně, nebo dává pochybné výsledky, popř. kalibrací nebo jinak se prokázala jeho vadnost, musí být odstaveno a zřetelně označeno až do doby provedení opravy a nové kalibrace.

Zkušební zařízení a měřidla musí být evidována s důkazy o zabezpečení jejich správné funkce a návaznosti měření na státní a mezinárodní etalony (metrologický řád, evidenční karty zkušebních zařízení, kalibrační listy, plán údržby).

Zkoušky a měření se provádějí podle zkušebních postupů a metod předepsaných českými, mezinárodními nebo zahraničními normami. Není-li zkušební postup normalizován, musí si zkušebna vypracovat vlastní interní zkušební předpis (IZP) pro provádění zkoušky a plně ho dokumentovat.

Zkušební vzorky, které pracovníci laboratoře sami odeberou nebo které objednatel zkoušky do laboratoře dodá, musí být řádně zaevidovány a označeny, aby nemohlo dojít k jejich záměně, nevznikly pochybnosti o jejich původu a o výsledcích zkoušek.

V případě, že laboratoř provádí zkoušky pro zákazníka, např. pro certifikaci výrobku, musí zabezpečit anonymitu vzorků vůči ostatním zákazníkům. To se zabezpečí např. tím, že přijatý vzorek se označí číslem, pod kterým je evidován v protokolu o jeho převzetí a v knize vzorků.

Během dopravy, skladování, přípravy ke zkoušce a při jiné manipulaci nesmí dojít k poškození nebo znehodnocení vzorků, např. vlivem teploty, vlhkosti, znečištěním, korozí nebo zatížením, které by mohlo vést ke znehodnocení výsledků.

O odběru a převzetí vzorku se sepíše záznam. Před zkouškou je třeba provést úpravu zkušebních vzorků, která závisí od druhu zkoušeného materiálu nebo výrobku a na zkoušené vlastnosti.

Záznamy o výsledku zkoušek (prvotní záznamy), které zpracuje pracovník provádějící zkoušku do zkušebního deníku nebo do vytištěného formuláře, musí obsahovat všechny informace o naměřených hodnotách jednotlivých veličin a další údaje, které budou potřebné pro provedení výpočtů a vypracování závěrečného protokolu.

Forma záznamu musí znemožnit dodatečné úpravy výsledků zpracovatelem protokolu, usnadnit případnou kontrolu nebo umožnit, aby bylo možno zkoušku v případě pochybnosti opakovat. Záznamy musí obsahovat jména osob, které odebíraly vzorek, připravovaly a prováděly zkoušku.

U složitějších zkoušek s větším počtem měřených veličin, např. při zatěžovacích zkouškách dílců a konstrukcí, se často používá automatizovaných systémů snímání dat a jejich zpracování počítačem. V tomto případě musí být zabezpečena samokontrola počítačového programu proti chybám.

O výsledcích zkoušek musí být vydán číslovaný protokol, ve kterém se přesně a jasně uvedou veškeré podstatné informace o zkoušce a její jednoznačné výsledky. Protokol musí být zpracován pečlivě, jasně a přehledně. Po jeho vydání se opravy a doplňky mohou vydat jen ve formě nového protokolu s názvem "Dodatek k protokolu o zkoušce č. ……".

Protokol akreditované zkušební laboratoře se vydává s odkazem na akreditaci (s akreditační značkou laboratoře), pokud obsahuje výsledek alespoň jedné akreditované zkoušky. Jinak nesmí tento odkaz obsahovat.

V případě provádění zkoušek v rámci vnitřní kontroly výrobce ve vlastní laboratoři, mohou být jak prvotní záznamy, tak i výsledky zkoušek, zaznamenávány chronologicky v deníku zkoušek nebo v počítačovém záznamu.

Všechny záznamy a protokoly o zkouškách musí být bezpečně uloženy a archivovány po dobu nejméně 5 let a musí být zajištěno jejich utajení v zájmu důvěry zákazníka.

### 5.2.5.1 Stanovení shody a neshody

Pro činnost akreditované laboratoře je typické, že výsledek měření slouží k posouzení shody či neshody s předepsanou hodnotou. Protože rozhodnutí o shodě či neshodě má závažné důsledky je důležité toto rozhodnutí činit po zohlednění pečlivě stanovené nejistoty výsledku měření.

Nejistota měření je odhad přiřazený k výsledku měření, charakterizující interval hodnot o němž je možno tvrdit, že uvnitř něho leží správná hodnota. Protože interval nejistoty je odhadem pro danou spolehlivost (konfidenci), správná hodnota v něm leží jen s určitou pravděpodobností.

Základem pro určování nejistot je statistický přístup, který popisuje jak se mohou naměřené hodnoty veličiny odchylovat od její skutečné hodnoty s předpokladem určitého rozdělení pravděpodobnosti. Základní charakteristikou nejistoty je standardní nejistota *u,* která se dělí na standardní nejistoty typu A a B.

Standardní nejistota typu A $u_A$ je způsobována náhodnými vlivy a stanoví se statistickým zpracováním opakovaného měření stejného předmětu za stejných podmínek. Standardní nejistota typu A je rovna směrodatné odchylce aritmetického průměru všech výsledků měření. Její hodnota se zmenšuje se zvětšujícím se počtem opakovaných měření.

Standardní nejistoty typu B $u_B$ jsou způsobovány odhadnutelnými systematickými (nenáhodnými) vlivy a jsou určovány rovněž statistickým přístupem z předem stanovených možných zdrojů nejistot. Výsledná nejistota typu B je dána spojením jednotlivých složek nejistot z každého kroku postupu měření. Výsledná standardní nejistota typu B je dána druhou odmocninou součtu kvadrátů nejistot typu B od jednotlivých zdrojů pokud jsou vzájemně nezávislé.

Pro každou měřenou veličinu je nutno nejprve na základě zkušeností a odborných znalostí stanovit nebo alespoň odhadnout zdroje systematických chyb (složky nejistot), určit jejich velikosti a případně určit, zda je nutné je uvažovat, nebo zda jsou zanedbatelné. Přitom je možno zanedbat složky, které jsou menší než 20 % složky největší. Zanedbají se i ty složky, které při dodržení podmínek zkušebního předpisu nemají na výsledek zkoušky podstatný vliv.

Zdroje (složky) nejistot mohou být např.:

nepřesnosti měřidel, měřicích přístrojů a zkušebních strojů (kalibrační nejistota),

chyba čtení odhadem mezi dílky stupnice a omezená rozlišitelnost údajů u analogových měřících přístrojů,

nedostatečná znalost vlivu podmínek měřících nebo zkušebních (např. vliv teploty, vlhkosti),

vlivy lidského činitele (např. nepřesnost dodržení předepsaného postupu, nepřesnost uložení tělesa do zkušebního stroje, nepřesnost osazení měřidla),

nesprávný odběr vzorku a tvar zkušebních těles (např. vliv nerovnosti povrchu a rovnoběžnosti tlačné plochy se základnou zkušebního tělesa),

nesprávná definice výstupní veličiny nepřímého měření.

Kombinovaná standardní nejistota *u* je výsledná nejistota stanovená z obou typů nejistot A a B. Udává interval hodnot, ve kterém s poměrně velkou pravděpodobností leží správná hodnota měřené veličiny.

Protože nejistoty typu A a B se určují na základě stejného statistického přístupu, je možno kvadrát kombinované standardní nejistoty $u^2$ získat složením kvadrátů standardní nejistoty typu A a standardní nejistoty typu B.

Standardní nejistota se uvádí v jednotkách měřené veličiny jako absolutní standardní nejistota nebo v % jako relativní standardní nejistota vztažená k průměrné hodnotě měřené veličiny.

Rozšířená nejistota *U* udává interval, ve kterém se může vyskytovat skutečná hodnota se zvýšenou pravděpodobnosti (se snížením rizika dosaženého výsledku). Rozšíření tohoto intervalu se získá vynásobením kombinované standardní nejistoty součinitelem krytí (rozšíření) *k*. Hodnota součinitele krytí se volí podle konfidence intervalu od 2,0 do 3,0.

Nejčastěji je k = 2,0 odpovídající konfidenci (pravděpodobnosti) 95 %.

Rozšířená nejistota je pak $U_{(k = 2,0)} = 2\,u$ .

Zápis výsledku měření

Výsledek měření se uvádí ve tvaru $Y = y \pm U_{(k = 2,0)}$ ,

kde *y* je naměřená hodnota a $U_{(k = 2,0)}$ je hodnota rozšířené kombinované nejistoty.

V obou případech je možno aplikovat běžná pravidla pro zaokrouhlování.

Výsledná hodnota nejistoty se zaokrouhlí na dvě platné číslice a hodnota měřené veličiny se zaokrouhlí tak, aby poslední desetinné místo odpovídalo poslednímu desetinnému místu nejistoty.

Pokud se získá například výsledek 123,456 jednotek a z vyhodnocení vyplyne nejistota 2,27 jednotek, použití dvou platných desetinných míst jsou zaokrouhlené hodnoty výsledku 123,5 jednotek ± 2,3 jednotky.

Zaokrouhlení se provádí běžným způsobem, ale pokud by došlo zaokrouhlením ke snížení hodnoty nejistoty více než o 5 %, musí se zaokrouhlit nahoru.

Výše uvedené zásady jsou demonstrovány na jednoduchém stanovení délky stavebního prvku, jehož délkový nominální rozměr 6000 mm má předepsanou přípustnou horní mez 6040 mm, dolní mez 5980 mm, tj. vyhovující rozměr musí ležet uvnitř těchto mezí.

Jestliže pro měření délek takovýchto prvků má laboratoř má stanovenou rozšířenou nejistotu měření $U_{(k=2,0)}$ = 22 mm pak mohou nastat kupříkladu následující případy.

a/ Změřená hodnota 6000 mm , tj. výsledek měření 6000 $\pm$ 22 mm

horní mez 6000+22 = 6022 $<$ 6040 mm - rozměr vyhovuje

dolní mez 6000-22 = 5978 $<$ 5980 mm - rozměr nevyhovuje.

Výsledek posouzení NESHODA.

b/ Změřená hodnota 6008 mm , tj. výsledek měření 6008 $\pm$ 22 mm

horní mez 6008+22 = 6030 $<$ 6040 mm - rozměr vyhovuje

dolní mez 6008-22 = 5986 $>$ 5980 mm - rozměr vyhovuje.

Výsledek posouzení SHODA.

c/ Změřená hodnota 6024 mm , tj. výsledek měření 6024 $\pm$ 22 mm

horní mez 6024+22 = 6046 $>$ 6040 mm - rozměr nevyhovuje

dolní mez 6024-22 = 6002 $>$ 5980 mm - rozměr vyhovuje.

Výsledek posouzení NESHODA.

Z uvedených možných výsledků měření a/ a c/ vyplývá, že i když změřená hodnota se rovná přesně nominální hodnotě nebo leží uvnitř daných mezí, s ohledem na nejistotu měření předmět kontroly (výrobek) nevyhovuje.

## 5.3 Zkoušení betonu

Beton je stavební hmotou, jejíž vlastnosti v čerstvém i ztvrdlém stavu jsou ovlivněny celou řadou nezávisle proměnných faktorů, vyplývajících z vlastností a koncentrace složek v jeho skladbě, z nahodilosti vztahů a procesů v technologii jeho výroby a zpracování, i podmínek jeho ošetřování.

Návrh skladby betonu vychází nejčastěji ze specifikace požadavků na jeho vlastnosti – viz *kap. 4.6.1.2*, které musí beton splňovat, nebo ze specifikace požadovaného složení betonu, pro které se musí vlastnosti betonu ověřovat. K tomuto účelu byl zaveden soubor zkušebních postupů jak pro čerstvý beton, tak i pro ztvrdlý beton.

Návrh skladby (receptury) betonu musí být nejprve ověřen tzv. průkazní zkouškou, a to ještě před zahájením výroby betonu pro konkrétní účel použití (stavbu). Zkouškou se prokazuje, že beton vyhoví všem požadavkům na čerstvý i ztvrdlý beton pro specifikovaný účel použití, při zohlednění stupně vlivu prostředí, technologických požadavků na dopravu a při provádění betonové konstrukce v určitých klimatických podmínkách. Základní metodiku a rozsah činností při provádění průkazní zkoušky upravuje Příloha A ČSN EN 206-1.

V průběhu výroby betonu je výrobce povinen dle ČSN EN 206-1 provádět v dostatečné četnosti vlastní kontrolní činnost jako součást řízení výroby betonu včetně kontroly shody betonu s jeho specifikací. Odběratel betonu musí na staveništi prokazovat identitu dodaného betonu s betonem, který byl u výrobce ověřen jako vyhovující charakteristické třídě pevnosti (postup a četnost podrobně upravuje Příloha B ČSN EN 206-1).

Ve všech případech požadovaného prokazování vlastností betonu a jeho shody s požadavky specifikace betonu se postupuje dle dále uvedených zkušebních metodik.

### 5.3.1 Zkoušky čerstvého betonu

Zkouškami čerstvého betonu se ověřuje buď vhodnost návrhu jeho skladby pro daný účel použití v konstrukci, pro předepsaný způsob ukládání a hutnění, i pro jeho dopravu na staveniště, nebo se u betonu předepsaného složení kontroluje dodržení výrobního postupu, zejména dávka vody (stanovení vodního součinitele dle ČSN 73 1314).

Zpracovatelnost čerstvého betonu se stanovuje zkouškami konzistence dle metodik ČSN EN 12350-2 až 5 a pro speciální typ samozhutnitelného betonu (SCC) dle metodik ČSN EN 12350-8 až 12.

Přesnost dávkování složek betonu se zpravidla kontroluje měřením objemové hmotnosti čerstvého betonu dle ČSN EN 12350-6 a v případě zvláštního požadavku je možno provést podrobný rozbor postupy dle ČSN 73 1323.

Kontrola obsahu vzduchu v čerstvém betonu (zejména při záměrném dávkování provzdušňující přísady – *kap. 4.6.4.1.3*) se provádí postupy dle ČSN EN 12350-7.

Zkoušky čerstvého betonu se provádějí na vzorcích betonu odebraných postupy dle ČSN EN 12350-1.

### 5.3.1.1 Stanovení konzistence čerstvého betonu

Konzistence charakterizuje zpracovatelnost čerstvého betonu, ovlivňuje způsob přepravy betonu i hutnění betonu.

Pro zkoušení konzistence je k dispozici několik základních zkušebních metod dle ČSN EN 12350-2 až 5, žádná z nich však není zcela univerzální a vhodná pro všechny druhy vyráběných betonů.

Při volbě zkušební metody musí být přihlédnuto ke známé citlivosti jednotlivých postupů – *kap. 4.6.1.1*.

Výsledky zkoušky konzistence se klasifikují (udávají) vždy názvem použité metody a naměřenou hodnotou v příslušných jednotkách nebo zavedenou zkratkou symbolu metody a příslušným stanoveným stupněm (viz *tab. 4. – 4.*).

Stupně konzistence dle jednotlivých zkušebních metod nejsou mezi sebou vzájemně porovnatelné ani převoditelné.

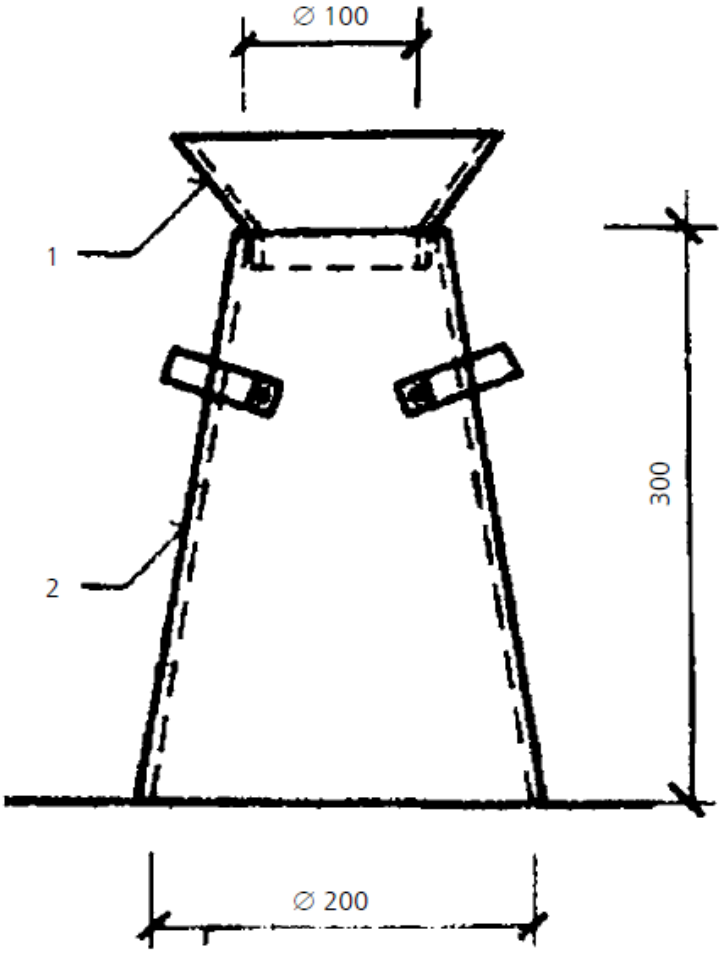
#### 5.3.1.1.1 Zkouška sednutím

Při zkoušce konzistence sednutím dle ČSN EN 12350-2 se používá pro přípravu zkušebního tělesa tuhá kovová forma ve tvaru komolého kužele (podle autora metody je často v praxi nazývána zkouška Abramsova).

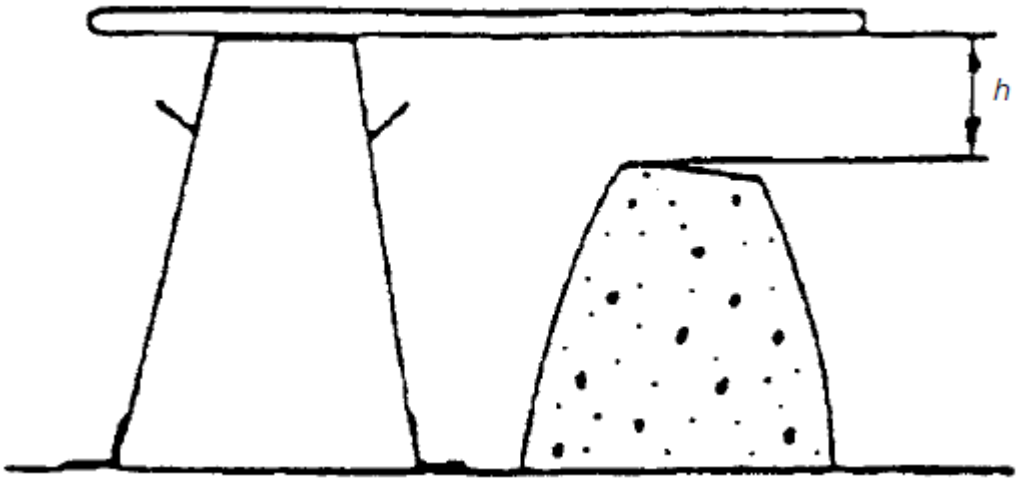
Forma (obr. 5.9.) se pevně zafixuje k nenasákavé podložce, naplní se obvykle pomocí odnímatelného nástavce ve třech rovnoměrných vrstvách čerstvým betonem, přitom se každá vrstva předepsaným způsobem zhutní 25 vpichy ocelové tyče. Poté se nástavec odstraní, zarovná se povrch betonu s horním okrajem formy, odstraní se beton spadlý na podložku a forma se oddělí svislým tahem nahoru v průběhu 5 s až 10 s (bez otáčivých nebo příčných pohybů).

Ihned po zvednutí formy se změří sednutí tělesa *h* (v mm se zaokrouhlením na nejbližších 10 mm) jako rozdíl mezi výškou formy a nejvyšším bodem sednutého zkušebního tělesa – obr. 5. 10(celá zkouška musí probíhat plynule a musí být ukončena do 150 s od počátku plnění).

Výsledek zkoušky je platný, je-li sednutí tělesa symetrické (*obr. 5.11a*), dojde-li k usmyknutí tělesa (*obr. 5.11b*), musí se zkouška opakovat na jiném vzorku. Jestliže sednutí pokračuje i po době 1 minuty po odstranění formy, není tato metoda vhodná pro měření konzistence. Zkouška je obecně vhodná pro řidší a tekutější betony (např. pro kontrolu dodávek transportbetonu neboť ji lze snadno provádět i na staveništi).

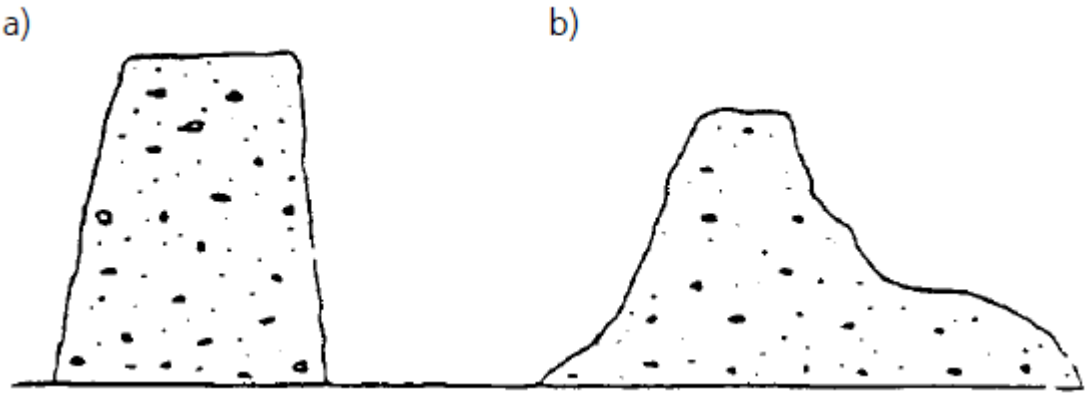



*Obr. 5*.9 Forma pro měření konzistence sednutím kužele
a – odnímatelný nástavec, b – kovová forma




*Obr.5. 10 Měření sednutí kužele*

*h* – výška sednutí




Obr.5. Tvary sednutí kužele

správné sednutí, b) usmyknuté sednutí

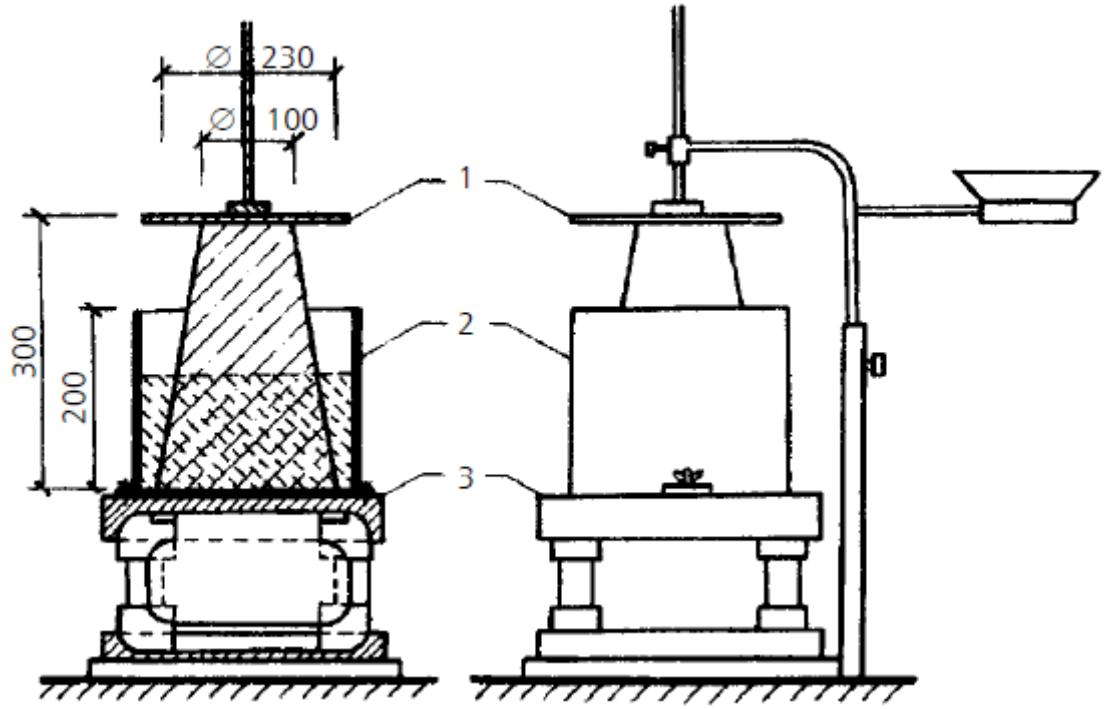
#### 5.3.1.1.2 Zkouška Vebe

Zkouška konzistence metodou Vebe dle ČSN EN12350-3 se provádí na speciálním zkušebním zařízení (konzistometru Vebe). Název zkoušky pochází z iniciál V. B. autora této zkoušky V. Bährnera.

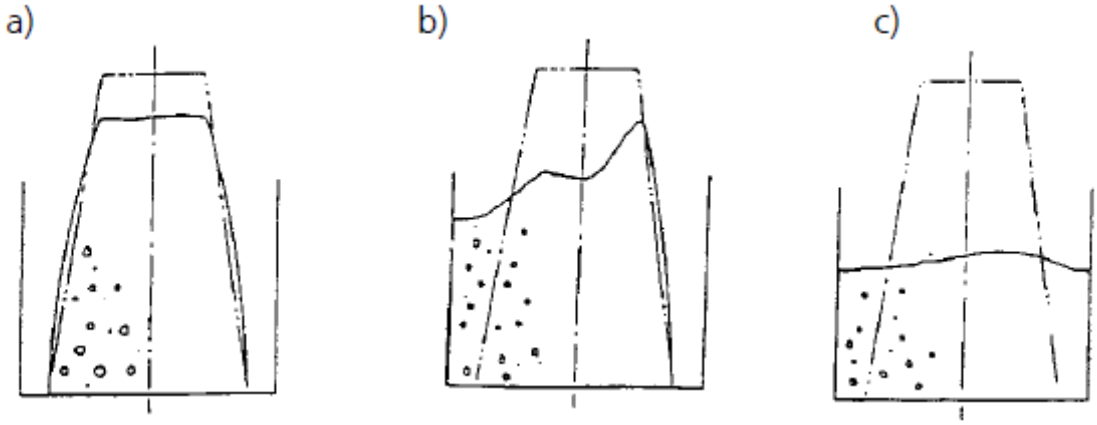
Do ocelové, válcové, vodotěsné a dostatečně tuhé nádoby, která je pevně připojená k vibračnímu stolku, se zhotoví pomocí formy (obr. 5.) zkušební těleso stejného tvaru jako pro zkoušku sednutím.

Po sejmutí formy se zaznamená stav sednutého tělesa dle *obr. 5.,* na horní plochu tělesa se lehce přiloží kruhová průhledná deska cca o 20 mm menší než vnitřní průměr nádoby a změří se doba (v sekundách s přesností na 1 s), za kterou se vzorek sednutého čerstvého betonu zatížený přiloženou deskou přetvoří účinkem vibrace do válcového tvaru vymezeného nádobou (deska dolehne celou plochou na povrch čerstvého betonu).

Zkouška musí probíhat plynule a má být ukončena do 5 minut. Metoda je vhodná spíše pro tužší betony a zkoušky prováděné v laboratořích nebo ve výrobnách dílců.




Obr. 5.12 Měření konzistence přístrojem Vebe
a – přítlačná deska, b – válcová nádoba, c – vibrační stolek




Obr. 5.13 Tvary sednutí kužele v nádobě Vebe
správné sednutí, b) usmyknuté sednutí, c) rozlité sednutí

#### 5.3.1.1.3 Zkouška zhutněním

Zkouška konzistence zhutněním neboli stupeň zhutnitelnosti dle ČSN EN 12350-4 se provádí pomocí ocelové tuhé a těsné nádoby o rozměrech základny 200 mm x 200 mm a výšce *h* = 400 mm, obvykle umístěné na vibračním stole.

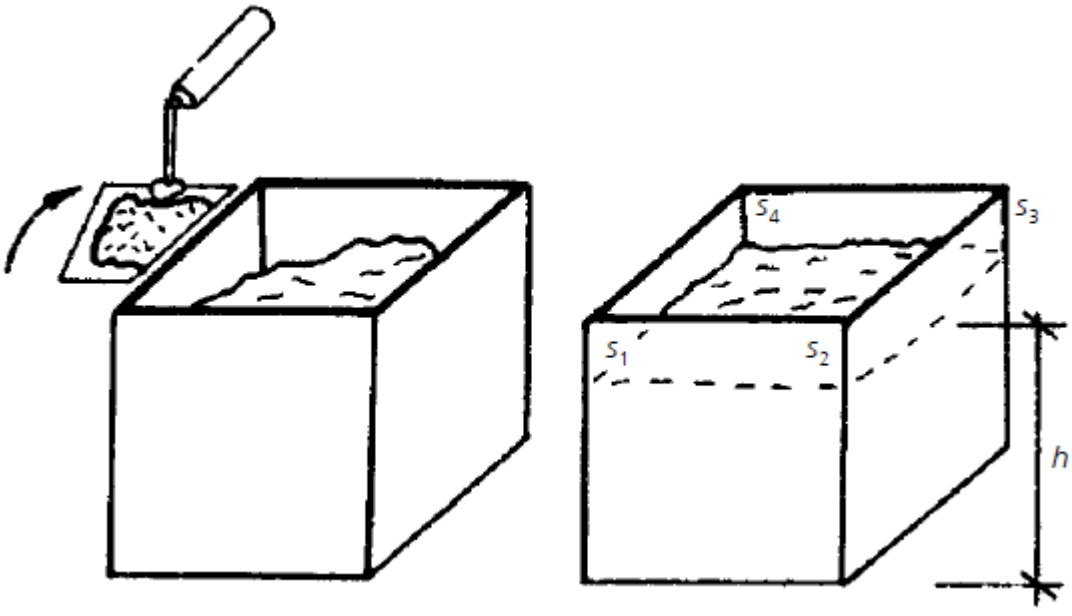
Nádoba se postupně naplní čerstvým betonem, volným vyklápěním ze zednické lžíce střídavě z úrovně jednotlivých horních hran nádoby při vyloučení zhutňování. Po naplnění nádoby se přebytečný beton odstraní a povrch betonu se bez hutnění zarovná s horním okrajem nádoby.

Následně se beton pomocí vibrace (lze použít i vhodný typ ponorného vibrátoru) hutní tak dlouho, až není patrné další zmenšování jeho objemu.

Po zhutnění se změří uprostřed každé strany nádoby vzdálenost mezi horní hranou nádoby a povrchem zhutněného betonu $s_1$ až $s_4$ (v mm) a vyjádří se průměrnou hodnotou *s* (v mm s přesností na 1 mm). Zpracovatelnost se vyjadřuje stupněm zhutnitelnosti *c* podle vztahu:

$$c = \frac{h}{h - s}$$

Výsledek zkoušky se uvádí na dvě desetinná místa.




Obr. 5.14 Měření zpracovatelnosti zhutněním

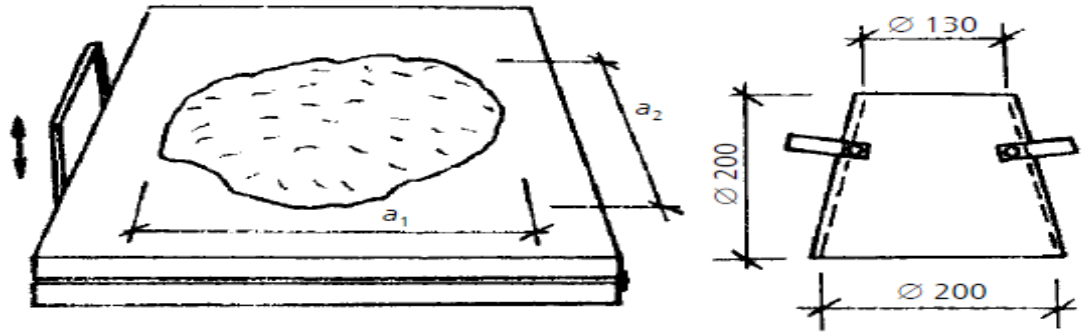
#### 5.3.1.1.4 Zkouška rozlitím

Základem zkoušky konzistence rozlitím dle ČSN EN 12350-5 je střásací stolek dle *obr. 5.*, složený z pevné spodní desky a pohyblivé horní desky o předepsané hmotnosti.

Na hladkém a nenasákavém povrchu horní desky se pomocí kovové formy ve tvaru komolého kužele zhotoví zkušební těleso (složené ze dvou vrstev čerstvého betonu vždy 10 x lehce zhutněných dusadlem). Po 30 s od naplnění a urovnání povrchu betonu se forma oddělí tahem svisle nahoru.

Spodní deska stolku se stabilizuje obvykle přišlápnutím a horní deska se plynule zvedá k zarážce (ve výšce 40 mm) a následně nechá volně dopadnout na spodní desku v průběhu 2 s až 5 s. Celý cyklus zdvihu a pádu se opakuje celkem 15 krát.

Změří se největší rozměr rozlitého betonu ve dvou na sebe kolmých směrech $a_1$ a $a_2$ (v mm) rovnoběžně s hranami stolku. Výsledkem je průměrná hodnota rozlití, stanovená výpočtem z obou měření (v mm se zaokrouhlením na 10 mm). Čerstvý beton musí po rozlití zůstat celistvý, při zjevné segregaci (oddělení) kameniva je zkouška hodnocena jako nevyhovující. Zkouška je vhodná zejména pro čerstvé betony s plastifikační přísadou.




Obr. 5.15 Měření zpracovatelnosti rozlitím

#### 5.3.1.1.5 Zkouška rozlitím u samozhutnitelných betonů

Pro samozhutnitelné betony (SCC) je charakteristická vysoká hodnota ztekucení (viz *kap. 4.6.6.5*) a výše uvedené normativní postupy pro měření konzistence nejsou vhodné. Proto se ke zkoušce zpracovatelnosti používá upravená zkouška rozlitím dle ČSN EN 12350-8. Abramsův kužel (obr. 5.) se bez poklepů a propichování naplní na nenasákavé podložce čerstvým betonem a poté se po cca 30 s oddělí kolmým zdvihem.

Výsledkem zkoušky je průměrná hodnota rozlití - SF (v mm se zaokrouhlením na 10 mm), stanovená ze dvou na sebe kolmých měření průměrů rozlití $d_1$ a $d_2$.

Při zkoušce se též sleduje čas a stanovuje se rychlost rozlití čerstvého SCC do průměru 500 mm, pozoruje se rovněž náchylnost betonu k segregaci tuhých částic.

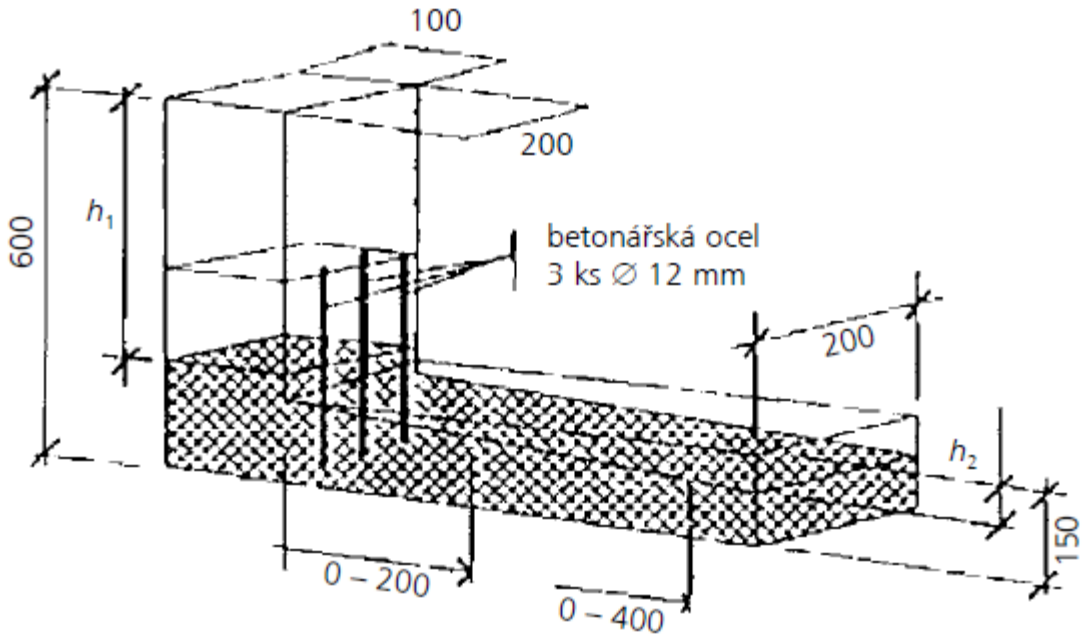
Zkouška má praktické využití i pro kontrolu konzistence SCC při přejímce na staveništi.

### 5.3.1.1.6 Zkouška L-truhlíkem (L-Box test)

Touto zkouškou se dle ČSN EN 12350-10 posuzuje schopnost protékání čerstvého SCC mezi pruty výztuže, aniž by došlo ke změně v jeho složení nebo k blokování na výztuži.

Používá se speciální zařízení L-truhlík dle obr 5.16 Svislá část je na straně k vodorovné opatřena dvířky, za kterými jsou umístěny pruty výztuže. Po otevření dvířek protéká čerstvý SCC mezi pruty do vodorovné části a přitom se měří čas, za který dosáhne přední okraj betonu určité vzdálenosti (např. 200 mm a 400 mm).

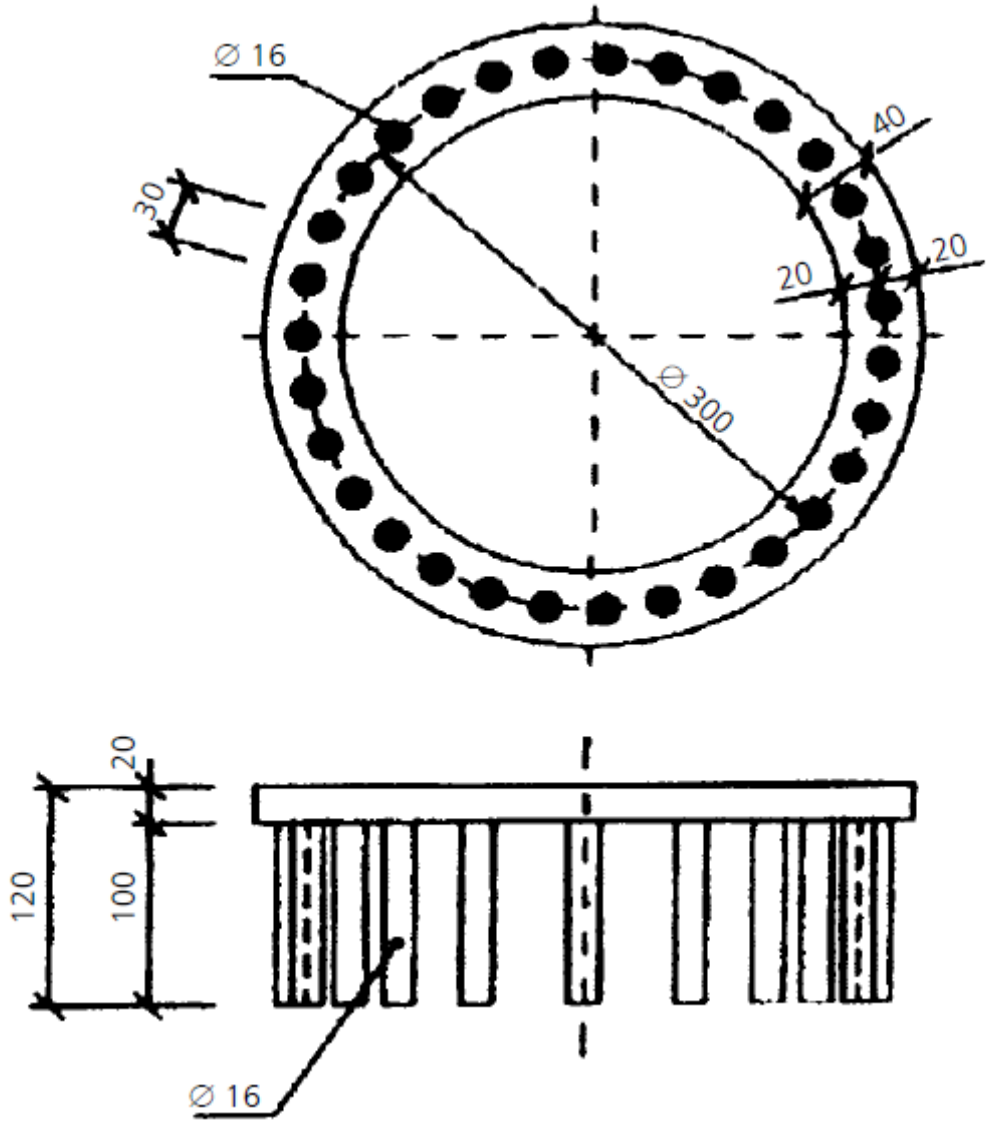
Po zastavení pohybu čerstvého SCC se změří ustálená hladina zbytkového betonu ve svislé části ($H_1$) a na konci vodorovné části ($H_2$). Poměr $H_1/H_2$ je měřítkem blokování. Praktické zkušenosti ukazují, že blokování je přijatelné při poměru $H_1/H_2 >$ 0,7 až 0,8.




Obr. 5.16 L-truhlík (L-Box) – rozměrový náčrt

### 5.3.1.1.7 Zkouška J-kroužkem (J-Ring test˙)

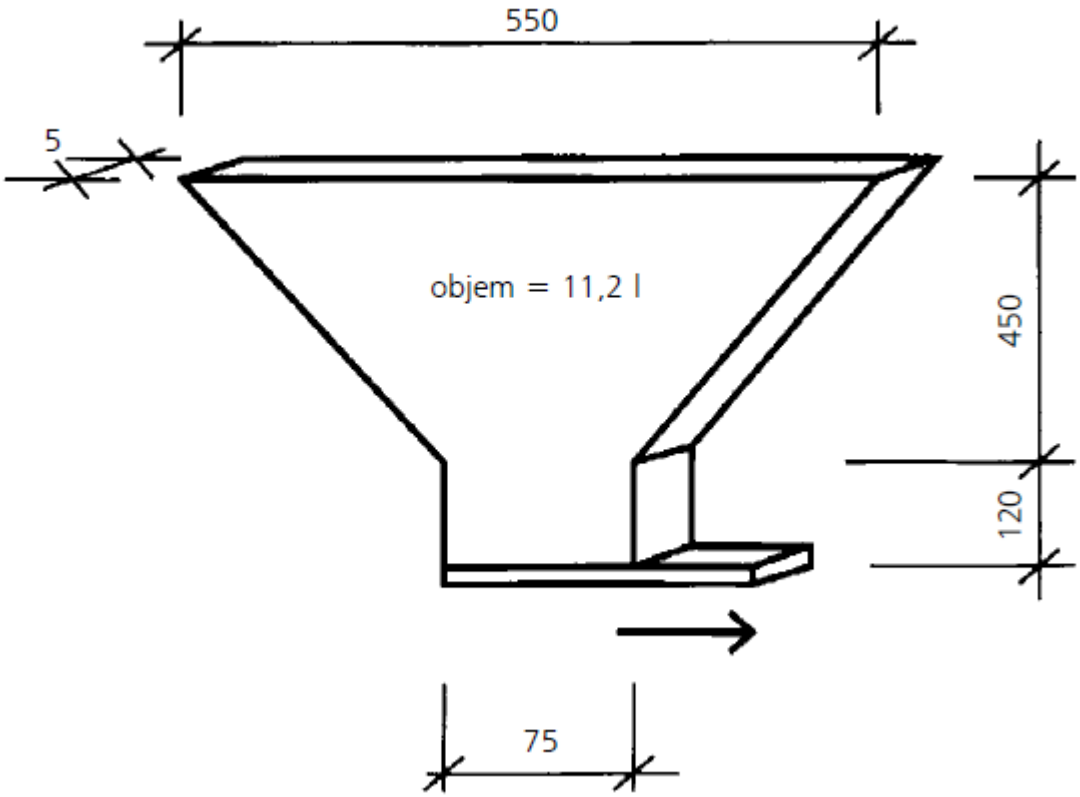
Zkouškou se ověřuje pohyblivost (průtok) čerstvého SCC a jeho odolnost proti blokaci – PJ dle ČSN EN 12350-12. Při zkoušce se používá speciální pomůcka J-kroužek dle *obr. 5.*, kterou tvoří dva prstence o průměru 300 mm od sebe vzdálené 120 mm s otvory pro zasunutí žebírkové ocelové výztuže ø 16 mm v osové vzdálenosti 30 mm až 36 mm (dle max. zrna kameniva 8 mm nebo 16 mm).




Obr. 5.17 Schéma J-Ringu [Hela, R., 2001]

#### 5.3.1.1.8 Zkouška V- nálevkou (V-funel test)

Slouží k posouzení viskozity, k posouzení schopnosti zaplnění daného prostoru SCC a pro hodnocení náchylnosti SCC k segregaci dle ČSN EN 12350-9. Měří se výtokový čas $t_v$ betonu (v destinách sekundy ) z volně bez otřesů a mechanického hutnění naplněné nálevky definovanou velikostí otvoru. Používá se speciální pomůcka V-nálevka podle *obr. 5.* Vyprazdňování musí být plynulé, případné ucpání výtoku se musí zaznamenat.




Obr. 5.18 V-nálevka – rozměrový náčrt [Nedbal, F., 2001]

### 5.3.1.2 Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu

Zkouška se provádí dle ČSN EN 12350-6. Používá se kovová, vodotěsná a dostatečně tuhá nádoba, jejíž nejmenší rozměr musí být nejméně čtyřnásobkem největší jmenovité velikosti zrna hrubého kameniva (min. ale 150 mm) a její objem nesmí být menší než 5 litrů (vyhovující je např. nádoba pro zkoušku obsahu vzruchu v čerstvém betonu, naopak nevyhovující je forma na zkušební těleso ve tvaru krychle o hraně 150 mm). Nádoba se naplní nejméně ve dvou vrstvách čerstvým betonem, přičemž každá vrstva se vhodným způsobem pečlivě zhutní (vibrací, propichováním tyčí apod.) v závislosti na konzistenci betonu. Musí být dosaženo úplného zhutnění čerstvého betonu bez nadměrné segregace a ztráty provzdušnění zejména u betonu s provzdušňující přísadou – viz *kap. 4.6.4.1.3*. Po zhutnění poslední vrstvy se zarovná povrch betonu do roviny s horním okrajem nádoby a nádoba se na vnějším povrchu očistí.

Objemová hmotnost $D$ (kg.m$^{-3}$) se vypočte ze vztahu:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

kde $m_1$ je hmotnost prázdné nádoby (kg),

$m_2$ – hmotnost naplněné nádoby (kg),

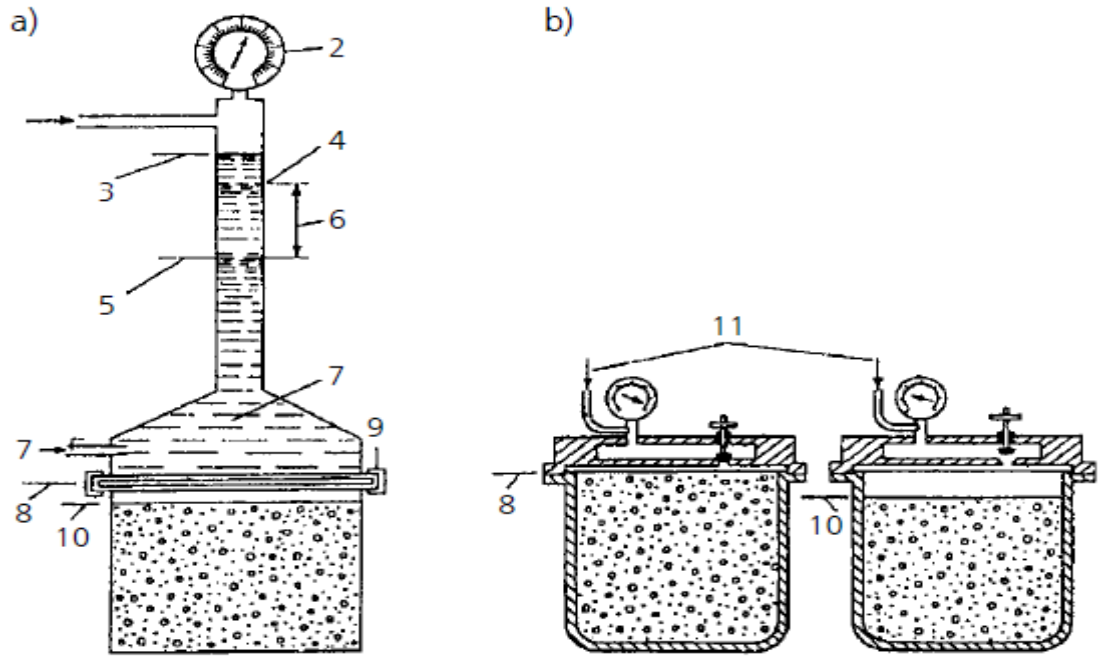
$V$ – objem nádoby (m$^3$).

Objemová hmotnost čerstvého betonu se zaokrouhluje na nejbližších 10 kg.m$^{-3}$.

### 5.3.1.3 Stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu

Zkouška se provádí dle ČSN EN 12350-7. Pro zkoušku se používají dva typy tlakových přístrojů dle *obr. 5.* používající princip Boyle-Mariottova zákona, pro které jsou stanoveny specifické zkušební postupy:

- typ A – měří změnu stavu vodního sloupce vlivem definovaného tlaku vzduchu,
- typ B – měří snížení tlaku vzduchu v přetlakové komoře, která byla předem natlakována a uvolněnému tlaku byl vystaven povrch betonu (nejčastěji v praxi používaná metoda).




*Obr. 5.* 19 Přístroje pro měření obsahu vzduchu v čerstvém betonu

přístroj typu A – metoda vodního sloupce, b) přístroj typu B – tlakoměrná metoda

1 – přívod vzduchu z hustilky, 2 – manometr, 3 – stav vody na začátku měření, 4 – stav vody po odlehčení ($h_2$), 5 – stav vody při tlaku p ($h_1$), 6 – odčítaná hodnota pro výpočet obsahu vzduchu ($A = h_1 - h_2$), 7 – voda, 8 – značka pro naplnění čerstvým betonem, 9 – uzávěr, 10 – stav povrchu čerstvého betonu při tlaku *p*, 11 – přívod tlakového vzduchu

#### 5.3.1.3.1 Metoda vodního sloupce

Nad vzorek zhutněného betonu známého objemu, uložený v uzavřené v ocelové nádobě, se nalije do předem stanovené výšky voda. Nad vodní hladinu se následně zavede předem stanovený tlak vzduchu *p* (zpravidla 100 kPa). Snížení objemu vzduchu ve vzorku betonu se změří jako objem odpovídající pozorovanému poklesu hladiny vodního sloupce. Stupnice vodního sloupce je kalibrována v procentním podílu vzduchu ve vzorku betonu.

Kromě obvyklé četnosti kalibrace přístroje (z důvodu přesnosti měření) je nutno její provedení vždy, pokud bude prováděno měření v nadmořské výšce lišící se o více než 200 m od místa počáteční kalibrace.

#### 5.3.1.3.2 Metoda tlaková

Známý objem vzduchu o známém tlaku je propojen v uzavřené nádobě s neznámým objemem vzduchu ve vzorku zhutněného betonu. Stupnice tlakoměru je kalibrována v procentním podílu obsahu vzduchu ve vzorku betonu.

Kromě obvyklé četnosti kalibrace přístroje (z důvodu přesnosti měření) není kalibrace při změně nadmořské výšky nutná. Proto je tento typ přístroje v praxi používán nejčastěji.



*Obr. 5.20* Typické provedení přístroje na zkoušku provzdušnění tlakoměrnou metodou

Obsah vzduchu v čerstvém betonu se vyjadřuje v % objemu, se zaokrouhlením na nejbližších 0,1 %.

#### 5.3.1.4 Stanovení tuhnutí čerstvého betonu

Průběh tuhnutí čerstvého betonu se zkouší v případě zvláštních doplňujících požadavků při specifikaci betonu (mimořádné klimatické podmínky při zpracování a velké přepravní vzdálenosti, pro kontinuální betonáže apod.), vyjadřuje se jako penetrační odpor oddělené cementové malty z odebraného vzorku čerstvého betonu. Zjišťuje se čas, při kterém penetrační odpor této malty dosáhne hodnot:

- 0,5 MPa – odpovídá době pro bezpečnou dopravu a zpracování čerstvého betonu,
- 3,5 MPa – odpovídá době pro bezpečné zajištění spojení staré a nové vrstvy čerstvého betonu.

Zkouška se provádí dle metodiky v ČSN 73 1332.

### 5.3.2 Zkoušky ztvrdlého betonu

Ověřování vlastností ztvrdlého betonu se provádí, buď na zkušebních tělesech ve tvarech a rozměrech dle ČSN EN 12390-1 předem záměrně vyrobených z čerstvého betonu odebraného dle ČSN EN 12350-1 a do termínu požadované zkoušky ošetřovaných dle ČSN EN 12390-2, anebo na tělesech vyjmutých z konstrukce způsobem dle ČSN EN 12504-1, případně přímo v hotové konstrukci nebo prefabrikovaném dílci dle ČSN EN 12504-3.

Pro ověření některých vlastností ztvrdlého betonu v konstrukci či v prefabrikovaném dílci se používají též nedestruktivní postupy měření (nepřímé zkoušení), např. stanovení tvrdosti betonu odrazovým tvrdoměrem dle ČSN EN 12504-2 nebo ČSN 73 1373. K tomuto účelu se při zkoušce používají různá provedení odrazového tvrdoměru známého (podle jeho tvůrce E. Schmidta) jako Schmidtovo kladivo (obr. 5.21).



*Obr. 5.21* Odrazový tvrdoměr pro zkoušení betonu

Stanovení pevnosti betonu z hodnoty odrazu tvrdoměru od broušením upravené zkušební plošky na konstrukci (dílci) je založeno na znalosti převodního kalibračního vztahu. V obecné podobě pro běžné typy betonů standardního složení byl tento vztah k dispozici v ČSN 73 1373 a nyní je rovněž základní křivka uvedena v ČSN EN 13791.

Takto stanovené výsledky zkoušky pevnosti ztvrdlého betonu je však možno prezentovat pouze jako informativní s nezaručenou přesností .

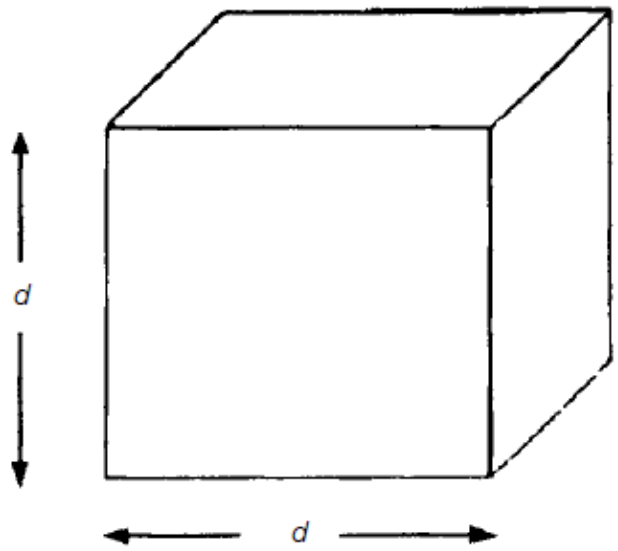
Pro konkrétní případy a typy betonů lze vytvořit i upřesněný, respektive konkrétní kalibrační vztah např. pomocí alespoň omezeného počtu jádrových vývrtů z hodnocené konstrukce (dílce). Tímto způsobem již lze stanovit charakteristickou pevnost betonu v tlaku v konstrukci.

Podrobná metodika pro hodnocení pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích je uvedena v ČSN 73 1370, ČSN EN 13791 a ČSN ISO 13822.

Další metoda nepřímého zkoušení ztvrdlého betonu je založena na měření rychlosti šíření ultrazvukového impulsu dle ČSN EN 12504-4 strukturou betonu, jejíž výsledky lze rovněž vyhodnotit dle ČSN EN 13791.

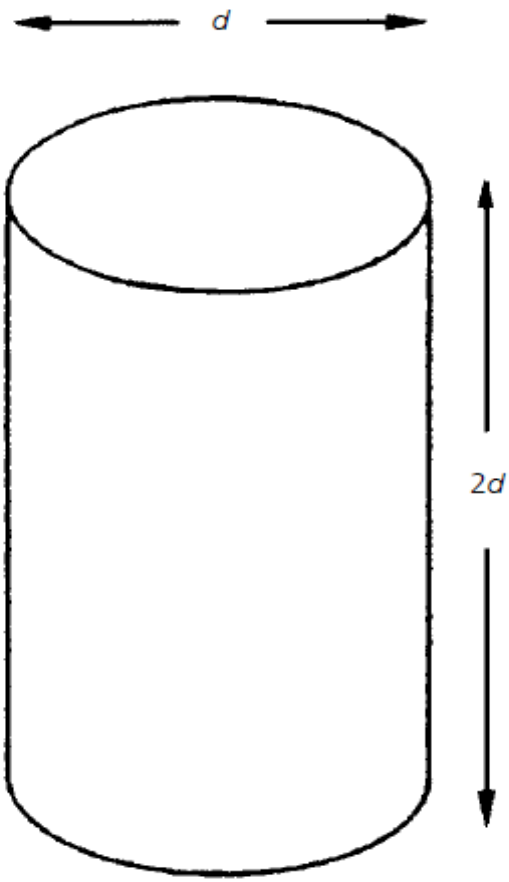
Záměrně vyráběná zkušební tělesa jsou ve tvaru krychle, válce nebo hranolu (obr. 5. – 5.), u nichž se základní rozměr *d* volí tak, aby byl min. třiapůlkrát větší, než je jmenovitá největší velikost frakce kameniva v betonu. V praxi se nejčastěji používají tyto základní tvary těles:

- krychle 150 mm x 150 mm x 150 mm,
- válec o průměru 150 mm a výšce 300 mm,
- hranol 150 mm x 150 mm x 600 mm, resp. 100 mm x 100 mm x 400 mm.



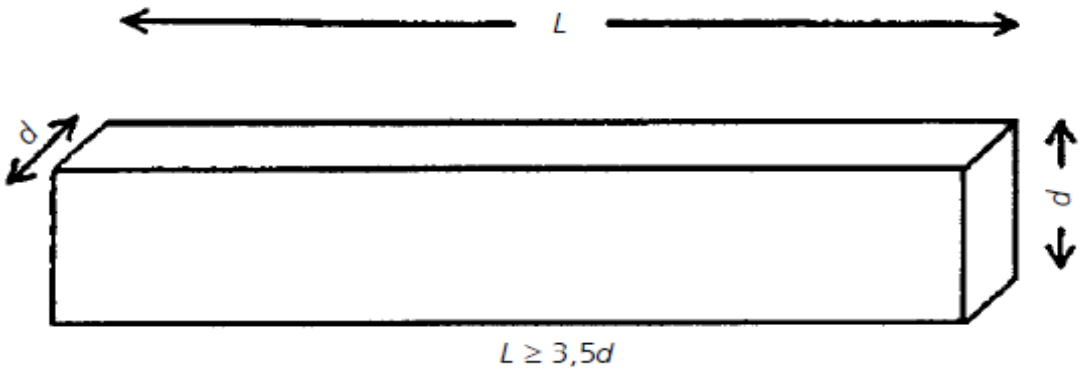

| *d* (mm) | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
|---|---|---|---|---|---|

Obr. 5.22 Krychle – jmenovité velikosti




| d (mm) | 100 | 113 | 150 | 200 | 250 | 300 |
|---|---|---|---|---|---|---|

Obr. 5.23 Válec – jmenovité velikosti




| d (mm) | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
|---|---|---|---|---|---|

Obr. 5.24 Hranol – jmenovité velikosti

### 5.3.2.1 Pevnost v tlaku

Pevnost betonu v tlaku je v praxi nejčastěji ověřovanou charakteristikou, neboť slouží k ověření shody se specifikovanou pevnostní třídou betonu. Zkouší se dle ČSN EN 12390-3 na zkušebních tělesech ve tvaru krychle, válce, na zlomcích hranolů nebo i na tělesech upravených z vývrtů z konstrukce dle ČSN EN 12504-1. V případě mezerovitého betonu z pórovitého kameniva se zkouší dle ČSN EN 1354 buď na zkušebních tělesech odebraných z prefabrikovaných dílců přednostně ve tvaru válce (vývrt o průměru 100 mm) nebo krychle o hraně 100 mm, nebo na normových tělesech dle ČSN EN 12390-1, vyrobených a ošetřovaných dle Přílohy A ČSN EN 1354.

Zkušební tělesa jsou rovnoměrně zatěžována ve zkušebním lisu, vyhovujícímu požadavkům ČSN EN 12390-4.

Výsledkem měření je max. hodnota síly F, dosažená při vyhovujícím způsobu porušení (rozdrcení) zkušebního tělesa (obr. 5. a 5.. Při nevyhovujícím způsobu porušení tělesa dle vzorů na obr. 5. a 5. musí být vzhled porušení zaznamenán při vyhodnocení zkoušky (číslem nebo písmenem typu porušení).

Pevnost betonu v tlaku $f_c$ (MPa) se stanoví ze vztahu:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

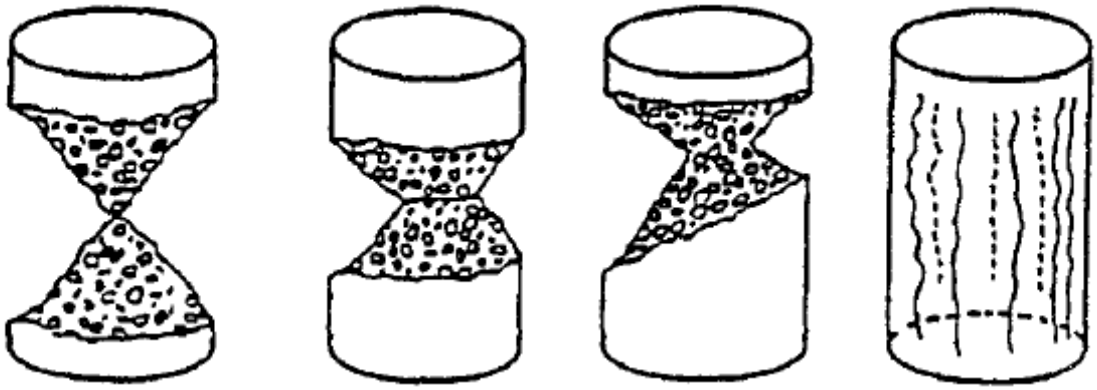
kde $F$ je max. zatěžovací síla při porušení (N),

$A_c$ – průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí zatěžovací síla, obvykle stanovená ze změřených rozměrů ($mm^2$).

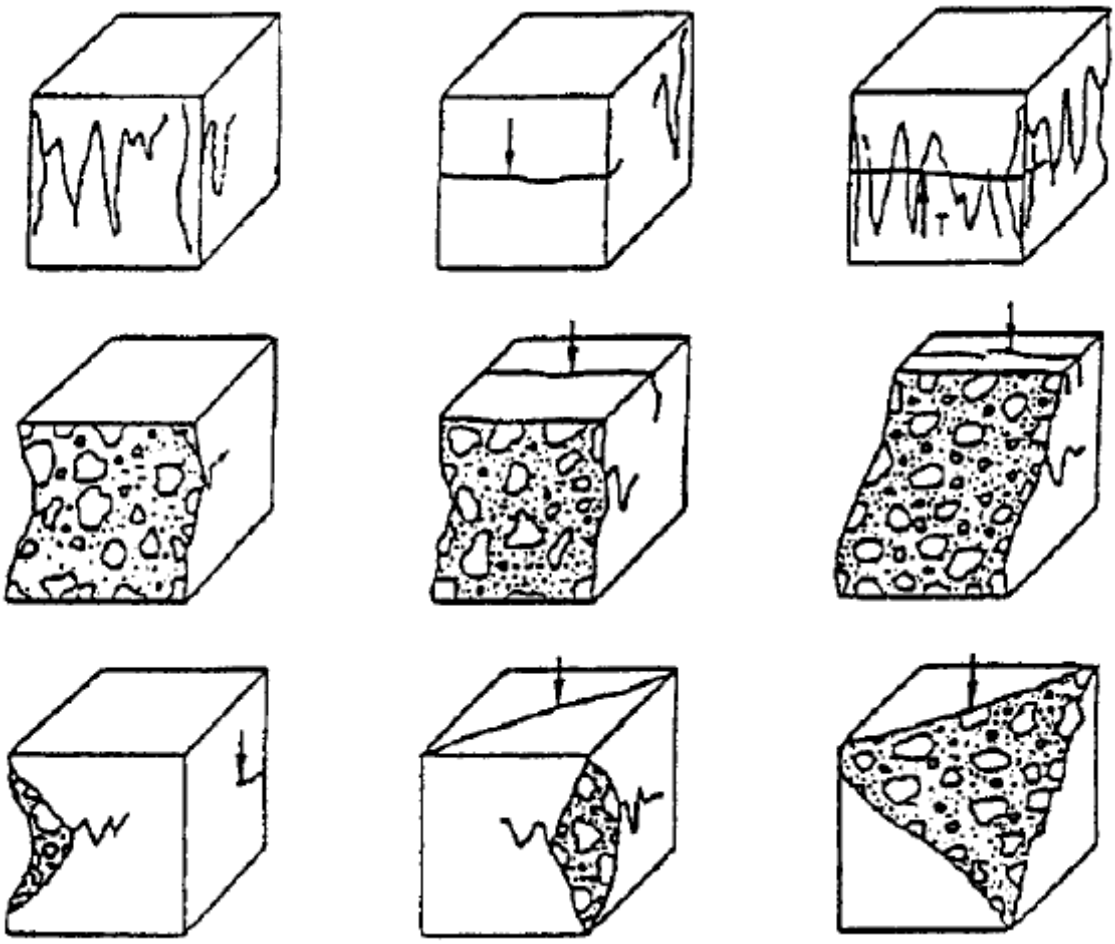
Pevnost v tlaku se zaokrouhluje na nejbližších 0,5 MPa.



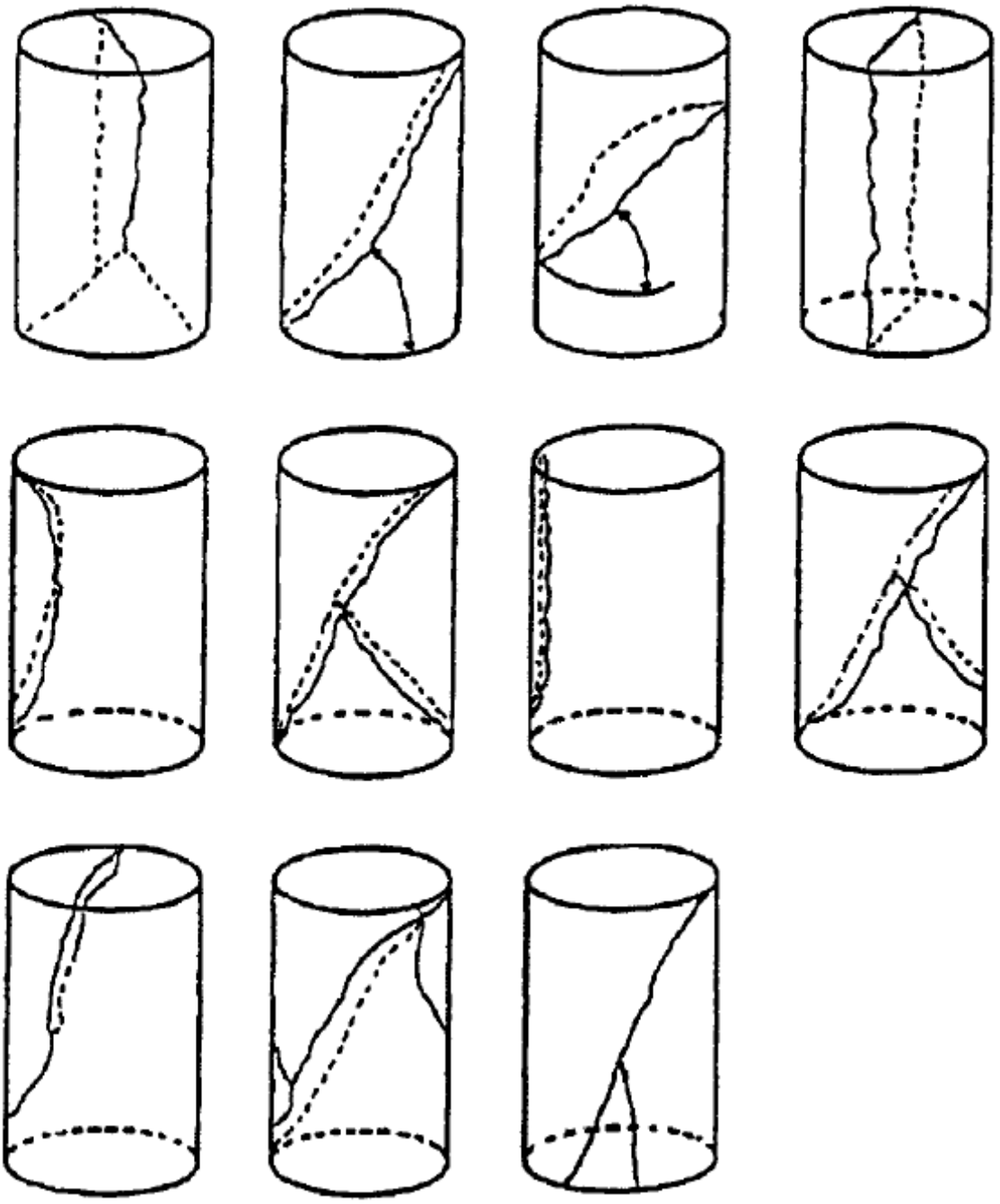
Obr. *5.25* Vyhovující způsoby porušení zkušebních krychlí



*Obr. 5.26* Vyhovující způsoby porušení zkušebních válců



*Obr. 5. 27* Příklady nevyhovujícího způsobu porušení zkušebních krychlí



*Obr. 5.* 28 Příklady nevyhovujícího způsobu porušení zkušebních válců

### 5.3.2.2 Pevnost v tahu ohybem

Pevnost betonu v tahu ohybem se zkouší dle ČSN EN 12390-5 na zkušebních tělesech ve tvaru hranolu dle ČSN EN 12390-1.

Tělesa jsou rovnoměrně zatěžována ve zkušebním lisu prostřednictvím zatěžovacího zařízení (uspořádaného buď podle základního způsobu na *obr. 5.29*, nebo podle alternativního způsobu na *obr. 5.30*). Lis musí vyhovovat požadavkům ČSN EN 12390-4.

Výsledkem měření je max. hodnota síly *F*, dosažená při porušení (rozlomení) tělesa.

V případě zkoušení mezerovitého betonu z pórovitého kameniva se postupuje dle ČSN EN 1521 a výsledek zkoušky se vyjadřuje jako pevnost v ohybu.

Pevnost betonu v tahu ohybem $f_{cf}$ (MPa) se stanoví ze vztahu:

při zatížení tělesa dvěma břemeny:

$$f_{cf} = \frac{F.l}{d_1.d_2..d_2}$$

při zatížení tělesa jedním břemenem uprostřed:

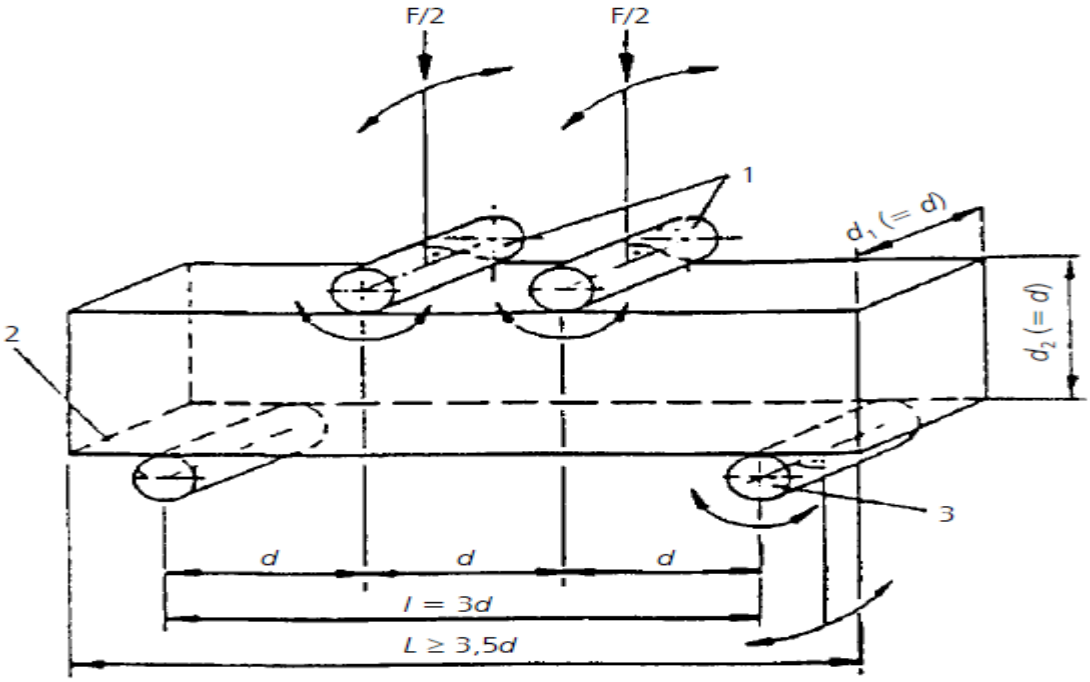
$$f_{cf} = \frac{3.F.l}{2.d_1.d_2..d_2}$$

kde *F* je maximální zatěžovací síla (N),

*l* – vzdálenost mezi podpěrnými válečky (mm),

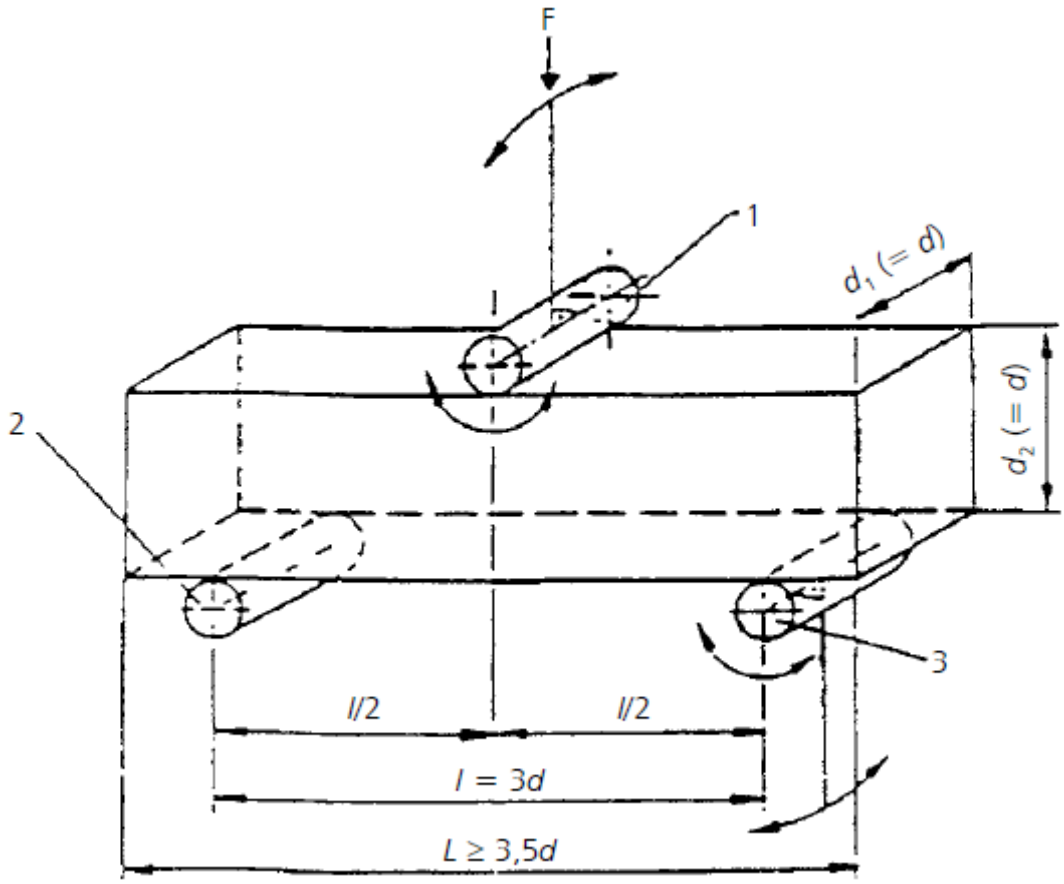
$d_1$ (šířka), $d_2$ (výška) – rozměry příčného řezu tělesa (mm).

Pevnost v tahu ohybem se zaokrouhluje na nejbližších 0,1 MPa. Výsledek zkoušky musí být doplněn údajem o typu uspořádání zatěžovací zkoušky (zatěžování dvěma nebo jedním břemenem).




*Obr. 5.29* Uspořádání zatěžování zkušebního tělesa (zatěžování dvěma břemeny)

1 – zatěžovací válečky (otočné a výkyvné), 2 – podpěrný váleček (pevný), 3 – podpěrný váleček (otočný a výkyvný)




*Obr. 5.30* Uspořádání zatěžování zkušebního tělesa (zatěžování jedním břemenem uprostřed)

1 – zatěžovací váleček (otočný a výkyvný), 2 – podpěrný váleček (pevný), 3 – podpěrný váleček (otočný a výkyvný)

### 5.3.2.3 Pevnost v příčném tahu

Pevnost betonu v příčném tahu se zkouší dle ČSN EN 12390-6 na zkušebních tělesech ve tvaru válce, alternativně připouští se i krychle nebo hranol (zpravidla po jeho rozlomení zkouškou v tahu ohybem).

Válcová tělesa jsou prostřednictvím roznášecích válečků dle *obr. 5.* nebo krychlová a hranolová tělesa prostřednictvím zatěžovacích segmentů dle *obr. 5.* , rovnoměrně zatěžována ve zkušebním lisu vyhovujícímu požadavkům ČSN EN 12390-4.

Výsledkem měření je max. hodnota síly F, dosažená při porušení (rozštípnutí) tělesa.

Pevnost betonu v příčném tahu $f_{ct}$ (MPa) se stanoví ze vztahu:

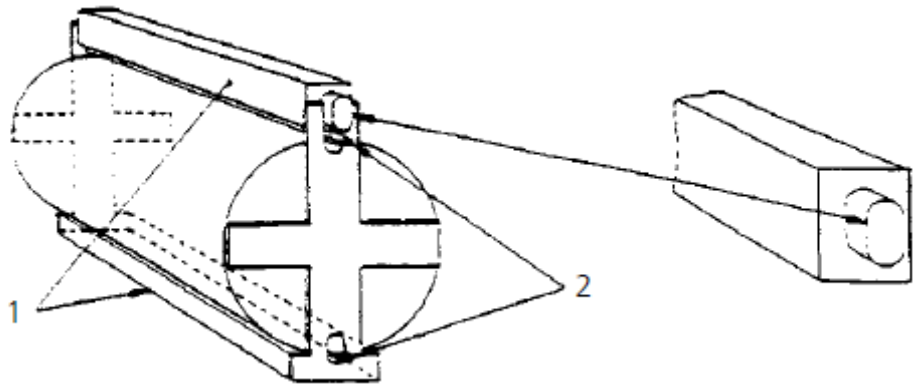
$$f_{cf} = \frac{2.F}{\pi.L.d}$$

kde $F$ je max. zatěžovací síla (N),

$L$ – délka dotykové přímky tělesa (mm),

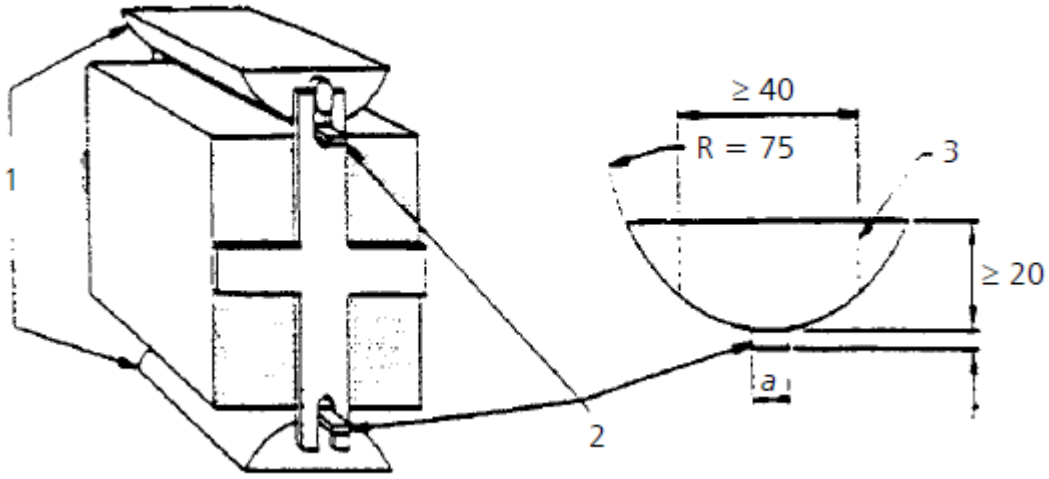
$d$ – zvolený příčný rozměr tělesa – průměr nebo výška/strana (mm).

Pevnost betonu v příčném tahu se zaokrouhluje na nejbližších 0,05 MPa.




Obr. 5.31 Vodicí přípravek pro válcová tělesa

1 – ocelový zatěžovací trámeček, 2 – roznášecí proužek z dřevovláknité desky (10 mm x 4 mm)




*Obr. 5.32 Válcový zatěžovací segment*

1 – ocelový válcový zatěžovací segment, 2 – roznášecí proužek z dřevovláknité desky (10 mm x 4 mm), 3 – válcový segment může být odříznut

### 5.3.2.4 Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu

Zkouška se provádí dle ČSN EN 12390-7 na zkušebním tělese ze ztvrdlého betonu o min. objemu 1 litr, resp. o objemu 50 $D^3$, kde D je jmenovitá největší velikost zrna hrubého kameniva. Obvykle se používají záměrně vyráběná tělesa dle ČSN EN 12390-1 pro zkoušky mechanických vlastností betonu.

Objem zkušebního tělesa se zpravidla stanovuje:

- ponořením do vody (jako referenční metoda a v případě nepravidelného tvaru tělesa),
- výpočtem ze změřených skutečných rozměrů (v případě vyhovujícího geometrického tvaru tělesa).

Při ponoření tělesa do vody se pro stanovení objemu používají tzv. hydrostatické váhy – váhy s pomocným třmenem, umožňující vážit těleso na vzduchu i ve vodě a objem $V$ ($m^3$) se stanoví výpočtem ze vztahu:

$$V = \frac{m_a - [(m_{st} + m_w) - m_{st}]}{\rho_w}$$

kde $m_a$ je hmotnost zkušebního tělesa na vzduchu (kg),

$m_{st}$ – hmotnost ponořeného pomocného třmenu (kg) dle *obr. 5.31*,

$m_w$ – hmotnost ponořeného tělesa ve vodě (kg),

$\rho_w$ – hustota vody při 20 $^oC$, uvažovaná hodnotou 998 $kg.m^{-3}$.

Objemová hmotnost se stanovuje pro definované vlhkostní podmínky zkušebního tělesa, buď pro stav okamžité vlhkosti betonu před zkouškou, nebo pro stav při vysušení tělesa do ustálené hmotnosti při teplotě (105 ±5) ºC (změna hmotnosti tělesa během 24 hodin sušení menší než 0,2 %).

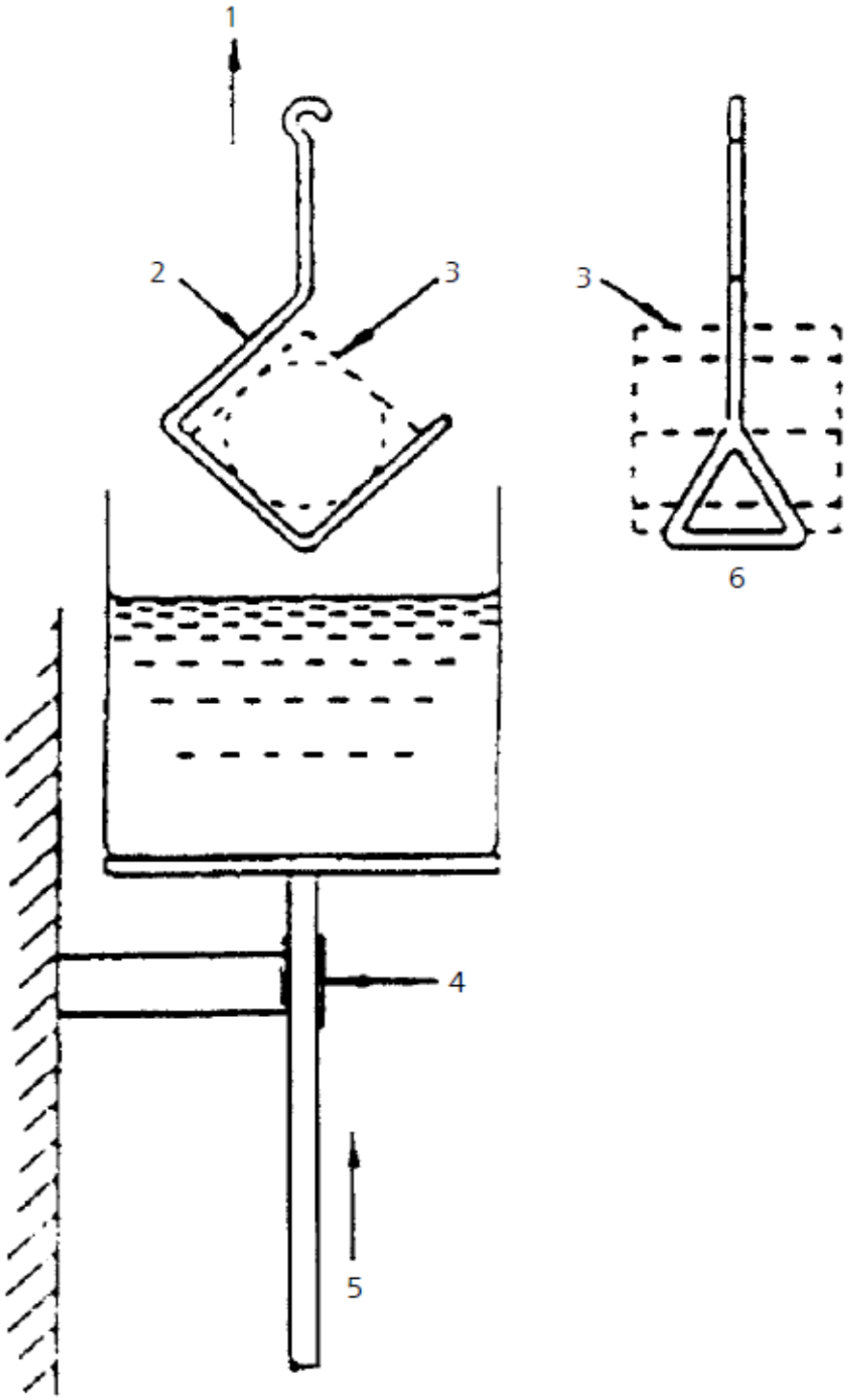
Objemová hmotnost ztvrdlého betonu D ($kg.m^{-3}$) se vypočítá ze vztahu:

$$D = \frac{m}{V}$$

kde $m$ je hmotnost zkušebního tělesa v době zkoušení (kg),

$V$ – objem stanovený příslušným způsobem ($m^3$).

Výsledek objemové hmotnosti se zaokrouhluje na nejbližších 10 $kg.m^{-3}$.




*Obr. 5.33* Příklad uspořádání třmenu pro stanovení objemu zkušebních těles ponořením do vody

1 – váha (vybavena spodním závěsem), 2 – třmen (zavěšen pod váhou), 3 – betonové zkušební těleso, 4 – vodítko, 5 – svislý pohyb nádoby s vodou, 6 – boční pohled na třmen

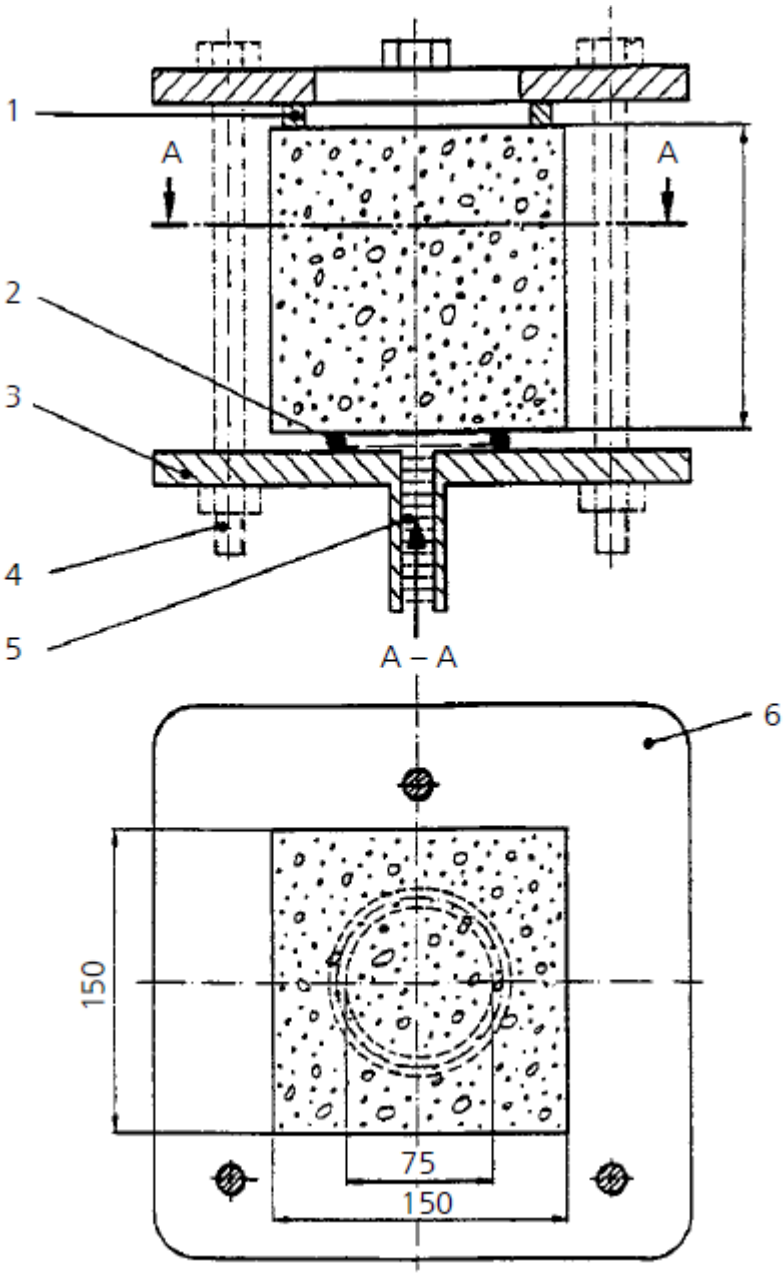
### 5.3.2.5 Stanovení hloubky průsaku tlakové vody

Touto zkouškou se zjišťuje hloubka průsaku tlakové vody do struktury betonu (dříve byla prezentována jako vodotěsnost betonu). Zkouška se provádí dle ČSN EN 12390-8 na zkušebních tělesech ve tvaru krychle, válce nebo hranolu s min. délkou hrany nebo průměrem 150 mm ve stáří betonu min. 28 dnů.

Zkušební těleso se pevně ukotví do speciálního zařízení (tzv. vodotlačné stolice) dle obr. 5. tak, aby tlak vody (500 ±50) kPa působil na předem upravenou plochu tělesa (při odformování zkušebního tělesa se jedna strana zdrsní ocelovým kartáčem nebo alternativně je možno dodatečně upravit zkušební plochu lehkým narušením hladké povrchové vrstvy cementového tmelu pomocí špičáku. Vodní tlak nesmí být vyvozován na plochu tělesa, která byla upravována při výrobě hladítkem.

Po uplynutí zkušební doby (72 ±2) hodiny, se těleso rozlomí v polovině (jako při zkoušce v příčném tahu – 5.3.2.3), kolmo k ploše, která byla vystavena tlaku vody. Na rozlomeném povrchu tělesa se změří hodnota maximálního průsaku vody s přesností na 1 mm, která je výsledkem zkoušky. V případě, že se v průběhu zkoušky objeví průsak vody na stranách zkušebního tělesa nezatížených přímým tlakem vody, je nutno tuto skutečnost zaznamenat a uvážit platnost výsledku zkoušky.

V některých případech je ještě požadováno provedení zkoušky vodotěsnosti ztvrdlého betonu dle metodiky v ČSN 73 1321. Zkouška je specifikována požadavkem vodotěsnosti ztvrdlého betonu stupněm V4 nebo V8, což vyjadřuje odolnost vodnímu tlaku 0,4 MPa (4 atm), resp. 0,8 MPa (8 atm), kterému je těleso v průběhu zkoušky vystaveno při postupném zatěžování tlakem vody v režimu 0,2 MPa, 0,4 MPa případně až 0,8 MPa vždy po 24 hodinách působení každé etapy. Zkušební plochou je v tomto případě výrobní povrch tělesa, který se před zkouškou zbaví jemným osekáním vrstvičky ztvrdlé cementové malty.




*Obr. 5.34 Příklad uspořádání zkoušky průsaku vody*

1 – opěrný kroužek, 2 – těsnicí kroužek (pryžový segment), 3 – upevňovací deska, 4 – stahovací šroub, 5 – přívod tlakové vody (osazen manometrem), 6 – upevňovací deska

### 5.3.2.6 Stanovení vlhkostních a sorpčních charakteristik betonu

Zjišťování vlhkostního stavu pórovité struktury ztvrdlého cementového kamene v betonu nebo jeho náchylnosti k přijímání vzdušné vlhkosti se provádí pomocí těchto

zkušebních metod:

- ČSN 73 1316 – Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vzlínavosti betonu,
- ČSN 73 1327 – Stanovení sorbčních vlastností betonu.

Výsledky zkoušek vlhkostních charakteristik betonu (okamžitá-momentální vlhkost $w_m$ či ustálená vlhkost $w_{stc}$, nasákavost $v$, vzlínavost $v_r$) se vztahují zpravidla na vysušený stav betonu (do tzv. ustálené hmotnosti při teplotě 105 ±5 ºC) a uvádějí se buď v % hmotnosti nebo v % objemu s přesností na 0,1 % hodnocené veličiny.

Všechny vlhkostní charakteristiky se vypočítají ze stejného vztahu, který je zde uveden v příkladu pro nejčastěji měřený parametr nasákavosti:

- $v = \frac{m_s - m_d}{m_d}.100$

kde $m_s$ je hmotnost zkušebního vzorku nasáklého vodou (kg) a v případě stanovení jiných charakteristik je nahrazen příslušnou momentální hmotností vzorku v daném čase sledování,

$m_d$ – hmotnost zkušebního vzorku vysušeného (kg).

Obdobně se zkouší i sorbční charakteristiky betonu (navlhavost $W_n$ a vysychavost $W_s$).

Podstatou zkoušky navlhavosti nebo vysychavosti je zjištění přírůstku nebo úbytku hmotnosti těles vážením, které se stanoví s přesností 0,1% hmotnosti. Tělesa se váží po 1, 2, 3, 7, 14, 21. 2S, 35, 42, 60, 90, 120, 150 a 180 dnech, popř. i v dobách mezilehlých podle toho, jak to průběh zkoušky vyžaduje nebo jak je specifikováno. Zkouška se ukončí až po dosažení ustálené hmotnosti, tj. když změna hmotnosti ve dvou za sebou jdoucích měřeních není při dané přesnosti měření zjistitelná nebo po specifikované době měření.

Ke zkoušce se použijí nejméně 3 tělesa o rozměrech 200 mm x 200 mm x 100 mm, která jsou pro zkoušku speciálně zhotovena nebo jsou vyjmuta z konstrukce či prefabrikovaného dílce nebo výrobku a jejich stáří je větší než 28 dnů.

Tělesa se upraví tak, že se jedna z ploch o rozměrech 200 mm x 200 mm zbaví povrchové vrstvy ztvrdlého cementového tmelu broušením nebo řezem, aby tato plocha byla rovná. Ostatní plochy těles se před zkouškou opatří vodotěsným nátěrem.

Zkouška se provádí v klimatizovaném prostředí, jehož teplotní tolerance nesměji být větší než 1 ºC a vlhkostní kolísaní nesmí být větší než 1 % relativní vlhkosti.
Základní prostředí pro zkoušku navlhavosti je střední teplota 20 ºC a střední relativní vlhkost 98 %.
Vysychavost se určuje při střední teplotě 20 ºC a střední relativní vlhkosti 30 %.
Při zkoušce navlhavosti se zjišťují hmotnostní změny tělesa předem vysušeného při 105 ºC až 110 ºC do konstantní hmotnosti, tj. když dalším sušením po dobu 4 hodin se jeho hmotnost nezmění o více než 0,1 % z hmotnosti zjištěné při předcházejícím vážení.
Při zkoušce vysychavosti začíná zkouška s tělesem, které bylo sycenou vodou potupným ponořováním při celkové době ponoru trvající 4 dny.
Absolutní hodnota zjištěné hmotnostní změny se při obou zkouškách vztahuje na výchozí hmotnost tělesa a vyjadřuje se v procentech.

### 5.3.2.7 Stanovení deformačních vlastností betonu

Zkoušky deformačních vlastností (stanovení statického modulu pružnosti nebo stanovení objemových změn betonu) se zpravidla provádějí jen v případě zvláštních doplňkových požadavků při specifikaci betonu nebo při vědecké experimentální činnosti.

Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku se provádí dle ČSN ISO 6784.

Metoda stanovuje hodnotu sečnového statického modulu pružnosti při opakovaném plynulém zatěžování zkušebního tělesa dostředným tlakem (přednostně válec, alternativně hranol) z výchozího základního zatěžovacího stavu při vyvozeném napětí 0,5 MPa na horní zatěžovací napětí ve výši odpovídající cca jedné třetině předem stanovené hodnoty pevnosti betonu v tlaku $f_c$.

V průběhu změn zatěžovacích stavů se předepsaným způsobem pomocí speciálních přístrojů (deformometrů, tenzometrů) sledují deformace betonu a zaznamenají se v čase jejich ustálení na určených zatěžovacích stavech.



*Obr.* 5.35 – Měření modulu pružnosti pomocí dvojice snímačů délky se základnou 200 mm

Statický modul pružnosti v tlaku $E_c$ (MPa) se vypočítá ze vztahu:

$$E_c = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b}$$

kde $\sigma_a$ je horní zatěžovací napětí v MPa ($\sigma_a$ = 1/3 $f_c$),

$\sigma_b$ – základní napětí (0,5 MPa),

$\varepsilon_a$ – průměrné poměrné přetvoření při horním zatěžovacím napětí (-),

$\varepsilon_b$ – průměrné poměrné přetvoření při základním napětí (-).

Statický modul pružnosti se zaokrouhluje na nejbližších 100 MPa, resp. 500 MPa, je-li výsledek menší nebo větší než 10 000 MPa.

Stanovení objemových změn betonu dle ČSN 73 1320 se provádí v časových intervalech (zpravidla od stáří betonu 1 den až do 90 dnů, případně až do 360 dnů) jako poměrná podélná přetvoření zkušebních těles ve tvaru hranolů, uložených v přepsaných podmínkách (obvykle v klimatizovaném definovaném prostředí teploty a vlhkosti). Změny vyvolané smršťováním nebo nabýváním betonu se zaznamenávají pomocí speciálního zařízení, např. jako při měření modulu pružnosti.

Smrštění, popř. nabývání, $\varepsilon_{s,n}$ (‰) se pro každé jednotlivé měření vypočítá ze vztahu:

$$\varepsilon_{s,n} = \frac{z_n - z}{z}.1000$$

kde $z$ je změřená délka měrné základny při zahájení měření (mm),

$z_n$ – změřená délka měrné základny v n-tý den tvrdnutí betonu (mm).

Výsledná hodnota smrštění nebo nabývání betonu se stanoví jako aritmetický průměr poměrných délkových přetvoření stanovených na jednotlivých zkušebních tělesech celé sady (zpravidla 3 tělesa).

Obdobným způsobem, pouze při definovaném dostředném zatížení zkušebních hranolů (obvykle zatěžovací silou odpovídající 30 % hranolové pevnosti betonu), se stanovuje dotvarování betonu a vyjadřuje se jako poměrné podélné celkové stlačení betonu $\varepsilon_{m,n}$ (‰).

### 5.3.2.8 Mrazuvzdornost betonu

Mrazuvzdornost betonu se zkouší dle ČSN 73 1322, je-li specifikován požadavek na prokázání odolnosti ztvrdlého betonu střídavým cyklům zmrazování a rozmrazování (tání).

Pro zkoušku se používají zkušební hranoly zpravidla ve stáří 28 dnů nebo 56 až 90 dnů, které se v případě že nebyly po uvedenou dobu uloženy ve vodní lázni dle ČSN EN 12390-2 nejdříve postupným ponořováním nasytí vodou po dobu 3 dnů a poté se podrobují zkušebním cyklům, při kterých jsou po dobu 4 hodin vystaveny mrazu v rozmezí teplot –15 ºC až –20 ºC (bude-li beton v konstrukci vystaven mrazu do –20 ºC, resp. teplotám –18 ºC až –23 ºC (bude-li beton v konstrukci vystaven mrazu pod –20 ºC) a následnému rozmrazování po dobu 2 hodin ve vodní lázni s teplotou +15 ºC až +22 ºC. Zkouška se provádí buď ruční manipulací se vzorky nebo pomocí automatických programovatelných mrazících boxů, např. KD-20. Zmrazovací cykly jsou rozděleny do etap po 25 cyklech, obvyklý min. počet zkušebních cyklů je 50 (T50), max. počet cyklů bývá až 150 (T150).

Podle dosaženého počtu cyklů se beton označuje stupněm mrazuvzdornosti T50, resp. T150. Beton je považován za vyhovující tomu počtu zmrazovacích cyklů, při kterých součinitel mrazuvzdornosti (stanovený jako poměr z hodnot průměrných výsledků zkoušky pevnosti betonu v tahu za ohybu dle ČSN EN 12390-5 na tělesech zmrazovaných ku nezmrazovaným) není menší než 75 %, příp. úbytek hmotnosti každého zmrazovaného zkušebního tělesa nepřesáhl 5 %. Alternativně je možno použít pro hodnocení stavu zkušebních těles v průběhu zkoušky nedestruktivní (nepřímou) metodu, např. měření ultrazvukovým přístrojem dle ČSN EN 12504-4 (dříve dle ČSN 73 1371).

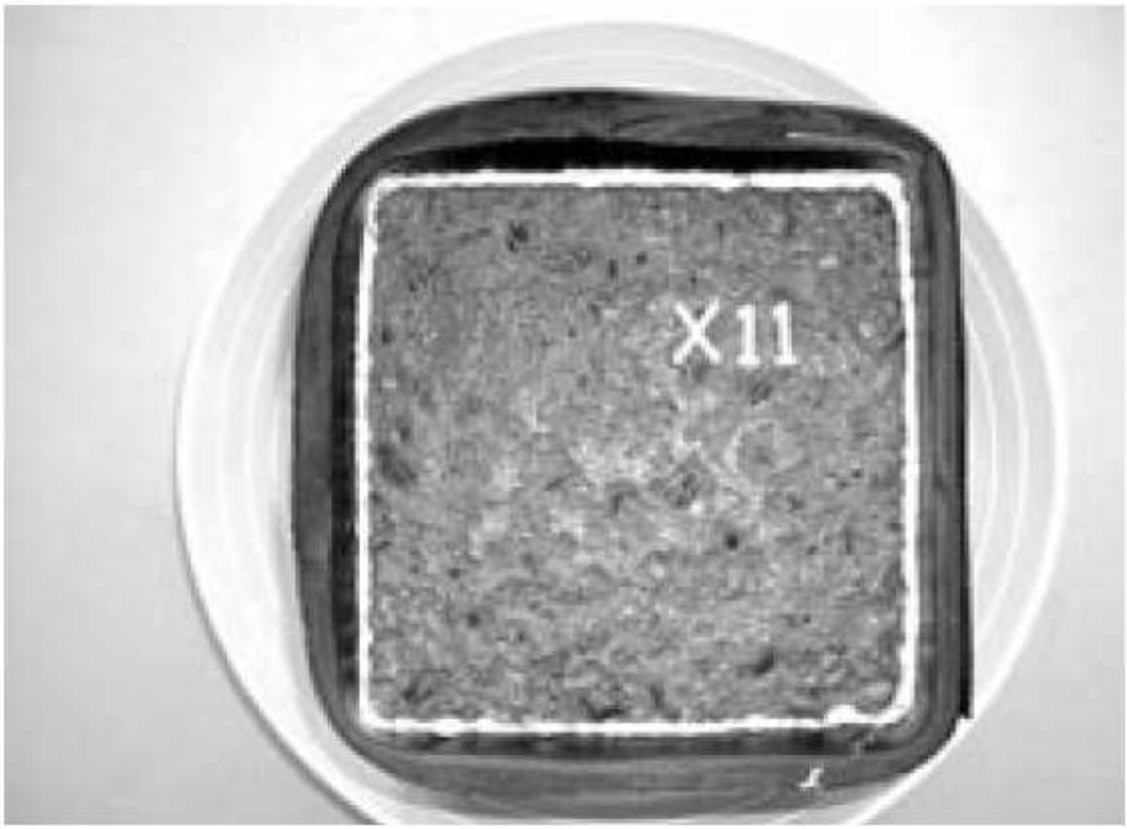
### 5.3.2.9 Odolnost povrchu betonu proti rozmrazovacím prostředkům

Prokázání odolnosti povrchu betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek (zkráceně CHRL) je velmi často specifikováno pro betony používané v dopravním stavitelství na kryty vozovek, mosty, silniční prefabrikáty, dlažební desky, bloky, obrubníky apod.

Zkouška se provádí dle ČSN 73 1326 buď metodou A (automatické cyklování), nebo metodou B (ruční manipulace se vzorky).

Alternativou k postupu A je v praxi často používaná metoda s označením C (automatické cyklování II), jejíž postup byl nejprve specifikován v Příloze 3 TKP 18 MDS ČR a v roce 2003 byl jako Změna Z1 zařazen do výše uvedené ČSN 73 1326. Další změnu v metodice zkoušení odolnosti povrchu proti zmrazování a rozmrazování při použití rozmrazovacích solí přinesly nově zavedené normy ČSN EN 1338 – 1340 pro betonové dlažební bloky, desky a obrubníky (2004).

U všech metodik je shodně horní (výrobní) plocha zkušebních těles (válce, krychle, vývrtu z konstrukce nebo dílce) vystavena působení rozmrazovací látky (3 % roztoku NaCl nebo přímému posypu NaCl u metody B) a definovanému působení střídavých cyklů kladných a záporných teplot v určitých časových režimech.




*Obr. 5.36* Zkušební vzorek pro zkoušku odolnosti povrchu betonu CHRL

Zkoušky metodou A i C a podle metodiky v Příloze D ČSN EN 1338-40 se provádějí ve speciálních programovatelných zařízeních, pro zkoušku metodou B postačuje pouze mrazicí box.

Zkouška metodami A, B i C probíhá po etapách, vždy po 25 zkušebních cyklech se zachytí uvolněné částice betonu ze zkušební plochy a vymění se solný roztok, je-li používán. Po každé zkušební etapě se zachycené odlupky vysuší při teplotě (105 ±5) $^{o}$C a zváží. Stanovený počet cyklů pro metodu A je 100 cyklů (kontrolní zkouška) resp. 150 cyklů (průkazní zkouška), pro metodu C je odpovídající počet cyklů 75, resp. 115 cyklů.

Při zkoušce podle metodiky v Příloze D ČSN EN 1338-40 jsou navíc všechny povrchy zkušebních vzorků vyjma testovaného povrchu chráněny tepelnou izolací (doporučuje se polystyrén o tloušťce cca 20 mm) a požadovaný počet cyklů je 28 během v režimu 1 cyklus za den. V průběhu zkoušky se pouze udržuje hladina solného roztoku na zkušebním povrchu postupným doplňováním ve fázi tání po 7 a 14 dnech.

Výsledkem všech zkoušek je stanovení celkové hmotnosti odpadu betonu s povrchu tělesa (ve vysušeném stavu) vztažený na 1 m$^2$ zkušební plochy (g.m$^{-2}$), který se porovná s limitní požadovanou hodnotou pro daný metodický postup resp. typ výrobku. (zpravidla max. 1 000 g.m$^{-2}$).

## 5.4 Zkoušení cementu

Normou, která uvádí požadavky na vlastnosti složek, údaje o jejich poměrném zastoupení pro jednotlivé druhy a třídy cementů a specifikuje mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti, je v případě cementů pro obecné použití ČSN EN 197-1.

Zkušební postupy používané při kontrole cementů spadajících pod ČSN EN 197-1 jsou zachyceny v souboru norem nesoucích skupinové označeni ČSN EN 196 – Metody zkoušení cementů.

V roce 2005 byla novelizována ČSN EN 196-2 Metody zkoušení cementu - Část 2: Chemický rozbor cementu a očekává se doplnění této normy o část 2.2 -Chemický rozbor cementu metodou rentgenové fluorescenční spektrometrie. V roce 2007 byla vydána ČSN EN 196-10 Metody zkoušení cementu - Část 10: Stanovení obsahu ve vodě rozpustného chrómu (Cr6+) v cementu. Blíže o chemickém zkoušení cementu pojednává kap. 5.12 .3. 1.

### 5.4.1 Odběr a úprava vzorků

Postupy pro odběr a úpravu vzorků k prokázání shody vlastností cementu s normou jsou zakotveny v ČSN EN 196, část 7. Odběrem vzorku cementu je třeba zajistit jedno nebo několik ucelených množství cementu z většího objemu, kterým může být silo, sklad pytlů, cisterna apod. Vzorek má být reprezentativní pro celé posuzované množství.

Každý laboratorní, kontrolní nebo archivní vzorek musí být tak velký, aby postačil k dvojnásobnému provedení zkoušek, požadovaných postupem. Pokud není množství specifikováno jinak, měla by velikost vzorku činit minimálně 5 kg.

Pro vzorek, který má sloužit ke kontrole shody, se za postačující množství považuje zpravidla hmotnost vzorku 40 až 50 kg.

Každý odebraný vzorek je třeba označit jménem a adresou odběratele, úplným označením cementu (podle ČSN EN 197), datem a místem odběru, příp. dalšími zpřesňujícími údaji a všemi zjištěními, která by mohla mít vliv na kvalitu vzorku (např. okolnosti odběru, výskyt cizích těles atd.).

### 5.4.2 Stanovení měrné hmotnosti cementu

Měrná hmotnost je definována hmotností objemové jednotky látky bez dutin a pórů. Vypočítá se ze vztahu :

$$\rho = \frac{m}{V_h}$$

kde $\rho$ je hustota v $kg.m^{-3}$ ($g.cm^{-3}$),

$m$ – hmotnost vzorku v kg (g),

$V_h$ – objem vzorku vlastní hmoty v $m^3$ ($cm^3$).

Z uvedeného vzorce vyplývá, že pro výpočet hustoty musíme určit hmotnost a objem vzorku. Hmotnost zjišťujeme vážením. Je třeba vhodně volit velikost a citlivost vah, aby výsledek byl dostatečně přesný.

Stanovení objemu vlastní látky je obtížnější. Většina stavebních látek není látkami dokonale hutnými, nýbrž obsahuje určitý podíl pórů či dutin, které nelze při stanovení objemu zanedbat. Z tohoto důvodu je nutné nejprve z látky odstranit póry a dutiny, a to velmi jemným rozemletím látky.

Obvyklé stavební materiály meleme tak, aby částice propadly sítem o velikosti oka 0,125 mm, u menších pórů je někdy nutno umlít materiál ještě jemněji. Hustotu původní látky pevného skupenství zjišťujeme pak na umleté látce obvykle pyknometrickou metodou. Cement je dodáván jako práškovitý materiál a pro stanovení hustoty již není třeba provádět jeho mletí.

Pyknometrická metoda patří mezi nepřímé metody, neboť při ní nahrazujeme měření objemu práškovité látky jejím několikerým vážením v pyknometru.

Pyknometr je laboratorní skleněná lahvička se zabroušeným hrdlem, do něhož přesně zapadá rovněž zabroušená zátka podélně provrtaná. Při zasunutí zátky na doraz přebytečná kapalina unikne kapilárou a v pyknometru se uzavře vždy konstantní objem.

V laboratořích používané pyknometry mají obvykle objem 25, 50 nebo 100 ml.

Hustotu při stanovení pyknometrem počítáme z upraveného základního vzorce:

$$\rho = \frac{m \times \rho_k}{m + m_4 - m_3}$$

kde $m$ je hmotnost vzorku použitého ke zkoušce ($m = m_2 - m_1$),

$m_1$ – hmotnost prázdného suchého pyknometru včetně zátky,

$m_2$ – hmotnost suchého pyknometru se vzorkem a zátkou,

$m_3$ – hmotnost uzavřeného pyknometru se vzorkem a měřicí kapalinou,

$m_4$ – hmotnost uzavřeného pyknometru s měřicí kapalinou,

$\rho_k$ – hustota měřicí kapaliny při teplotě zkoušky.

Tento vzorec je odvozen z obecného základního vzorce následujícím způsobem:

Víme, že objem práškovitého vzorku $V_h$ o hmotnosti $m$ bude roven objemu kapaliny $V_k$ vzorkem vytlačené. Protože však i pro kapalinu platí, že:

$$V_k = \frac{m_k}{\rho_k}$$

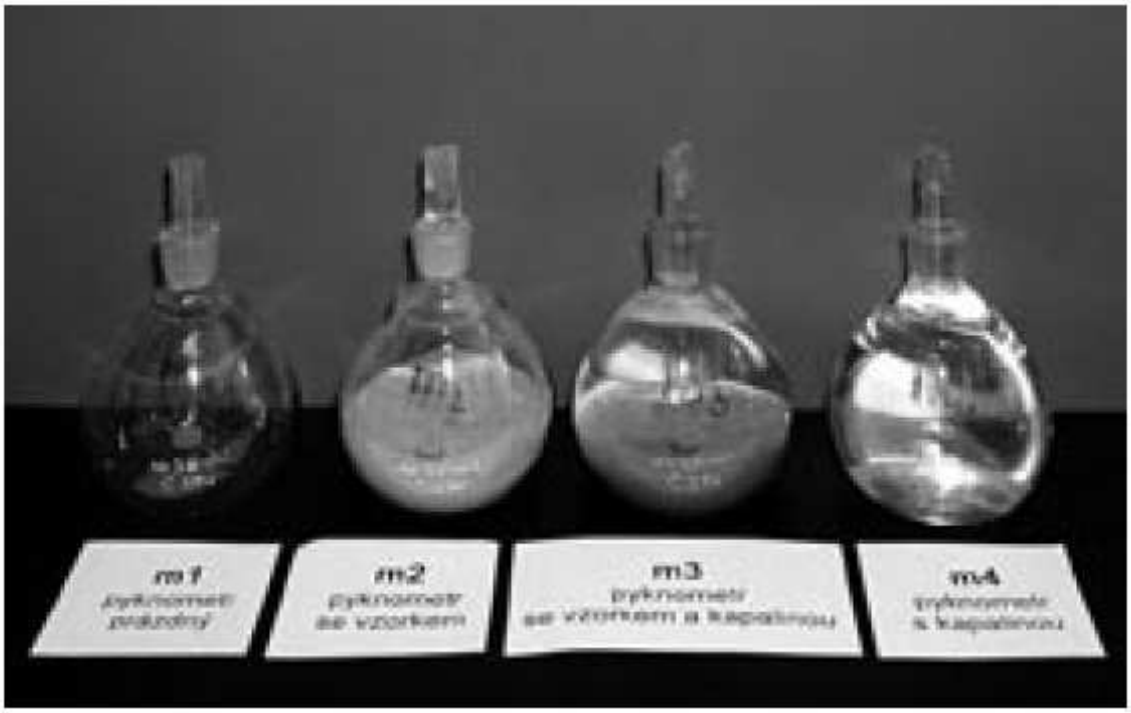
kde $m_k$ je příslušné množství kapaliny, jejíž objem $V_k$ byl práškem o objemu $V_h$ z pyknometru vytlačen. Bude platit :

$$\rho = \frac{m}{V_h} = \frac{m}{V_k} = \frac{m.\rho_k}{m_k}$$

Hmotnost kapaliny, vzorkem vytlačené snadno zjistíme na základě čtyř vážení, protože platí :

$$m_k + m_3 = (m_2 - m_1) + m_4$$

Dosazením za $m_k$ získáme výše uvedený vzorec.




*Obr. 5.37* Stanovení hustoty pyknometrickou metodou

$m_1$ – pyknometr prázdny, $m_2$ – pyknometr se vzorkem, $m_3$ – pyknometr se vzorkem a kapalinou, $m_4$ – pyknometr s kapalinou

Pokud používáme k měření kapalinu, jejíž hustotu při dané teplotě neznáme, můžeme i tuto hustotu určit pomocí pyknometru, porovnáním se známou hustotou vody při dané teplotě podle vzorce:

$$\rho_k = \frac{m_4 - m_1}{m_5 - m_1} . \rho'$$

kde $m_5$ je hmotnost pyknometru s destilovanou vodou,

ρ´ – hustota vody (998,2 kg.m$^{-3}$ při 20℃ ).

Pokud potřebujeme určovat hustotu měřicí kapaliny, stanovíme nejprve hmotnost prázdného suchého pyknometru včetně zátky – $m_1$. Pak pyknometr naplníme až pokraj kapalinou, uzavřeme jej na doraz zátkou tak, aby přebytečná kapalina mohla kapilárou volně uniknout. Je nutno přesvědčit se nakloněním pyknometru, zda kapalina vyplňuje celý objem, tj. zda nezůstaly v pyknometru vzduchové bublinky. Potom otřeme povrch pyknometru a zvážíme – $m_4$. Nakonec zvážíme pyknometr naplněný destilovanou vodou – $m_5$.

Při zjišťování hustoty cementu (jiného pevného materiálu) postupujeme tak, že vysušený pyknometr naplníme vzorkem cementu (příp. umletým vzorkem jiného materiálu) asi do 1/3 objemu a zvážíme jej včetně zátky – $m_2$. Hmotnost vzorku vypočítáme jako rozdíl:

$m = m_2 – m_1$.

Přidáme měřicí kapalinu asi do 2/3 objemu pyknometru, obsah opatrným kroužením promícháme, aby ze vzorku unikly vzduchové bubliny a všechny části se ponořily.

K úplnému odstranění vzduchu je třeba obsah pyknometru povařit po dobu 2 hodin. Ohřev se musí provádět citlivě, s použitím vyhřívané lázně. Šetrnější odvzdušňovací metodu představuje umístění pyknometru (s cementem dostatečně smočeným měřicí kapalinou) v exsikátoru a následné opatrné snížení tlaku v exsikátoru pomocí vývěvy.

Odvzdušněný pyknometr necháme podle potřeby vychladnout. Pak pyknometr doplníme až po okraj měřicí kapalinou, uzavřeme a opět zvážíme – $m_3$.

Dosazením do základního vzorce vypočítáme hustotu materiálu v příslušných jednotkách a přepočítáme na základní jednotky kg.m$^{-3}$.

Práce je nutné provádět v laboratorních podmínkách s hmotami a kapalinami, které jsou v místnosti již déle uloženy, takže se jejich teplota shoduje s teplotou okolního prostředí. Pokud se užívá ke zkoušce látek, které mají jinou teplotu, je třeba před vážením vždy pyknometr vytemperovat na teplotu, při níž zkoušku provádíme.

Stanovení měrné hmotnosti se provede odděleně na třech dílčích navážkách. Veškerá vážení se provádějí s přesností 0,001 g. Výsledkem je průměr ze tří stanovení. Při zjišťování hustoty cementu se použije kapalina nereagující s cementem, např. bezvodý etanol.

Pyknometrická metoda je velmi rozšířeným způsobem stanovení objemu vzorků nepravidelného tvaru. Používá se například pro stanovení měrné hmotnosti kameniva a dalších zrnitých materiálů.

Přístroj pro moderní způsob stanovení hustoty představuje heliový pyknometr, který místo pyknometrické kapaliny používá helium.

### 5.4.3 Stanovení jemnosti mletí

Pro stanovení jemnosti mletí cementu uvádí ČSN EN 196-6 dvě metody – metodu prosévací a metodu permeabilitní (Blaineova metoda).

#### 5.4.3.1 Prosévací metoda

Prosévací metoda slouží pouze ke stanovení hrubých částic cementu. Je vhodná především pro kontrolu a řízení jakosti. Jemnost mletí cementu se stanoví prosíváním na normalizovaných sítech, čímž se určí obsah zrn cementu, jejichž zrnění je větší než daný rozměr otvoru síta.

#### 5.4.3.2 Permeabilitní metoda

Jemnost mletí se při použití permeabilitní metody vyjadřuje jako měrný povrch cementu, tedy jako povrch jednotkového hmotnostního množství cementu. Dnes se k vyjádření měrného povrchu používá především jednotka $m^2.kg^{-1}$, v normě ČSN EN 196-6 je však ve vzorcích i v požadavcích na přesnost metody uváděna jednotka $cm^2.g^{-1}$. Platí, že:

$1\ m^2.kg^{-1} = 10\ cm^2.g^{-1}$

Měrný povrch cementu se běžně pohybuje ve stovkách $m^2.kg^{-1}$.

Permeabilitní metoda vychází z Darcyho zákona a zjišťuje rychlost proudění vzduchu přes vrstvu standardně zhuštěného cementu. Čas, který je potřebný pro průtok určitého množství vzduchu zhuštěným cementovým lůžkem dané velikosti a porozity, však sám o sobě neumožňuje zjistit velikost měrného povrchu v absolutních jednotkách. Permeabilitní měření je zkouškou srovnávací a pro kalibraci přístroje, umožňující výpočet absolutních hodnot měrného povrchu, je nutný referenční materiál.

Jako referenční materiál se používá *standardní cement*, tedy cement jehož povrch byl stanoven absolutní metodou založenou adsorpci měrného plynu se známým měrným povrchem (metoda BET). Standardní cement dodává Výzkumný ústav stavebních hmot v Brně.

Základem Blainova přístroje pro permeabilitní měření je trubicovitá průtoková komora určená k vytvoření zpevněné cementové vrstvy (*cementového lůžka*). V cementové vrstvě je vždy uzavřen určitý daný objem vzduchu. Tento objem vzduchu představuje část celkového objemu cementového lůžka a označujeme jej jako porozitu ***e.***

Počet a velikost pórů v daném cementovém lůžku jsou ovlivněny velikostí a rozdělením zrn cementu a je jimi ovlivňována doba nutná pro průchod vzduchu. Za normalizovaných podmínek je měrný povrch úměrný $\sqrt{t}$ , přičemž *t* je doba potřebná k průtoku stanoveného množství vzduchu zpevněným cementovým lůžkem.

Objem cementových částic v cementovém lůžku činí *( 1 – e ).* Jestliže *V* je celkový objem cementového lůžka, činí celkový objem cementu *V*( 1 – e )* a hmotnost cementu *m* lze pak označit jako :

$$m = \rho . V . (1 - e)$$

kde $\rho$ je měrná hmotnost cementových částic (g.cm$^{-3}$). Stanoví se např. jako průměr ze tří měření pyknometrickou metodou.

Pro běžné měření se cement se musí zpevnit tak, aby vytvořené cementové lůžko mělo předepsanou porozitu *e = 0,500*. Aby bylo možno připravit cementové lůžko s porozitou *e = 0,500*, naváží se množství cementu $m_1$ :

$$m_1 = 0{,}500 . \rho . V$$

kde $\rho$ je měrná hmotnost cementu v g.cm$^{-3}$,

*V* – objem cementového lůžka v cm$^3$.

Objem cementového lůžka *V* je dán objemem prostoru v průtokové komoře pod doraženým pěchovacím pístem. Objem cementového lůžka pro konkrétní průtokovou komoru se stanoví podle ČSN EN 196-6 vážením rtuti potřebné k naplnění celé průtokové komory $m_2$ a rtuti potřebné k doplnění části objemu průtokové komory nad zhutněným cementovým lůžkem $m_3$. Objem cementového lůžka *V* se pak vypočte podle rovnice:

$$V = \frac{m_2 - m_3}{\rho_{Hg}} \quad (cm^3),$$

kde $\rho_{Hg}$ je měrná hmotnost rtuti při teplotě zkoušky.

Jako alternativní postup pro stanovení objemu cementového lůžka lze použít i stanovení výpočtem z rozměrů naměřených s přesností 0,01 mm.

Měrný povrch *S* se vypočítá ze vztahu:

$$S = \frac{K}{\rho} \cdot \frac{\sqrt{e^3}}{(1-e)} \cdot \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0{,}1\eta}} \quad (cm^2.g^{-1})$$

kde *K* je konstanta přístroje,

*e* – porozita cementového lůžka,

*t* – naměřený čas poklesu kapaliny mezi ryskami (s),

$\rho$ – měrná hmotnost cementu (g.cm$^{-3}$),

$\eta$ je viskozita vzduchu při teplotě zkoušky (Pa.s).

Při dané porozitě e = 0,5 a teplotě 20 ± 2 ℃ platí:

$$S = \frac{524{,}2 . K . \sqrt{t}}{\rho} \quad (cm^2.g^{-1})$$

Konstantu přístroje *K* zjistíme měřením permeability referenčního cementu, u kterého známe jeho měrný povrch. Postup se opakuje na třech vzorcích. Pro každý z těchto

vzorků se vypočítá průměr ze tří hodnot času a teploty. Pro každý vzorek se vypočítá konstanta *K* podle vztahu:

$$K = S_0 \cdot \rho_0 \cdot \frac{(1-e)}{\sqrt{e^3}} \cdot \frac{\sqrt{0{,}1\eta_0}}{\sqrt{t_0}}$$

kde $S_0$ je měrný povrch referenčního cementu ($cm^2.g^{-1}$),

$t_0$ – průměr ze tří časů poklesu kapaliny (s),

$\eta_0$ – viskozita vzduchu při průměru ze tří teplot (Pa.s) podle tabulky 5.1 a $\rho_0$ je měrná hmotnost referenčního cementu ($g.cm^{-3}$).

Při dané porozitě *e = 0,500* je

$$K = 1{,}414 \times S_0 \times \rho_0 \times \frac{\sqrt{0{,}1\eta_0}}{\sqrt{t_0}}$$

Konstanta *K* se udává jako průměr ze tří hodnot.

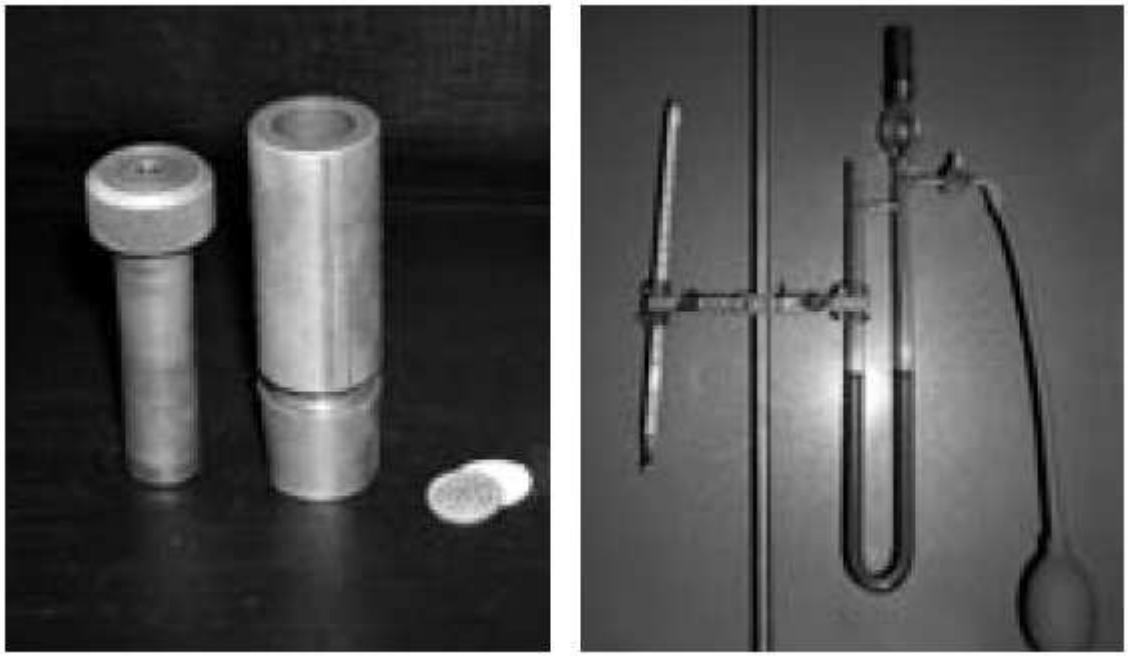
Cementové lůžku se připravuje tak, že se do průtokové komory vloží děrovaná destička a přikryje se kolečkem nového filtračního papíru. Potom se do komory vsype odvážené množství cementu $m_1$ a poklepáním na stěny komory se urovná povrch cementu.

Na urovnaný cement se vloží další filtrační papírek. Vloží se píst a opatrně se stlačí dolů, až se spodní strana pístu dotkne tělesa komory, potom se mírně zvedne, pootočí se o 90° a znovu přitlačí. Píst se pomalu opatrně vyjme. Cementové lůžko je takto zpevněno a připraveno k vlastnímu zjištění permeability.

Tlakový spád potřebný k průtoku vzduchu zkušební komorou se v Blaineově přístroji vytváří s pomocí skleněné U-trubice částečně naplněné manometrickou kapalinou. Jedno rameno U-trubice je na horní straně ukončeno kuželovým hrdlem pro vzduchotěsné připojení průtokové komory. Toto rameno je opatřeno čtyřmi vyleptanými značkami $M_1$ až $M_4$ a odbočkou se vzduchotěsným uzavíracím kohoutem, ke které je připojen odsávací pryžový balónek. Druhé rameno U-trubice je volné.

Pokud je v obou ramenech stejný tlak, sahá manometrická kapalina v trubici k nejnižší vyleptané značce. Jako manometrická náplň se používá kapalina o nízké viskozitě a hustotě, která zároveň není hygroskopická (vhodný je např. dibutylftalát nebo lehký minerální olej).

Kuželová část průtokové komory se vloží do rozšířeného hrdla. Kohout se otevře a opatrně, lehkým nasátím vzduchu pryžovým balónkem se hladina kapaliny natáhne k nejvyšší značce. Kohout se zavře a vzduch hnaný tlakem kapaliny (vyvolaným rozdílem hladin v obou ramenech) prochází do trubice přes cementové lůžko. Dochází k poklesu hladiny kapaliny. Měříme čas poklesu *t* mezi druhou a třetí ryskou.



*Obr. 5.38* Blaineův přístroj a průtoková komora

Hodnoty viskozity vzduchu Tab. 5.1

| Teplota prostředí (°C) | Vizkozita vzduchu $\eta$ (Pa.s) | $\sqrt{0,1\eta}$ |
|---|---|---|
| 16 | 0,00001800 | 0,001342 |
| 17 | 0,00001805 | 0,001344 |
| 18 | 0,00001810 | 0,001345 |
| 19 | 0,00001815 | 0,001347 |
| 20 | 0,00001819 | 0,001349 |
| 21 | 0,00001824 | 0,001351 |
| 22 | 0,00001829 | 0,001353 |
| 23 | 0,00001834 | 0,001354 |
| 24 | 0,00001839 | 0,001356 |

Poznámka: Mezilehlé hodnoty se zjistí interpolací.

### 5.4.4 Požadavky na mechanické a fyzikální vlastnosti

Počátek tuhnutí u všech druhů a pevnostních tříd cementů stanovený podle ČSN EN 196-3 musí odpovídat požadavkům uvedeným v *tab. 5.2*.

Objemová stálost u všech druhů a pevnostních tříd cementů zjištěná podle ČSN EN 196-3 musí odpovídat požadavkům uvedeným v *tab. 5.2.*

Mechanické a fyzikální požadavky ČSN EN 197-1 *Tab. 5.2*

| Pevnostní třída | Pevnost v tlaku ($N.mm^{-2}$) | | | | Počátek tuhnutí (min.) | Objemová stálost (rozepnutí) (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Počáteční pevnost | | Normalizovaná pevnost | | | |
| | 2 dny | 7 dní | 28 dnů | | | |
| 32,5 N | – | ≥ 16 | ≥ 32,5 | ≤ 52,5 | ≥ 75 | ≤ 10 |
| 32,5 R | ≥ 10 | – | | | | |
| 42,5 N | ≥ 10 | – | ≥ 42,5 | ≤ 62,5 | ≥ 60 | |
| 42,5 R | ≥ 20 | – | | | | |
| 52,5 N | ≥ 20 | – | ≥ 52,5 | – | ≥ 45 | |
| 52,5 R | ≥ 30 | – | | | | |

Normalizovaná pev*nost* cementu je pevnost v tlaku po 28 dnech při zkoušení podle ČSN EN 196-1. Norma ČSN EN 197-1 zavádí 3 třídy normalizované pevnosti: třídu 32,5, třídu 42,5 a třídu 52,5.

Počáteční pevností cementu se rozumí pevnost v tlaku po 2 dnech nebo po 7 dnech stanovená podle ČSN EN 196-1. Rychlovazné cementy (značené R) vykazují po dvou dnech počáteční pevnost tlaku o 10 MPa vyšší než normální cementy stejné třídy (značené N).

#### 5.4.4.1 Příprava kaše normální hustoty

Vlastnosti cementové kaše (směs cementu a vody) se mění v závislosti na jemnosti mletí cementu a množství přidané vody. Pro měření a posuzování poměrů tuhnutí a objemové stálosti je proto podstatné, aby cementová kaše měla vždy stejnou počáteční hustotu – konzistenci. Proto je třeba nejprve připravit cementovou kaši normální hustoty.

Cementová kaše normální hustoty je definována určitým odporem proti vnikání hustoměrného válečku Vicatova přístroje. Zjištění množství vody potřebné pro dosažení normální hustoty se provede několika pokusy na cementových kaších s různým vodním součinitelem. Vodním součinitelem nazýváme hmotnostní poměr vody ku cementu.

Pro zkoušku se naváží 500 g cementu s přesností na 1 g. Zvolené množství vody, například 125 g, se odměří odměrným válcem nebo se naváží. Ke zkoušce má být použita voda destilovaná nebo deionizovaná. Pokud se používá jakákoliv jiná voda, je nutné prokázat, že je s ní dosahováno stejných výsledků.

K míchání cementové kaše se používá normová míchačka s nádobou a míchací metlou předepsaného provedení. Při přípravě cementové kaše se cement opatrně sype do vody, předložené v míchací nádobě tak, aby nedošlo ke ztrátám vody ani cementu. Doba, po kterou přidáváme cement do vody, musí být delší než 5 s, ale nesmí překročit 10 s. Okamžik ukončení přidání cementu je výchozí hodnotou pro měření času.

Míchačka se pak uvede do provozu nízkou rychlostí. Míchání se provádí otáčením metly rychlostí 140 ot./min. po dobu 90 s., pak se míchání na 15 sec. zastaví. V této době se stěrkou setře cementová kaše ulpělá na stěnách nádoby. Další míchání pokračuje opět rychlostí 140 ot./min. po dobu 90. Celková doba míchání je tedy 3 minuty.

K měření konsistence takto připravené kaše se používá Vicatův přístroj s výměnnými nástavci, které se uchycují do osy pohyblivé části přístroje. Výměnnou součástí Vicatova přístroje je prstenec tvaru komolého kužele z tvrzené pryže umístěný na skleněné destičce, který se plní zkoušenou kaší.

Penetrační váleček pro stanovení normální hustoty (Tetmayerův váleček) má průměr 10 ±0,05 mm a účinnou délku 50 mm. Jehla pro stanovení poměrů tuhnutí má při účinné délce 50 mm průměr 1,13 mm.

Vicatův přístroj se před zkouškou nastaví do nulové polohy tak, že hustoměrný váleček se postaví na podložní skleněnou destičku a pohyblivá stupnice se posune do takové polohy, aby ukazatel splýval s nulovou ryskou.

Zamíchaná cementová kaše se ihned naplní s malým přebytkem do Vicatova prstence s podložkou. Povrch cementové kaše se zarovná s okrajem prstence tak, aby byl hladký. Bezprostředně potom se Vicatův prstenec na podložce postaví středem pod hustoměrný váleček, který se posune tak, aby byl ve styku s povrchem cementové kaše. V této poloze se podrží 1 až 2 s. Nato se pohyblivá část uvolní a hustoměrný váleček vniká svisle do středu cementové kaše.

Zkouška normální hustoty musí být provedena do 4 min. po ukončení vsypání cementu do vody. Na stupnici se odečte hloubka vniknutí tehdy, když hustoměrný váleček již hlouběji do cementové kaše nevniká, nejpozději však po 30 s.

Odečtená hodnota udává vzdálenost mezi spodní plochou hustoměrného válečku a skleněnou destičkou. Po každé zkoušce se váleček očistí.

Zkouška se opakuje s cementovou kaší obsahující různé množství vody tak dlouho, až je dosaženo vzdálenosti mezi spodní plochou hustoměrného válečku a skleněnou destičkou 6 ± 2 mm. Obsah vody zaokrouhlený na 0,5 % je obsahem vody, potřebným k dosažení normální hustoty.



*Obr. 5.39* Vicatův přístroj s hustoměrným válečkem a jehlou

### 5.4.4.2 Stanovení dob tuhnutí

Ke stanovení dob tuhnutí použijeme kaši normální hustoty. Za dobu tuhnutí je považován časový úsek, po němž jehla vnikne do stanovené hloubky cementové kaše normální hustoty.

Pro stanovení počátku tuhnutí se hustoměrný váleček ve Vicatově přístroji nahradí ocelovou jehlou. Nastavení stupnice do nulové polohy a postup provedení vpichu je stejný jako v případě použití válečku.

Počátek tuhnutí se stanovuje na stejném vzorku cementové kaše ve vhodně zvolených intervalech (např. 10 minut) a na vhodných místech, vzdálených nejméně 8 mm od okraje prstence a 10 mm od posledního vpichu. Po každém vpichu se Vicatova jehla očistí.

Počátkem *tuhnutí* se rozumí doba, která uplyne od vsypání cementu do vody až do okamžiku, kdy vzdálenost mezi jehlou a skleněnou podložkou činí $6 \pm 3$ mm.

Konec *tuhnutí* je definován jako doba, která uplyne od smíchání cementu s vodou po okamžik, kdy jehla pronikla do zatvrdlé cementové kaše jen do hloubky 0,5 mm.

Přesnost měření může být zvýšena zkrácením časového intervalu mezi vpichy v blízkosti počátku tuhnutí. Pro stanovení dob tuhnutí je možné použít automatické přístroje. Smí však být použity za podmínky, že prokazatelně poskytují stejné výsledky, jakých je dosahováno s přístroji a zkušebním postupem uvedenými v normě.




*Obr. 5.40 Automatický Vicatův přístroj*

### 5.4.4.3 Stanovení objemové stálosti

Účelem stanovení objemové stálosti je posoudit možné nebezpečí pozdějšího rozpínání zatvrdlého cementu v důsledku hydratace volného oxidu vápenatého nebo volného oxidu hořečnatého.

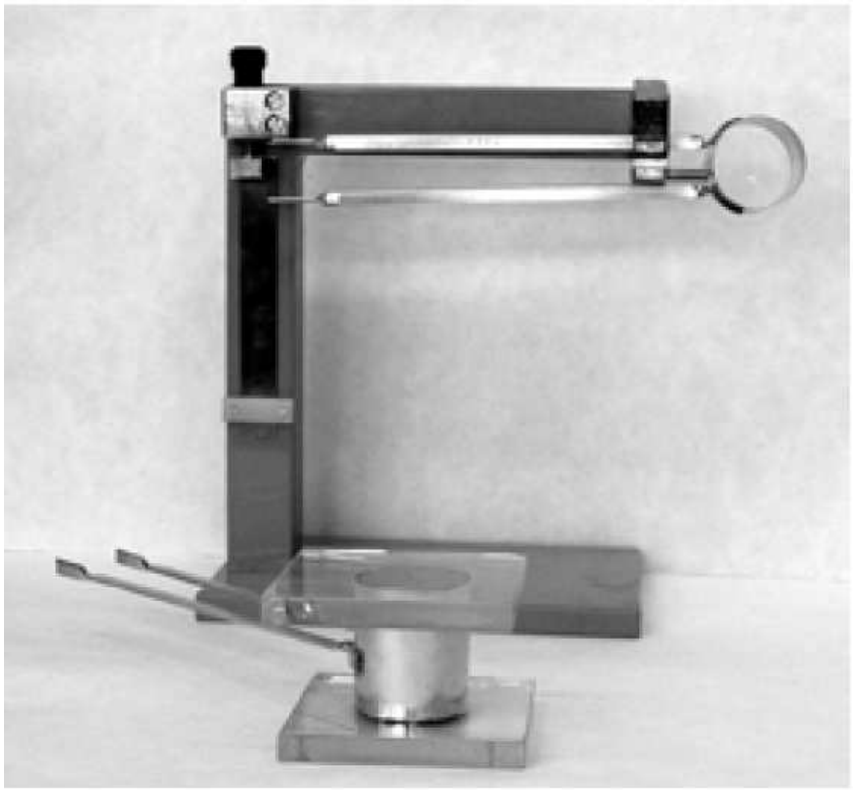
Ke zkoušce se používá cementová kaše normální hustoty a provádí se pomocí Le Chatelierovy objímky.

Le Chatelierova objímka válcovitého tvaru průměru 30 mm a výšky 30 mm je tvořena pružným plechovým páskem ze směsi zinku a mědi. V místě, kde je váleček po délce rozříznut, je ke každé straně řezu připevněna 150 mm měřicí tyčinka. Vlivem rozpínání cementu se objímka rozevírá, konce tyčinek se výrazněji od sebe vzdalují. Vlastnosti tohoto zařízení musí odpovídat hodnotám uvedeným v ČSN EN 196-3.

K objímce patří dvě skleněné destičky, které musí mít základnu větší než Le Chatelierova objímka. Krycí destička musí mít hmotnost nejméně 75 g (případně lze použít závaží).

Zkouška se provádí souběžně na dvou zkušebních tělíscích ze stejné záměsi cementu. Lehce naolejovaná Le Chatelierova objímka se postaví na mírně naolejovanou skleněnou základovou destičku, ručně se naplní cementovou kaší normální hustoty a její povrch se zarovná. Během plnění se musí vhodným způsobem zabránit rozevírání objímky.

Objímka se přikryje mírně naolejovanou skleněnou destičkou (event. zatíží přídavným závažím) a umístí do vlhkého prostředí. Tam je ponechána při teplotě 20 ± 1 °C a relativní vlhkosti nejmén ě 98 % po dobu 24 hodin.



*Obr. 5.41* Le Chatelierova objímka

Po 24 hodinách se změří vzdálenost *A* mezi hroty tyčinek s přesností na 0,5 mm. Objímka se pak uloží do vodní lázně, která se přivede v průběhu 30 min. k bodu varu vody. Při této teplotě je vodní lázeň udržována 3 hodiny. Po vaření se změří vzdálenost *B* mezi hroty tyčinek s přesností na 0,5 mm.

Objímka se ochladí na 20 ± 2 °C a zm ěří se vzdálenost hrotů tyčinek *C* se stejnou přesností.

V protokolu o zkoušce se uvádí hodnoty *A* a *C* mezi hroty tyčinek i rozdíl *C – A.* Aritmetický průměr dvou měření rozdílů *C – A* se propočte s přesností na 0,5 mm. Výsledky se porovnají s požadavky ČSN EN 197-1.

### 5.4.4.4 Výroba zkušebních těles pro zkoušky pevnosti

Pevnost v tlaku, příp. v ohybu, cementu se zkouší podle ČSN EN 196-1 na zkušebních tělesech ve tvaru trámečků o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Tato tělesa se vyrábějí z cementové malty plastické konzistence, obsahující 1 hmotnostní díl cementu a 3 hmot. díly standardního písku a 0,5 dílu vody.

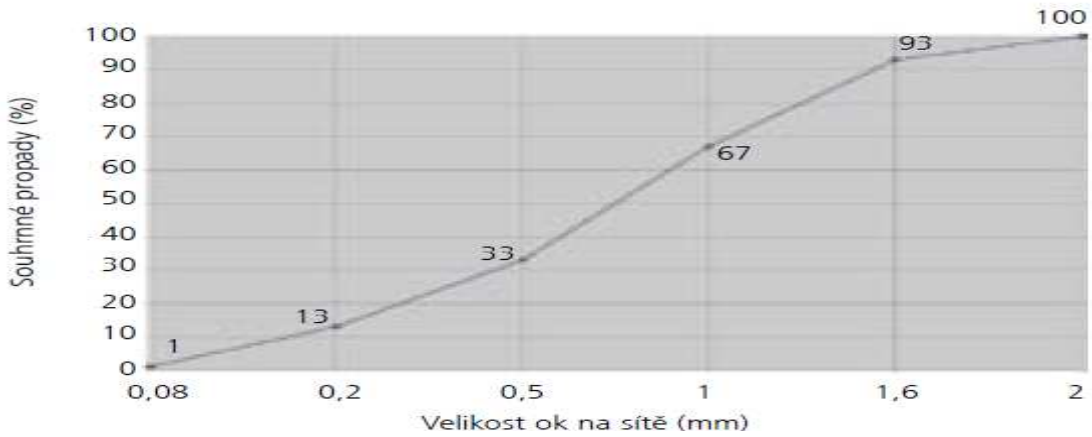
Podle ČSN EN 196-1 se používají pro výrobu zkušebních těles normalizované písky CEN. *Normalizovaný písek CEN* musí být certifikován podle CEN národní normalizační organizací, v jejíž působnosti se vyrábí.

Normalizovaný písek CEN je přírodní křemičitý písek sestávající převážně ze zaoblených částic s obsahem oxidu křemičitého nejméně 98 % hmotnostních. Vlhkost vyjádřená v % hmot. vysušeného vzorku musí být menší než 0,2 % a zrnitost musí odpovídat zrnitosti uváděné pro mezinárodního standard – referenční písek *CEN* (*obr. 5.42*).

Vzhledem k tomu, že je obtížné normalizovaný písek CEN jednoznačně a úplně specifikovat, je nutné při certifikačních zkouškách shodu normalizovaného písku přímo porovnat s referenčním pískem CEM.

Jestliže je mezi odběrem a zkoušením doba delší než 24 hod., musí být cement uložen ve vzorkovnici z materiálu, který s cementem nereaguje. Vzorkovnice musí být zcela naplněna a vzduchotěsně uzavřena.

Standardní písek CEN může být dodáván v oddělených frakcích nebo předem smíchaný v dávkovaných balíčcích (1350 ± 5 g).




*Obr. 5.42* Granulometrie referenčního písku CEN

Voda pro referenční zkoušky musí být destilovaná. Pro ostatní zkoušky smí být použita voda pitná. Cement, písek i voda musí mít laboratorní teplotu.

Každá záměs pro 3 zkušební tělesa obsahuje:

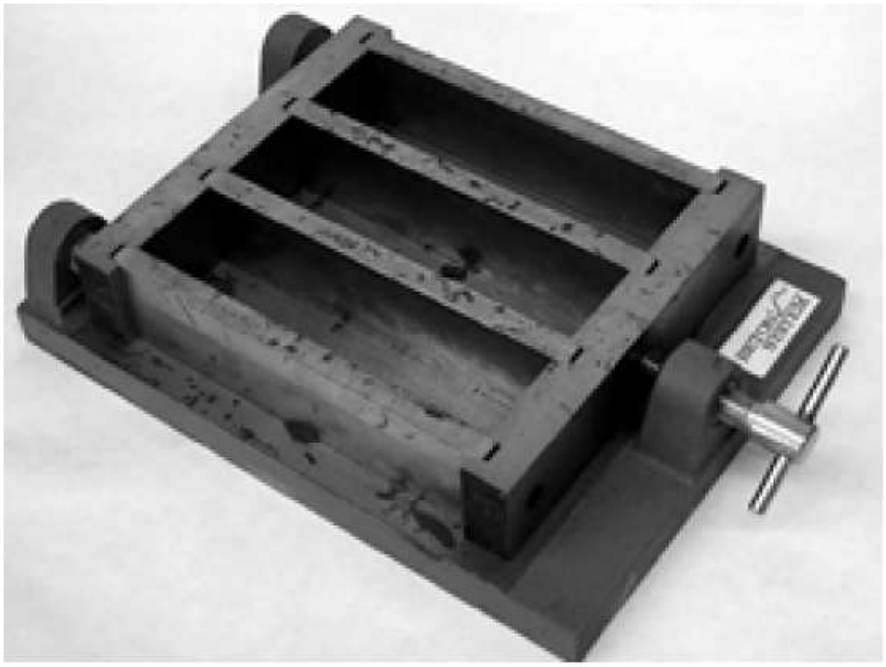
| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 | cement | 1 díl | 450 ± 2 g |
| 3 | standardní písek | 3 díly | 1350 ± 5 g |
| 4 | voda | 1/2 dílu | 225 ± 1 g ( v/c = 0,5) |

Míchání se provádí v míchačce popsané v *kap. 5.4.4.1*. Každá záměs se připravuje následujícím způsobem:

5 do nádoby se vnese voda a cement,
6 spustí se míchání nízkou rychlostí (140 ot./min.),
7 po 30 s se plynule v průběhu následujících 30 s přisype písek. (Používá-li se písek v oddělených frakcích, přisypávají se samostatně stanovená množství jednotlivých frakcí, počínaje hrubou frakcí.)
8 poté se míchá 30 s vyšší rychlostí (285 ot./min.),
9 míchačka se na 90 s zastaví. Během prvních 15 s se pomocí gumové stěrky setře všechna malta ulpělá na stěnách nádoby,
10 v míchání se pokračuje 60 s vyšší rychlostí (285 ot./min.).

Časový program pro jednotlivé úseky míchání musí být dodržen s přesností na ± 1 s.

Bezprostředně po ukončení míchání se maltou rovnoměrně naplní jednotlivé díly formy s nasazeným nástavcem. Do každého dílu se dává cca 300 g malty. Malta se rovnoměrně rozprostře a pak se první vrstva zhutní šedesáti rázy. Forma se rovnoměrně naplní zbývající maltou a v každém dílu formy se malta rozprostře. Zhutní se dalšími 60 rázy.



*Obr. 5.43* Forma pro přípravu tělísek z cementové malty




*Obr. 5.44* Zhutňovací stolek

Forma se opatrně sejme se stolku a odstraní se nástavec. Přebytečná malta se setře kovovým pravítkem, postaveným svisle. Uhlazení se provede nejprve pomalým pilovitým pohybem, který je veden jedenkrát v každém směru a pak se dokončí tak, že se pravítko drží v ostrém úhlu k uhlazovanému povrchu. Setřením se odstraní zbytky malty, které ulpí na okrajích formy. Tělesa se označí pro pozdější identifikaci.

### 5.4.4.5 Uložení zkušebních těles

Na formu se položí deska o rozměrech 210 x 185 mm o tl. 6 mm ze skla nebo z jiného nepropustného materiálu. Každá označená pokrytá forma se umístí do vlhkého prostoru a uloží na vodorovnou podložku. Formy nesmí být postaveny na sobě. Každá forma se odebírá z uložení ve vhodnou dobu k vyjmutí těles. Tělesa určená pro zkoušky po 24 hodinách se do provedení zkoušky přikryjí vlhkou tkaninou.

Tělesa určená pro pozdější termíny zkoušek se vhodným způsobem označí a uloží vodorovně nebo svisle do vody o předepsané teplotě. Při vodorovném uložení musí plochy, které při výrobě byly svislé být opět svisle uloženy a uhlazená plocha musí směřovat vzhůru.

Tělesa musí být uložena na nekorodujících roštech, aby voda měla přístup ke všem šesti stranám tělesa. Vzdálenost mezi tělesy a výška vody nad nimi nesmí klesnout pod 5 mm.

Ve stanovené době se zkušební tělesa vyjmou z vody a zatížením na ohyb se rozlomí na dvě poloviny. Každá polovina zkušebního tělesa se pak zkouší na pevnost v tlaku.Tělesa mohou být vyňata z vody nejdříve 15 min. před provedením zkoušky. Až do okamžiku zkoušky musí být přikryta vlhkou tkaninou.



*Obr. 5.45* Přípravek pro normové uložení zkušebních těles

### 5.4.4.6 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Zkušební těleso se uloží do zkušebního stroje na jednu z bočních ploch na válcové podpěry tak, že jeho podélná osa je k válcovým podpěrám kolmá. Vzdálenost os obou válcových podpěr je 100 mm. Zatížení se přenáší přes zatěžovací válec kolmo na protilehlou boční plochu zkušebního tělesa (deformující síla tedy působí kolmo na původní směr zhutnění malty) a zvyšuje se rovnoměrnou rychlostí 50 ± 10 N/s až do zlomení. Poloviny trámečků se uchovávají do doby zkoušky pevnosti v tlaku ve vlhku.

Pevnost v ohybu se počítá z obecného napětí v ohybu jako jeho mezní hodnota podle vzorce:

$$R_f = \max.\sigma_f = \frac{\max.M}{W}$$

kde $R_f$ je pevnost v ohybu v MPa, $\sigma_f$ je napětí ohybu v MPa, M je ohybový moment v N.mm, W je průřezový modul v místě porušení v $mm^3$.

Průřezový modul trámečku s čtvercovým průřezem o straně a se vypočte jako:

$W = (b^3)/6$

Ohybový moment M je při vzdálenosti podpěr l a použitém uspořádání zkoušky dán vztahem:

$M = (F_t.l)/4$

ČSN EN 196-1 uvádí pro výpočet pevnosti v tahu za ohybu vztah po dosazeni:

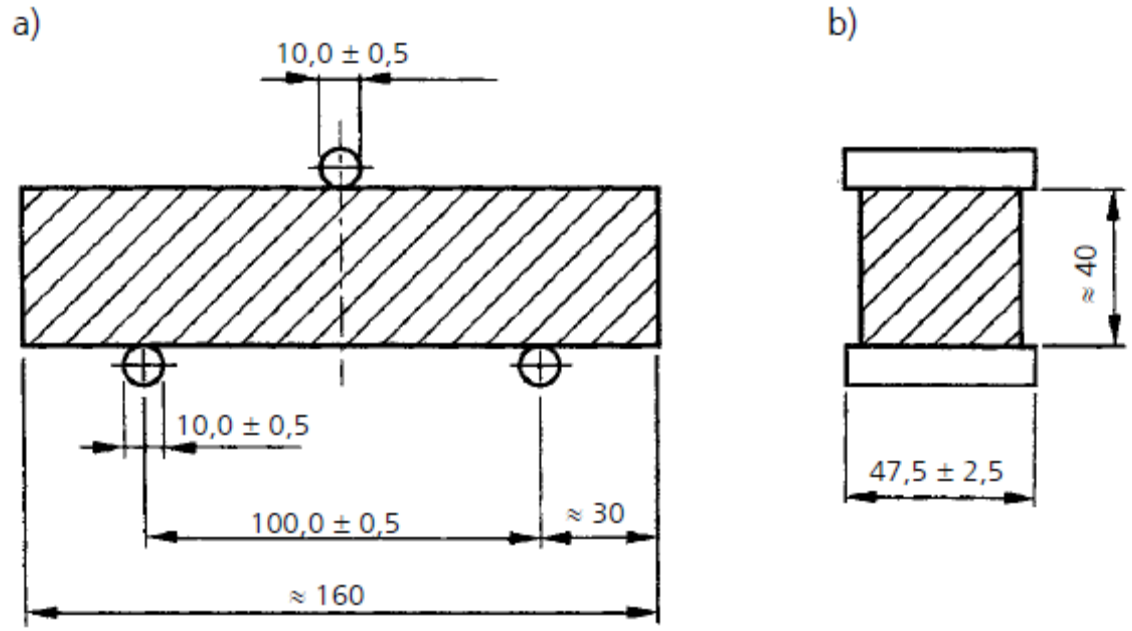
$$R_f = \frac{1{,}5 \times F_t x l}{b^3}$$

kde $R_f$ je pevnost v tahu za ohybu, v MPa;

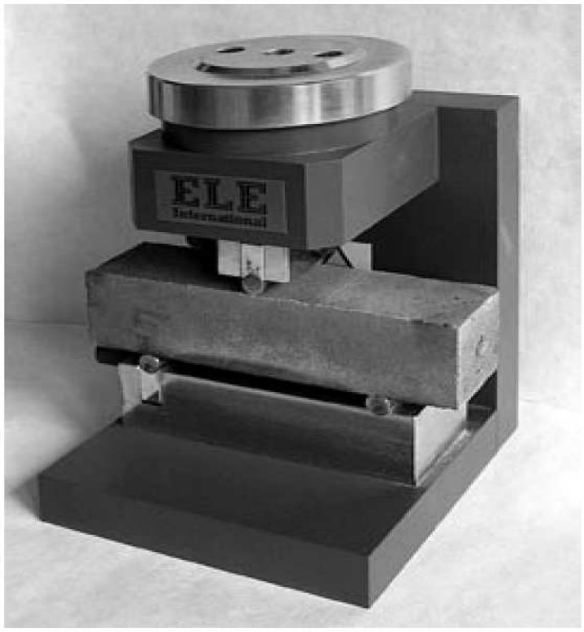
$b$ strana čtvercového průřezu trámečku, v mm;

$F_t$ zatížení vynaložení na střed trámečku při zlomení, v N;

$l$ vzdálenost mezi podporami, v mm.




*Obr. 5.46* Uspořádání zatížení pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu



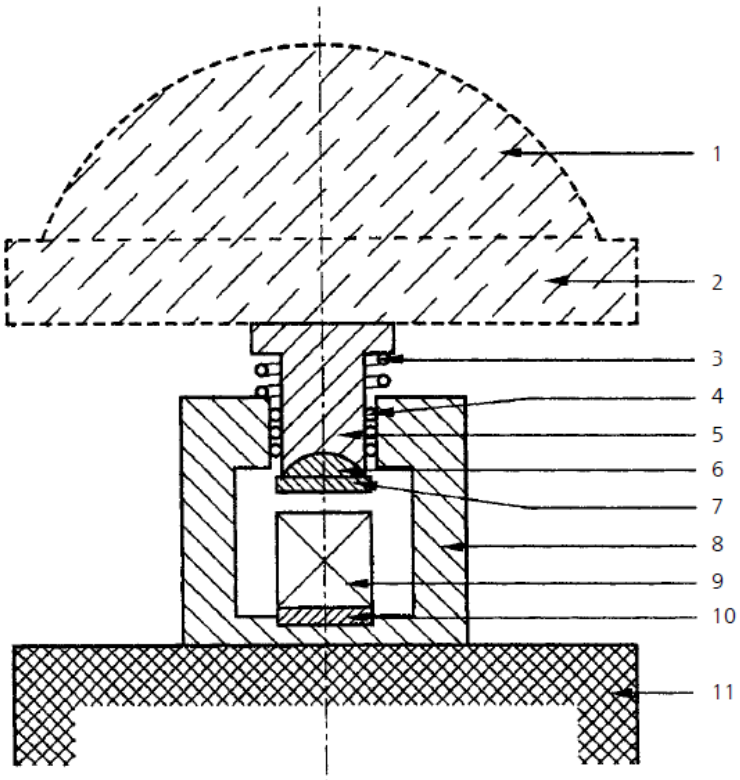

*Obr. 5.47* Přípravek pro zkoušky pevnosti v ohybu

### 5.4.4.7 Stanovení pevnosti v tlaku

Poloviny trámečků po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu se zkouší na pevnost v tlaku. Poloviny trámečků se vloží bočními plochami (kolmo na směr hutnění) mezi pomocné ocelové destičky, které přesně vymezují velikost tlačné plochy nepravidelného zlomku. Podle ČSN EN 196-1 jsou rozměry destiček z tvrzené oceli 40 mm x min. 40 mm a tloušťka min. 10 mm. Tyto destičky vymezují velikost plochy podrobené tlakovému namáhání (1600 $mm^2$).

Vzájemná poloha horní a dolní destičky musí být během zkoušky stálá, výslednice zatížení musí procházet středem zkušebního tělesa. Zkušební stroj musí mít možnost nastavení na vhodný pracovní rozsah, rychlost zatěžování by měla ležet v rozmezí 2400 $\pm$ 200 $N.s^{-1}$.

Pro splnění parametrů předepsaných ČSN EN 196-1 je možné použít ke zkoušce speciální přípravek s kulovým uložením horní tlačné destičky.




*Obr. 5.48* Schéma přípravku pro zkoušení pevnosti v tlaku

1 – kuličkové ložisko, 2- pohyblivá část, 3-vratná pružina, 4- kulové uložení zkušebního stroje, 5- horní tlačná deska zkušebního stroje, 6- kulové uložení přípravku, 7- horní tlačná destička přípravku, 8- zkušební těleso, 9- dolní tlačná destička, 10- spodní deska přípravku, 11- spodní deska zkušebního stroje.

Pevnost v tlaku se vypočte ze vztahu:

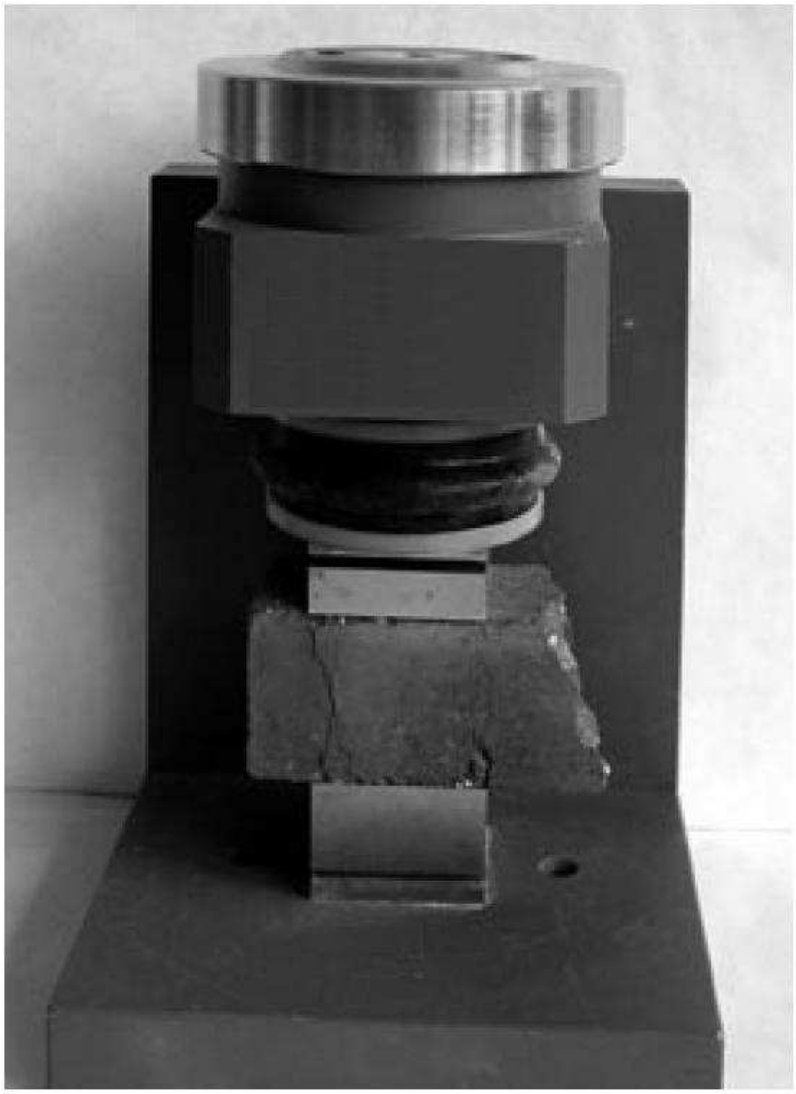
$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

kde $R_c$ je pevnost v tlaku, v MPa

$F_C$ je nejvyšší zatížení při porušení v N,

1 600 plocha vymezená tlačnými destičkami v $mm^2$ (40mm x 40mm).

Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr šesti hodnot pevnosti v tlaku (MPa), které jsou stanoveny na sadě tří zkušebních těles. Jestliže se jedna hodnota ze šesti liší o více než 10 % od průměru ze šesti stanovení, vyřadí se a ze zbylých pěti se vypočte nový aritmetický průměr. Jestliže se opět jedna hodnota liší o více než 10 % od tohoto průměru, je nutno výsledek zkoušky odmítnout.



*Obr. 5.49* Přípravek pro zkoušky pevnosti v tlaku

### 5.4.5 Požadavky na chemické vlastnosti

Postupy pro ověření hodnot uvedených v tabulce 5.4.3 jsou popsány v *kap. 5.10.*
Požadavky na chemické vlastnosti ČSN EN 197-1 a ČSN 72 2103 *Tab. 5.3*

| Vlastnost | Zkušební metoda | Druh cementu | Pevnostní třídy | Požadavky[a] |
|---|---|---|---|---|
| Ztráta žíháním | ČSN EN 196-2 | CEM I<br>CEM III<br>CEM I SV<br>CEM III/B SV<br>CEM III/C SV | všechny | ≤ 5,0 % |
| Nerozpustný zbytek | ČSN EN 196-2[b] | CEM I<br>CEM III<br>CEM I SV<br>CEM III/B SV<br>CEM III/C SV | všechny | ≤ 5,0 % |
| Obsah síranů (jako $SO_3$) | ČSN EN 196-2 | CEM I<br>CEM IIc<br>CEM IV<br>CEM V | 32,5 N<br>32,5 R<br>42,5 N | ≤ 3,5 % |
| | | | 42,5 R<br>52,5 N<br>52,5 R | ≤ 4,0 % |
| | | CEM III[c]<br>CEM III/B SV<br>CEM III/C SV[c] | všechny | |
| | | CEM I SV | 32,5 N<br>32,5 R<br>42,5 N | ≤ 3,0 % |
| | | | 42,5 R<br>52,5 N<br>52,5 R | ≤ 3,5 % |
| $C_3A$ v cementu | ČSN EN 196-2 | CEM I SV | všechny | ≤ 3,5 %[d] |
| $Al_2O_3$ v cementu | | | | ≤ 5,0 % |
| Obsah chloridů | ČSN EN 196-21 | všechny[e] | všechny | ≤ 0,10 %[f] |
| Pucolanita | ČSN EN 196-5 | CEM IV | všechny | musí vyhovět |

[a] Požadavky jsou uvedeny jako % hmotnosti v hotovém cementu.
[b] Stanovení nerozpustného zbytku v kyselině chlorovodíkové a uhličitanu sodném.
[c] Cementy druhu CEM II/B-T, CEM III/C, CEM III/C SV smí u všech pevnostních tříd obsahovat až 4,5 % síranů.
[d] Obsah trikalciumaluminátu musí být vypočten z chemického rozboru cementu síranovzdorného podle vzorce $C_3A = 2{,}65A - 1{,}69F$, kde *A* je obsah hmotnosti oxidu hlinitého ($Al_2O_3$) v cementu při stanovení podle ČSN EN 196-2; *F* je obsah hmotnosti oxidu železitého ($Fe_2O_3$) v cementu při stanovení podle ČSN EN 196-2.
[e] Cementy druhu CEM III a CEM III SV smějí obsahovat více než 0,10 % chloridů, avšak v tom případě musí být maximální obsah chloridů uveden na obalech anebo v dokumentaci.
[f] Cementy pro předpínané prvky mohou být vyráběny s nižší hodnotou. V tom případě musí být hodnota 0,10 % nahrazena touto nižší hodnotou a ta musí být uvedena v dokumentaci.

### 5.4.6 Stanovení hydratačního tepla

K stanovení hydratačního tepla cementu se používají dva postupy, které mohou být používány nezávisle na sobě. Jsou popsány v ČSN EN 196-8 a v ČSN EN 196-9. Vypočtené hydratační teplo se vztahuje na 1 g cementu a uvádí se tedy v $J.g^{-1}$.

#### 5.4.6.1 Rozpouštěcí metoda

Základem rozpouštěcí metody je Hessův zákon, podle kterého změna entalpie soustavy za stálého tlaku závisí jen na počátečním a konečném stavu soustavy, bez ohledu na cestu z jednoho stavu do druhého.

Hydratační teplo se při použití rozpouštěcí metody určuje z rozdílu mezi rozpouštěcím teplem nehydratovaného cementu a rozpouštěcím teplem hydratovaného cementu.

K rozpouštění cementu se podle ČSN EN 196-8 používá směs připravená smísením 2600 $cm^3$ kyseliny fluorovodíkové ( 40 % HF) a 100 $cm^3$ kyseliny dusičné (2 $mol.dm^{-3}$) .

Hydratovaný cement se připravuje důkladným promísení 100 g cementu se 40 g destilované vody a vzniklá cementová kaše se v dávkách 15 – 20 g rozdělí do těsně uzavíratelných zkumavek, které se uloží do termostatu nastaveném na teplotu 20 ºC. Hydratovaný cement se před rozpouštěním drtí na zrna menší než 0,6 mm.

Vlastní měření probíhá v kalorimetru o obsahu cca 650 $cm^3$ opatřeném míchadlem a násypkou pro vsypávání rozpouštěné substance do přebytku výše uvedené směsi kyselin. Ke kalibraci kalorimetru se namísto cementu používá oxid zinečnatý (ZnO) analytické čistoty.

#### 5.4.6.2 Semiadiabatická metoda

Stanovení hydratačního tepla semiadiabatickou metodou (známou též jako Langavantova metoda) spočívá ve sledování teplotních změn vyvolaných v semiadiabatickém kalorimetru hydratací zkušební malty.

Podle ČSN EN 196-9 se zkouška provádí se vzorkem malty připravené ze zkoušeného cementu, normalizovaného písku CEN a vody ve stejném složení jaké se používá při zkouškách pevnosti cementu podle ČSN 196-1.

Zásadně rozdílný je však způsob přípravy této malty. Podle ČSN EN 196-9 se nejprve 30 sekund při nízké rychlosti za sucha homogenizuje cement a písek. Přidá se voda (zaznamená se čas přidání) a ihned se míchá nízkou rychlostí 60 sekund. Dalších 60 sekund míchání vyšší rychlostí následuje bezprostředně. Účelem této úpravy míchání je omezení tepelných ztrát.

Zkušební kalorimetr je dimenzován pro 1575 g malty a jeho základ tvoří Dewarova nádoba s vakuovaným izolačním pláštěm. Zároveň se zkušebním kalorimetrem se používá identicky zkonstruovaný referenční kalorimetr, ve kterém je uložen stejně hmotný vzorek dokonale zhydratované malty (staré nejméně 12 měsíců), popřípadě jiný inertní vzorek stejné tepelné kapacity.

Měření spočívá v postupných souběžných odečtech teploty uvnitř zkušebního a uvnitř referenčního kalorimetru s tím, že rozdíl současně odečtených teplot se považuje za vzestup teploty zkušebního vzorku vyvolaný hydratací.

Podmínky měření nejsou dokonale adiabatické (měření neprobíhá bez tepelných ztrát). Kromě celkové tepelné kapacity kalorimetru je proto zapotřebí znát ještě koeficient celkové tepelné ztráty.

Koeficient celkové tepelné ztráty kalorimetru se zjišťuje kalibračním měřením prováděným za ustálených podmínek s pomocí topného kalibračního válce. Na stanovení koeficienty celkové tepelné ztráty pak bezprostředně navazuje druhá část kalibrace, kterou se určí celková tepelná kapacita kalorimetru (metoda přirozeného ochlazování).

Koeficient tepelné ztráty vyhovujícího kalorimetru nesmí větší než 100 $J.h^{-1}.K^{-1}$pro teplotní rozsah 20 K. Vzestup teplot v průběhu měření se podle druhu cementu pohybuje od 10 do 50 K.

## 5.5 Zkoušení kameniva

Požadavky na vlastnosti kameniva jsou specifikovány souborem evropských norem. Jednotlivé normy specifikují vlastnosti kameniva získaného úpravou přírodního, umělého nebo recyklovaného materiálu a směsí těchto kameniv určených pro konkrétní použití (*kap. 4.1.3*).

Vlastnosti kameniva by měly odpovídat hodnotám určeným normou pro konkrétní účel použití. Aby bylo zajištěno, že výrobek vyhovuje normovým požadavkům, provádí se ověřování:
11 průkazními zkouškami,
12 kontrolními zkouškami.

Průkazními zkouškami se dokládá, že v dané výrobně je možné z použitých surovin předepsaným technologickým postupem a daným výrobním zařízením vyrábět, popř. těžit kamenivo vyhovující požadavkům předmětových norem kameniva. Tyto zkoušky se provádějí zejména při použití kameniva z nového zdroje nebo při významné změně jakosti suroviny či podmínek výroby.

Kontrolní zkoušky představují soustavné ověřování vlastností stanovených příslušnými předmětovými normami v průběhu výroby v normou stanovených časových intervalech.

### 5.5.1 Názvosloví

*Kamenivo* je zrnitý materiál (přírodní, umělý nebo recyklovaný) používaný ve stavebnictví.

*Kategorie* je úroveň vlastnosti kameniva, vyjádřená rozsahem hodnot nebo mezní hodnotou.

*Zrno kameniva* je jednotlivá částice kameniva.

*Velikost zrna* je číslo odvozené z jmenovité délky (velikosti) strany čtvercového otvoru kontrolního síta (v mm), jímž zrno ještě propadne.

*Zrnitost kameniva* je poměrná procentová skladba zrn kameniva podle propadu specifikovanou sadou sít.

*Frakce* je označení kameniva podle velikosti dolního (d) a horního (D) síta, přičemž označení frakce připouští přítomnost některých zrn, která zůstanou na horním sítu (nadsítné) a některých zrn, která propadnou dolním sítem (podsítné).

*Nadsítné* je souhrn všech zrn zadržených horním kontrolním sítem frakce, vyjádřený v procentech hmotnosti kameniva.

*Podsítné* je souhrn všech zrn propadlých dolním kontrolním sítem frakce, vyjádřený v procentech hmotnosti kameniva, tj. včetně jemných částic.

*Drobné kamenivo* je kamenivo, jehož zrna (*D*) mají velikost menší nebo rovnou 4 mm.

*Hrubé kamenivo* je kamenivo, jehož zrna (*D*) mají velikost větší nebo rovnou 4 mm a zrna (*d*) mají velikost větší nebo rovnou 2 mm.

*Směs kameniva* (štěrkopísek, štěrkodrť) je kamenivo, které je směsí hrubého a drobného kameniva.

*Pórovité kamenivo* je kamenivo s objemovou hmotností zrn menší nebo rovnou 2000 kg/m$^3$ nebo sypnou hmotností menší nebo rovnou 1200 kg/m$^3$.

*Čára zrnitosti* je grafickým vyjádřením zrnitosti.

*Jemné částice* jsou frakcí kameniva, která propadne sítem 0,063 mm.

*Cizorodé částice* jsou částice, které vzhledem k svému odlišnému původu nebo odlišné povaze hmoty jsou v kamenivu cizorodým materiálem (např. kousky uhlí, škváry, cihel, malty, mušlí, cizorodý odpad apod., v pórovitém kamenivu též přimíšeniny hutného kameniva).

*Škodlivé složky* jsou zrna, částice nebo látky v kamenivu, které svojí povahou popřípadě množstvím škodí z hlediska účelu, pro nějž je kamenivo určeno. Za škodlivé látky jsou považovány zejména: humusovité látky, sloučeniny síry, jílovité částice v hrudkách, látky způsobující rozpadavost nebo nebezpečí alkalického rozpínání, slída, rychle zvětrávající součásti, látky způsobující objemovou nestálost nebo narušující vaznost cementu, nedopálené hrudky ve vypalovaném kamenivu.

### 5.5.2 Označování kameniva

Kamenivo musí být identifikováno následovně:

zdroj a výrobce – jestliže materiál byl již předisponován, je nutno uvést zdroj i skládku;

druh kameniva z petrografického hlediska (viz ČSN EN 932-3);

frakce kameniva.

Nutnost dalších informací závisí na situaci a konečném použití. Objednatel by měl informovat výrobce o všech zvláštních požadavcích, které jsou spojeny s konkrétním použitím.

### 5.5.3 Technické požadavky

Potřeba zkoušení vlastností specifikovaných v normách se řídí podle konkrétního použití kameniva a jeho původu. Pro jednotlivé vlastnosti jsou stanoveny kategorie, které označují charakteristickou úroveň příslušné vlastnosti, vyjádřené buď rozsahem hodnot, nebo hodnotou limitující. Mezi kategoriemi různých vlastností nejsou vzájemné vazby.

### 5.5.4 Odběr zkušebních vzorků

Jedním ze základních požadavků na výsledky laboratorních zkoušek je jejich opakovatelnost a reprodukovatelnost. Již odběr zkušebního vzorku je prvním zásadním krokem pro zajištění možnosti úspěšně zreprodukovat výsledek zkoušky.

Z těchto důvodů jsou jak definice opakovatelnosti, tak způsob odběru a přípravy vzorků zakotveny v evropských normách. Opakovatelnost je evropskou normou ČSN EN 932 - 6 definována jako kritické rozpětí $W_c$, ve kterém by se s pravděpodobností 95 % měly pohybovat výsledky zkoušek jednotlivých stanovení.

Zatímco u kapalin a kusových vzorků je odběr poměrně jednoduchou záležitostí, v případě zrnitého a sypkého materiálu, jakým je kamenivo, mohou být zjištěné vlastnosti daleko výrazněji ovlivněny místem a způsobem odběru vzorku. Vhodný a pečlivý odběr vzorků je nezbytným předpokladem k získání hodnověrných výsledků zkoušek. Správné používání předepsaného zařízení pomáhá zajistit objektivitu při odběru vzorků.

Variabilita při odběru vzorků je v důsledku nestejnoměrnosti zmírněna na přijatelnou míru odebráním přiměřeného počtu dílčích vzorků. Dílčí vzorky se odebírají náhodně z různých míst tak, aby souhrnný vzorek byl reprezentativní.

Odběr dílčích vzorků se provádí z dopravních pasů, z pneumatických dopravníků, z korečkových dopravníků, nakladačů nebo drapáků, ze sila, skládek, případně z železničních vagónů, nákladních aut a lodi. Většinou se jedná o odběry v prostředí, kde se pohybují jednak výrobní zařízení jednak dopravní prostředky a je proto třeba dbát zvýšenou měrou na bezpečnost osoby, která odběr provádí.

K odběru dílčích vzorků se používají různá zařízení v závislosti na tom, odkud se odběr provádí. ČSN EN 932-1 v příloze A uvádí příklady vhodných zařízení a postupů odběru pro jednotlivé případy – lopaty různých tvarů a velikostí, odběrný rám pro odběr vzorků z dopravního pasu, odběrnou nádobu, sondu, trubici a další.

Množství souhrnného vzorku připraveného smísením z jednotlivě odebraných vzorků závisí na druhu a počtu zkoušek, velikosti zrn kameniva a měrné hmotnosti kameniva. Nejmenší hmotnost souhrnného vzorku se zpravidla určuje dle následujícího vztahu:

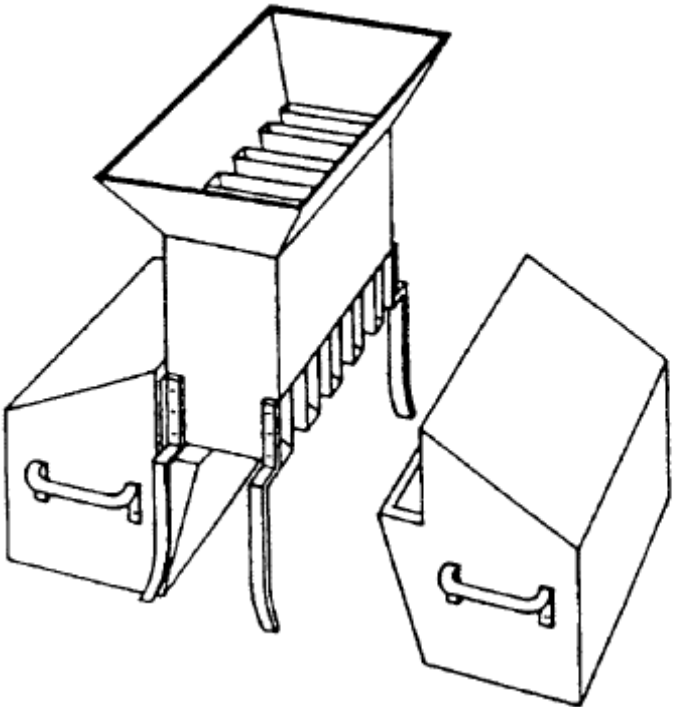
$$M = 0{,}006 \times \sqrt{D} \times \rho_b$$

kde $M$ je hmotnost vzorku v (kg),

$D$ – rozměr maximálního zrna kameniva v mm,

$\rho_b$ – objemová hmotnost volně sypaného kameniva (kg.m$^{-3}$).

Ze souhrnného vzorku se zmenšováním připravují laboratorní vzorky. Ke zmenšování laboratorních vzorků se přednostně používá metoda žlábkového děliče (ČSN EN 932-1). Souhrnný vzorek se nasype do jedné nádoby žlábkového děliče, zatímco další dvě spodní nádoby se osadí pod žlábky. Kamenivo se vysype podle delší stany nádoby uprostřed děliče. Odstraní se kamenivo, které propadlo do jedné ze dvou nádob. Tento postup se opakuje tolikrát, až se získá požadovaná velikost laboratorního vzorku.



*Obr.5.50* Žlábkový dělič

Pokud není žlábkový dělič k dispozici, připouští ČSN EN 932, část 1 a 2 i další metody zmenšování vzorku např. rotačním děličem nebo kvartací (kap. 5.2.2).

### 5.5.5 Geometrické vlastnosti

Geometrické vlastnosti kameniva vyplývají z tvaru a velikosti jeho zrn. Protože jak tvar zrn, tak jejich velikost vykazují v konkrétním kamenivu určité rozdělení, které se snadno při odběru kameniva porušuje, jsou nalezené hodnoty velmi závislé na tom, zda byly získány na opravdu reprezentativním vzorku.

#### 5.5.5.1 Zrnitost

Stanovení zrnitosti (granulometrie) kameniva spočívá v prosévání vzorku hmotnosti sadou kontrolních sít se čtvercovými otvory, vážení zbytků na sítech a určení jejich hmotnostních podílů. Navážky a zbytky na sítech se zváží s přesností 0,1% hmotnosti. Prosévání se provádí pomocí mechanického prosévacího přístroje nebo ručně. Ruční prosévání je rozhodčí metodou.

Pro provádění zkoušek zrnitosti se musí dle ČSN EN 933-2 použít síta o jmenovité velikosti otvorů 0,063 mm; 0,125 mm; 0,250 mm; 0,500mm; 1 mm; 2 mm; 4 mm; 8 mm; 16 mm, 31,5 mm; 63 mm; 125 mm. Síta s otvory velikosti 4 mm a většími jsou vyrobena z děrovaného plechu, síta s otvory menšími než 4 mm jsou z kovové tkaniny.

Při zkoušce se odděluje materiál pomocí sady sít do několika frakcí se sestupnou velikostí otvorů. Otvory sít a počet sít jsou vybírány dle druhu vzorků a požadované přesnosti. Pro zkoušku se sada sestaví podle normy tak, aby dala úplnou informaci o zrnitosti zkoušeného druhu kameniva.

Hmotnost zkušební navážky musí být v souladu s hodnotami uvedenými *v tab. 5.4.*

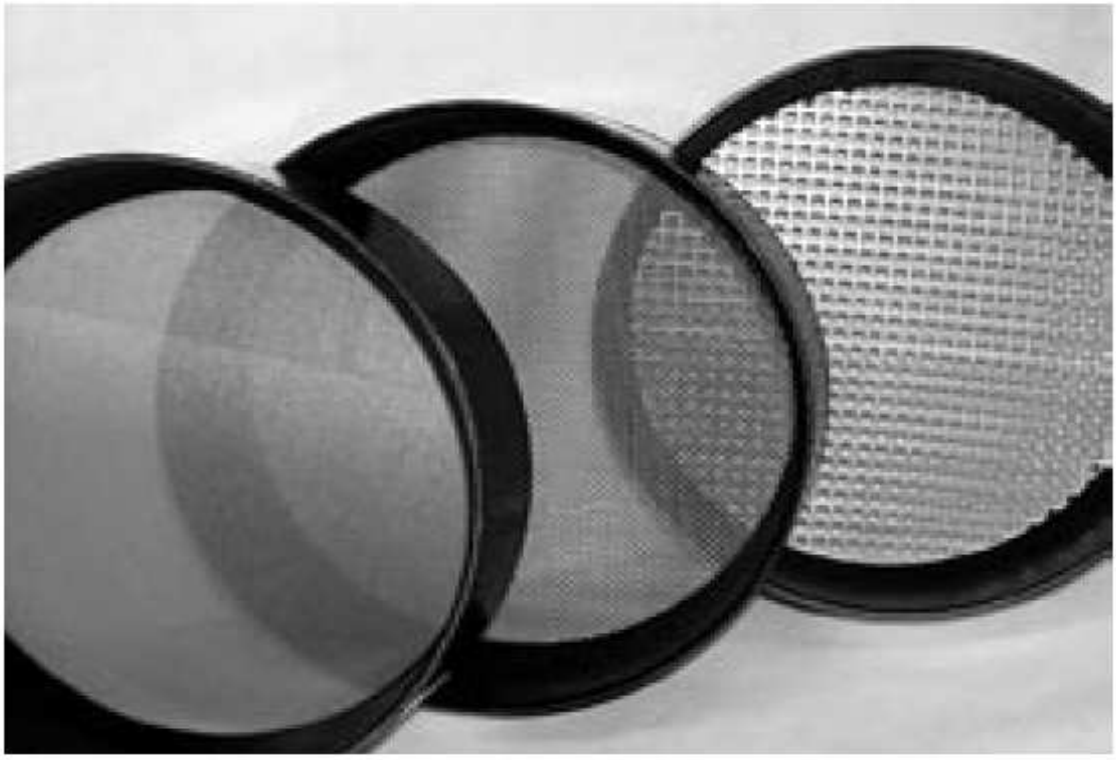
Hmotnost zkušebních navážek pro hutné kamenivo *Tab.5.4*

| Velikost největšího zrna (mm) | Min. hmotnost zkušební navážky (kg) |
|---|---|
| 63 | 40 |
| 32 | 10 |
| 16 | 2,6 |
| 8 | 0,6 |
| > 4 | 0,2 |

Pozn. 1: Pro kamenivo s jiným maximálním zrnem musí hmotnost zkušební navážky odpovídat nejblíže většímu zrnu kameniva uvedenému v tabulce.

Pozn. 2: Jestliže hmotnost zkušební navážky není v souladu s tabulkou, pak zjištěná zrnitost nevyhovuje této normě a toto musí být uvedeno v protokolu o zkoušce.

Pozn. 3: Pro kamenivo s objemovou hmotností zrn menší než 2,00 Mg/m³ nebo větší než 3,00 Mg/m³ (viz pr EN 1097-6) se použije vhodná korekce pro hmotnost zkušební navážky uvedená v tabulce, která je založena na poměru hmotnosti tak, aby hmotnost zkušební navážky měla přibližně stejný objem jako hutné kamenivo.



*Obr. 5.51* Ukázka sít s různě velkými otvory

Zkušební navážka se nejprve vysuší při teplotě 110 ± 5 ℃ do ustálené hmotnosti, nechá se vychladnout a zváží se - $M_1$. Potom se praním zbaví jemných částic (viz postup v kap. 5.5.5.3). Protékající roztok je vypouštěn do odpadu, případně jímán do nádoby, pokud je to požadováno. Praní pokračuje tak dlouho, až voda protékající sítem 63 μm je čirá.

Zůstatek na sítě 63 μm se vysuší při 110 ± 5 ℃ do ustálené hmotnosti, nechá se vychladnout a zváží se – $M_2$.

Vypraný a vysušený vzorek se vsype na síta, která jsou sestavena do sloupce tak, že nahoře je síto s největšími otvory a postupně dolů jsou síta s menšími otvory. Na horním sítě je víko a pod dolním sítem je nasazeno dno.

Sloupcem sít se otřásá ručně nebo mechanicky, pak se postupně odebírají jednotlivá síta (nejdříve se odebere síto s největšími otvory) a ručně se na každém sítě dokončí prosévání, přičemž se musí zabránit ztrátám materiálu.

Všechen materiál, který propadne sítem, se přidá na další síto ve sloupci před pokračováním prosévání na tomto sítě.

Aby se zabránilo přetížení sít, množství materiálu, které zůstává po ukončení prosévání na každém sítě (v gramech*) R,* musí vyhovovat vztahu:

$$R \leq \frac{A \times \sqrt{d}}{200}$$

kde $A$ je plocha síta ($mm^2$),

$d$ – velikost otvoru síta v (mm).

Jestliže některý ze zůstatků na sítě přesáhne tuto hodnotu, použije se jeden z následujících postupů:

zůstatek se rozdělí na menší díly, než je stanovené maximum a odděleně se prosévá,

část vzorku, který propadl nejblíže vyšším sítem, se zmenší děličem vzorku nebo kvartací a v prosévání se pokračuje na zmenšeném vzorku, přičemž se toto zmenšení musí vzít v úvahu při výpočtu.

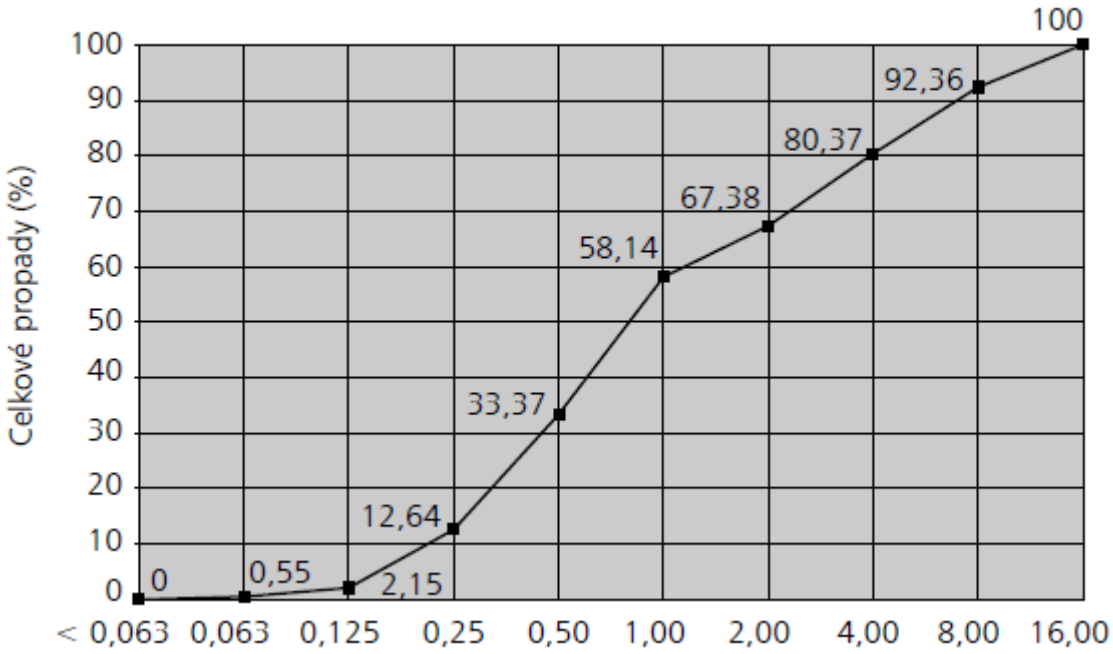
Po skončení prosévání se zváží zůstatek na sítě s největšími otvory – označí se $R_1$. Stejná operace se provede i se zůstatky na dalších sítech – označení $R_2$, $R_3$, $R_4$……$R_n$. Všechny hmotnosti se zaznamenají do zkušebního protokolu.

Hmotnosti zůstatků na každém sítě se vyjádří jako procento hmotnosti původní vysušené navážky $M_1$. Dále se vypočítají součtová procenta hmotnosti původní navážky, která propadla každým sítem od shora dolů.

Jestliže součet hmotností se liší o více než 1 % od původní navážky, zkouška se musí opakovat.

Příklad výsledku prosévací zkoušky *Tab.5.5*

| Velikost síta | Dílčí zbytky | | Celkové zbytky (%) | Celkové propady (%) |
|---|---|---|---|---|
| | (g) | (%) | | |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 8 | 153 | 7,64 | 7,64 | 92,36 |
| 4 | 240 | 11,99 | 19,63 | 80,37 |
| 2 | 260 | 12,99 | 32,62 | 67,38 |
| 1 | 185 | 9,24 | 41,86 | 58,14 |
| 0,5 | 496 | 24,78 | 66,63 | 33,37 |
| 0,25 | 415 | 20,73 | 87,36 | 12,64 |
| 0,125 | 210 | 10,49 | 97,85 | 2,15 |
| 0,063 | 32 | 1,6 | 99,45 | 0,55 |
| < 0063 | 11 | 0,55 | 100 | 0 |
| Součet | 2 002 | 100 | | |
| Modul jemnosti | | | 3,46 | |




*Obr.5.52* Grafické vyjádření výsledků – čára zrnitosti

*Tab. 5.5.* a *obr. 5.52* zachycují výsledek zkoušky zrnitosti hutného kameniva dodaného jako štěrkopísek 0/8. Bylo použito navážky v množství 2005 g.

Prosévací zkouškou byly určeny dílčí zbytky v gramech a z nich poměrné dílčí zbytky v procentech.

Součet všech dílčích zbytků (2002 g) se neliší od původní navážky (2005 g) o více než 1 % . Přepočtem dílčích zbytků v gramech na poměrné zbytky v procentech a výpočtem celkových zbytků a propadů dostaneme pořadnice čáry zrnitosti, která je vynesena na *obr. 5.53*.

Protože kamenivo bylo zkoušeno jako široká frakce 0/8, tvoří zrna větší než 8 nadsítné (hmotnostní podíl v % všech zrn větších, než je horní omezení frakce). Nadsítné je tedy 7,6 % . Podsítné (procentní hmotnostní podíl zrn menších, než je dolní mez frakce) zde není.

K popisu zrnitosti kameniva pomocí jednoduchého číselného vyjádření se používá modul zrnitosti (modul jemnosti) definovaný jako setina ze sumy celkových zbytků. Velikost modulu zrnitosti závisí na druhu a počtu použitých sít. Při uvádění hodnoty modulu je proto žádoucí výslovně uvést použitá síta (viz 4.1.3.1.1).

Především pro charakteristiku drobného kameniva je v ČSN EN 12620+A1 definován modul jemnosti na šesti sítech základní řady. Tento modul se značí FM.

$$FM = \frac{\sum \{(\rangle 4) + (\rangle 2) + (\rangle 1) + (\rangle 0{,}5) + (\rangle 0{,}25) + (\rangle 0{,}125)\ \}}{100}$$

Modul jemnosti vypočtený dle tohoto vzorce je pro ukázku rovněž uveden v *tab. 5.5*

Matematické zpracování výsledků prosévacích zkoušek je triviální, ale návrh receptury kameniva určité zrnitosti připravovaného z dostupných surovin (granulometrická syntéza) vyžaduje použití speciálního software.

Nejsofistikovanější způsob řešení přitom představuje genetický algoritmus, avšak srovnatelné výsledky poskytuje i amébový algoritmus, který je implementován ve volně dostupném granulometrickém programu Aggmix (viz. Kap. 6).

### 5.5.5.2 Tvar zrn hrubého kameniva

Kromě vlastní poměrné skladby zrn ve směsi se u kameniva stanovují další vlastnosti, které blíže popisují tvar a povrch jednotlivých zrn. Tyto tvarové charakteristiky se zjišťují pouze na hrubém kamenivu. Jsou jedněmi z hlavních ukazatelů kvality kameniva do betonu i v silničním a železničním stavitelství. U kameniva do betonu ovlivňují především zpracovatelnost betonové směsi.

Hlavními tvarovými charakteristikami jsou index plochosti, tvarový index a popis tvaru zrn.

Index plochosti se stanovuje postupem podle ČSN EN 933-3. Vysušené kamenivo se prosévání roztřídí na úzké frakce d/D. Každá frakce se pak prosévá na tyčových sítech, která mají rovnoběžné mezery šířky D/2. Souhrnný index plochosti se vypočte z celkové hmotnosti zrn propadlých na tyčových sítech a vyjádří se jako procento z celkové hmotnosti zkoušených zrn.

Tvarový index se podle ČSN EN 933-4 označuje *SI* a je definován jako hmotnostní podíl zrn, jejichž poměr rozměrů *L/E* je větší než 3 vyjádřený v procentech celkové hmotnosti zkoušených zrn.

Délka zrna *L* je největším rozměrem zrna, který je definován největší vzdáleností dvou rovnoběžných tečnových rovin povrchu zrna. Tloušťka zrna *E* je nejmenším rozměrem zrna, který je definován jako nejmenší vzdálenost dvou rovnoběžných tečnových rovin povrchu zrna.

Stanovení tvarového indexu se provádí na hrubém kamenivu pro frakce di/Di, kde Di ≤ 63 mm a di ≥ 4 mm. Postup se používá jak u kameniva přírodního, tak i umělého.

Vzorek hrubého kameniva se upraví podle požadavků EN 932-2 a vysuší se při teplotě 110 ± 5 ℃ do ustálené hmotnosti. Poté se proséván ím oddělí zrna větší než 63 mm a menší než 4 mm. Zkušební navážka ze vzorků, kde D > 2d, musí být nejprve rozdělena prosévání m na jednotlivá zrnění di/Di, kde Di ≤ 2di.

Pokud zůstane v některém zrnění méně než 100 zrn, uvádí se tato skutečnost do protokolu. Zrnění, která obsahují značný počet zrn, mohou být dále zmenšena podle EN 932-2. Po takovémto zmenšení vzorku musí zůstat v zrnění nejméně 100 zrn.

V každém zrnění se zaznamená hmotnost zrn, která mají být použita ke zkoušce. Délka *L* a tloušťka *E* každého zrna se posoudí pomocí dvoučelisťového posuvného měřítka a odloží se zrna, která mají rozměrový součinitel *L/E* > 3. Tato zrna jsou klasifikována jako zrna nekubického formátu. Zrna nekubického formátu se zváží a zaznamená se jejich hmotnost.

Tvarový index *SI* zrnění D ≤ 2d se stanoví jako podíl hmotnosti zkušební navážky a hmotnosti zrn nekubického formátu vyjádřený v procentech celkové hmotnosti navážky.

Tvarový index *SI* navážky D > 2d je podílem součtu hmotností jednotlivých zkoušených zrnění a součtu hmotnosti zrn nekubického formátu v každém zrnění vyjádřeném v procentech. Tvarový index se zaokrouhluje na celé číslo.



*Obr.5.53* Dvoučelisťové posuvné měřidlo (pro tvarový index rovný 3)

U kameniva popisujeme zrna s drsným či hladkým povrchem, s povrchem uzavřeným či pórovitým, s hranami zaoblenými (oblázky), či nezaoblenými (ostrohranná zrna). Při popisu uvádíme poměrnou četnost výskytu jednotlivých nepravidelností v navážce zkoušeného vzorku.

### 5.5.5.3 Obsah jemných částic

Obsah jemných částic se dříve stanovoval jejich oddělením od ostatního kameniva propláchnutím přes síto 0,063 mm. Vzorek se dostatečně promíchal, s vodou aby se dosáhlo dokonalé oddělení jemných částic. Obsah nádoby s kamenivem a vodou se vyléval přes síto a zbytek na sítě 0,063 mm se vysušil do ustálené hmotnosti a zvážil. Obsah jemných částic se stanovil jako úbytek hmotnosti vyjádřený v procentech.

V současnosti se posouzení jemných částic provádí zkouškou methylenovou modří na základě množství adsororbovaného barviva podle ČSN EN 933-9, případně zrnitost fileru se stanovuje proséváním proudem vzduchu podle ČSN EN 933 -10.

### 5.5.5.4 Stanovení hlinitosti kameniva

Hlinitost kameniva v objemových procentech se stanovovala podle dříve platné ČSN 72 1173 jednoduchou informativní zkouškou, při níž se kamenivo v odměrném válci promíchá s vodou a nechá se 24 hodiny usazovat. Hlinité částice vytvoří při sedimentaci samostatnou vrstvu, odlišnou od vrstvy hrubších zrn kameniva. Výsledkem zkoušky je objem suspenze jemných částic, vyjádřený v procentech celkového objemu této suspenze a vrstvy hrubších částic kameniva.

Hlinitost kameniva *H* v objemových procentech se vypočítá ze vzorce:

$$H = \frac{V_1}{V_2}.100$$

kde $V_1$ je objem vrstvy jemné usazeniny (ml) po 24 hodinách usazování,

$V_2$ *je* celkový objem vrstvy kameniva a vrstvy jemné usazeniny (ml) po 24 hodinách usazování.

Pro zkoušku se používá drobné kamenivo, u hrubého kameniva se ze vzorku odstraní větší zrna prosetím na sítě 22 mm. Kamenivem se naplní do poloviny odměrný válec o objemu 1000 ml a do značky 1000 ml se válec dolije vodou. Uzavře se dlaní nebo zátkou a obsah se důkladně protřepe.

Zůstávají-li jílovité částice na větších zrnech kameniva, nebo obsahuje-li kamenivo jílovité hrudky, je třeba protřepání po 1 až 2 hodinách opakovat. Po protřepání se povrch kameniva ve válci upraví přibližně vodorovně nakláněním a poklepáváním.

Válec se ponechá 24 hodiny v klidu a pak se odečte na stupnici válce jednak objem samotné vrstvy jemné usazeniny nad vrstvou kameniva, jednak celkový objem obou vrstev.

## 5.5.6 Fyzikální vlastnosti

Měřením fyzikálních vlastností se zjišťují jak vlastnosti hmoty tvořící jednotlivá zrna, tak celkové vlastnosti sypké soustavy, kterou kamenivo představuje.

### 5.5.6.1 Měrná a objemová hmotnost, nasákavost

Pro kamenivo se stanovuje zpravidla objemová hmotnost zrn a sypná hmotnost. Pokud je třeba zjistit měrnou hmotnost kameniva, např. pro výpočet pórovitosti, lze použít ke stanovení stejný postup (metoda pyknometrická), jaký byl popsán pro stanovení měrné hmotnosti cementu.

Pyknometrickou metodu určuje pro stanovení měrné hmotnosti fileru i ČSN EN 1097-7. Jako příklady vhodné kapaliny, která filer nerozpouští a nereaguje s ním jsou uvedeny voda, denaturovaný etanol, redestilovaný petrolej nebo toluen. Stanovení měrné hmotnosti se provede odděleně na třech dílčích navážkách. Veškerá vážení se provádějí s přesností 0,001 g.

Objemová hmotnost zrn (ČSN EN 1097-6) se vypočte z poměru hmotnosti k objemu. Hmotnost se stanoví zvážením vodou nasycené a povrchově osušené zkušební navážky kameniva a opět zvážením po vysušení v sušárně do ustálené hmotnosti (tj. pokud se hmotnost po vysoušení trvajícím nejméně 1 hodinu nezmění o více než 0,1 %).

Objem se stanoví z hmotnosti vytlačené vody, buď snížením hmotnosti metodou s drátěným košem, nebo vážením při pyknometrické metodě.

#### 5.5.6.1.1 Metoda s drátěným košem

Používá se pro zrna kameniva od 31,5 do 63 mm. Zkušební navážka se promyje, aby se odstranily jemnější částice a vzorek se nechá oschnout.

Nejmenší hmotnost zkušební navážky *Tab.5.6*

| Největší frakce kameniva (mm) | Nejmenší hmotnost zkušební navážky (kg) |
|---|---|
| 63 | 15 |
| 45 | 7 |

Pozn.: Pro jiné velikosti se nejmenší hmotnost zkušební navážky interpoluje z těchto hodnot.

Metoda je založena na Archimedově zákoně, tj. na rozdílu hmotnosti vzorku váženého na suchu a ponořeného v kapalině. Připravená zkušební navážka se vloží do drátěného koše a ponoří do nádoby s vodou o teplotě 22 ± 3 ℃ tak, aby voda přesahovala přes okraj koše min. o 50 mm. Vzduch z navážky se odstraní tak, že se 25krát zvedne asi 25 mm nad dno a opět ponoří, vždy jedenkrát za sekundu.

Koš s kamenivem se nechá zcela ponořený ve vodě po dobu 24 ± 0,5 hodin. Po této době se protřepe a ve vodě zváží ($M_2$). Koš s kamenivem se vyjme z vody a ponechá několik minut okapat, zrna kameniva se opatrně vyjmou z koše a uloží na suchý hadřík.

Prázdný koš se znovu umístí do vody, 25krát se zvedne a nechá dopadnout na dno a zváží se ($M_3$). Kamenivo se rozprostře v jedné vrstvě a ponechá se tak dlouho, dokud nezmizí viditelný vodní film, avšak kamenivo má ještě mokrý vzhled. Kamenivo se zváží ($M_1$).

Po zvážení se kamenivo přemístí do sušárny a při teplotě 110 ± 5 °C se suší až do ustálené hmotnosti ($M_4$). V normě ČSN EN 1097-6 je použita poměrně nezvyklá jednotka Mg.m$^{-3}$. Pro převod na běžnou jednotku objemové hmotnosti platí vztah:

1 Mg.m$^{-3}$ = 1000 kg.m$^{-3}$

Objemová hmotnost zrn $\rho_a$ v Mg.m$^{-3}$ se vypočítá ze vztahu:

$$\rho_a = \rho_W \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

Nasákavost po ponoření do vody na 24 hodin $WA_{24}$ se vypočítá podle vztahu:

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$$

kde $M_1$ je hmotnost vodou nasyceného a povrchově osušeného kameniva v g,

$M_2$ je hmotnost vzorku nasyceného kameniva ponořeného v koši ve vodě v g,

$M_3$ – hmotnost prázdného koše ve vodě v g,

$M_4$ – hmotnost vysušeného kameniva v g,

$\rho_w$ je hustota vody při teplotě zkoušení v Mg.m$^{-3}$.

### 5.5.6.1.2 Metoda pyknometrická

Je založena na podobném principu, který byl popsán dříve pro stanovení měrné hmotnosti. Rozdíl spočívá pouze v tom, že vzorek není jemně umletý, neboť zjišťujeme objem zrn kameniva včetně vnitřních dutin. ČSN EN 1097-6 uvádí odděleně postup pro stanovení objemové hmotnosti zrn kameniva od 4 mm do 31,5 mm a metodu pro zrna kameniva od 0,063 mm do 4 mm. Obě metody mají obdobný postup, liší se však hmotností nejmenší přípustné zkušební navážky a logicky i velikostí použitého pyknometru.

Nejmenší hmotnosti zkušebních navážek pro pyknometrické metody *Tab.5.7*

| Největší frakce kameniva (mm) | Nejmenší hmotnost zkušební navážky (kg) |
|---|---|
| Metoda pro zrna kameniva od 4 do 31,5 mm | |
| 31,5 | 5 |
| 16 | 2 |
| 8 | 1 |
| Metoda pro zrna kameniva od 0,063 do 4 mm | |
| 4 | 1 |

Pozn.: Pro jiné velikosti se nejmenší hmotnost zkušební navážky interpoluje z těchto hodnot

Ze zkušební navážky se promytím odstraní jemnější částice a odeberou se i zrna větší, než je přípustná horní hranice velikosti 31, 5 mm (případně 4mm) podle odpovídající metody, a vzorek se nechá oschnout.

Při zkoušce se zjistí následující hodnoty:

$M_1$ hmotnost vodou nasyceného a povrchově osušeného kameniva v g;

$M_2$ hmotnost pyknometru obsahujícího vzorek kameniva nasyceného vodou a vodou v g;

$M_3$ hmotnost pyknometru naplněného vodou v g;

$M_4$ hmotnost zkušební navážky v sušárně vysušené v g.

$\rho_w$ hustota vody

Objemová hmotnost zrn $\rho_a$ v $Mg.m^{-3}$ se vypočítá ze vztahu:

$$\rho_a = \rho_W \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

Nasákavost po ponoření do vody na 24 hodin $WA_{24}$ se vypočítá podle vztahu:

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$$

### 5.5.6.1.3 Metoda pomocí odměrného válce

Pro orientační zjištění objemové hmotnosti zrn kameniva se často používá pro svoji jednoduchost metoda pomocí odměrného válce. Tento postup předepisovala ČSN 72 1171 a v současné době je již nahrazen výše uvedenými postupy podle evropských norem.

Při užití této metody se objem zrn kameniva stanovuje podle množství vody jimi vytěsněného v odměrném válci. Tato metoda je přibližná, zejména u pórovitého kameniva, avšak její přesnost většinou postačuje potřebám technické praxe. Lze ji použít pro drobné i hrubé kamenivo.

Stanovení objemové hmotnosti látek těžších než voda

Odměrný válec, jehož velikost zvolíme podle množství a rozměrů zrn (pro kamenivo se zrny do 30 mm se použije válec o objemu 1 000 ml, u zrn větších válec nejméně 2 000 ml), naplníme asi do poloviny vodou a odečteme výšku hladiny, označíme ji *A.*

Potom opatrně, aby nedošlo k vystříknutí, vsypeme do válce zvážený vzorek hmotnosti *m* (asi 1 kg u zrn menších než 30 mm, 2 kg u zrn větších). Obsah ve válci promícháme tyčinkou, aby se uvolnily bublinky ulpívající na povrchu vzorku a znovu odečteme výšku hladiny a označíme ji *B*. Vzorek vyjmeme a asi po pětiminutovém odkapání opět zvážíme – hmotnost $m_1$ .

Objemovou hmotnost vypočítáme ze vztahu:

$$\rho_V = \frac{m}{B - A + \frac{m_1 - m}{\rho_w}}$$

U látek nenasákavých se hmotnost během ponoření do vody nezmění, platí $m = m_1$ a vzorec se tím zjednoduší na tvar:

$$\rho_V = \frac{m}{B - A}$$

K vyloučení nepřesností způsobených nasákavostí během zkoušky se často vzorek kameniva nejprve nechá nasáknout, potom se vyjme, nechá se povrchově odkapat a znovu se ponoří do odměrného válce. Zde můžeme již nasáknutí během zkoušky zanedbat a objem tedy lze určit přímo z přírůstku hladiny.

Stanovení objemové hmotnosti látek lehčích než voda

U látek lehčích než voda uložíme zvážený vzorek kameniva o hmotnosti *m* do odměrného válce, na povrch položíme kotouč z děrovaného plechu nebo z pletiva a přitížíme vhodným závažím. Do válce se nalije odměřené množství vody – množství *A*, které musí být tak velké, aby byl celý vzorek ponořen včetně přítlačného závaží.

Několikerým zvednutím a spuštěním závaží se uvolní ulpělé vzduchové bublinky a pak se odečte výška hladiny – označíme ji *B.* Vzorek se vyjme, stejně jako v předcházejícím případě se ponechá několik minut odkapat a znovu se zváží – hmotnost $m_1$. Dále se ponořením do válce stanoví objem přítlačného plechu a přítlačného závaží – hodnota *C.*

$$C = B' - A'$$

kde A´ je objem kapaliny ve válci bez přítlačného plechu, B´ je objem kapaliny ve válci s přítlačným plechem.

Objemová hmotnost se vypočítá ze vzorce:

$$\rho_V = \frac{m}{B - A + \frac{m_1 - m}{\rho_w} - C}$$

kde $\frac{m_1 - m}{\rho_w}$ představuje objem vody nasáklé do kameniva.

Je-li vzorek materiálu nenasákavý nebo již předem nasáknutý, není třeba po zkoušce vzorek vážit a výpočetní vzorec se zjednoduší na tvar

$$\rho_V = \frac{m}{B - A - C}$$

Při odečítání objemu v $cm^3$ (ml) a hmotnosti v gramech vyjde objemová hmotnost v $g.cm^{-3}$, tu pak převedeme do základních jednotek.




*Obr.5.54* Stanovení objemové hmotnosti pomocí odměrného válce

### 5.5.6.2 Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti kameniva

Sypná hmotnost volně sypaného kameniva se zjistí podle ČSN EN 1097-3 jako poměr hmotnosti vysušeného kameniva, které je volně nasypáno do odměrné nádoby a objemu této nádoby. Vyjadřuje se jako hmotnost na jednotku objemu – $kg.m^{-3}$. Metoda se používá pro kamenivo přírodní i umělé až do velikosti maximálního zrna 63 mm.

Při určování sypné hmotnosti se zváží prázdná, suchá a čistá nádoba ($m_1$). Nádoba se umístí na vodorovnou plochu a s použitím lopatky se přeplní kamenivem. Opatrně se odstraní přebytečné kamenivo nad horním okrajem nádoby, povrch se opatrně zarovná pravítkem, aby nedošlo ke zhutnění jakékoliv části povrchu. Pokud to není možné, zarovná se povrch ručně tak, aby objem kameniva byl pokud možno stejný jako objem nádoby.

Zaplněná nádoba se zváží a zaznamená se její hmotnost ($m_2$). Zkouška se provede na třech dílčích navážkách.

Pro zkoušku užíváme odměrné nádoby tvaru válce, vyrobené z nerezavějícího kovu. Poměr vnitřního průměru k vnitřní výšce nádoby musí být mezi hodnotami 0,5 a 0,8. Rozměry nádoby jsou odstupňovány dle velikosti největšího zrna zkoušeného kameniva (*tab. 5.8*).

Nejmenší objem nádoby v závislosti na zrnění kameniva *Tab. 5.8*

| Velikost horního zrnění kameniva *D* (mm) | Objem (l) |
|---|---|
| do 4 | 1 |
| do 16 | 5 |
| do 31,5 | 10 |
| do 63 | 20 |

Sypná hmotnost volně sypaného kameniva se vypočte pro každou dílčí navážku podle následujícího vztahu:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

kde $\rho_b$ je sypná objemová hmotnost volně sypaného kameniva v($Mg.m^{-3}$),
$m_2$ – hmotnost nádoby se zkušební navážkou v (kg),

$m_1$ – hmotnost prázdné nádoby v (kg),

$V$ – je objem nádoby v(l).

Objemová hmotnost volně sypaného kameniva se zjistí jako průměr ze tří hodnot.

Mezerovitost kameniva volně sypaného *v* se vypočítá z objemu mezer mezi zrny kameniva v nádobě hodnot, stanovených zkouškou jeho objemové hmotnosti a sypné hmotnosti, vyjádřené v %, ze vzorce:

$$v = \frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_p} \times 100$$

kde v– mezerovitost v %,

$\rho_b$ – sypná hmotnost kameniva volně sypaného v ($Mg.m^{-3}$),

$\rho_p$ – objemová hmotnost zrn kameniva ($Mg.m^{-3}$).

### 5.5.6.3 Stanovení vlhkosti kameniva

Obsah vlhkosti v kamenivu se stanoví jako rozdíl hmotnosti vlhkého a suchého vzorku. Vyjadřuje se jako procento hmotnosti vysušené navážky.

Nejmenší hmotnost navážky se stanovuje na základě velikosti otvorů v horním sítě frakce *D*. Pokud D ≥1.0 mm, musí se použít navážka o hmotnosti nejméně 0,2 *D* (v kg), jestliže D<1,0 mm potom minimální hmotnost navážky musí být 0,2 kg.

Vlhkost w se vypočte podle vztahu:

$$w = \frac{M_1 - M_3}{M_3} \times 100$$

kde $M_1$ je hmotnost zkušební navážky v g;

$M_3$ – ustálená hmotnost vysušené zkušební navážky v g.

### 5.5.6.4 Stanovení dalších fyzikálních vlastností kameniva

Z fyzikálních vlastností se podle potřeby ověřují ještě další parametry. Odolnost vůči drcení se zjišťuje zkušební metodou Los Angeles podle ČSN EN 1097-2, odolnost hrubého kameniva se udává jako součinitel Mikro-Deval podle ČSN EN 1097-1.

Při použití hrubého kameniva pro povrchové vrstvy vozovky je důležitým parametrem jeho odolnost vůči ohladitelnosti (hodnota PSV udává míru odolnosti hrubého kameniva proti ohlazování koly aut za podmínek srovnatelných s podmínkami na povrchu vozovky) a odolnost vůči povrchovému obrusu způsobenému dopravou na povrchu vozovky (hodnota AAV) stanovené podle ČSN EN 1097-8. Odolnost vůči obrusu pneumatikami s hroty se udává hodnotou Nordické zkoušky stanovenou podle ČSN EN 1097-9.

V případě, že je kamenivo určeno do prostředí, kde bude vystaveno zmrazování a rozmrazování, stanovuje se jeho odolnost podle norem ČSN EN 1367-1 nebo ČSN EN 1367-2.

### 5.5.7 Chemické vlastnosti

Výběr zkoušek chemických vlastností se řídí podle individuálního použití nebo zdroje kameniva. Hlavní jakostní požadavky z hlediska chemického složení kameniva jsou specifikovány normou ČSN EN 12620+A1 Kamenivo do betonů v souladu s ČSN EN 206 Beton – část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.

Pokud jde o chemické vlastnosti kameniva určeného do betonu, respektive železobetonu, můžeme za nejvýznamnější parametry považovat obsah humusovitých látek, obsah chloridových iontů, obsah síry (respektive obsah sirníků a síranů) a po zkušenostech z poslední doby i odolnost kameniva vůči alkalické reakci (alkalickému rozpínání).

Spíše fyzikální charakter má stanovení lehkých znečišťujících částic v drobném kamenivu podle ČN EN 1744-1. Metoda umožňuje zjištění přítomnosti látek, jako je lignit a uhlí, které mohou způsobovat vytváření skvrn nebo odpraskávání na povrchu betonu nebo malty. Pokud je to nutné, může se tato metoda využít při zkoušení hrubého kameniva. Zkouška spočívá v zalití zkoušeného kameniva roztokem chloridu zinečnatého nebo polywolframanu sodného obsahujícího takové množství rozpuštěné soli, aby jeho hustota byla těsně pod hodnotou 2000 kg/m$^3$. V takovém roztoku vyplavou na povrch pouze inkriminované částice.

#### 5.5.7.1 Stanovení složek ovlivňujících tuhnutí a tvrdnutí

K látkám, které mohou ovlivnit rychlost hydratace cementu, patří zejména humusovité látky a materiály obsahující cukr.

Určit zastoupení organických příměsí v kamenivu co do množství a druhu není jednoduché. Víme, že v těchto příměsích jednoznačně převládají látky vznikající rozpadem rostlinných zbytků (tzv. humus), ale identifikace jednotlivých sloučenin by byla velmi složitá.

V pestré směsi huminových a fulvových kyselin a řady výše molekulárních látek bývá přítomná kyselina třislová, ale jinak molekulová hmotnost humusu i jeho elementární složení značně kolísá. Poměrně stálý je obsah uhlíku (cca 58 %), což se využívá při stanovení množství humusu podle ČSN 72 1021 při laboratorním stanovení organických látek v zeminách .(množství humusu se podle této normy zjišťuje na základě množství uhlíku stanoveného oxidací).

Kyselé složky humusu mohou vážně narušit tuhnutí a tvrdnutí betonu, k určení jejich nebezpečného množství však stačí semikvantitativní odhad. Je proto možné relativně pracnou zkoušku obsahu uhlíku nahradit podstatně jednodušší zkouškou, vycházející z toho, že v alkalickém prostředí přecházejí humnové kyseliny na rozpustné soli, které se oxidují na barevné produkty.

Obsah humusovitých částic se posuzuje na základě intenzity zabarvení, ke kterému dochází v alkalickém výluhu získaném při protřepání zkušebního vzorku kameniva s roztokem hydroxidu sodného.

Při vysokém obsahu humusu se dostaví silná barevná reakce, při zanedbatelném množství humusu se výluh nezabarví vůbec nebo jen velmi slabě. V současnosti se posouzení přítomnosti humusovitých látek v kamenivu a fileru provádí podle ČSN EN 1744-1. Ke zkoušce se bere kamenivo zbavené na sítě 4 větších zrn (humusovitost se sleduje jen u drobného kameniva, protože humusové látky se koncentrují v jemným frakcích).

Odměrný válec se naplní 3 % roztokem hydroxidu sodného nebo draselného (NaOH, KOH) do výšky 80 mm, potom se vsypává kamenivo, až výška hladiny roztoku s kamenivem dosáhne 120 mm.

Obsah se protřepe, aby mohly uniknout vzduchové bubliny, zazátkuje a protřepává po dobu 14 minut. Potom se nechá ustát po dobu 24 hodin. Po této době se barva alkalického výluhu stojícího nad kamenivem porovná se standardním barevným roztokem.

Výsledkem zkoušky je zjištění, zda barva roztoku je světlejší, nebo tmavší než barva porovnávacího roztoku. Tmavší zabarvení znamená nepoužitelnost kameniva.

Podle ČSN EN 1744-1 slouží k porovnání roztok připravený rozpuštěním 45 g krystalického chloridu železitého ($FeCl3.6H_2O$) a 5,5 g krystalického chloridu kobaltnatého ($CoCl_2.6H_2O$) ve 179,5 g destilované vody do které byl přidán 1 $cm^3$ koncentrované kyseliny chlorovodíkové. Roztok jehož barva je označována jako mandarinka - pomeranč je stabilní nejméně po dobu 2 týdnů. V Gardnerově kolorimetrické stupnici odpovídá zabarvení č. 11.

Postup je v principu obdobný zkoušce kolorimetrické podle Abramse a Hardera, která u nás byla donedávna normalizována v ČSN 72 1177.

Podle ČSN 72 1177 se pro vyhodnocení používal odlišně připravovaný barevný roztok, který se zhotovoval pro každou zkoušku znovu zároveň s alkalickým výluhem kameniva. Postup byl vlastně založen na paralelním provádění fotochemické reakce alkalického výluhu kameniva a alkalického porovnávacího roztoku připraveného bezprostředně před zkouškou z čisté huminové kyseliny, kterou byla kyselina třísloví.

Při přípravě porovnávacího roztoku se vycházelo z roztoku obsahujícího 2 % kyseliny třísloví (taninu) v 1% vodném roztoku etanolu. Ve válci stejného typu. jako byl použit pro přípravu alkalického výluhu kameniva, se smísilo 5 ml tohoto taninového roztoku se 195 ml příslušného 3 % roztoku hydroxidu sodného (draselného) a porovnávací roztok se ponechal v klidu za stejných podmínek jako alkalický výluh..

Po uplynutí 24 hodin se posoudil barevný tón porovnávacího roztoku a barevný tón alkalického výluhu. Pokud byl výluh z kameniva tmavší než porovnávací roztok, bylo, množství humusovitých látek hodnoceno jako nepřípustné.

Pro orientačním posouzení podle ČSN 72 1177 bylo slovně formulováno 5 stupňů zbarvení:

A bezbarvý nebo světle žlutý,

B sytě žlutý,

C žlutočervený,

D světle hnědý (hnědočervený),

E tmavě hnědý (hnědočervený).

Zatřídění vzorků do některého z těchto stupňů bylo možné i bez porovnávacího roztoku s tím, že takto provedené hodnocení bylo pouze informativní. Vzorek tmavší než stupeň *B* byl považován za nevyhovující.

Zatímco huminové kyseliny se rozpouštějí pouze v alkalickém prostředí, jsou fulvové kyseliny rozpustné v kyselém i alkalickém prostředí. S ohledem na tuto skutečnost jsou fulvové kyseliny považovány za potencionálně nebezpečnější a pro jejich stanovení byl vypracován samostatný zkušební postup zachycený v ČSN EN 1744-1.

Zkušební postup je v normě ne úplně šťastně nazván stanovením obsahu kyseliny fulvo. V žádném případě se totiž nejedná o individuální chemickou sloučeninu. Fulvové kyseliny jsou tvořeny, stejně jako kyseliny huminové, pestrou směsí látek (jediný rozdíl v obou skupinách je právě v rozpustnosti v kyselém prostředí).

Obsah kyseliny fulvo se posuzuje především u drobného kameniva v písčitých zeminách, které se mají stabilizovat cementem.

Kyseliny fulvové se rozpouštějí v kyselině chlorovodíkové za vzniku žlutého zbarvení. Intenzita zbarvení se zvyšuje se zvyšující se koncentrací kyselin..

Při zkoušce se k navážce kameniva přidá kyseliny chlorovodíková. Baňka se nechá 4 hod. stát za občasného protřepání. Potom se roztok přefiltruje a přidá se roztok chloridu cínatého. Úkolem chloridu cínatého je odstranit žluté zabarvení způsobené železitými solemi. Po hodinovém stání se chloridem cínatým upravený filtrát doplní na 100 ml kyselinou chlorovodíkovou a promíchá. Obsah kyseliny fulvo se stanoví porovnáním zabarvení roztoku s roztokem normalizované barvy (Gardner č. 11), je také možné použít normový barevných plátek č. 3 (ASTM C40). Zabarvení tmavší než normalizovaná barva se nepřipouští.

Přijatelnost obsahu kyseliny fulvo rozdělená do 7 hladin – od hladiny *A* (drobné kamenivo neovlivňuje pevnosti betonu a přijatelnost pro stabilizaci zemin je dobrá) až po stupeň G, kdy obsah kyseliny způsobuje podstatné snížení pevností betonu a přijatelnost pro stabilizaci zemin je špatná se v současném znění normy (ČSN EN 1744-1:2010) nepoužívá.

Kolorimetrické stanovení humusovitých látek může být v některých případech příliš přísné. Souvisí to se silným barvicím efektem některých méně běžných příměsí (uhelný prach). Za rozhodující je pak třeba považovat výsledek zkoušky, spočívající v standardním pevnostním testu betonových krychlí připravených s použitím příslušného kameniva.

Podobný efekt jako kyselé složky humusu mají i cukry. Jejich přítomnost nelze kolorimetricky odhalit. Naštěstí se v tomto případě vůbec nejedná o běžnou příměs kameniva.

K posouzení škodlivého vlivu jakýkoliv organických látek slouží maltová zkouška. Při jejím provádění se ze zkoušeného kameniva zhotoví zkušební tělíska z malty obsahující 4 díly kameniva na 1 díl cementu. Množství vody se volí tak, aby její konzistence měřená podle ČSN EN 1015-4 měla standardní hodnotu. Stejná tělíska se zhotoví z téhož kameniva zbaveného organických nečistot vyžíháním. U obou malt se porovnává tuhnutí a dosažená pevnost v tlaku.

Charakter přímé vytvrzovací zkoušky má také postup pro stanovení vlivu výluhu z recyklovaného kameniva na počátek tuhnutí cementu (ČSN EN 1744-6).

Zkušební navážka kameniva se promyje vodou, aby se odstranily vodou rozpustné složky. Přidá se jen takové množství vody, aby kamenivo bylo zcela pod vodou. Kamenivo se nechá ve vodě po dobu 3 hodin, při čemž se každých 30 minut promíchá. Voda se pak slije a přefiltruje přes střední filtrační papír do odměrného válce až se získá nejméně 150 ml filtrátu.

Počátek tuhnutí cementu smíchaného s tímto extraktem je srovnáván s počátkem tuhnutí cementu smíchaného s demineralizovanou vodou.

Vliv výluhu z kameniva se udává rozdílem minut v počátku tuhnutí mezi srovnávacím a zkušebním vzorkem. Záporná hodnota znamená zpomalovací účinek, kladná hodnota urychlující účinek.

### 5.5.7.2 Obsah chloridů

Platná norma pro předpjatý beton ČSN 73 2401 stanovuje maximální obsah volně rozpustných chloridů hodnotou 0, 02 % z hmotnosti kameniva. Ustanovení o maximálním obsahu rozpustných chloridů je v ČSN EN 206-1 koncipováno komplexněji s tím, že se musí posuzovat celkový obsah chloridů v betonu, který se pak vztahuje na hmotnost cementu.

Pro prostý beton se připouští 1 % chloridů ($Cl^-$) z hmotnosti cementu, pro železobeton 0.4 % a pro předpjatý beton 0.2 %. Stanovení chloridů v betonu se provádí pro každý návrh složení betonu a musí se opakovat, jestliže se změní obsah chloridů v kterékoliv složce. Výsledný obsah lze nicméně počítat z obsahu ve složkách.

Známe-li obsah chloridů v cementu a v záměsové vodě, můžeme určit limitní obsah chloridů v kamenivu a následnou zkouškou ověřit, zda pro danou sestavu kamenivo vyhoví.

U většiny vnitrozemských nalezišť je známo, že obsah ve vodě rozpustných iontů chloridových iontů v těžené směsi kameniva je 0,01 % nebo nižší. V takovém případě připouští ČSN EN 1744-1 použití této hodnoty pro výpočet obsahu chloridů v betonu.

Volně rozpustné chloridy se zpravidla stanovují srážením odměrným roztokem dusičnanu stříbrného. Okamžik, kdy jsou vysráženy všechny chloridové ionty, se nejlépe zjišťuje potenciometricky. S výhodou se používají čidla na bázi iontově selektivních elektrod.

Chloridové ionty jsou škodlivé zejména v železobetonu, ve kterém jejich migrace do bezprostředního okolí výztuže podstatně urychluje její elektrochemickou korozi. Ve větších koncentracích může migrace chloridů (a následné krystalizační tlaky) poškodit i samotný beton.

Referenční metodou pro stanovení stanovení ve vodě rozpustných chloridových solí je podle l ČSN EN Volhardova metoda (titrační stanovení přebytku dusičnanu stříbrného roztokem thiokyanatanu). Jako alternativní stanovení se doporučuje stanovení ve vodě rozpustných chloridových solí Mohrovou metodou spočívající v přímé titraci chloridových iontů extrahovaných vodou při pokojové teplotě dusičnanem stříbrným (indikátor chroman draselný) nebo podobně prováděné stanovení potenciometrické.

Samostatná norma (ČSN EN 1744-5) řeší stanovení chloridových solí rozpustných v kyselině. Tato zkouška je vhodná pro recyklovaná kameniva obsahující hydratovaný cement, kde mohou být chloridy vázané jako chlorid hlinitanu vápenatého, a některá kameniva z pouštních oblastí kde chloridy jsou absorbované v zrnech kameniva.

Základní zkouškou je opět Volhardovo stanovení (které je proto tento účel mimořádně vhodné proto, že se provádí v kyselém prostředí). Vzorek kameniva se rozdrtí na jemný prášek a vyluhuje se vařením v roztoku kyseliny dusičné. Touto operací jsou sulfidy oxidovány na sírany a neovlivňují pak stanovení. Rozpuštěné chloridy jsou vysráženy použitím známého objemu standardního roztoku dusičnanu stříbrného Po vaření se sraženina a zbytek prášku kameniva vymyje roztokem kyseliny dusičné a oddělí. Filtrát a vymývací tekutina se nechá vychladnout na pokojovou teplotu a zůstatek dusičnanu stříbrného se titruje standardním roztokem thiokyanatanu (KSCN nebo $NH_4SCN$) za použití síranu železitoamonného jako indikátoru.

### 5.5.7.3 Obsah síry

Způsob stanovení veškeré síry je popsán v ČSN EN 1744-1. Zkušební postup vychází ze vzorku rozemletého tak, aby prošel sítem 0,125 mm. Na rozemletý vzorek se působí brómem a kyselinou dusičnou za účelem přeměnění všech sloučenin síry na síranové ionty. Síranové ionty se pak vysráží ve formě síranu barnatého ($BaSO_4$). Zvážením pečlivě promytého a vysušeného $BaSO_4$ se pak určí množství síranových iontů.

Při tomto postupu přechází na sírany veškerá přítomná síra (včetně síry vázané ve formě sirníků). Obsah síry se pak vyjadřuje po přepočtu na $SO_3$ v hmotnostních procentech z hmoty kameniva.

Na bázi vážkového stanovení síranu barnatého se zjišťuje i obsah samotných síranů (kyselé rozpouštění se provádí neoxidujícím činidlem).

Jakostní norma ČSN EN 12620 omezuje obsah takto stanovené síry pro kamenivo určené do betonu na 1 %, pouze u vzduchem chlazené vysokopecní strusky se připouští hodnota 2 %. U vysokopecní strusky je značný podíl síranů uzavřen v zrnech strusky, a proto nemůže ovlivnit hydratační reakce cementu.

Vlastní nebezpečí pro beton představují sírany, jejichž účinkem dochází v zatvrdlém betonu k pozvolné tvorbě krystalů, způsobujících trhliny. Sirníky pak jsou nebezpečné jako možný zdroj dodatečného vzniku síranů.

Zvláštní pozornost doporučuje ČSN EN 12620 při zjištění obsahu magnetopyritu (nestabilní formy sirníku železa) v kamenivu, v němž přítomný sirník železnatý oxiduje na síran zvláště snadno. V takovém případě obsah celkové síry nesmí být větší než 0,1 %.

Před prováděním obou stanovení je výhodné nejprve ověřit, zda vůbec jsou ve zkoušeném kamenivu nějaké sloučeniny síry přítomné. Pokud kvalitativní zkoušky přítomnost síry nepotvrdí, je zbytečné stanovení provádět.

Důkaz sirníků se provádí na jemně rozdrceném kamenivu. Vzorek se zvlhčí vodným roztokem asi 10 % kyseliny chlorovodíkové. Působením této kyseliny se ze sirníků uvolňuje sulfan (sirovodík).

$$CaS + 2\ HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2S$$

Sulfan se vyznačuje pronikavým zápachem po zkažených vejcích. Tento zápach je postřehnutelný již při koncentraci 0,000002 objemových procent.

Do čisté suché zkumavky se pro tuto zkoušku dává lžička kameniva. Kamenivo se má kyselinou pouze pokapat tak, aby se v kyselině „neutopilo".

Při čichové kontrole nezkoušíme „přivonět" přímo ke zkumavce, ale opatrným ovíváním dlaní si vzduch ze zkumavky přiháníme k nosu. Ústí zkumavky je přitom obráceno od obličeje.

Při vyšších koncentracích však čich snadno otupí a sulfan je navíc jedovatý. Doporučuje se proto zjišťovat přítomnost sulfanu ústřižkem filtračního papíru, který bezprostředně před zkouškou zvlhčíme 5 % roztokem octanu olovnatého ($Pb(CH_3COO)_2$). Zvlhčený papírek s octanem olovnatým vsuneme opatrně do ústí zkumavky. Účinkem sulfanu papír zhnědne případně až zčerná vyloučeným sirníkem olovnatým (PbS).

$$Pb(CH_3COO)_2 + H_2S \rightarrow 2\ CH_3COOH + PbS$$

K důkazu síranů se používá srážecí reakce s chloridem barnatým. Vzorek umletého kameniva (lžičku) nejprve přelijeme 10 % kyselinou chlorovodíkovou (cca 20 – 50 ml) a krátce povaříme. Pohodlně se tento úkon dělá v malé (100 ml) kádince. Při ohřevu kádinky přes síťku je menší nebezpečí překypění roztoku než při práci ve zkumavce. Účelem této operace je rozložit případně přítomné uhličitany, které při zkoušce mohou rušit.

$$CaCO_3 + 2\ HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$$

Vzniklou suspenzi ještě za horka zfiltrujeme do druhé čisté kádinky nebo do zkumavky. Získaný filtrát musí být čirý (nezakalený). Zpravidla má žlutavou popřípadě až nazelenalou barvu, způsobenou stopami železa v kamenivu nebo použité kyselině chlorovodíkové. Do ještě horkého filtrátu přikapáme cca 10 ml 10 % roztoku chloridu barnatého. Účinkem síranových iontů vzniká mléčný zákal, vyvolaný vznikem sraženiny síranu barnatého:

$$BaCl_2 + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4 + 2\ Cl^-\ .$$

Z většího množství bílého zákalu se rychle tvoří bílá sraženina. Hustota síranu barnatého je 4,5 g/cm$^3$,a tak snadno sedimentuje.

Při provádění této zkoušky je třeba dbát náležité opatrnosti. Ohřev kyseliny chlorovodíkové provádíme pouze v digestoři se zapnutým odtahem (při varu uniká chlorovodík). Přední sklo digestoře stáhneme tak, aby případným vystříknutím kyseliny nemohl být zasažen obličej a používáme ochranné brýle nebo obličejový štít.

Obě popsané reakce jsou charakteristické a velmi citlivé. Je však nutné upozornit, že jak chlorid barnatý, tak octan olovnatý patří do kategorie přípravků povinně označovaných „Jed !“ a jako s jedy se s nimi musí zacházet.

Samostatnou zkouškou, uváděnou také v ČSN EN 1744-1, je stanovení sirníků rozpustných v kyselině. Při této zkoušce se zkušební navážka rozloží za redukčních podmínek kyselinou chlorovodíkovou, Sirníky se přemění na sirovodík, který se proudem plynu přemístí do amoniakálního roztoku síranu zinečnatého. Vysrážený sirník zinečnatý se stanoví jodometrií (odměrnou chemickou analýzou).

Jako drobné kamenivo se u nás stále převážně používá vytříděné, eventuálně i prané těžené kamenivo – přírodní písek. Disponibilní zdroje těženého kameniva však hrozí vyčerpáním do 15 – 20 let. Z tohoto hlediska jsou významné práce, které se snaží upřesnit míru škodlivosti síry vázané ve formě sirníků. Pokud by se názor o menší škodlivosti některých sirníků prosadil i v závazných předpisech, mělo by to jistě svůj význam z hlediska rozšíření použitelných surovinových zdrojů.

### 5.5.7.4 Ověření přítomnosti reaktivních částic sirníku železa

Samostatnou zkouškou se zjišťuje přítomnost síry ve formě částic sirníků železa, které pokud se nacházejí na povrchu nebo v blízkosti povrchu betonu mohou způsobovat vznik hnědých obtížně odstranitelných skvrn.

Provádí se vkládáním cca 50 podezřelých zrn do nasyceného roztoku hydroxidu vápenného (vápenné vody) zrna obsahující aktivní sirník železa poskytnou během třiceti minut hnědou rosolovitou sraženinu hydroxidu železitého. V některých případech však neprobíhá příslušná reakce dostatečně rychle.

Spolehlivější postup představuje vmíchání podezřelých zrn do cementové kaše, ze které se pak připraví zkušební tělíska (např. trámečky 40 x 40x160 mm). Zkušební tělíska se skladují 28 dní ve vlhkém prostředí a jejich rozlomení se posoudí vznik skvrn ve ztvrdlém cementu, který obaluje zrna..

### 5.5.7.5 Citlivost kameniva vůči alkáliím

Kameniva z dolomitického vápence a některá křemenná kameniva obsahující reaktivní (amorfní, deformovaný) $SiO_2$, např. opály, křemence, ale i droby, jsou v alkalickém prostředí objemově nestálá.

V prvém případě dolomitického kameniva jde o tak zvanou dedolomitizaci – typ porušení zrn dolomitického kameniva v důsledku jejich reakce s alkáliemi v cementu. V důsledku této reakce nastává porušení betonu. V tuzemsku je výskyt této formy reakce málo běžný. Mechanizmus není zcela zřejmý a jev je v literatuře popisován takto:

$CaMg(CO_3)_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2CO_3 + CaCO_3 + Mg(OH)_2$

Podle výše uvedené rovnice tedy z části kameniva vzniká relativně objemný hydroxid hořečnatý. Zároveň vzniklý uhličitan sodný reaguje s hydroxidem vápenatým přítomným v cementu a touto reakcí se v okolí kameniva znovu vytváří hydroxid sodný (kaustifikace sody).

$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + 2NaOH$

Regenerovaný hydroxid sodný může dále reagovat s dolomitem a vzniká další hydroxid hořečnatý. Výsledem je poškození vyvolané nárůstem objemu hořečnaté složky.

Ve druhém případě křemenného kameniva máme co do činění s častější alkalicko-křemičitou reakcí, způsobenou amorfním oxidem křemičitým.

$SiO_2 + 2\ NaOH \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$

Vzniklý alkalický křemičitan vytváří na povrchu kameniva bobtnající vrstvičku jejíž rozpínání pak vyvolává poškození.

V poslední době se objevují názory, že princip porušování může být v obou případech stejný. U dolomitických kameniv v případě, že jsou prokřemenělá, což není řídký jev, může rovněž docházet k reakci reaktivního (amorfního) $SiO_2$ s alkáliemi ve vlhkém betonu.

Problematiku odolnosti kameniva vůči alkáliím má v EU upravovat EN 1744-2, jejíž zpracování dosud nepřekročilo stadium přípravných prací. ČSN EN 12620 neuvádí konkrétní odkaz na zkušební postup a omezuje se pouze na konstatování, že v případě potřeby se kamenivo musí posoudit podle předpisů platných v místě použití. Po další informace odkazuje na CEN Report CR 1901 . Zatím tedy platí národní normy.

Pro hodnocení uhličitanového kameniva se u nás tedy bude zřejmě nadále používat zkouška podle ČSN 72 1160 (Stanovenie alkalickej rozpínavosti prírodného stavebného uhličitanového kameňa). Podle této normy se tyčinková zkušební tělíska zhotovená ze zkoušeného kameniva a cementu ponoří do roztoku hydroxidu sodného a pak se umístí na 6 hodin v autoklávu při tlaku 2 MPa. Vzorky obsahující dolomit se smí prodloužit o 0,3 %, u ostatních uhličitanových kameniv se připouští prodloužení o 0,5 %.

Pro hodnocení alkalicko-křemičité reakce kameniva je k dispozici ČSN 72 1179 (Stanovení reaktivnosti kameniva s alkáliemi), která popisuje dlouhodobou dilatometrickou zkoušku. Délka trvání zkoušky je 3 a 6 měsíců. V normě ČSN 72 1179 je rovněž uveden alternativní chemický postup, zjišťující množství rozpuštěného oxidu křemičitého se současným zjištěním poklesu alkality zkoušeného vzorku. Norma byla odvozena z amerického zkušebního předpisu ASTM C 289-71. Protože však v odborné veřejnosti panoval názor, že tuzemská kameniva nejeví k alkalicko-křemičité reakci sklon, nebylo převzetí důsledné a v normě fakticky chybí příslušná jakostní kritéria. Způsob vyhodnocení bylo možné nalézt v normě ČSN 73 1209 (Vodostavebný beton), jejíž platnost však skončila k 1.1.2004.

Nepříjemným překvapením byly poruchy dálničního svršku, vyvolané v alkalicko-křemičitou reakcí. Ukázaly jasně, že problematika alkalické reakce kameniva byla u nás neprávem podceněna. Ministerstvo dopravy ČR proto vypracovalo Technické podmínky TP 137 , kterými se mimo jiné doplňuje ČSN 72 1179 o pokyny ve smyslu dokumentu RILEM TC 106 . Zároveň se zavádí krátkodobá dilatometrická zkouška podle ASTM C-1260-94. Délka trvání zkoušky je 16 dní.

V případě použití kameniva citlivého na alkálie je podle ČSN EN 206-1 zapotřebí omezit obsah alkálií a snížit nasákavost betonu, přičemž je třeba zohlednit dřívější dlouhodobé zkušenosti s používáním určitého druhu kameniva a cementu. Tato formulace použitá v normě má spíše deklarativní charakter a způsob vyhodnocení závažnosti alkalicko-křemičité reakce je prozatím ponechán na místních předpisech.

S výskytem kameniva citlivého na alkálie zatím nemáme dostatečné zkušenosti. Zkoušení alkalické citlivosti kameniva se u nás teprve musí stát běžně požadovanou zkouškou. Vymezení podmínek nebo opatření k bezpečnému používání alkalicky citlivého kameniva bude bezpochyby vyžadovat ještě další výzkum, vycházející z tuzemských surovin.

Z výše uvedených skutečností je zřejmé, že problematika alkalické reakce kameniva je u nás v současnosti mimořádně živá. Zároveň je to i příležitost k tomu, abychom si znovu uvědomili, že kvalita přírodních surovin není neměnná a zásoby kvalitních surovin nejsou nevyčerpatelné.

### 5.5.7.6 Zdravotní nezávadnost kameniva

Kamenivo samozřejmě musí být zdravotně nezávadné. To vyplývá pro kamenivo stejně jako pro ostatní výrobky z nařízení vlády č. 163/200 Sb.

Dnes již zrušená norma ČSN 721511 Kamenivo pro stavební účely – základní ustanovení, obsahovala pasáž o tom, že k výrobě kameniva se smí užívat jen takových surovin, které neuvolňují škodlivé látky v množství, které by mohlo být při výrobě a použití kameniva příčinou poškození zdraví.

V normě se zejména připomínala nutnost ověřit, zda surovina pro výrobu kameniva neobsahuje příměs radioaktivních izotopů.

V současné době byla ČSN 721511 nahrazena systémem evropských norem pro kameniva určená k jednotlivým účelům využití. I tyto normy předepisují nutnost provedení průkazních zkoušek pro příslušné zamýšlené použití za účelem ověření shody v případech, kdy se mění zdroj kameniva, nebo dochází k velké změně suroviny. V těchto případech je vyžadováno zdokumentování zkoušek, týkajících se zejména radioaktivity, uvolňování polyaromatických uhlovodíků a jiných škodlivých látek.

V této souvislosti je novou významnou normou ČSN EN 1744-3 věnovaná přípravě výluhů loužením kameniva. Získaný výluh totiž může být snadno analyzován postupy používanými při posuzování kvality pitné vody a tak je možné zjistit zda kamenivo nemůže být zdrojem nežádoucí kontaminace okolí.

Kamenivo, které se má vyzkoušet se umístí na síto a vloží se do nádoby s vyluhovacím roztokem, kterým je destilovaná voda, demineralizovaná voda, deionizovaná voda nebo voda stejné čistoty ($5 < pH < 7,5$) vodivosti menší než 0,5 μS/cm, vyhovující třídě 3 uvedené v ČSN ISO 3696.

Poměr kapaliny k tuhým částicím je 10:1 (hmotnostní) a doba loužení je 24 hodin. Voda se promíchává hloubkovým míchadlem poháněným motorkem tak, že během zkoušení se vyluhovací roztok promíchává, avšak tuhé částice nikoliv.

Metoda je založena na předpokladu, že během doby zkoušení je docílen rovnovážný nebo skoro rovnovážný stav mezi kapalinou a tuhými částicemi.

Kamenivo se musí vyzkoušet se zrnitostí, se kterou je běžně dodávané. Zrna, která zůstanou na sítě 32 mm, se musí podrtit a vytřídit z nich frakce 16/32 mm. Tento materiál je vrácen zpět pro přípravu vzorku v procentním poměru, kterou měla frakce se zrny většími než 32 mm.

V textu ČSN EN 206-1 je zakotvena povinnost výrobců betonu vyžadovat od dodavatelů kameniva prohlášení, že kamenivo neobsahuje nebezpečné látky a že jeho záření nepřekračuje stanovené hygienické limity (takové prohlášení musí poskytnout dodavatelé všech složek betonu).

## 5.6 Zkoušení stavební oceli

K ověření mechanických, technologických a fyzikálních vlastností ocelí pro potřeby stavebnictví je předepsána normami celá řada zkoušek. Mechanické zkoušky kovů jsou popsány v normách ČSN řady 42 03xx, technologické, metalurgické a fyzikální zkoušky popisují normy ČSN řady 42 04xx, chemické zkoušení kovů popisují řady ČSN 42 05xx a 42 06xx.

Z mechanických zkoušek se jedná například o zkoušky pevnosti v tahu (ČSN ISO 6892-1), ohybu (ČSN EN ISO 7438), krutu (ČSN ISO 7800) a střihu (ČSN 42 0342), zkoušky rázem v ohybu (ČSN 42 0340, ČSN EN ISO 148), zkoušky tvrdosti (ČSN ISO 6506, ČSN ISO 6507, ČSN ISO 6508) a zkoušky tečení (ČSN EN ISO 204). Nejčastější zkouškou stavební betonářské oceli je zkouška tahem, proto je popsána podrobněji.

### 5.6.1 Zkouška oceli tahem

Zkouška tahem je popsána v normě ČSN EN ISO 6892-1. Zkouška spočívá v deformaci zkušebního tělesa tahovým zatížením, obvykle do lomu, za účelem stanovení jedné nebo více mechanických vlastností. Zkouška se provádí za pokojové teploty od 10 ℃ do 35 ℃, pokud není stanoveno jin ak. Zkouškou lze zjistit např. tažnost, kontrakci průřezu, pevnost v tahu a meze kluzu.

Zkušební tyč se upne vhodným způsobem (klíny, závitové čelisti, hydraulické čelisti atd.) do zkušebního stroje tak, aby zatížení působilo v ose zkušební tyče a předepsanou rychlostí je zatěžována, obvykle až do přetržení. Současně vzniká grafický záznam tahového diagramu.

Tvar a rozměry zkušebních těles mohou být podmíněny tvarem a rozměry kovového výrobku, ze kterého jsou zkušební tělesa odebírána.

Zkušební těleso se obvykle získá obráběním vzorku z výrobku, výlisku nebo odlitku. Avšak výrobky konstantního průřezu (profily, tyče, dráty atd.) a rovněž litá zkušební tělesa (tj. z litin a neželezných slitin) se smí zkoušet, aniž by musely být obrobeny.

Upřednostňovaná zkušební tělesa mají přímý vztah mezi počáteční měřenou délkou, $L_0$, a počáteční průřezovou plochou, $S_0$, vyjádřený rovnicí $L_0 = k\sqrt{S_0}$, kde k je součinitel proporcionality a nazývají se poměrná zkušební tělesa. Mezinárodně přijatá hodnota pro k je 5,65. Počáteční měřená délka musí být nejméně 15 mm. Jestliže je průřezová plocha zkušební tyče příliš malá na to, aby hodnota součinitele k= 5,65 splnila tento požadavek, může se použít hodnota vyšší (přednostně 11,3) nebo nepoměrná zkušební tělesa. U nepoměrných zkušebních těles nezávisí počáteční měřená délka, $L_0$ na počáteční průřezové ploše $S_0$. Každý konec počáteční měřené délky, $L_0$, musí být vyznačen jemnými značkami nebo ryskami, ale nikoliv vruby, které by mohly vést k předčasnému lomu.Celková délka zkušební tyče $L_t$ je dána způsobem uchycení tyče v čelistech stroje.

Plocha počátečního průřezu $S_0$ může být pro plochy kruhového průřezu vypočtena z aritmetického průměru dvou měření, která se provádějí ve dvou na sebe kolmých směrech. V ostatních případech může být stanovena z hmotnosti zkušební tyče, její délky a měrné hmotnosti materiálu zkušební tyče.

Tažnost A je definována jako trvalé prodloužení měřené délky po přetržení ($L_u - L_0$), vyjádřené v procentech počáteční měřené délky ($L_0$), kde $L_u$ je konečná měřená délka po přetržení zkušební tyče.

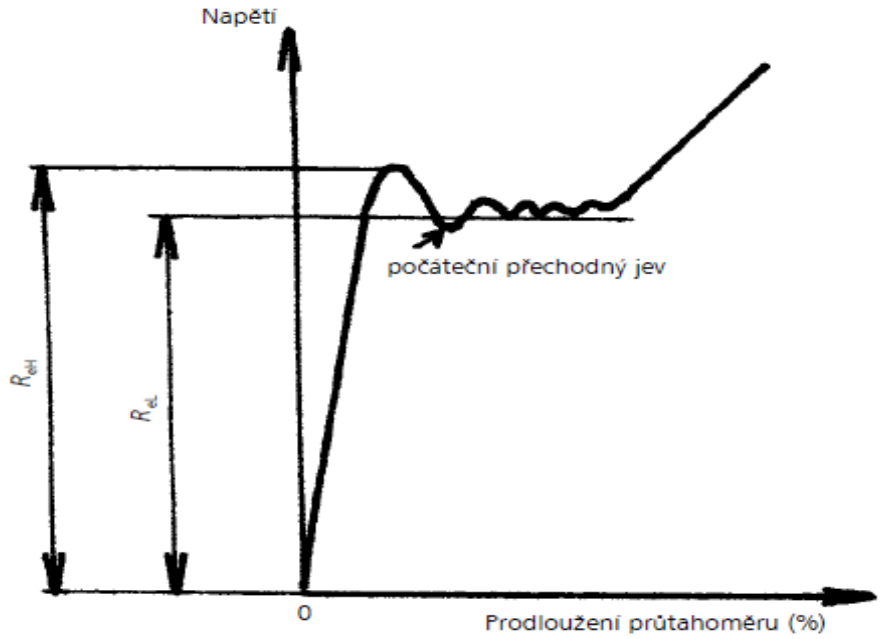
Obě přetržené části tyče se pečlivě složí těsně k sobě tak, aby jejich osy ležely v přímce a dostatečně přesným měřidlem se změří konečná délka po přetržení. Pokud je prodloužení měřeno pomocí průtahoměru, pak se stanovuje celková tažnost $A_t$ v procentech jako poměr prodloužení $\Delta L_f$, měřeného průtahoměrem v okamžiku lomu ke měřené délce průtahoměru, označované $L_e$.

Takto vypočtená hodnota tažnosti je platná pouze v případě, že vzdálenost míst lomu od nejbližší koncové značky je větší než jedna třetina počáteční měřené délky $L_0$. Pokud lom neodpovídá této podmínce, popisuje norma ČSN EN ISO 6892-1 metodu, spočívající v rozdělení délky $L_0$ na N stejných částí, podle které lze hodnotu tažnosti dopočítat i v tomto případě.

Pevnost v tahu $R_m$ je definována jako napětí odpovídající největšímu zatížení zkušebního vzorku, zaznamenaného v průběhu zkoušky.

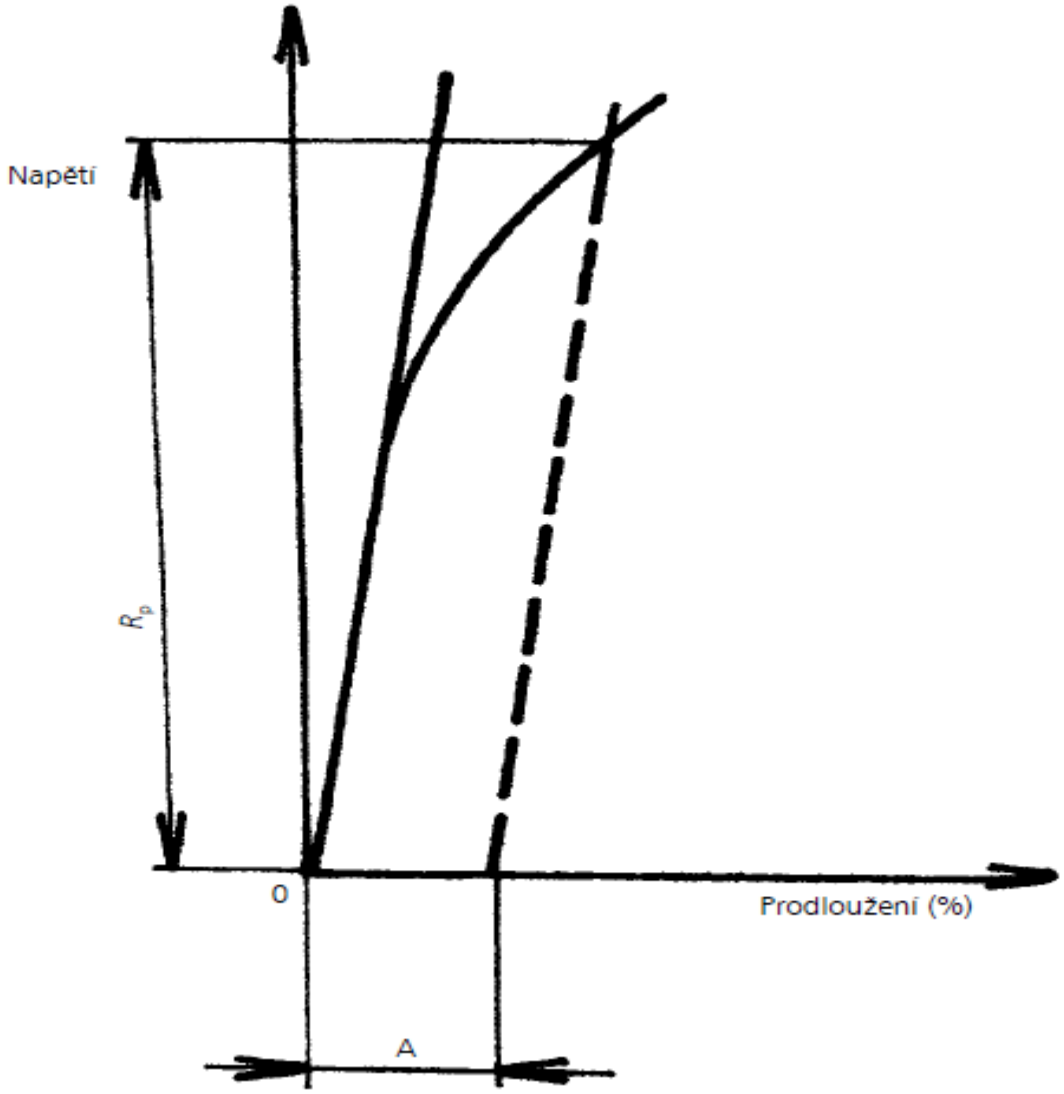
Norma ČSN EN ISO 6892-1 definuje horní mez kluzu $R_{eH}$ (napětí odpovídající prvnímu poklesu zatížení), dolní mez kluzu $R_{eL}$ (nejnižší napětí v průběhu plastického kluzu kovu bez uvažování přechodného jevu), a smluvní mez kluzu $R_p$ (napětí, při kterém plastická deformace dosáhne předepsané hodnoty, vyjádřená v procentech počáteční měřené délky).

Všechny tyto hodnoty lze odečíst z tahového diagramu, jak je patrno z obrázků 5.55 a 5.56.




*Obr. 5.55* Stanovení horní a dolní meze kluzu

$R_{eH}$ – horní mez kluzu, $R_{eL}$ – dolní mez kluzu




*Obr. 5.56* Stanovení smluvní meze kluzu

$R_p$ – smluvní mez kluzu, $A$ – předepsaná hodnota smluvní meze kluzu

Kontrakce Z je definována jako největší změna průřezové plochy, ke které došlo během zkoušky, ($S_0 – S_u$), vyjádřená v procentech počátečního příčného průřezu $S_0$, kde $S_u$ je minimální průřezová plocha po lomu.

## 5.7 Zkoušení cihlářských výrobků

Cihlářské výrobky patří do skupiny staviv, u kterých v současnosti dochází k výrazné změně výrobkových i zkušebních norem.

### 5.7.1 Pálené zdicí prvky

Výrobce musí prokázat shodu svého výrobku s požadavky evropské normy ČSN EN 771-1 Změna A1 (2005) a s deklarovanými hodnotami vlastností výrobku pomocí:

počáteční zkoušky výrobku,

systému řízení výroby u výrobce.

#### 5.7.1.1 Počáteční zkoušky

Prováděné zkoušky musí být prováděny na stanoveném počtu prvků uvedených v *tab. 5.9 a 5.10.*

Počty pálených zdicích prvků LD požadované pro zkoušky *Tab. 5.9*

| Vlastnost | Číslo kapitoly ČSN EN 771-1 | Zkušební metoda (y) | Počet zdicích prvků[a] |
|---|---|---|---|
| Rozměry | 5.2.1 | EN 772-16 | 10 |
| Tvar a uspořádání | 5.2.2 | EN 772-16 EN 772-3 | 10 |
| Objemová hmotnost zdicího prvku v suchém stavu | 5.2.3 | EN 772-13 | 10 |
| Objemová hmotnost materiálu zdicího prvku v suchém stavu | 5.2.3 | EN 772-13 | 10 |
| Pevnost v tlaku | 5.1.a5.2.4 | EN 772-1 | 10 |
| Tepelný odpor | 5.2.5 | EN 1745 | – |
| Mrazuvzdomost | 5.2.6 | [b] | [c] |
| Vlhkostní přetvoření | 5.2.9 | [b] | [c] |
| Obsah aktivních rozpustných solí | 5.2.8 | EN 772-5 | 10 |
| Reakce na oheň | 5.2.10 | EN 13501-1 | – |
| Přídržnost | 5.2.12 | EN 1052-3 | 27 |
| Rovinnost ložných ploch | 5.2.1.2.4 | EN 772-20 | 3 |
| Rovnoběžnost rovin ložných ploch | 5.2.1.2.5 | EN 772-16 | 3 |

[a] Je-li to možné, např. nejsou-li vzorky zkouškou ovlivněny, lze vzorky použít v několika dalších odlišných zkouškách.

[b] Zkouší se podle ustanovení předpisu platného v místě určeného užití.

[c] Příslušná ustanovení stanovují počty zkoušených vzorků.

Počty pálených zdicích prvků HD požadované pro zkoušky *Tab. 5.10*

| Vlastnost | Číslo kapitoly ČSN EN 771-1 | Zkušební metoda | Počet zdicích prvků[a)] |
|---|---|---|---|
| Rozměry | 5.3.1 | EN 772-16 | 10 |
| Tvar a uspořádání | 5.3.2 | EN 772-16 EN 772-3 | 10 |
| Objemová hmotnost zdicího prvku v suchém stavu | 5.3.3 | EN 772-13 | 10 |
| Objemová hmotnost materiálu zdicího prvku v suchém stavu | 5.3.3 | EN 772-13 | 10 |
| Pevnost v tlaku | 5.1. a 5.3.4 | EN 772-1 | 10 |
| Tepelný odpor | 5.3.5 | EN 1745 | – |
| Mrazuvzdomost | 5.3.6 | b) | c) |
| Nasákavost | 5.3.7 | Příloha C (prvky pro neomítané zdivo) EN 772-7 (prvky v izolační vrstvě proti vlhkosti) | 10 |
| Počáteční rychlost nasákavosti | 5.3.8 | EN 772-11 | 10 |
| Vlhkostní přetvoření | 5.3.10 | b) | c) |
| Obsah aktivních rozpustných solí | 5.3.9 | EN 772-5 | 10 |
| Reakce na oheň | 5.3.11 | EN 13501-1 | – |
| Přídržnost | 5.3.12 | EN 1052-3 | 27 |
| Rovinnost ložných ploch | 5.3.1.2.4 | EN 772-20 | 3 |
| Rovnoběžnost rovin ložných ploch | 5.3.1.2.5 | EN 772-16 | 3 |

a) Je-li to možné, např. nejsou-li vzorky zkouškou ovlivněny, lze vzorky použít v několika dalších odlišných zkouškách.
b) Zkouší se podle ustanovení předpisu platného v místě určeného užití.
c) Příslušná ustanovení stanovují počty zkoušených vzorků.

### 5.7.1.2 Řízení výroby u výrobce

Musí být zaveden a dokumentován systém řízení výroby provozovaný v místě výroby. Systém řízení výroby musí zajistit, že výrobky uváděné na trh budou ve shodě s touto normou a deklarovanými hodnotami. Pro kategorii I zdicích prvků musí být kontrolní systém řízení výroby sestaven tak, aby pravděpodobnost dosažení deklarované pevnosti v tlaku se uskutečnila při spolehlivosti 0,9.

### 5.7.1.3 Stanovení pevnosti v tlaku

K základním normovým zkouškám zdicích prvků patří zkouška pevnosti v tlaku podle ČSN EN 772-1. Tato norma, jakožto určitý reprezentant nově platné sady zkušebních postupů, je zde uvedena podrobněji.

#### 5.7.1.3.1 Zásady pro přípravu vzorku

Příprava vzorku spočívá především v úpravě jeho rozměrů, v zarovnání zkušebních ploch a v dosažení určitých vlhkostních poměrů ve zkoušeném vzorku.

Po odstranění ulpělých částic materiálu, např. otřepu z výrobního procesu, musí být zatěžované plochy vzorku rovinné, při přípustné odchylce 0,1 mm na délce 100 mm. Toto ustanovení se týká buď celého zdicího prvku, nebo reprezentativní části (vyříznuté z prvku a použité ke zkoušení).

Horní tlačná plocha musí být s dolní tlačnou plochou rovnoběžná při přípustné odchylce 1 mm na délce 100 mm. Pokud tlačené plochy zdicího prvku při dodání od výrobce nebo tlačené plochy části vyříznuté ze zdicího prvku tento požadavek nesplňují, upraví se tlačené plochy buď zabroušením, nebo nanesením vyrovnávací vrstvy malty.

Pro vyrovnání tlačených ploch se použije cementová malta, která bude mít v době zkoušky pevnost v tlaku, stanovenou podle ČSN EN 1015-11, rovnou menší ze dvou hodnot - buď očekávané pevnosti v tlaku zkušebního vzorku, nebo hodnotě 30 MPa.

Uvedení vzorků do požadovaného rovnovážného stavu s prostředím (kondicionování) se provádí buď v prostředí s určenými podmínkami vlhkosti, nebo v prostředí, umožňujícím dosáhnout určeného vlhkostního stavu.

Metoda, která se použije pro určitý druh zdicích prvků, je stanovena v příslušné části ČSN EN 771. Ve všech případech, kromě kondicionování ponořením vzorků do vody, se během kondicionování má zajistit volné proudění vzduchu kolem jednotlivých vzorků.

Stavu obsahu vlhkosti na hodnotu 6 ± 2 % se dosáhne sušením při teplotě, která není větší než 50 ºC.

Hmotnost vzorku za sucha se pro tento účel vypočítá z objemové hmotnosti vzorku za sucha stanovené podle ČSN EN 772-13 a rozměrů vzorku stanovených podle ČSN EN 772-16.

Vzorek se suší tak dlouho, až se dosáhne vypočtené hmotnosti s přesností 0,2 % hmotnosti za sucha. Po dosažení 6 % vlhkosti se vzorky ponechají nejméně 5 hodin v laboratorním prostředí a potom se podrobí zkoušce.

#### 5.7.1.3.2 Postup zkoušení

Bezprostředně před zkouškou se stanoví a zaznamená hmotnost vzorku.

Vzorek se pečlivě dostředně položí na kloubově uloženou tlačnou desku lisu tak, aby zatížení působilo rovnoměrně po celé tlačené ploše vzorku. Vzorky s jednou prohlubní se ukládají tak, aby plocha s prohlubní byla nahoře. Vzorky s prohlubněmi v obou ložných plochách se ukládají tak, aby plocha s větší prohlubní byla nahoře.

Pro zdicí prvky, které se ve zdivu ukládají na obvodová žebra nebo na pruhy malty, se použijí čtyři dostatečně tuhé ocelové destičky, jejichž šířka se rovná tloušťce obvodových žeber a jejichž délka je o 50 mm větší než příslušný rozměr vzorku. Dvě destičky se uloží pod vzorek a dvě na vzorek tak, aby jejich přesahy přes okraje vzorku byly stejné.

Zatížení se zvyšuje plynule a rovnoměrně vhodnou rychlostí až do dosažení síly, která se rovná polovině hodnoty zatížení při porušení vzorku. Potom se rychlost upraví tak, aby se maximálního zatížení dosáhlo nejdříve za 1 minutu.

Zaznamená se dosažené zatížení a vypočte se hodnota pevnosti v tlaku každého vzorku jako podíl hodnoty největšího zatížení a tlačené plochy. Hodnota pevnosti v tlaku každého vzorku se zaokrouhlí na nejbližší 0,1 MPa.

### 5.7.2 Pálené střešní tašky pro skládané krytiny

Výrobce musí prokázat shodu svého výrobku s požadavky ČSN EN 1304 a s deklarovanými hodnotami vlastností výrobků pomocí:

- počáteční zkoušky výrobku (typu),
- systému řízení výroby u výrobce.

Soubor prováděných počátečních zkoušek je uveden v *tab. 5.11.*

Počáteční zkoušky typu a četnost zkoušení konečného výrobku *Tab. 5.11*

| Charakteristika | Zkušební norma | Četnost odběru a zkoušení |
|---|---|---|
| Složení | – | 100 vzorků za den |
| Pravidelnost tvaru | ČSN EN 1024 | 1x za 14 dní |
| Zakřivení, průhyb | ČSN EN 1024 | 1x za 14 dní |
| Rozměry | ČSN EN 1024 | 1x za 14 dní |
| Prosákavost | ČSN EN 539-1 | 1x za 3 měsíce |
| Únosnost | ČSN EN 538 | 1x za rok |
| Mrazuvzdornost | ČSN EN 539-1 | 1x za rok |

### 5.7.3 Stropní prvky

U hurdisek se zkouší vnější vlastnosti (rozměry, největší dovolené prohnutí, odchylky, pravoúhlost, trhliny), hmotnost hurdisek v suchém stavu a únosnost v ohybu.

Zkouška únosnosti v ohybu se provádí ve zkušebním zařízení, kde zkoušená hurdiska 1 nebo 2 je uložena jako prostý nosník (hurdiska 2 větší délkou směrem dolu, kratší nahoru) a zatěžována dvěma břemeny F/2 ve čtvrtinách rozpětí do porušení.

Charakteristická únosnost zkoušených vzorků v tahu za ohybu se zjistí z výsledků zkoušek jednotlivých vzorků jako kvantil 5 % se spolehlivostí 0,9.

Dále se zkouší nasákavost hurdisek za varu, nevratná vlhkostní roztažnost, statický modul pružnosti v tahu za ohybu (min. 7000 MPa, max. 17500 MP), obsah přírodních radionuklidů, cicváry, výkvěty.

Podobně se zkouší i ostatní keramické vložky s tím, že způsob zatěžování a výpočet příslušné tlakové pevnosti či únosnosti je specifikován výrobcem.

Pevnost v tlaku vložek CSV-SIMPLEX se zjišťuje zatěžováním kolmo na osu dutin. Takto stanovená pevnost v tlaku se vztahuje na celou půdorysnou plochu vložek 280 x 360 mm a musí být průměrná nejméně 1,0 MPa a jednotlivě nejméně 0,8 MPa.

Únosnost vložek CSV-MIAKO se určuje při uložení vložek, které je obdobné jako ve skutečné konstrukci. Vložky se zatěžují dvěma břemeny. Únosnost vložek je součtem obou břemen působících při zlomu. Průměrné únosnosti vložek jsou 4 a 6 kN, jednotlivé 3 a 5 kN.

Pevnost tvarovek CSt-ARMO a U tvarovek v tlaku se zjišťuje zkouškou, při níž tlaková síla působí rovnoběžně s osou podélných dutin (většinou čtyř) a vztahuje se na čistou plochu průřezu tvarovky (bez plochy dutin).

## 5.8 Zkoušení autoklávovaných výrobků

Evropské normy ČSN EN 771-2 a ČSN EN 771-4 definují funkční vlastnosti autoklávovaných výrobků. První z obou norem je věnována vápenopískovým zdicím prvkům a druhá pojednává o výrobcích z pórobetonu.

Základní vlastnosti související s pevností, objemovou hmotností a rozměrovou přesností se pak stanoví podle příslušných zkušebních metod, uvedených ve zvláštních evropských normách.

### 5.8.1 Zkoušení vápenopískových zdicích prvků

Počet vzorků pro každou zkoušku musí být v souladu s *tab. 5.12*.

Počty zdicích prvků požadované pro zkoušky *Tab. 5.12*

| Vlastnosti | Číslo kapitoly | Zkušební metoda | Poznámky | |
|---|---|---|---|---|
| | ČSN EN 771-2 | | počet prvků ve vzorku. Jestliže lze použít postup podle přílohy B, platí počet prvků v závorkách | |
| Rozměry | 5.2 | EN 772-16: 2000 | 6 | Požadavek minimálního počtu neplatí pro doplňkové prvky |
| Tvar a uspořádání | 5.3 | EN 772-2, EN 772-9, EN 772-16 | 6 | U doplňkových prvků žádné požadavky |
| Rovinnost ložných ploch | 5.2.2.2 | EN 772-2 | 3 | U doplňkových prvků žádné požadavky |
| Rovnoběžnost rovin ložných ploch | 5.2.2.3 | EN 772-2 | 3 | U doplňkových prvků žádné požadavky |
| Objemová hmotnost v suchém stavu | 5.4 | EN 772-9 EN 772-13: 2000 | 6 (3) | – |
| Pevnost v tlaku | 5.1 | EN 772-1: 2000 | 6 (3) 10 (5) | Jestliže je známo, že variační součinitel je větší než 15 %, musí počet prvků být 10 |
| Tepelnětechnické vlastnosti | 5.5 | EN 1745 | 3 | – |
| Mrazuvzdornost | 5.7 | EN 772-18 | 12 (6) | Zkouší se jen polovina prvků. Druhá polovina se uchovává pro eventuální zkoušku úbytku pevnosti v tlaku (viz EN 772-18: 2000) |
| Nasákavost | 5.10 | EN 772-11: 2000 | 6 (3) | – |
| Vlhkostní přetvoření | 5.11 | Národní předpis v místě použití | – | – |
| Přídržnost | 5.12 | EN 1052-3 | 27 | – |

Poznámka: Odebírá se větší počet prvků, jež v případě potřeby nahradí odebrané prvky, jež se poškodí při dopravě do zkušebny. Je-li to možné, např. nejsou-li vzorky zkouškou ovlivněny, lze vzorky použít v několika dalších odlišných zkouškách.

### 5.8.1.1 Pevnost v tlaku

Výrobce musí deklarovat průměrnou pevnost prvků v tlaku. Kromě toho musí výrobce deklarovat normalizovanou pevnost prvků v tlaku. Jednotlivé hodnoty pevnosti v tlaku stanovené podle ČSN EN 772-1 nesmí být menší než 0,8násobek deklarované hodnoty.

Jestliže je deklarována pevnostní třída, nesmí jednotlivé hodnoty normalizované pevnosti v tlaku v rozsahu odebraného vzorku být menší než 0,8násobek hodnoty deklarované třídy pevnosti v tlaku.

Jestliže délky vápenopískových zdicích prvků jsou 500 mm nebo větší, popřípadě jejich výšky jsou 300 mm nebo větší, je možné z těchto prvků vyříznout pro stanovení pevnosti v tlaku zkušební tělesa podle postupu v příloze B ČSN EN 771-2. Ve všech ostatních případech se musí zkoušet celé vápenopískové zdicí prvky.

Průměrná hodnota pevnosti v tlaku, stanovená zatěžováním tří těles vyříznutých z jednoho vápenopískového zdicího prvku náležejícího do odebraného vzorku, nesmí být menší než 0,9násobek deklarované hodnoty.

Pokud se deklaruje pevnostní třída, nesmí průměrná hodnota pevnosti v tlaku stanovená zatěžováním tří těles vyříznutých z jednoho vápenopískového zdicího prvku náležejícího do odebraného vzorku být menší než 0,9násobek hodnoty deklarované třídy. Vápenopískové zdicí prvky musí být vysušeny v sušárně s větráním.

### 5.8.1.2 Tepelnětechnické vlastnosti

Pokud je to významné pro použití, pro které je vápenopískový zdicí prvek uváděn na trh, a kromě toho u všech vápenopískových zdicích prvků, které jsou určeny pro zděné konstrukce, na něž budou kladeny tepelnětechnické požadavky, musí výrobce předložit informaci o tepelnětechnických vlastnostech vápenopískového zdicího prvku, včetně odkazu na ČSN EN 1745.

### 5.8.1.3 Trvanlivost

Pokud vápenopískové zdicí prvky jsou určeny pro použití tam, kde jsou tyto prvky vlhké a jsou vystaveny účinkům střídaného zmrazování a rozmrazování, musí výrobce deklarovat jejich mrazuvzdornost podle ČSN EN 772-18, a to proto, že se použijí buď v nosném zdivu, na něž se kladou současně též estetické požadavky, nebo v nosném zdivu, na něž se estetické požadavky nekladou.

Pokud je specifikovaný počet vápenopískových zdicích prvků odebrán z dodávky podle přílohy A a zkoušen podle ČSN EN 772-13, musí být mrazuvzdornost těchto prvků prokázána. Mrazuvzdornost musí být prokázána s přihlédnutím k určenému použití buď s uvažováním pevnostních a estetických požadavků, nebo jen s uvažováním pevnostních požadavků.

Pokud délky vápenopískových zdicích prvků jsou 500 mm nebo, popřípadě jejich výšky jsou 300 mm nebo větší, musí se z těchto prvků vyříznout pro stanovení mrazuvzdornosti reprezentativní zkušební tělesa podle postupu v příloze B. Ve všech ostatních případech se musí zkoušet celé vápenopískové zdicí prvky.

Pokud je deklarována mrazuvzdornost s uvažováním pevnostních a estetických požadavků, nesmí se na zkušebních tělesech projevit porušení rovinnosti (vyboulení vnější plochy), dutiny o průměru větším než 5 mm a povrchové trhliny.

Pokud je deklarována mrazuvzdornost s uvažováním jenom pevnostních požadavků, nesmí pokles pevnosti v tlaku (ve srovnání se vzorky, které nebyly podrobeny působení zmrazovacích cyklů) překročit 20 %.

#### 5.8.1.4 Propustnost vodních par

Pokud je to významné pro použití, pro které je vápenopískový zdicí prvek uváděn na trh, a vždy, když jsou zdicí prvky určeny pro vnější stěny, musí výrobce předložit informaci o propustnosti vodních par uvedením hodnoty součinitele difúze vodní páry s použitím tabelovaných hodnot uvedených v ČSN EN 1745, nebo uvedením hodnoty tohoto součinitele stanovené podle ČSN ISO 12572.

#### 5.8.1.5 Reakce na oheň

U vápenopískových zdicích prvků, které jsou určeny pro použití v konstrukcích, na něž budou kladeny požadavky požární bezpečnosti, musí výrobce deklarovat klasifikaci zdicích prvků z hlediska reakce na oheň.

U zdicích prvků obsahujících < 1.0 % hmotnosti nebo objemu (podle nejvyšší hodnoty) homogenně rozložených organických materiálů může být bez zkoušení deklarována požární třída A1.

Zdicí prvky obsahující >1,0 % hmotnosti nebo objemu (podle nejvyšší hodnoty) homogenně rozložených organických materiálů se musí klasifikovat podle ČSN EN 13501-1 a deklarovat u nich příslušná klasifikace z hlediska reakce na oheň.

#### 5.8.1.6 Nasákavost

Pokud je to významné pro použití, pro které je vápenopískový zdicí prvek uváděn na trh, a vždy, když jsou zdicí prvky určeny pro vnější stěny, musí výrobce deklarovat nasákavost zdicích prvků v dodávce.

Jestliže jsou z dodávky odebrány vzorky vápenopískových zdicích prvků podle přílohy A ČSN EN 771-2 a podrobeny zkoušce nasákavosti podle dále uvedeného postupu, průměrná hodnota nasákavosti nesmí být větší než deklarovaná nasákavost.

Vzorky se vysuší v sušárně při teplotě 105 ± 5 ℃ do ustálené hmotnosti $m_{dry,s}$. Za ustálenou hmotnost se pokládá druhá ze dvou po sobě následujících hmotností, mezi jejichž stanoveními je časový interval 24 hod a úbytek hmotnosti je menší než 0,1 % celkové hmotnosti vzorku.

Vzorky se nechají vychladnout v laboratorním prostředí.

Po vychladnutí se vzorky ponoří do nádoby s vodou na dobu 48 hodin. Po vyjmutí z nádoby se kapky vody, které zůstaly lpět na povrchu vzorků, setřou vlhkým hadříkem nebo houbou. Vzorky se zváží a jejich hmotnost za vlhka $m_{so,s}$ se zaznamená.

Vypočte se hodnota nasákavosti každého vápenopískového zdicího prvku, zaokrouhlená na nejbližší 0,1 %, podle vztahu:

$$c_w = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{m_{dry,s}}.10^2$$

kde $c_w$ je nasákavost vápenopískového zdicího prvku (%).

Ze získaných hodnot se vypočte hodnota průměrné nasákavosti se zaokrouhlením na nejbližší 0,1 %.

#### 5.8.1.7 Vlhkostní přetvoření

Pokud se požaduje prokázání vlhkostního přetvoření, musí se vlhkostní přetvoření deklarovat podle předpisů, které platí v oblasti určeného použití zdicích prvků.

#### 5.8.1.8 Přídržnost

U vápenopískových zdicích prvků, které jsou určeny k použití v nosném zdivu, se přídržnost v rovině styku prvku s maltou deklaruje prostřednictvím hodnoty charakteristické počáteční pevnosti ve smyku podle ČSN EN 1052-3.

Deklarace může být založena buď na soustavě stanovených hodnot, nebo na výsledcích zkoušek. Výrobce musí deklarovat, zda hodnota přídržnosti vychází ze soustavy stanovených hodnot, nebo z výsledků zkoušek.

### 5.8.2 Zkoušení pórobetonu

Za základní vlastnosti jsou považovány a v označení vyráběných tříd pórobetonu uvedeny:

- průměrná objemová hmotnost (maximální),
- charakteristická pevnost v tlaku.

Ostatní vlastnosti jsou na těchto hodnotách závislé. Počet prvků požadovaný pro zkoušení pórobetonových tvárnic je uveden v *tab. 5.13*.

Počet prvků požadovaný pro počáteční zkoušky a pro nezávislé zkoušení dodávek pórobetonových tvárnic *Tab. 5.13*

| Vlastnosti | Číslo kapitoly ČSN EN 771-4 | Zkušební metoda | Počet prvků |
|---|---|---|---|
| Rozměry | 5,2 | EN 772-16 | 6 |
| Objemová hmotnost prvku | 5,4 | EN 772-13 | 6 |
| Objemová hmotnost materiálu prvku | 5,4 | EN 772-13 | 6 |
| Pevnost v tlaku | 5,5 | EN 772-1 | 6 |
| Vlhkostní přetvoření | 5,8 | EN 680 | 3 |
| Nasákavost | 5,1 | EN 772-11 | 2 |
| Přídržnost | 5,12 | EN 1052-3 | 27 |

### 5.8.2.1 Odběr a příprava zkušebních těles

Pórobeton patří mezi anizotropní materiály (jeho vlastnosti nejsou ve všech směrech stejné). Vzorky se proto odebírají tak, aby zkoušení probíhalo ve směru kolmém na směr narůstání hmoty ve formě (tj. kolmo na směr, kterým pórobetonová hmota zvětšuje svůj objem ve formě).

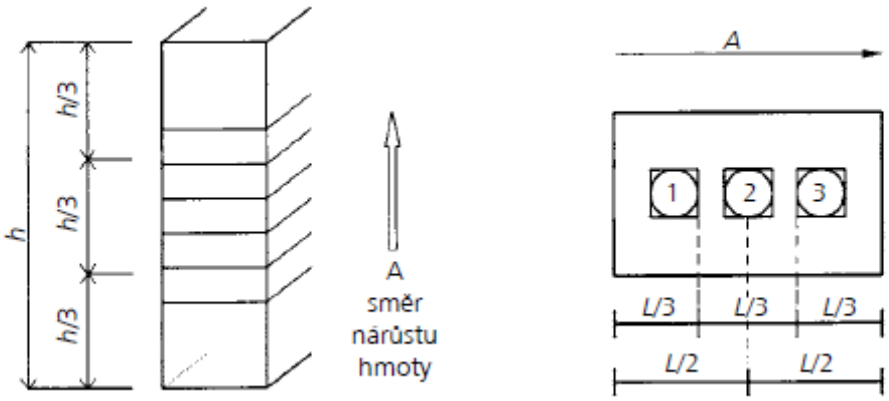
Zkušební tělesa se odebírají z výrobků řezáním (krychle, hranoly, desky), případně vrtáním jádrovým vrtákem (válce). Pro zkoušky vlastností pórobetonu je možné použít tělesa, která nejsou poškozena ani nemají viditelné trhliny.

Jako základní zkušební tělesa jsou pro stanovení pevnosti v tlaku předepsány krychle s délkou hrany 100 mm (ČSN EN 679), pro stanovení objemové hmotnosti to mohou být krychle, válce nebo hranoly s nejmenším rozměrem alespoň 50 mm a objemem 0,5 x $10^{-3}$ $m^3$.

Pro různé druhy zkoušek se odběrové místo a tvar zkušebních vzorků liší. Odběrové místo ovlivňuje např. výška bloku. Na *obr. 5.50* je znázorněn způsob odběru jedné sady zkušebních těles pro zkoušku v tlaku, tj. tří těles. Odběr dvou zkušebních těles (desek) pro stanovení součinitele tepelné vodivosti je na *obr. 5.51.*

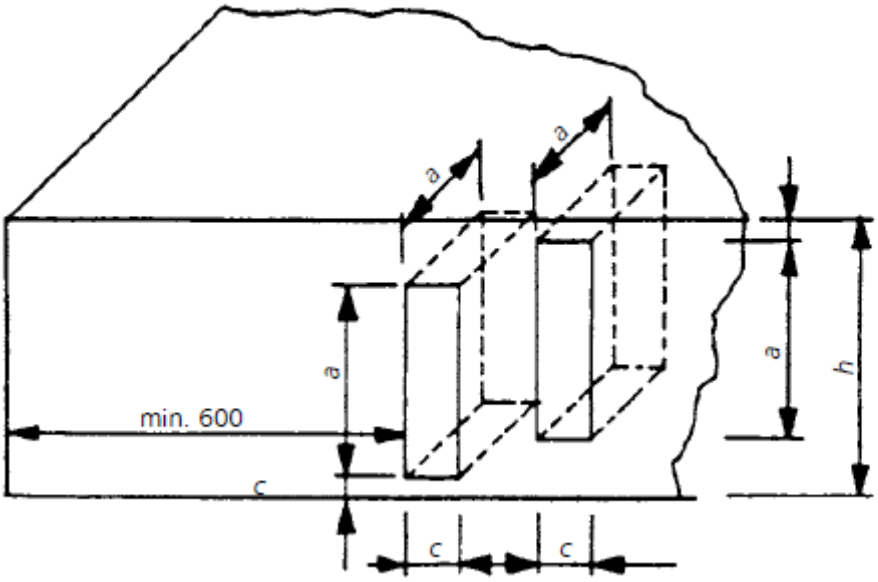
Pevnost tahu za ohybu se podle ČSN EN 1351 zkouší na hranolech 50 x 50 x 200 mm. Ke zkoušce modul pružnosti se podle ČSN EN 1352 používají hranoly 100 x 100 x 300 mm. Smršťování se měří podle (ČSN EN 680 na hranolech 40 x 40 x min 100 mm. Ke stanovení vlhkosti podle ČSN EN 1353 lze použít hranoly, krychle, nebo válce o min. rozměru 50 mm.

Rozměry vzorků pro zkoušky tepelná vodivosti se řídí použitým přístrojem. Mohou to být například desky 250 x 250 x 50 mm.




*Obr. 5.57* Odběr trojice zkušebních těles z pórobetonových výrobků

1, 2, 3 – krychle nebo válce
*h* – výšky pórobetónového bloku, *L* – délka prvku




*Obr. 5.58* Odběr zkušebních těles pro stanovení součinitele tepelné vodivosti

*h* – výška pórobetónového bloku (mm), *a* – délka hrany zkušebního tělesa (mm), *c* – výška zkušebního tělesa (mm)

### 5.8.2.2 Stanovení objemové hmotnosti pórobetonu

Hodnotu objemové hmotnosti je možné stanovit dvěma způsoby:
- metodou gravimetrickou,
- metodou nepřímého stanovení.

#### 5.8.2.2.1 Gravimetrická metoda

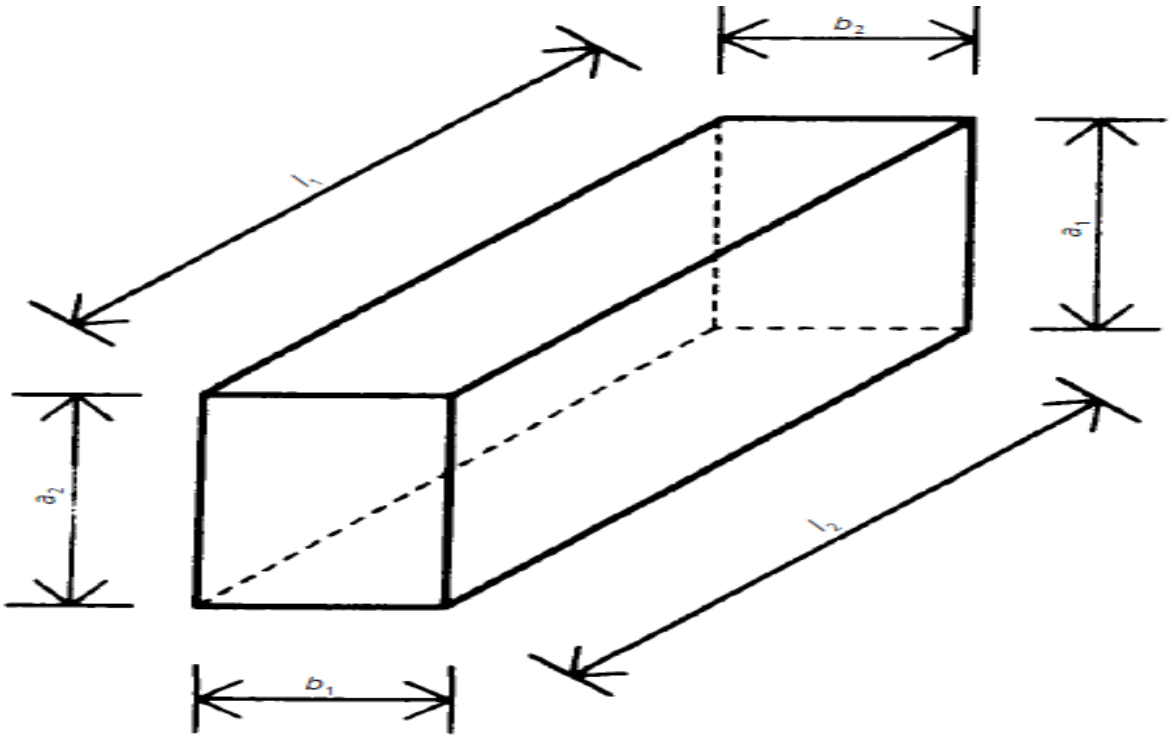
Metoda gravimetrická spočívá ve stanovení objemové hmotnosti vysušeného zkušebního tělesa vážením a rozměrovým měřením.

Podle ČSN EN 678 se stanovení objemové hmotnosti gravimetrickou metodou provádí na zkušebních tělesech ve tvaru krychlí o hraně 100 mm, vysušených do konstantní vlhkosti při teplotě 105 ± 5 ºC. Případně mohou být zkušebními tělesy hranoly či válce.

Hmotnost zkušebních těles se zjistí vážením. Zkušební tělesa se nejprve vysuší při teplotě 105 ºC a potom se zváží.

Rozměry zkušebních těles se stanoví měřením následujícím způsobem. Na dvou protilehlých místech se změří hrany krychle. Určí se aritmetický průměr délek a z těchto hodnot se vypočte objem zkušebního tělesa. Tato hodnota se udává se zaokrouhlením na 100 $mm^3$.

Způsob zjištění rozměrů těles znázorňuje obr. 5.59.




*Obr. 5.59* Měření zkušebních těles

Objemová hmotnost pórobetonu $\rho_d$ v kg.m$^{-3}$ se vypočítá ze vztahu:

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} \cdot 10^6$$

kde $m_d$ je hmotnost zkušebního tělesa (g),

$V$ – objem zkušebního tělesa v (mm$^3$).

Výsledná hodnota objemové hmotnosti se stanoví jako aritmetický průměr měření tří zkušebních těles s přesností 5 kg.m$^{-3}$.

#### 5.8.2.2.2 Metoda nepřímého stanovení

Při metodě nepřímého stanovení objemové hmotnosti se zkušební tělesa, určená ke zjištění jiné vlastnosti, např. pevnosti v tlaku nebo součinitele tepelné vodivosti, bezprostředně před zkouškou zváží a změří podobně jako u předcházející metody, ale bez předchozího vysoušení.

Po ukončení hlavní zkoušky se celé zkušební těleso (pokud během zkoušky nedošlo k jeho porušení) vloží do sušárny. V případě porušení tělesa (např. po zkoušce pevnosti v tlaku) se provede další vážení zbytku po zkoušce a zvážené části se umístí na vhodnou podložku tak, aby nedošlo ke ztrátám hmotnosti, a s touto podložkou se vloží do sušárny.

Po vysušení zkušebního tělesa nebo jeho části do ustálené hmotnosti se zjistí hmotnost vážením.

Okamžitá zkušební vlhkost $w_{me}$ v % hmotnosti se vypočte ze vztahu:

$$w_{me} = \frac{m_w - m_d}{m_d} \cdot 100^6$$

kde $m_w$ je hmotnost vlhkého zkušebního tělesa nebo jeho části po zkoušce (g),

$m_d$ – hmotnost vysušeného zkušebního tělesa nebo jeho části (g).

Objemová hmotnost $\rho_d$ v kg.m$^{-3}$ se vypočte ze vztahu:

$$\rho_d = \frac{\frac{100 \cdot m_{we}}{w_{me} + 100}}{V} \cdot 100^6$$

kde $m_{we}$ je hmotnost vlhkého zkušebního tělesa před zkouškou (g),

$w_{me}$ – okamžitá zkušební vlhkost (% hm.),

$V$ – objem zkušebního tělesa před zkouškou (mm$^3$).

Pokud zkušební těleso zůstává po hlavní zkoušce neporušené, lze objemovou hmotnost vypočítat přímo:

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} \cdot 10^6$$

kde $m_d$ je hmotnost vysušeného zkušebního tělesa (g),

$V$ – objem zkušebního tělesa (mm$^3$).

### 5.8.2.3 Stanovení pevnosti v tlaku

Pevnost v tlaku je poměr mezi největší dosaženou silou a průřezovou plochou zkušebního tělesa v okamžiku porušení. Udává se v MPa.

Tato zkouška se provádí podle ČSN EN 679 na krychlích o hraně 100 mm při okamžité zkušební vlhkosti 6 ± 2 % hmotnosti. Zkušební sadu tvoří tři krychle.

Mohou se použít i zkušební tělesa jiného tvaru nebo jiné velikosti, pokud se pevnost zjištěná na těchto tělesech dá přímo přepočítat na pevnost zjištěnou na krychlích o hraně 100 mm. To splňují například válce o průměru 100 mm.

Zkušební tělesa se před zkouškou vysuší na požadovanou vlhkost a potom se změří (*obr. 5.59*).

Do zkušebního stroje se vkládají tak, aby síla působila kolmo na směr narůstání pórobetonové hmoty.

Zatěžování musí být plynulé s přírůstkem v mezích 0,1± 0,05 MPa.s$^{-1}$.

Pevnost krychle v tlaku $f_c$ v MPa je dána vztahem:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

kde $F$ je nejvyšší dosažená síla ve zkušebním stroji v N,

$A_c$ – průměrná tlačná plocha krychle v mm$^2$.

Výsledná hodnota pevnosti v tlaku zkušební sady se stanoví jako aritmetický průměr z pevností jednotlivých zkušebních těles (stanovených s přesností 0,05 MPa) se zaokrouhlí na 0,1 MPa.

### 5.8.2.4 Vyhodnocení zkoušek pórobetonu

V současné době se pracuje na revizi textu normy ČSN EN 12602, která upravuje hodnocení pórobetonu podle evropských zvyklostí. Hlavní zásady této normy jsou uvedeny v kapitole 5.8.2.4.1.

Některé výrobny stále používají pro hodnocení výroby postup podle ČSN 73 1350 z roku 1992. S ohledem na to, že se jedná o ilustrativní případ současného hodnocení jakosti výrobku i výroby, a s ohledem na to, že tento postup může být na smluvním základě praktikován i nadále, je uveden v *kap. 5.8.2.4.2*.

#### 5.8.2.4.1 Hodnocení dle ČSN EN 12602

Objemová hmotnost musí být udána výrobcem, a to deklarovanou střední hodnotou a deklarovanou odchylkou, nebo deklarovanou třídou objemové hmotnosti.

Výsledky každé zkušební sady musí ležet v těchto mezích:

- střední hodnota $\rho = \rho_{m,g} \pm \Delta \rho_g$,
- jednotlivé hodnoty $\rho_m = \rho_{m,g} \pm 15$ %,

kde $\rho_{m,g}$ je deklarovaná střední hodnota objemové hmotnosti,

$\Delta\ \rho_g$ – deklarovaná odchylka objemové hmotnosti (ne větší než 10 %).

Střední hodnota $\bar{x}$ a nejmenší hodnota $x_{min}$ v tlaku musejí splňovat podmínku:

$$\bar{x} \geq f_{ck,g} + \lambda \cdot s_n$$

$$x_{\min} \geq 0{,}85\, f_{ck,g}$$

kde $\bar{x}$ je střední hodnota pevnosti v tlaku ze zkoušek n vzorků (MPa),

$x_{min}$ – nejmenší jednotlivá hodnota pevnosti v tlaku z n výsledků (n ≥ 6) (MPa),

$f_{ck,g}$ – deklarovaná charakteristická pevnost v tlaku (MPa),

$\lambda$ – statistický koeficient závislý na počtu n výsledků,

$s_n$ – směrodatná odchylka pevnosti v tlaku zkušební série n výsledků (MPa),

Pro hodnotu $\lambda$ platí :

$\lambda = 2{,}14 - 0{,}043.n$

Nejmenší hodnota $\lambda$ je však navíc dána vztahem:

$\lambda \geq 1{,}48$

#### 5.8.2.4.2 Hodnocení dle ČSN 73 1350

Po vystavení certifikátu k dané značce pórobetonu se podle ČSN 73 1350 vychází z vyhodnocení výsledků zkoušek za uplynulých 12 týdnů s klouzavým posunem po jednom týdnu.

Určují se:

- průměrná hodnota objemové hmotnosti pórobetonu dané třídy,
- charakteristická hodnota pevnosti v tlaku pórobetonu dané třídy.

Výběrový průměr se vypočítá z minimálně 10 výsledků zkoušek po sobě jdoucích.

Směrodatná odchylka potřebná k vyhodnocení výsledků pro vystavení atestu se stanoví minimálně ze 120 výsledků zkušebních sad za období posledních 12 týdnů.

Odhad střední hodnoty základního souboru objemové hmotnosti a pevnosti v tlaku se stanoví minimálně za období 12 týdnů z minimálního počtu 120 výsledků zkušebních sad jako průměr týdenních průměrů jdoucích po sobě.

Výběrový průměr objemové hmotnosti $\bar{\rho}_d$ stanovený z výsledků zkušebních sad se vypočítá ze vzorce:

$$\bar{\rho}_d = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} \rho_{d,i}$$

kde $\rho_{d,i}$ je i-tý výsledek objemové hmotnosti stanovený na i-té zkušební sadě ($kg.m^{-3}$) a $n$ je počet zkušebních sad, přičemž n ≥ 10.

Odhad střední hodnoty objemové hmotnosti v základním souboru se stanoví ze vztahu:

$$\mu_\rho = \frac{1}{k}\sum_{1}^{k} \overline{\rho}_{d,k}$$

kde *k* je počet výběrových průměrů ( *k* ≥ 12),

$\overline{\rho}_{d,k}$ – průměr objemové hmotnosti (kg.m$^{-3}$).

Směrodatná odchylka se spočítá jako :

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{N}} \cdot \sum_{i=1}^{n} (\rho_{d,i} - \mu_\rho)^2$$

kde *N* je celkový počet zkušebních sad za období 12 týdnů, tj.

$$N = \sum_{i=1}^{k} n_i$$

Musí platit:

$$\overline{\rho}_d \geq \rho_{d,g}$$

kde $\rho_{d,g}$ je třída objemové hmotnosti deklarovaná výrobcem.

Výběrový průměr pevnosti v tlaku stanovený z výsledků zkušebních sad se počítá ze vzorce :

$$\bar{f}_c = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} f_{c,i}$$

kde $f_{c,i}$ je i-tý výsledek pevnosti v tlaku stanovený na i-té zkušební sadě (MPa),

*n* – počet zkušebních sad, přičemž n ≥ 10.

Odhad střední hodnoty pevnosti tlaku $\mu_R$ v základním souboru se stanoví ze vztahu:

$$\mu_R = \frac{1}{k}\sum_{1}^{k} f_{c,k}$$

kde *k* je počet výběrových průměrů (k ≥ 12),
$f_{c,k}$ – k-tý výběrový průměr objemové hmotnosti (MPa)

Rozptyl pevnosti v tlaku pro stanovení charakteristické hodnoty se stanoví ze vztahu:

$$s_R^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(f_{c,i} - \mu_R)^2$$

kde *N* je celkový počet zkušebních sad z období 12 týdnů.

Směrodatná odchylka je kladnou odmocninou rozptylu :

$$s_R = \sqrt{s_r^2}$$

Charakteristická hodnota pevnosti tlaku se stanoví ze vztahu:

$$f_{c,d} = \mu_R - k_1 \cdot s_R$$

kde $k_1$ je koeficient jednostranné toleranční meze (*tab. 5.14*).

Pokud výroba pórobetonu za sledované období, reprezentované náhodným výběrem, splňuje hodnotu pevnosti v tlaku dané třídy, musí platit :

$$f_{c,d} \geq f_{c,g}$$

kde $f_{c,g}$ je charakteristická hodnota pevnosti tlaku dané třídy (MPa).

Jednostranná toleranční mez je jednostranný horní nebo dolní interval zajišťující jednostranné pokrytí základního souboru s předem stanovenou pravděpodobností *P* = 95 % a spolehlivostí $\alpha$ = 0,75.

Hodnoty pro stanovení jednostranné toleranční meze *Tab.5.14*

| Veličina | Hodnota veličiny | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $n$ | 10,00 | 15,00 | 20,00 | 25,00 | 30,00 | 40,00 | 50,00 | 75,00 | 90,00 |
| $k_1$ | 2,00 | 1,91 | 1,87 | 1,84 | 1,82 | 1,79 | 1,78 | 1,75 | 1,64 |

## 5.9 Zkoušení malt

Všechny malty mají společné to, že se s nimi setkáváme jednak v nevytvrzené těstovité podobě při jejich aplikaci a jednak v podobě ztuhlé pevné hmoty po jejich zabudování do konstrukce. Pro malty je rovněž charakteristické, že jsou po zabudování alespoň zčásti v přímém kontaktu s nějakou další vrstvou nebo vrstvami.

Těmto skutečnostem odpovídají i zkušební postupy používané při hodnocení malt. Můžeme je rozdělit na zkoušky čerstvé malty, zkoušky pevnosti a odolnosti a na zkoušky soudržnosti nebo spolupráce s podkladem.

V oblasti zkušebnictví malt došlo ke značným změnám. Po léta platné normy ČSN 72 2441 – ČSN 722454 byly zrušeny a jen zčásti jejich funkci převzaly nové ČSN EN.

Následující zkoušky představují jen určitý výběr z dnes používaných zkušebních postupů.

### 5.9.1 Zkoušky čerstvé malty

Zkouška konzistence čerstvé malty pomocí přístroje pro hodnotu penetrace (ČSN EN 1015-4) se zjišťuje změřením hloubky spontánního průniku měřící tyčky s penetračním válečkem do vzorku čerstvé malty (obr. 5.56 h.)

Nádobu na maltu, která je součástí přístroje se rovnoměrně naplní čerstvou maltou ve dvou vrstvách každá každou vrstva se zhutňuje deseti krátkými údery dusadla.

Výchozí poloha měřicí tyčky se fixuje tak, aby konec penetračního válečku byl v rovině s horní hranou nádoby na maltu, která je přitom položena na základové desce přístroje. při následném uvolnění fixačního šroubu penetrační váleček volně pronikne do malty a hodnota průniku se odečítá s přesností 1 mm.

Výsledkem zkoušky jsou jednotlivé hodnoty a vypočítaná průměrná hodnota penetrace penetračního válečku (přesnost 1 mm).



*Obr. 5.60* Penetrační zkouška konzistence čerstvé malty

Normová zkouška konzistence čerstvé malty na střásacím stolku (ČSN EN 1015-3) se provádí tak, že se na navlhčenou nebo lehce naolejovanou plochu stolku umístí kovová forma ve tvaru komolého kužele širší stranou dolů a na horní stranu formy se nasadí pomocný plnící nástavec (obr. 5. 56i).

Forma se plní ve dvou přibližně stejně vysokých vrstvách čerstvou maltou, která se zhutňuje deseti krátkými údery (vpichy) dusadla. Po zhutnění druhé vrstvy malty a sejmutí plnícího nástavce se povrch urovná pravítkem do roviny s okrajem formy.

Po zapnutí síťového vypínače střásací stolek automaticky provede 15 zdvihů a pádů s konstantní frekvencí 1 zdvih / cca 1 sekunda.

Po ukončení série zdvihů se ihned provede změření průměru rozlité malty ve dvou směrech na sebe kolmých (přesnost čtení 1 mm) a průměrná hodnota se zaznamená jako rozliv.

Na maltě plastické konzistence (rozliv na střásacím stolku 140 – 200mm) je možné provádět zkoušku objemové hmotnosti čerstvé malty rázovou metodou podle ČSN EN 1015-6 .

Objemová hmotnost se tímto postupem stanovuje jako poměr hmotnosti čerstvé malty a objemu, který zaujímá, je-li vnesena předepsaným způsobem do měřící nádoby o objemu jednoho litru.



*Obr. 5.61* Střásací stolek pro zkoušku konzistence čerstvé malty

Objemová hmotnost $\rho_m$ (vypočítaná s přesností na 10 kg/m$^3$) je pak dána vztahem:

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V},$$

kde $m_2$ je hmotnost nádoby s maltou (kg),

$m_1$ je hmotnost prázdné nádoby (kg)

a v je objem nádoby (m$^3$).

Zkouška zpracovatelnosti (koheze) čerstvé malty se podle ČSN EN 413-2 provádí vibrací v přístroji (obr. 5.62), jehož součástí je pravoúhlá nádobka rozdělená na dva oddíly (větší a menší). Dělící stěna mezi oběma oddíly je usazena ve vodítkách. Lze jí vysunout a vyjmout. Při vysunutí se automaticky zapíná spínač vibrátoru.



*Obr 5.62* Přístroj na zkoušku zpracovatelnosti (koheze) čerstvé malty

Při měření zpracovatelnosti se nejprve naplní větší oddíl čerstvou maltou ve čtyřech přibližně stejných vrstvách, s tím, že každá vrstva se zhutňuje deseti vpichy dusadla, vedeného rovnoběžně se zkosenou stranou dělící stěny.

Po odstranění přebytečné malty a zarovnání povrchu maltové vrstvy se vyjmutím dělicí spustí vibrace a měří se čas (ve vteřinách) za který přední strana malty dosáhne rysky (mezní hranice) v menší nádobě.

Důležitou zkouškou, používanou zejména při hodnocení sanačních omítek, je zkouška obsahu vzduchu v čerstvé maltě. Provádí se tlakovou metodou (ČSN EN 1015-7). Zkušební přístroj je v podstatě identický s přístrojem se kterým se provádí zkouška provzdušnění betonu (viz. kap. 5.3.1.3), ale zkušební nádoba má objem pouze jeden litr.

Schopnost zadržovat (akumulovat) vodu se stanoví u čerstvé malty provádí pomocí přístroje popsaného v normě ASTM C91. Malta se vakuuje po dobu15 minut takto:

– u základní vrstvy a vrstvy (vrstev) konečné povrchové úpravy (vyjma vrstvy (vrstev), jejichž pojivo je čistý polymer), se působí vakuem 50 mm rtuťového sloupce (tlakový rozdíl vně a uvnitř nádoby)

– u adheziv zůstatkovým tlakem 60 mm rtuťového sloupce (absolutní tlak uvnitř nádoby)

Miska zkušebního zařízení se vyloží filtračním papírem (o průměru 150 mm a hmotnosti 65 g/m$^2$), který se před tím zvlhčí a vysuší položením na suchý filtrační papír, naplní se maltou, která se vyrovná a před zkouškou zváží (protože je hmotnost prázdné misky včetně zvlhčeného filtračního papíru známá, lze hmotnost malty a odpovídající hmotnost záměsové vody vypočítat v g). Tyto postupy proběhnou během 10 minut míchání.

Po 15 minutách (od počátku míchání) se na 15 minut zapojí vývěva; miska se pak po otření dolního povrchu znovu zváží a ztráta vody (e) v g se může vypočítat odečtením.

Schopnost akumulace vody (A) se vyjádří v procentech počáteční hmotnosti záměsové vody (E):

$$A = \frac{E - e}{E}.100$$

Tento postup je součástí řídícího pokynu pro evropská technická schválení ETAG 004 - Vnější kontaktní tepelně izolační systémy s omítkou.

### 5.9.2 Zkoušky ztvrdlé malty

Výroba potřebných zkušebních těles se provádí podle ČSN EN 1015-11 uložením čerstvé malty do ocelových forem tvaru 3 ks trámečků 40x40x160 mm.

V případě malty obsahující hydraulická pojiva a malty obsahující směs vzdušného vápna a cementu v nichž obsah vzdušného vápna není větší než 50 %z celkové hmotnosti pojiva se vnitřní část ocelové formy se lehce vytře olejem a plní se čerstvou maltou cca do poloviny.

Na zhutnění uložené malty se použije 25 vpichů dusadla. Forma se doplní další maltou a malta se opět zhutní (25 vpichů).

Přebytečná malta se odstraňuje (a povrch uložené malty se urovnává s horním okrajem formy) pilovitým pohybem pravítka. Tím je forma připravena k uložení.

Malty s vyšším obsahem vápna (tedy malty obsahující vzdušné vápno a malty obsahující směs vzdušného vápna a cementu v nichž obsah cementu není větší než 50 % celkové hmotnosti pojiva) se připravují v rámové formě spočívající na skleněné podložce pokryté ve dvou vrstvách bavlněnou gázou. Na naplněnou formu se přikládá skleněné víko podložené gázou (2 vrstvy) a filtrační papírem (6 vrstev). Po otočení celé sestavy dnem vzhůru se původně spodní vrstvy gázy doplní také filtračním papírem (6 vrstev) a celá sestava se opět přikryje skleněnou deskou a na 3 hodiny zatíží závažím 5 kg. Rám s maltovou směsí je po dobu oboustranně v kontaktu s vrstvami, které odsávají vodu. Pak se závaží sejme a odsávací vrstvy se postupně odstraní (skleněné desky e vrátí zpět). Tím je forma připravena k uložení.

Ukládací teplota je v obou případech 20 ±2 ℃. Vlhkost prostředí pro uložení formy, doba do vyjmutí z těles formy a způsob dalšího uložení vyjmutých těles je závislý na druhu malty (tab. 5.15).

Podmínky uložení zkušebních maltových těles *Tab. 5.15*

| Druh malty | Uložení při vlhkosti 95 ± 5 % | Uložení při vlhkosti 55 ± 5 % |
|---|---|---|
| Malta ze vzdušného vápna a malta s obsahem cementu < 50 % | 5 dní ve formě + 2 dny po odformování | vyjmutá tělesa dalších 21 dní |
| Cementová malta a malta s obsahem vzdušného vápna < 50 % | 2 dny ve formě + 5 dní po odformování | vyjmutá tělesa dalších 21 dní |

Na vytvrzených tělesech je možné stanovit objemovou hmotnost ztvrdlé malty (ČSN EN 1015-10) ρ podle vzorce:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

kde m je hmotnost zkoušeného vzorku [kg] ,

V je objem zkoušeného vzorku (včetně dutin a pórů) vypočítaný na základě jeho rozměrů [$m^3$].

Hmotnostní vlhkost ztvrdlé malty (ČSN 72 2448) je definována vzorcem:

$$w_m = (m_w - m_d / m_d) \cdot 100 \quad [\% \text{ hmot.}]$$

kde $m_w$ je hmotnost materiálu ve vlhkém stavu [kg],

$m_d$ je hmotnost materiálu v suchém stavu [kg].

Zkouška pevnosti ztvrdlé malty se provádí podle ČSN EN 1015-11.

Pevnost v tahu za ohybu se počítá podle vztahu:

$R_{y,i} = 3/2 . [ F_{max,i}) / (b_i . h_i^2) ]$,

kde $F_{max,i}$ je maximální dosažená síla při porušení každého zkušebního tělesa v [N],

$b_i$ je šířka tělesa [mm],

$h_i$ je výška tělesa [mm] v poloze při zkoušce ve zkušebním stroji (kolmo na směr hutnění).

Výsledkem je průměrná hodnota pevnosti ztvrdlé malty v tahu za ohybu vypočtená (přesnost 0,1 MPa) z výsledků získaných zkoušením tří zkušebních těles.

Na vzniklých zlomcích se (s použitím úložných destiček 40 x 40 mm vymezujících tlakovou plochu) může provést stanovení pevnosti v tlaku.

Pevnostní zkouška se využívá i při zkoušce mrazuvzdornosti malty. Malta je považována podle ČSN 72 2452 čl. 12 za mrazuvzdornou pro zkoušený počet cyklů za podmínky, že úbytek pevnosti zmrazovaných vzorků proti pevnosti referenčních vzorků není větší než 25 % pevnosti referenčních vzorků.

Přídržnost ztvrdlé malty k podkladu podle ČSN EN 1015-12 vyjadřuje maximální napětí v tahu (MPa) vyvozené zatížením působícím kolmo k povrchu malty nanesené na podkladu (pálené zdící prvky, pórobetonové tvárnice, betonové desky apod.). Tahové zatížení se vyvozuje prostřednictvím zkušebního zařízení (odtrhového stroje) a tuhého odtrhového terče z korozivzdorné oceli, přilepeného obvykle epoxidovým lepidlem na zkoušenou kruhovou plochu povrchu malty, která je stejné velikosti jako zkušební terč.

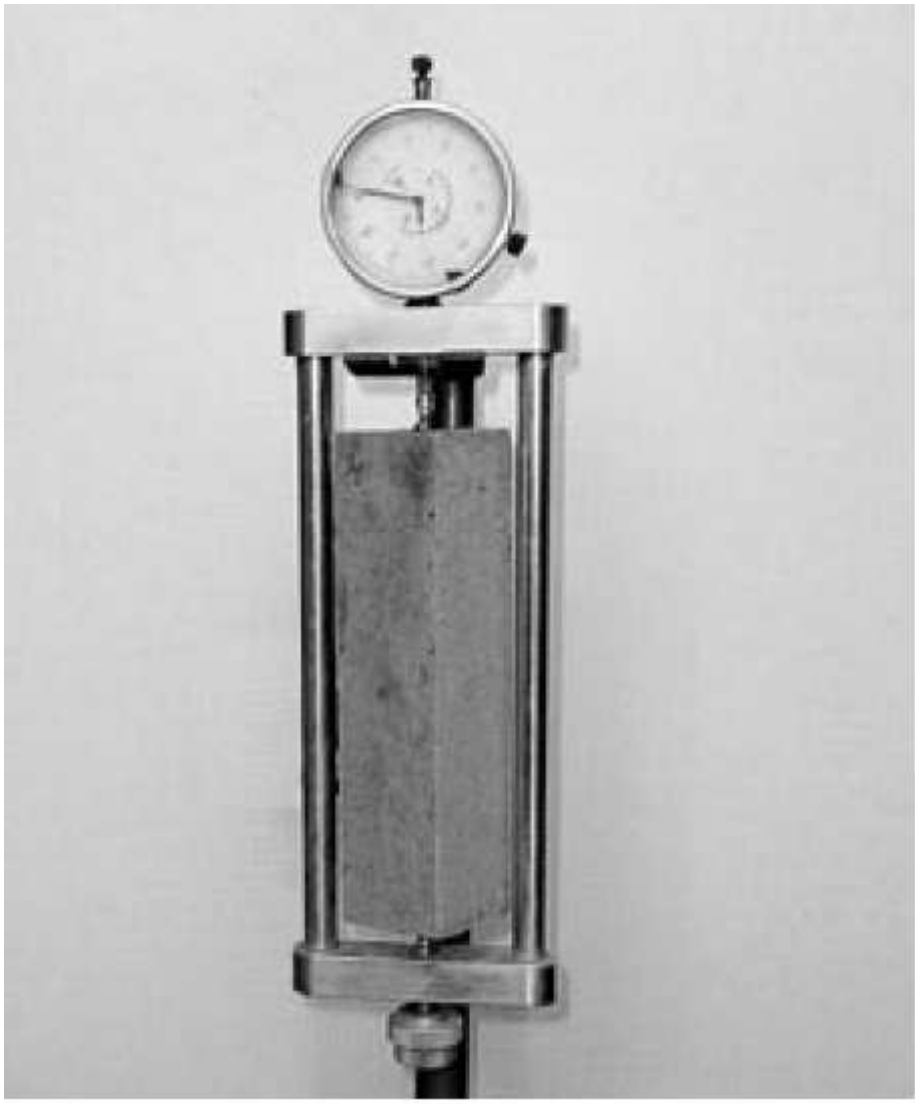
Příslušná kruhová plocha se vytváří vyříznutím ve větší ploše nanesené malty. Vyříznutí provedené v čerstvé musí sahat až k podkladu, vyříznutí ve ztvrdlé maltě se provádí až do vlastního podkladu (hloubka zářezu cca 2 mm).

Důležitou charakteristikou vytvrzené malty je její objemová stálost. Významná je zejména po té co došlo ke ztuhnutí malty. Ve ztuhlém stavu už napětí vyvolané objemovou změnou nemůže být eliminováno tokem maltové směsi a může vést ke tvorbě trhlin.

Objemovou stálost lze sledovat buď přímo (měřením změny objemu při dotvrzování a zrání) nebo zprostředkovaně měřením změny délkové (pomocí dilatometru).

Protože měření délkové změny vyžaduje jednoznačně určitelné krajní body, osazují se do tuhnoucí hmoty často pomocné měrné hroty nebo čepy (obr. 5.63).

Podle ETAG 004 se měření smršťování provádí v pravidelných intervalech na třech vzorcích 10 x 40 x 160 mm s tím, že zaznamenává hodnota po 28 dnech. Jsou-li pochybnosti o tom, že jde ustálenou hodnotu, pokračuje se ve zkoušce a zaznamená se hodnota po 56 dnech.



*Obr. 5.63* Graf-Kaufmannův dilatometr pro zjišťování změny délky trámečků (v čelech trámečku 40 x 40 x 160 mm jsou osazeny kulovité čepy)

## 5.10 Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Součinitel tepelné vodivosti (viz též *kap. 3.5.3.1.1*) charakterizuje schopnost tepelně homogenních, izotropních materiálů vést teplo, případně se jím s dostatečnou přesností pro stavební praxi charakterizuje též schopnost tepelně nehomogenních pórovitých materiálů s tloušťkou větší, než je tloušťka limitní přenášet teplo.

Limitní tloušťka je taková tloušťka materiálu definovaných vlastností, pro kterou platí, že při zvýšení tloušťky nad tuto mez, popř. při změně teplotního spádu, nedojde ke změně součinitele tepelné vodivosti o více než 4% – stanovuje se zkouškou.

Měření součinitele tepelné vodivosti lze provádět různými způsoby a metodami. V zásadě lze metody měření rozdělit na:

stacionární – měření v ustáleném stavu, kdy tepelný výkon je v průběhu zkoušky stálý. (K těmto metodám patří např. metoda rovinné ohraničené desky, koule, ohraničeného válce);

nestacionární – měření ve stavu neustáleném, kdy tepelný výkon se během doby mění (např. metoda topného drátu).

Metoda stanovení součinitele tepelné vodivosti musí být zvolena v závislosti na druhu zkoušky, podle typu a způsobu použití materiálu a v souladu s normami pro zkoušení daného typu materiálu.

### 5.10.1 Stacionární metody

Stacionární metody jsou exaktnější, z hlediska měření jednodušší, spolehlivější a snáze kontrolovatelné. Na druhé straně je dosažení ustáleného teplotního stavu časově náročné, a to i při měření relativně malých zkušebních vzorků, takže tato měření jsou velmi zdlouhavá a navíc u vlhkých vzorků může dojít ke ztrátě vlhkosti, a tím ke změně tepelné vodivosti zkoušeného vzorku. Může se pak stát, že se vůbec nepodaří během měření dosáhnout ustáleného stavu.

Metody pro stanovení součinitele tepelné vodivosti v ustáleném tepelném stavu se dělí podle ČSN 72 7010 na primární a sekundární, v závislosti na dosažitelné přesnosti měření.

Podle tvaru vzorků rozeznáváme metodu:

- rovinné ohraničené desky,
- ohraničeného válce,
- koule.

Připouští se i použití jiných metod, které nejsou normovány. V takovém případě se však musí ověřit přesnost a reprodukovatelnost použité metody.

Normy ČSN 72 7010 až 72 7013 definují metody měření bez přímé vazby na konkrétní typ zkušebního zařízení a jsou zde přesně určeny pouze konstrukční zásady zkušebního zařízení a podmínky stanovení součinitele tepelné vodivosti pro jednotlivé druhy zkoušek.

Pro stanovení součinitele tepelné vodivosti jsou předepsány následující laboratorní podmínky:

- teplota vzduchu v laboratoři by v průběhu měření neměla kolísat o více než 2 °C,
- relativní vlhkost vzduchu by neměla překročit hodnotu 65 %.

Při výběru a úpravě vzorků se musí vzít v úvahu druh zkoušeného materiálu a jeho heterogenita z hlediska měřené vlastnosti. Způsob vzorkování je udán v materiálových nebo zkušebních normách daného materiálu.

Ustálený tepelný stav je definován jako stav, kdy jednotlivé hodnoty součinitele tepelné vodivosti stanovené pro měřicí intervaly se od sebe neliší více než 2 %. Přitom hodnoty nesmějí vykazovat monotónně vzestupnou nebo sestupnou tendenci. Současně se nesmí jednotlivé povrchové teploty ve vztažných plochách zkušebního vzorku lišit o více než 0,15 K od průměrné teploty této vztažné plochy.

Určujícími parametry součinitele tepelné vodivosti jsou fyzikální vlastnosti vzorku a okrajové podmínky měření:

- objemová hmotnost suchého (zdánlivě suchého) vzorku,
- střední teplota při měření,
- hmotnostní nebo objemová vlhkost materiálu.

#### 5.10.1.1 Metoda válce

Metoda válce (ČSN 72 7011) je vhodná především pro měření tepelné vodivosti izolačních hmot a izolačních soustav, určených k izolování potrubí a válcových těles.

Způsob měření spočívá v tom, že zkoušený izolační materiál se připevní na topnou trubku o vnějším průměru obvykle 50 až 80 mm a délce 2 až 3 m. Topná trubka je vyhřívána buď elektricky, nebo tekutinou, aby na jejím povrchu byla udržována stálá teplota.

Měřený vzorek musí být připevněn tak, aby po celé délce těsně přiléhal k povrchu topné trubky a tvořil souosou vrstvu konstantní tloušťky. Na topné trubce jsou umístěna teplotní čidla, sloužící k měření její povrchové teploty, stejná čidla jsou i na vnějším povrchu vzorku.

Měření probíhá v ustáleném tepelném stavu. Zjišťuje se průměrná teplota na povrchu topné trubky a na povrchu měřeného vzorku a elektrický příkon topné trubky. Z těchto naměřených hodnot, tloušťky vzorku, délky topné trubky, jejího průměru a průměru zkoušené izolace se vypočítá tepelná vodivost zkoušeného izolačního materiálu.

#### 5.10.1.2 Metoda desky

Metoda desky podle ČSN 72 7012 umožňuje dva postupy stanovení součinitele tepelné vodivosti:

- metodu chráněné teplé desky (ČSN 72 7012-2),
- metodu měřidla tepelného toku (ČSN 73 7012-3).

Za primární je považována metoda chráněné teplé desky. Metoda měřidla tepelného toku je metodou odvozenou – sekundární. Podstatou obou metod je navození ustáleného tepelného stavu ve zkušebním vzorku pomocí teplé a chladné desky, liší se ve způsobu měření tepelného toku.

Součinitel tepelné vodivosti za podmínek ustáleného teplotního stavu je dán vztahem:

$$\lambda = \frac{q_d \,.\, d_m}{t_{hd} - t_{cd}} \quad (\mathrm{W.m^{-1}.K^{-1}})$$

kde $q_d$ je výpočtová hodnota hustoty tepelného toku,

$d_m$ – průměrná hodnota tloušťky zkušebního vzorku,

$t_{hd}$ – povrchová teplota vztažné teplé plochy zkušebního vzorku,

$t_{cd}$ – povrchová teplota chladné plochy zkušebního vzorku.

Hustota tepelného toku proudícího zkušebním vzorkem je dána vztahem:

$$q = \frac{Q_d}{A} \qquad (\mathrm{W.m^{-2}})$$

kde $Q_d$ je výpočtová hodnota tepelného toku, prostupujícího ve směru normály na vztažnou plochu,

$A$ – vztažná plocha zkušebního vzorku.

Metodou chráněné teplé desky se součinitel tepelné vodivosti zjišťuje na vzorku vloženém mezi dvě desky, teplou desku (označovanou jako měrná deska, topná deska nebo měřicí topná deska) a chladnou desku (označovanou jako chladicí deska), které ke vzorku těsně přiléhají celým svým povrchem (asymetrické uspořádání).

Tvar i rozměry obou desek musí být shodné, přičemž se doporučuje, aby jejich tvar byl buď kruhový, nebo čtvercový, s průměrem nebo stranou z řady hodnot 200, 250, 300, 500 nebo 600 mm.

Teplá deska je proti tepelným ztrátám do okolí (nahoru a do stran) chráněna kompenzační deskou, která ji obklopuje ze všech stran, mimo té, kterou teplá deska přiléhá k měřenému vzorku.

Teplá deska tvoří s kompenzační deskou jeden konstrukční celek, takže povrchy obou desek jsou v jedné rovině. Chladná deska i kompenzační deska jsou ze stran tepelně izolovány, aby se zamezilo nekontrolovaným tepelným ztrátám do okolí.

Tepelně se izolují též boční stěny zkušebního vzorku, aby tepelný tok procházející zkušebním vzorkem neunikal jeho bočními stěnami do okolí. Tepelná izolace boků vzorku může být buď pasivní, nebo aktivní.

Pasivní tepelnou izolací se rozumí chránění boků vzorku izolačním materiálem, jehož tepelný odpor bude výrazně vyšší, než tepelný odpor zkoušeného vzorku. Pasivní tepelnou izolaci tedy nelze použít při zkoušení vzorků izolačních materiálů, které mají tepelný odpor srovnatelný s tepelným odporem izolace.

Aktivní tepelná izolace znamená chránění boků zkušebního vzorku boční kompenzační deskou.

Teplota kompenzační desky musí být udržována buď na střední teplotě měření, nebo v kompenzační desce musí být stejný gradient teploty, jaký je ve zkušebním vzorku. Aktivní tepelná izolace musí být použita, jestliže se střední teplota měření liší od teploty okolí o více než 15 ℃.

Konstrukční uspořádání měřicího zařízení může být buď asymetrické (viz výše), nebo symetrické, kdy jsou zkoušeny dva stejné vzorky.

V symetrickém uspořádání spočívá jeden vzorek na horním povrchu teplé desky a druhý vzorek (ze stejného materiálu a stejné tloušťky) na dolním povrchu teplé desky, přičemž opačné plochy vzorků spočívají na chladných deskách. Chladné desky jsou tedy v tomto konstrukčním uspořádání dvě.

Výhodou symetrického uspořádání je skutečnost, že veškeré teplo produkované teplou deskou vchází do jednoho nebo druhého vzorku, takže není třeba teplou desku tepelně stínit kompenzační deskou. Tento konstrukční rys má příznivý vliv na přesnost zařízení. Kompenzační deska se v tomto konstrukčním uspořádání používá pouze pro zamezení úniku tepla z boků teplé desky.

Podstatou zkoušky je navodit ve zkušebním vzorku ustálený tepelný stav a po jeho navození stanovit z průměrných hodnot sledovaných veličin součinitel tepelné vodivosti. Sledovanými veličinami jsou:

- elektrický příkon teplé desky,
- účinná plocha teplé desky,
- teploty vztažné plochy teplého povrchu zkušebního vzorku,
- teploty vztažné plochy chladného povrchu zkušebního vzorku,
- tloušťka zkušebního vzorku.

Metoda měřidla tepelného toku je založena na podobném principu jako metoda chráněné teplé desky. I zde je zkušební vzorek vložen mezi teplou a chladnou desku, jejichž teploty se udržují na určitých konstantních úrovních a rozhodující je tepelný tok, který v ustáleném tepelném stavu prochází z teplé desky skrz zkoušený vzorek k chladné desce.

Hlavní rozdíl spočívá v tom, že zkoušený vzorek nepřiléhá přímo k chladné desce, ale je zde vloženo ještě měřidlo tepelného toku. Měřidlo tepelného toku má geometrický tvar desky a slouží k přímému měření hustoty procházejícího tepelného toku. Sestává z vrstvy tuhého homogenního materiálu a snímačů teplot, sloužících pro měření teplotního rozdílu mezi oběma jeho povrchy.

Konstrukční uspořádání popsané v předcházejícím odstavci je jednovzorkové, asymetrické. Stejně jako u metody chráněné teplé desky lze u metody měřidla tepelného toku použít i dvojvzorkové,symetrické uspořádání.

U metody měřidla tepelného toku se výpočet součinitele stanovuje z následujících měřených hodnot:

- vstupního napětí měřidla (měřidel) tepelného toku,
- kalibrační konstanty měřidla (měřidel) tepelného toku,
- teploty vztažné plochy teplého povrchu zkušebního vzorku,
- teploty vztažné plochy chladného povrchu zkušebního vzorku,
- tloušťky zkušebního vzorku.

Příkladem zkušebního zařízení pro stanovení součinitele tepelné vodivosti, které realizuje asymetrické konstrukční uspořádání metody chráněné teplé desky, je přístroj Dr. Bocka.

Metodou podle Dr. Bocka lze měřit jak vzorky pevných látek, tak materiály stlačitelné i sypké. Vzorky z pevných látek se upraví do tvaru desky, sypké materiály se pro zkoušku vsypou do ohrádky zhotovené z materiálu s co možná nejnižší tepelnou vodivostí – např. z pěnového polystyrénu, u stlačitelných materiálů se jejich tloušťka zjistí při přítlaku 2 kPa a tento rozměr se vymezí např. pomocí distančních tělísek.



*Obr. 5.64* Přístroj Dr. Bocka

Zkoušený vzorek materiálu se vkládá mezi dvě desky o rozměrech 250 x 250 mm. Horní deska je vyhřívána, dolní ochlazována. Ve středu horní kompenzační desky je vlastní topná elektricky vytápěná deska kruhového tvaru o průměru 160 mm. Ochranná deska kompenzační a deska chlazená jsou udržovány na stálé nastavené teplotě.

Podstatou měření je sledování průchodu tepla válcem o průměru 160 mm a výšce rovné tloušťce vzorku. Výsledek tedy není závislý na příčných rozměrech zkušebního vzorku.

Vytápění topné desky je zprostředkováno přes elektroměr, regulátor teploty a přepínač pro odstupňování topného výkonu. Regulátor řídí vyrovnání teploty v horní desce mezi měřicí a kompenzační částí. Pokud je mezi těmito částmi nulový teplotní rozdíl, vytápění měřicí desky se přeruší. Dojde-li odvodem tepla přes vzorek k ochlazení povrchu topné desky, opět se automaticky zahájí vytápění na dobu, než se rozdíl teplot vyrovná.

Z důvodu přesnosti měření je třeba, aby doba vytápění měřicí desky a doba chladnutí byly přibližně stejně dlouhé. Proto je nutné měnit intenzitu vytápění v závislosti na tloušťce vzorku a předpokládané hodnotě tepelné vodivosti měřeného materiálu. To se děje nastavením stupně intenzity vytápění.

Aby zjištěná hodnota tepelné vodivosti nebyla ovlivněna nastaveným stupněm intenzity vytápění, je do výpočtu zahrnuta korekce ve formě různé účinnosti topné desky v závislosti na nastaveném stupni intenzity vytápění. Hodnoty účinnosti topné desky v závislosti na nastaveném stupni intenzity vytápění jsou uvedeny v *tab. 5.15.*

Hodnoty účinnosti topné desky *Tab. 5.16*

| Stupeň intenzity vytápění | Účinnost topné desky |
|---|---|
| 1 | $2{,}448.10^{-3}$ |
| 2 | $3{,}591.10^{-3}$ |
| 3 | $5{,}361.10^{-3}$ |
| 4 | $7{,}886.10^{-3}$ |
| 5 | $11{,}933.10^{-3}$ |
| 6 | $17{,}726.10^{-3}$ |
| 7 | $25{,}928.10^{-3}$ |
| 8 | $38{,}295.10^{-3}$ |
| 9 | $52{,}393.10^{-3}$ |
| 10 | $79{,}466.10^{-3}$ |
| 11 | $113{,}600.10^{-3}$ |
| 12 | $160{,}546.10^{-3}$ |

K měření je vhodný vzorek ve tvaru čtvercové desky nebo válce o straně (průměru) 160 až 250 mm. Zkušební vzorky se před vlastním měřením upraví podle ustanovení normy daného materiálu, případně podle obecných pokynů ČSN 72 7012-1.

Odchylka rovnoběžnosti styčných ploch zkušebního vzorku a odchylka od rovinnosti těchto ploch nesmí být větší než 0,2 mm. V případě, že by desky přístroje plně nedolehly na vzorek, docházelo by k přestupu tepla vzduchovou vrstvou a výsledek měření by byl zkreslený.

Zařízením lze provádět měření při různém teplotním spádu a různé střední teplotě. Většinou se používá teplotní spád mezi deskami 10 K a střední teplota 20 ℃. Teplota 20 ℃ vyhovuje pro měření většiny stavebních materiálů a její výhodou je dosažitelnost hodnoty při chlazení vodovodní vodou.

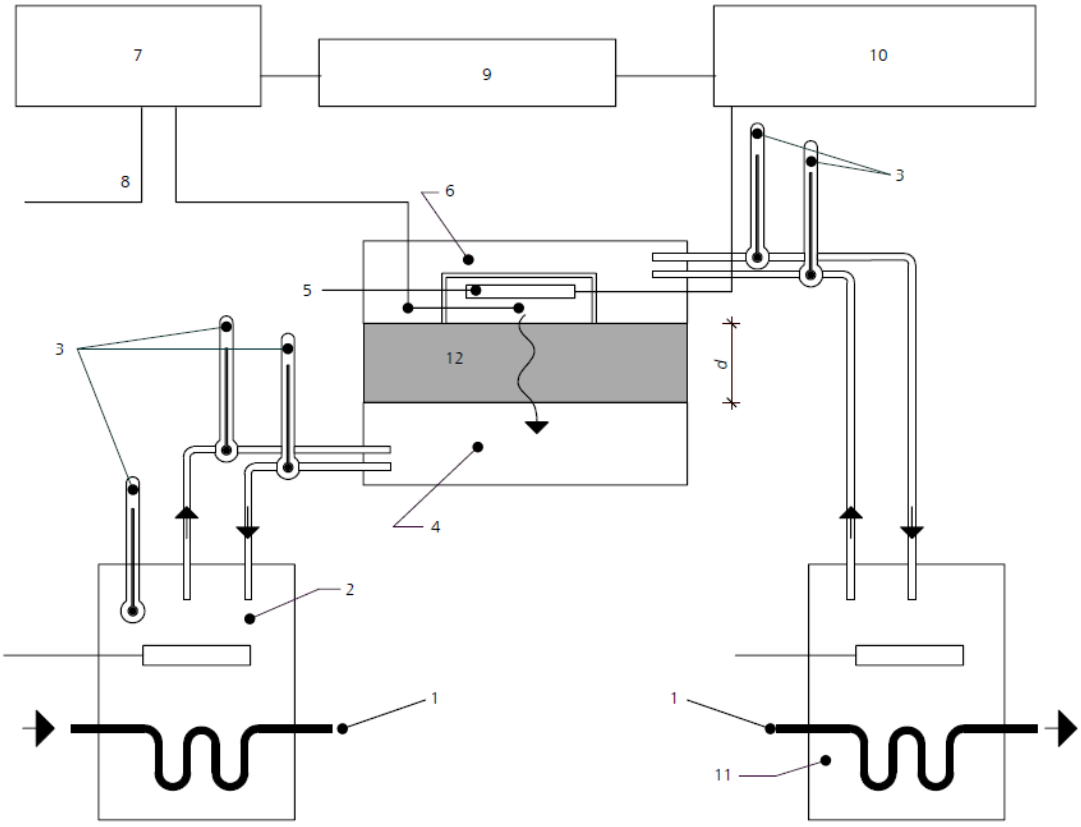
Při praktickém provádění měření se vzorek se vloží do přístroje a mikrometrickými šrouby umístěnými na středu každé strany desky se změří jeho tloušťka. Celá soustava se zajistí tepelně izolačním obalem proti tepelným ztrátám v průběhu měření. Stupeň intenzity vytápění se zvolí podle tloušťky vzorku a hrubého odhadu jeho tepelné vodivosti.

Ke stanovení stupně intenzity vytápění slouží nomogram dodávaný výrobcem přístroje. Pokud by se během měření ukázalo, že odhad byl chybný, je třeba stupeň intenzity vytápění vhodně změnit a měření opakovat.

Po zapnutí hlavního spínače a otevření přítoku chladící vody k oběma termostatům se po určitou dobu kontroluje, zda doba vytápění se přibližně shoduje s dobou chladnutí. Regulace se uskutečňuje přivíráním či otevíráním průtoku chladící vody, regulace vytápění topné desky změnou nastavení intenzity vytápění. Současně se začnou odečítat údaje na čtveřici teploměrů na přítoku a odtoku ohřívané a ochlazované desky.

Používané teploměry umožňují odečet s odhadem setiny stupně. Při každém odečtení teploměrů současně přečteme i spotřebu elektrické energie na zabudovaném elektroměru. Interval čtení se volí v závislosti na druhu prováděné zkoušky, např. po půl hodině.

Po určité době se teploty povrchu topné a chladicí desky ustálí a spotřeba elektrické energie v časovém intervalu bude konstantní, což svědčí o dosažení ustáleného teplotního toku. Po ustálení z dalších nejméně tří odečtů můžeme určit hodnotu součinitele tepelné vodivosti.




*Obr. 5.65* Schéma přístroje Dr. Bocka

1 – chladicí voda, 2 – termostat pro chladicí desku, 3 – teploměr, 4 – chladicí deska, 5 – měřicí topná deska, 6 – kompenzační deska, 7 – regulátor teploty, 8 – přípoj na elektrickou síť, 9 – elektroměr, 10 – nastavení intenzity vytápění, 11 – termostat pro topnou desku, 12 – měřený vzorek

Měrná tepelná vodivost se vypočítá z množství tepla prošlého zkoušeným vzorkem, z tloušťky vzorku, rozdílu teplot mezi topnou a chladicí deskou s použitím konstant udaných výrobcem přístroje:

$$\lambda = \frac{Q.d}{A.(\Delta t - o)} \quad (W.m^{-1}K^{-1}),$$

přičemž

$$Q = 1000 \frac{\sum \Delta E}{\sum \Delta T} \times \eta$$

$$o = \frac{Q}{A}.w$$

kde $Q$ je tepelný výkon topné desky ve W,

$d$ – průměrná tloušťka vzorku v m,

$A$ – plocha topné desky $m^2$,

$\Delta t$ – teplotní spád v K,

$o$ – oprava rozdílu teplot o vliv ztrát v přístroji v K,

$\Sigma \Delta E$ – celková spotřeba energie v kW.h,

$\Sigma \Delta T$ – celková doba měření v hod,

$\eta$ – účinnost topné desky při nastaveném stupni intenzity vytápění,

$w$ – konstanta přístroje.

Teplotní spád se vypočítá z naměřených hodnot ze vztahu:

$$\Delta t = \frac{\overline{t_{w1}} + \overline{t_{w2}}}{2} - \frac{\overline{t_{k1}} + \overline{t_{k2}}}{2} \quad (K)$$

kde $t_{w1}$ je teplota přítoku na kompenzační desku,

$t_{w2}$ – teplota odtoku z kompenzační desky,

$t_{k1}$ – teplota přítoku na chladicí desku,

$t_{k2}$ – teplota odtoku z chladicí desky,

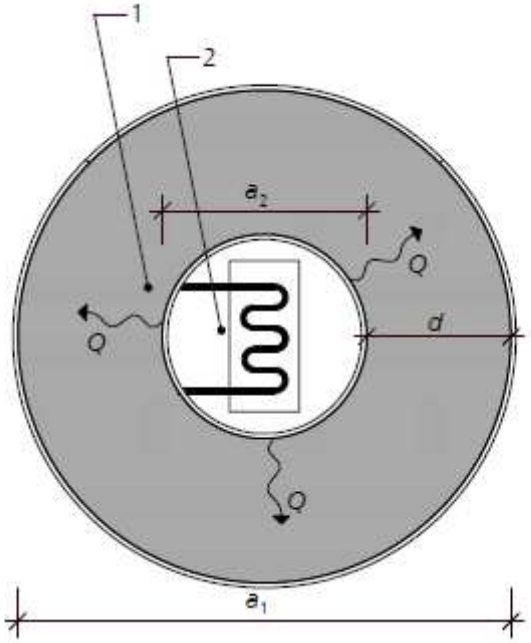
$\overline{t_{w1}}$, $\overline{t_{w2}}$, $\overline{t_{k1}}$, $\overline{t_{k2}}$ – průměrné hodnoty teplot.

### 5.10.1.3 Metoda koule

Metoda koule (ČSN 72 7013) je určena k měření součinitele tepelné vodivosti sypkých materiálů, materiálů zrnitých nebo vláknitých. Zkušební přístroj se skládá z vnitřní vytápěné koule a z vnější koule.

Prostor mezi oběma povrchy se vyplní zkoušeným materiálem a zapne se vytápění, jehož intenzitu měříme. Po ustálení teplot vnitřní a vnější koule nastane opět ustálený stav o známém teplotním rozdílu povrchu obou koulí.

Ze spotřeby energie, tloušťky vrstvy vzorku a rozdílu teplot se vypočte tepelná vodivost. Výhodou kulového přístroje je, že zde prakticky nenastávají nekontrolovatelné ztráty tepla do okolí.




*Obr. 5.66* Schéma metody koule

1 – sypký vzorek, 2 – vytápěná koule

### 5.10.2 Nestacionární metody

Nestacionární metody jsou obecně rychlejší a nevyžadují tak rozměrná zkušební zařízení jako metody stacionární. Proto existuje řada přenosných přístrojů, použitelných pro měření součinitele tepelné vodivosti i v exteriéru, založených právě na nestacionárních metodách. Kratší doba měření (v sekundách až minutách) umožňuje i měření vlhkých vzorků, neboť změna vlhkosti v takto krátkém intervalu není významná. Nevýhodou těchto přístrojů je menší přesnost měření.

Příkladem metody měření v nestacionárním stavu je metoda měření přístrojem Isomet.

Přenosný bateriový přístroj Isomet je řízen mikroprocesorem a pomocí jehlové nebo plošné sondy měří součinitel tepelné vodivosti, měrnou objemovou kapacitu a teplotu pevných, sypkých nebo kapalných látek.

Měření je založeno na analýze průběhu časové závislosti teplotní odezvy na impulzech tepelného toku do zkoušeného materiálu. Tepelný tok je vytvářen elektrickým výkonem v rezistoru sondy, která je tepelně vodivě spojená s měřeným materiálem. Teplota rezistoru je snímána polovodičovým snímačem.

Vypočtené hodnoty se zobrazují na displeji přístroje a zároveň ukládají v jeho paměti. Doba měření závisí na tepelných parametrech měřeného materiálu. Pro tepelně izolační materiály je cca 5 min a se stoupající tepelnou vodivostí materiálu klesá. Přístroj je použitelný i jako digitální teploměr.

Rychlost měření, nízká hmotnost přístroje a malé rozměry jsou ideální pro měření přímo na stavbě, naměřené hodnoty jsou však spíše orientační.




*Obr. 5.67* Přístroj Isomet pro nestacionární měření tepelné vodivosti

## 5.11 Stanovení modulu pružnosti

Modul pružnosti je jednou ze základních fyzikálních vlastností používaných při hodnocení stavebních materiálů (viz. 3.4.2).

Pro stanovení modulu pružnosti existuje řada zkušebních norem používaných například pro beton (ČSN ISO 6784, ČSN 73 6174), pórobeton (ČSN EN 1352 ), plastové kompozity ( ČSN EN ISO 15310), přírodní kámen (ČSN EN 14146, ČSN EN 14580) a pro výrobky ze dřeva (ČSN 49 0111, ČSN 49 0116, ČSN EN 310).

Níže popsané zkušební postupy, které obsahují informace o hlavních zásadách při stanovovaní modulu pružnosti, je možno aplikovat na různé materiály.

### 5.11.1 Stanovení statického modulu pružnosti.

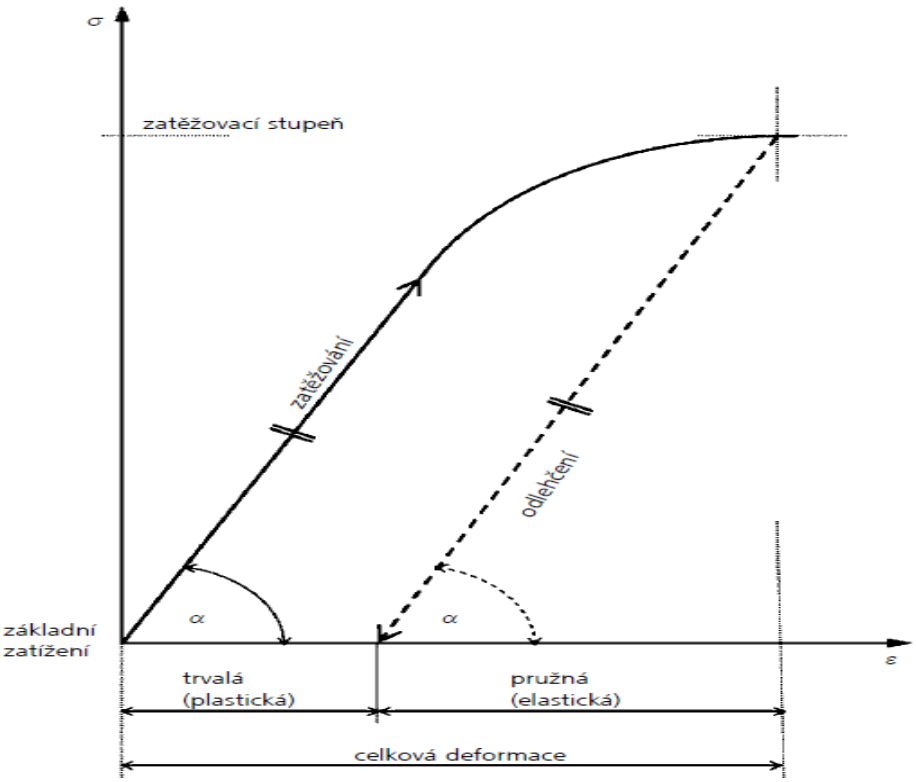
Stanovení statického modulu pružnosti vychází z lineárního vztahu mezi působícím napětím a jím vyvolanou pružnou deformací (Hookův zákon):

$$\sigma = E.\varepsilon$$

kde σ je působící napětí (v tlaku, tahu, ohybu) v MPa

E modul pružnosti v MPa

ε poměrná pružná deformace (bezrozměrná)




*Obr.5.68 Průběh deformace vzorku při zatěžování a odlehčování*

K určení modulu pružnosti statickou metodou musíme vyvodit změnu napětí a pro tuto změnu určit příslušnou hodnotu poměrné pružné deformace.

Působící napětí $\sigma$ se počítá podle způsobu zatížení. (Např. $\sigma = F/S$ pro tlak a $\sigma = M/W$ pro ohyb).

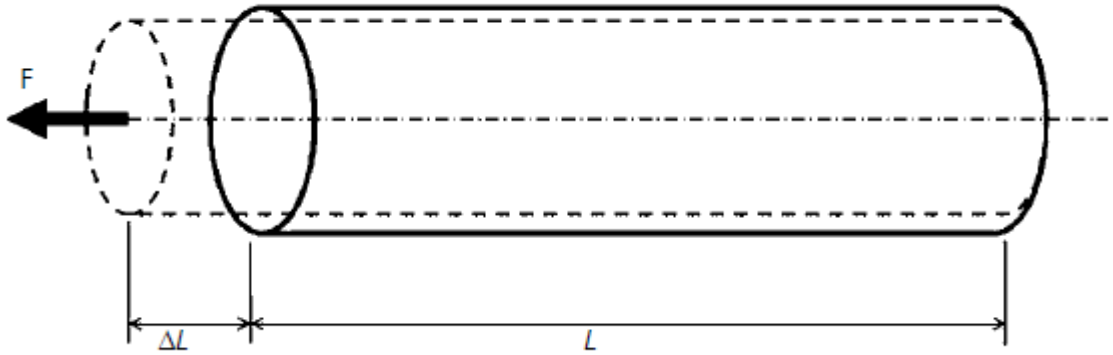
Poměrné přetvoření lze definovat jako poměrnou změnu tvaru v porovnání s původním tvarem prvku.

Např. poměrné prodloužení $\varepsilon$ se vyjadřuje vztahem:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

kde $\Delta l$ je změna délky

$l_0$ původní délka zkoušeného vzorku




*Obr. 5.69 Poměrné prodloužení*

### 5.11.1.1 Grafické vyjádření modulu pružnosti

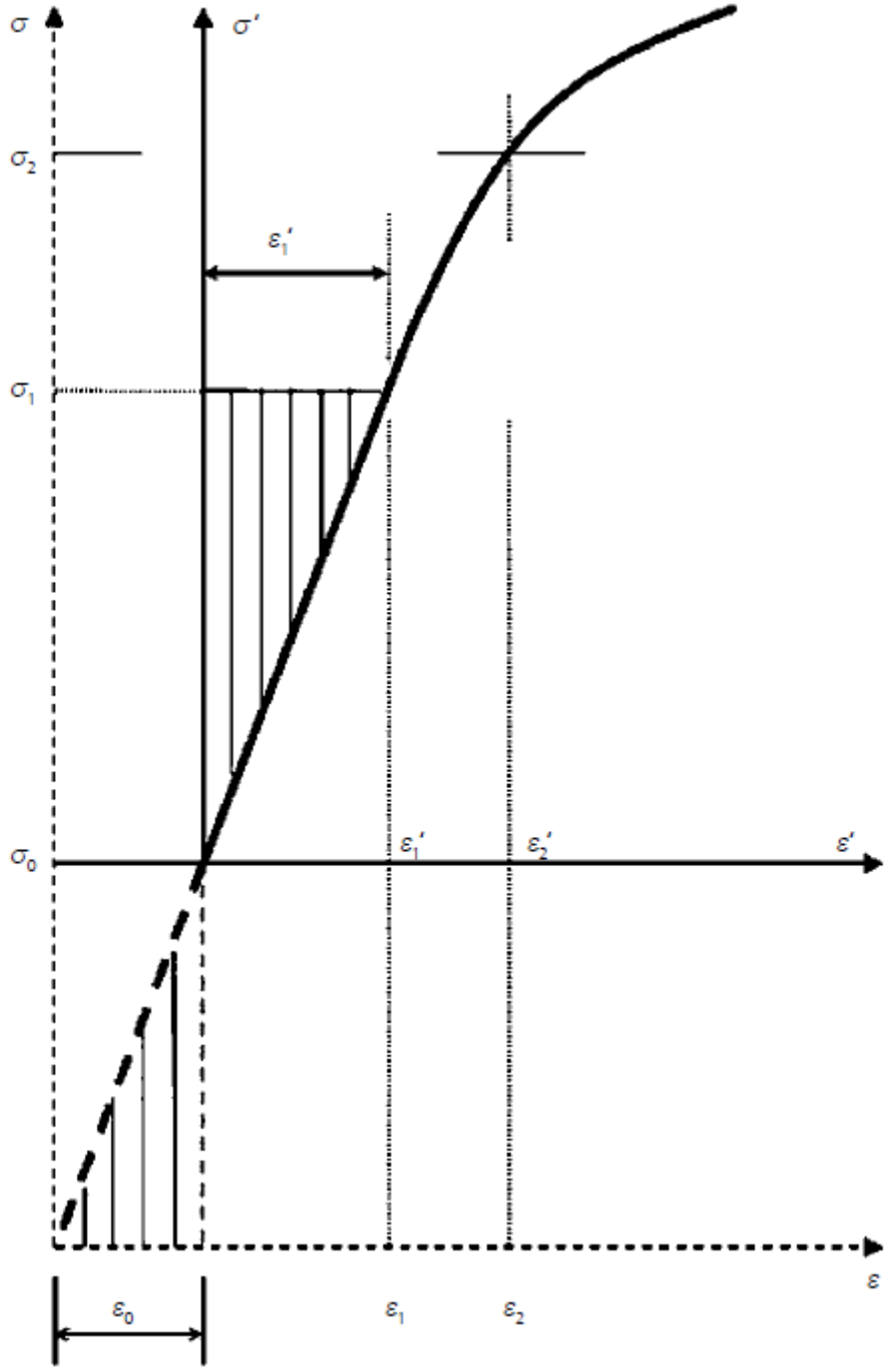
Ze vztahu mezi napětím a poměrnou deformací je patrné, že modul pružnosti E lze vyjádřit jako tangentu úhlu, který s osou x svírá přímka procházející lineární částí pracovního diagramu.

V nelineární části pracovního diagramu je možné provést aproximaci sklonu lineárního úseku pomocí sečny (případně tečny), nebo použít úhel který s osou x svírá čára, vznikající při odlehčování materiálu.

Při odlehčování materiálu je možné odečíst od celkové deformace přetrvávající hodnoty deformace trvalé a získat tak velkost čistě elastické složky deformace.

Chceme-li zjistit počáteční modul pružnosti, tj. modul zachycující deformace od nulového napětí až k příslušnému zatěžovacímu stupni, musíme změřenou deformaci mezi zatěžovacím stupněm a základním zatížením ještě zvětšit o deformaci, která by nastala při odlehčení až k nulovému zatížení.

Základní zatížení totiž v praxi nikdy není nulové a na vzorek tedy vždy působí ještě před zahájením měření určitá síla. Vycházet při měření z nulového zatížení není možné z technických důvodů (mrtvý chod zkreslující počáteční deformaci, nebezpečí uvolnění vzorku z čelistí).




*Obr. 5.70 Extrapolace deformační křivky v oblasti nízkých napětí*

Protože v oblasti nejnižších zatížení je závislost deformace a napětí přímková, je možné příslušnou korekci stanovit stanovit výpočtem nebo graficky z podobnosti trojúhelníků. Po stanovení ji přičteme k jednotlivým rozdílovým deformacím.

Platí:

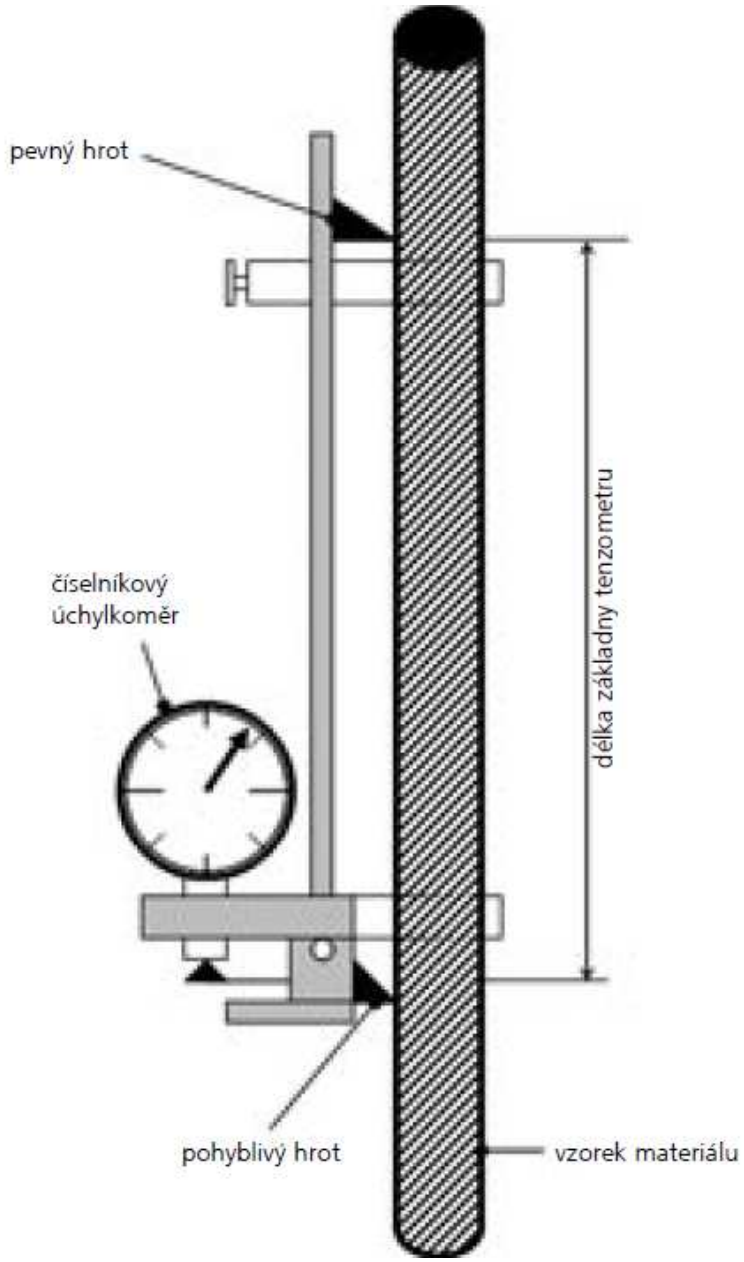
$$\varepsilon_i = \varepsilon_i' + \varepsilon_0$$

kde $\varepsilon_i$ je pružná deformace od nuly k příslušnému zatěžovacímu stupni $\varepsilon_i'$ deformace od základního zatížení k příslušnému zatěžovacímu stupni

$\varepsilon_0$ deformace mezi nulou a základním zatížením

### 5.11.1.2 Měření deformací

Protože deformace vzorku jsou obvykle velmi malé (desetiny až setiny mm ), nelze je měřit běžnými délkovými měřítky. K měření se používají speciální přístroje, zvané tenzometry. Mezi nejběžnější typy patří mechanické tenzometry a elektrické odporové tenzometry.

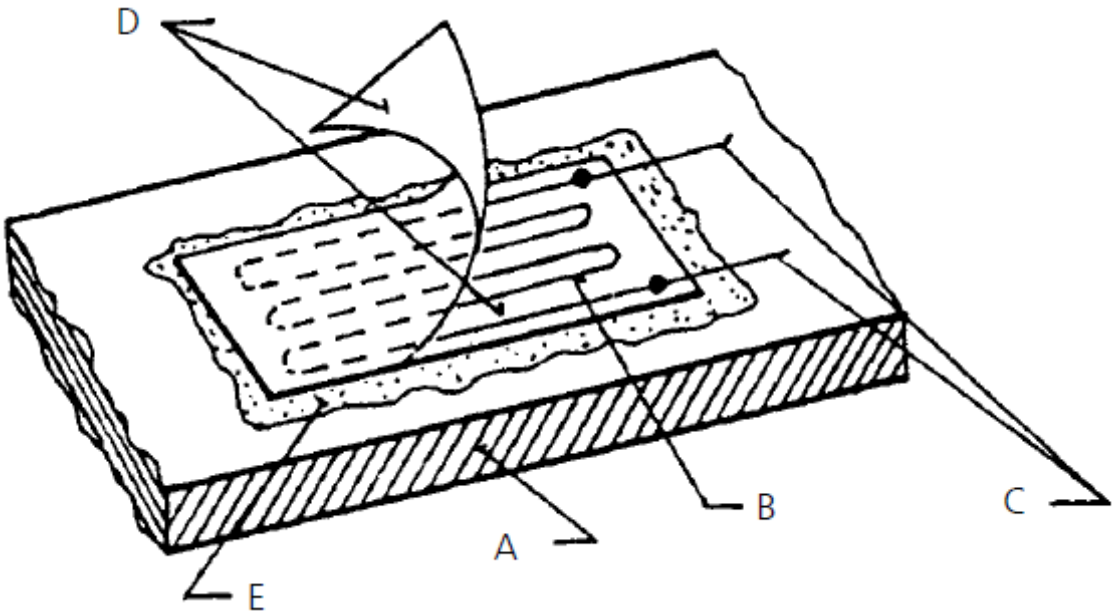



*Obr.5.71 Mechanický tenzometr*

*Mechanické tenzometry* jsou přístroje k měření skutečných deformací. Každý mechanický tenzometr má dva hroty, jimiž se opírá o měřený vzorek. Jeden hrot je pevný, druhý je pohyblivý. Vzdálenost obou hrotů je měřicí základna tenzometru. Mezi oba hroty je uchyceno zařízení k měření jejich vzájemné vzdálenosti $\Delta l$ - např. číselníkový úchylkoměr. Ten pak nezaznamenává změny délky celého zkušebního vzorku, nýbrž pouze změnu měřicí základny. Vydělíme-li změřenou změnu $\Delta l$ délkou základny l, dostaneme poměrnou deformaci $\varepsilon$.

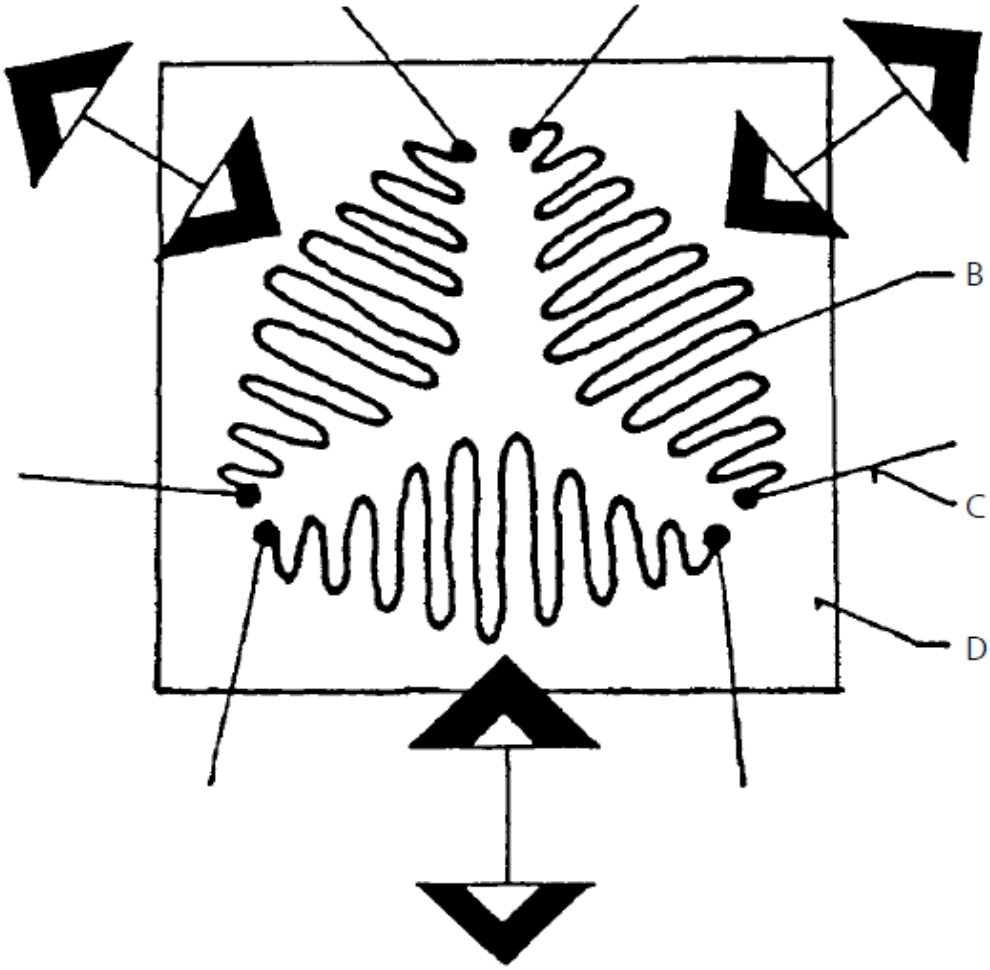
*Elektrické odporové tenzometry* využívají fyzikální závislosti elektrického odporu na délce vodiče, jeho průměru, druhu materiálu a teplotě. Spojíme-li odporový drátek v určité délce pevně se zkoušeným vzorkem a zjistíme-li jeho elektrický odpor, dojde při přetvoření vzorku - např. protažení - k současnému protažení upevněného drátku. Změnou délky drátku a současnou změnou jeho průměru nastane i změna jeho elektrického odporu. Jestliže tuto změnu změříme, můžeme pak podle její velikosti usoudit i na změnu délky vzorku, čili na jeho přetvoření.

Elektrický odporový tenzometr se skládá z nosné fólie (obvykle papírové), na níž je upevněn tenký odporový drátek. Aby citlivost přístroje byla vyšší, je drátek uspořádán do smyček (meandrů) buď v jednom nebo ve více směrech.




*Obr.5.72 Odporový tenzometr pro jeden směr snímání deformací*

A – zkoušený materiál, B – odporový drát, C – přípojné dráty, D – nosná folie, E – lepidlo




*Obr.5.73 Odporový tenzometr pro tři směry snímání deformací*

B – odporový drát, C – přípojné dráty, D – nosná folie

### 5.11.1.3 Postup měření elektrickými tenzometry

K měřenému materiálu je tenzometr v celé ploše nosné fólie přilepen. Aby nalepení bylo vždy stejné, dodává se k lepení tenzometrů zvláštní lepidlo nebo je předepsáno lepidlo určitého druhu. Na konce odporového drátku jsou naletovány přívodní kabely, které jsou připojeny k aparatuře měřící změny elektrického odporu. Přetvoření vzorku materiálu se prostřednictvím lepidla a nosné fólie přenášejí na odporový drátek, kde působí změnu jeho délky a příčného průřezu a tím změnu elektrického odporu. Tenzometr měří vždy přetvoření jen ve směru rovnoběžném s podélnou osou smyček. Řádné přilepení a tím zajištění dokonalého přenosu deformace na měřený odporový drátek je první podmínkou řádné funkce přístroje.

Protože poměrná změna délky *l* odporového drátku je úměrná poměrné změně jeho elektrického odporu R podle rovnice:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{K} \times \frac{\Delta R}{R} ,$$

je možné ze změřené změny odporu určit přímo poměrnou změnu délky, tj. poměrné přetvoření ε. V rovnici l znamená délku, R elektrický odpor, K konstantu tenzometru.

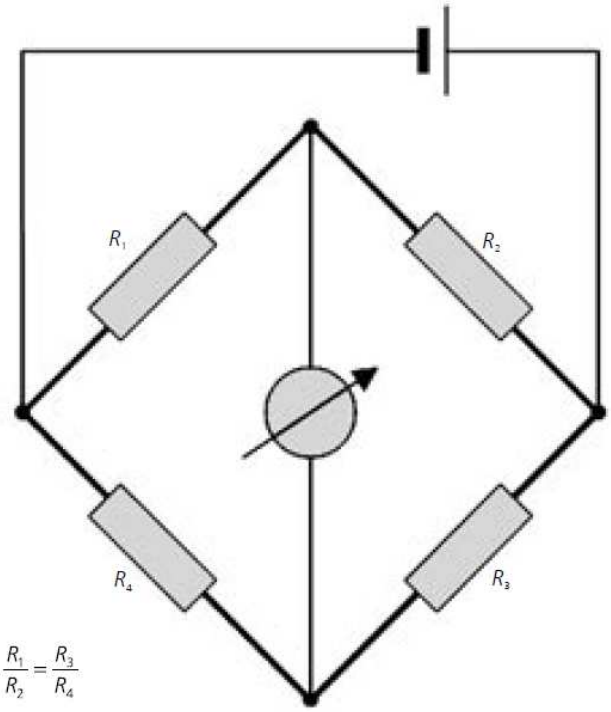
Součinitel K v sobě zahrnuje průřezovou plochu drátku a jeho materiálové vlastnosti, tvar smyček a způsob nalepení tenzometru včetně vlastností použitého lepidla. Pro sadu stejných tenzometrů je tedy konstantní a je vždy přímo udán výrobcem pro každé balení tenzometrů a pro předepsaný způsob nalepení.

Stanovení poměrného přetvoření se proto omezuje na změření poměrné změny elektrického odporu.

Protože změna elektrického odporu může být způsobena nejen změnou délky vodiče, nýbrž i změnou jeho teploty, nelze použít jen jeden měřicí tensometr, ale ve vyhodnocovacím obvodu musí být ještě zapojen druhý tensometr stejného provedení (kompensační tensometr). Tento druhý tensometr je umístěn v blízkosti měřicího tensometru, není však vystaven působení žádné deformující síly.

Vyhodnocovací obvod má podobu Wheatstonova můstku což zaručuje vysokou přesnost měření a zároveň zajišťuje automatickou kompenzaci vlivu případné teplotní změny.

Při měření odporu Wheatstonovým můstkem jsou do rozvětveného elektrického obvodu zapojeny celkem čtyři odpory $R_1$ až $R_4$. Mezi oběma větvemi obvodu je spojující vodič (můstek) s citlivým galvanoměrem (mikroampérmetrem).




*Obr.5.74 Schéma měření elektrickým odporovým můstkem*

Měření deformace uspořádáme podle o*br. 5.76* tak, že za odpor $R_1$ zapojíme odporový tenzometr nalepený v místě, kde chceme snímat deformaci (tzv. tenzometr měřící neboli aktivní), za odpor $R_2$ zapojíme tenzometr stejného typu a stejně přilepený na jiný kousek téhož materiálu, kde nebude ovlivňován žádnou deformací (tenzometr kompenzační neboli pasivní). Změny teploty se budou na obou tenzometrech (odporech $R_1$ a $R_2$ ) projevovat stejně, a proto podle uvedené rovnice se vyruší . kompenzují. Nerovnováhu uvedené rovnice pak budou působit pouze změny odporu $R_1$ od přetvoření.

Odpory $R_3$ a $R_4$ jsou zabudovány v tenzometrické aparatuře, a to tak, že $R_3$ je přestavitelný odpor anulující vliv konstanty K (jeho hodnota se dá nastavit předem), jako odpor $R_4$ je zapojen potenciometr (měnitelný odpor) se stupnicí již přímo v hodnotách poměrného přetvoření.

Nalepené tenzometry (odpory $R_1$ a $R_2$) se naletovanými kabely připojí na svorky tenzometrické aparatury podle návodu k jednotlivým typům přístrojů. Obvykle bývají přístroje uspořádány tak, že od každého z obou tenzometrů se jeden kabel připojí na svorku označenou symbolem zdroje, druhý kabel od aktivního tenzometru na svorku označenou M, od kompenzačního tenzometru na svorku označenou K**.** Oba tenzometry musí mít samozřejmě stejný základní odpor a stejnou hodnotu materiálové konstanty K.

Na přístroji se nastaví velikost materiálové konstanty K podle údajů výrobce tenzometrů (u cizích přístrojů gauge factor) a tím se nastaví základní velikost odporu $R_3$. Po zapojení přístroje se otáčením potenciometru (změnou odporu $R_4$) dosáhne takové velikosti tohoto odporu, aby jeho poměr ku $R_3$ byl stejný jako mezi odpory $R_1$ a $R_2$, tzn., aby zapojené odpory splňovaly základní rovnici pro rovnováhu na Wheatstonově můstku. To se projeví ustálením ručičky zabudovaného galvanoměru přístroje na nule. Odečte se příslušný údaj stupnice potenciometru.

Změnou zatížení a tak vyvolanou deformací vzorku dojde ke změně elektrického odporu tenzometru $R_1$ a tím k narušení elektrické rovnováhy můstku, což se projeví vychýlením ručičky galvanoměru. Novým otáčením potenciometrem se upraví velikost odporu $R_4$ tak, aby jeho nová velikost odpovídala nové velikosti odporu tenzometru $R_1$, tj. ručička galvanoměru opět ukázala nulu, a odečte se znovu údaj stupnice. Rozdíl obou čtení pak přímo udává poměrnou deformaci v místě nalepení tenzometru $R_1$ odpovídající změně zatížení. Vzorek se obvykle zatěžuje stupňovitě asi po 10 % očekávané největší síly a po každém zatížení se vždy odlehčí na základní zatížení.

Měření s elektrickými odporovými tenzometry patří dnes k nejdůležitějším a nejpoužívanějším způsobům měření délkových deformací. Výhoda snímání deformací oproti jiným typům měřicích přístrojů spočívá v možnosti snadného uchycení tenzometru přilepením v prakticky libovolném místě vzorku, kde chceme deformaci měřit.

Vlastní hmotnost měřicího tensometru je zanedbatelná, což je výhodou především u dynamických měření. Další výhodou, obzvlášť při měření hotových konstrukcí, je, že odečítání hodnoty deformace může být od snímacího tenzometru vzdáleno. Jedním přístrojem lze také měřit údaje celé řady tenzometrů. Nevýhodou je obtížnost kontroly řádného nalepení tenzometru na materiál, jenž je rozhodující podmínkou pro přenos deformace z materiálu na odporový drátek tenzometru.

Jednou nalepený tenzometr není už možné bez poškození sejmout. Při běžném měření jsou odporové tensometry použitelné jen jednorázově a měření je tedy poměrně drahé.

### 5.11.2 Stanovení dynamického modulu pružnosti

Stanovení dynamického modulu pružnosti vychází z toho, že rychlost šíření ultrazvukových vln v homogenním prostředí je konstantní a závisí na modulu pružnosti a hustotě prostředí podle vztahu:

$$E = v^2 \times \rho_v$$

kde *v* je rychlost šíření vln ve hmotě v km

$\rho_v$ objemová hmotnost v kg/m$^3$

E dynamický modul pružnosti v MPa ( po dosazení rychlosti v km/s a po vyjádření Pa jako kg . m$^{-1}$s$^{-2}$ )

Ke změření rychlosti šíření vln se nejčastěji používají měřící přístroje, které vysílají ultrazvukové impulzy (tj. kmity o frekvencích vyšších než 20 kHz) pomocí jedné nebo dvou sond ( měničů kmitočtů). Jedná se o tzv. metodu impulzovou. Kromě impulzové metody lze použít i metodu rezonanční, při které se zjišťuje frekvence vlastního kmitání materiálu.

Existují dva základní typy impulzových metod: *průchodová metoda a impulzová odrazová metoda*. Při průchodové metodě jsou používány dvě pokud možno stejné sondy, které jsou umístěny proti sobě na protilehlém povrchu výrobku. Jedna sonda slouží jako vysílací, druhá sonda jako přijímací. Při impulsové odrazové metodě je do materiálu vysílán ultrazvukovou sondou krátký ultrazvukový impuls, který se odráží od zadní stěny vzorku materiálu

Ultrazvukové metody se používají kromě stanovování modulu pružnosti také k nedestruktivnímu zjišťovaní vnitřních vad v materiálech. Při použití odrazové metody vychází měření z toho, že se vlny odráží od všech rozhraní, tedy i od vnitřních vad v materiálu. Při použití průchodové metody nelze určovat polohu vad ve směru tloušťky a jakost se hodnotí podle množství průchodu ultrazvukové energie, obvykle v procentech (ČSN EN 583-1 – ČSN 583-5).

Dále lze pomocí ultrazvuku měřit například tloušťku materiálu. Toto měření vychází z toho, že modul pružnosti je pro běžné materiály znám a tedy i rychlost šíření ultrazvukových vln v daném materiálu. Potom lze snadno spočítat tloušťku materiálu (tj. dráhu, kterou ultrazvuk v příslušném materiálu proběhne za jednotku času).

## 5.12 Analýza stavebních hmot

K objasnění řady otázek týkajících se kvality nebo vlastností stavebního materiálu jsou potřebné údaje o jeho chemickém složení. Tyto údaje se získávají chemickou analýzou prováděnou pomocí chemických rozborů a fyzikálně chemických měření.

Podle druhu získávané informace rozlišujeme kvalitativní chemický rozbor (kvalitativní analýzu) a kvantitativní chemický rozbor (kvantitativní analýzu).

Pomocí kvalitativní analýzy se zjišťuje pouhý fakt přítomnosti nějaké látky. Relativně nejsnadnější je zjištění přítomnosti některých atomů (iontů) nebo charakteristických uskupení několika atomů (funkčních skupin) ve vzorku zkoumané látky.

K potvrzení přítomnosti se využívá dostatečně charakteristická reakce (provázená např. změnou barvy, tvorbou sraženiny, vznikem charakteristických krystalů, nebo únikem plynu) se specifickým činidlem.

Průkaz přítomnosti některých funkčních skupin může být tak snadný, že příslušný analytický důkaz má charakter jednoduchého testu, který může provádět každý poučený pracovník.

Poměrně dobře se dokazuje i přítomnost jednotlivých prvků (kvalitativní elementární analýza). Žádná chemická operace, žádný chemický rozklad nemůže totiž změnit prvky přítomné ve zkoumaném vzorku v prvky jiné. To umožňuje vzorek podle libosti upravit tak, aby šel příslušný prvek co nejlépe prokázat.

Obecnou metodou průkazu přítomnosti nějakého prvku je spektrální analýza, zejména pak velmi citlivá atomová absorpční spektrometrie (AAS).

Na kvalitativní analýzu zpravidla navazuje analýza kvantitativní, při které se zjišťuje i obsahové zastoupení jednotlivých prvků, iontů, funkčních skupin nebo sloučenin. Opět platí, že relativněji nejsnadněji se stanovují některé ionty nebo funkční skupiny (stanovení síranů nebo chloridů).

I při elementární (prvkové) kvantitativní analýze je možné používat velmi energické rozkladové a oddělovací operace: rozpouštění v kyselinách, tavení s hydroxidem, srážení sirovodíkem nebo i žíhání. K zachování kvantitativní informace je však třeba zajistit, aby se část stanovovaného prvku nesrazila společně s jiným prvkem nebo nekontrolovatelně neodtěkala do ovzduší.

Zůstává faktem, že ani kompletní elementární kvantitativní analýza ještě neurčuje chemické složení analyzované látky. Stejné obsahové zastoupení prvků mohou mít různé sloučeniny. V případě stavebních materiálů je jednoznačná interpretace analyticky získaných údajů navíc komplikována tím, že se prakticky vždy jedná o směsi látek (složek).

Při kompletní analýze směsných materiálů se proto mnohdy na začátku musí zařazovat dělicí operace. Pokud máme identifikovat sloučeniny, musí být jejich oddělování poměrně šetrné, aby nedošlo k nezamýšlené změně některé původně přítomné sloučeniny.

Po rozdělení se analyzují jednotlivé složky, buď klasicky pomocí charakteristických reakcí, nebo pomocí fyzikálně-chemických měření. Největší použití mají metody spektrální analýzy, při nichž je zkoumaná látka určována měřením spektra absorbovaného či emitovaného záření.

Pro dělení tekutých látkových směsí je rozpracována řada vysoce účinných postupů využívajících rozdílnou rychlost difuze plynných či kapalných látek při průchodu porézním prostředím. K jejich provedení jsou k dispozici automaticky pracující přístroje (plynové a kapalinové chromatografy). Rozdělovaná směs musí být buď plynná, nebo kapalná a tento postup se tedy nehodí pro látky špatně rozpustné a pro látky, které nelze bez rozkladu převést do plynného skupenství. Použití těchto metod pro rozbory staviv je proto jen omezené.

### 5.12.1 Kvalitativní analýza

Samotný průkaz přítomnosti nějaké složky při posuzování běžných stavebních materiálů často nemá velký význam. Přítomnost mnoha složek v jednotlivých materiálech lze předem předpokládat a pouhý analytický průkaz nepřináší novou nebo překvapivou informaci.

Zcela jiná je situace v případě neznámých nebo přesně neurčených materiálů, kdy i kvalitativní rozbor může přinést cenné informace.

Jako ilustrativní příklad z oboru stavebních materiálů je možné uvést identifikaci pojiva pro přípravu žárovzdorných hmot. Pro tento účel se používají koloidní roztoky křemičitanu draselného nebo sodného (draselné nebo sodné vodní sklo). Tam, kde se s nimi pracuje ve větším měřítku, se lehce může stát, že se vyskytne neoznačený nebo nečitelně označený sud s „nějakým“ vodním sklem.

K rychlému rozlišení draselného a sodného vodního skla je vhodný průkaz přítomnosti (či nepřítomnosti) draslíku. Zkušebním činidlem je roztok hexanitrokobaltitanu sodného. V přítomnosti draslíku vzniká po přidání tohoto činidla málo rozpustný hexanitrokobaltitan draselný a vytváří se charakteristická žlutooranžová sraženina $K_3[Co(NO_2)_6]$.

Pro úplnost je třeba dodat, že zdánlivě jednodušší průkaz sodíku (žluté zbarvení plamenu při plamenové zkoušce) nemá rozlišující hodnotu, protože i draselné vodní sklo vždy určité malé množství sodíku obsahuje.

#### 5.12.1.1 Identifikace polymerů

Při dnešním nepřehledném rozšíření polymerních materiálů pod nejrůznějšími firemními názvy a značkami má druhová identifikace neznámého (nedokumentovaného) plastu značný význam.

Na základě druhové identifikace můžeme posoudit kompatibilitu příslušného materiálu, zejména můžeme posoudit jeho lepitelnost nebo přetíratelnost. Rovněž před likvidací plastových zbytků je třeba vědět, o jaký materiál se jedná.

Informaci o druhu plastu je možné získat z recyklační značky podle ČSN 77 0052-2 (číselný a písmenový kód plastu v trojuhelníku složeném ze šipek), ale ne vždy se jí podaří na dotyčném plastu objevit.

Orientačně je možné zjistit druh plastu jednoduchými zkouškami založenými na chování polymerů při vložení do plamenu a při žíhání ve zkumavce.

Ke zkoušce vložením do plamenu je nutné používat plynový kahan nebo plynový zapalovač (pach zápalky při identifikaci ruší). Pokud zkoušená látka samovolně nezhasíná, plamen sfoukneme a pak ihned zjišťujeme pach dýmu. Spalovací zkoušku je možné doplnit zkouškou žíháním, při které malý vzorek polymeru (velký asi jako hlavička zápalky) umisťujeme ve zkumavce, do jejíhož ústí vkládáme kousek zvlhčeného pH papírku.

Šikmo skloněnou zkumavku žíháme plamenem (ochranné brýle jsou nutné !) tak dlouho, až uvolněný dým dosáhne k indikačnímu papírku.

Polyolefiny (polyetylen, polypropylen, polybuten) po zapálení hoří. Pach při spalování je parafinový. Zejména při sfouknutí připomíná pach dýmu zhašenou svíčku. Polyetylen při hoření odkapává, polypropylen pouze hoří.

Pokud nejsou příliš plněné, plavou polyolefiny na vodě (při zkoušce plavání je třeba používat vodu s kapkou saponátu, aby se vyloučil vliv povrchového napětí). Nízkohustotní polyetylen je měkčí a po škrábnutí nehtem v něm zůstává stopa. Fólie z vysokohustotního polyetylenu typicky šustí (jako mikrotenový pytlík).

Polystyren při zapálení hoří a čadí (tvoří saze). Pach při spalování je nasládlý a charakteristický. V literatuře sice lze nalézt tvrzení, že je to pelargóniová vůně, spolehlivější však je srovnávací zapálení kousku pěnového polystyrenu. Barva plamene bývá žlutooranžová. Nemodifikovaný polystyren je křehký a při pádu na tvrdou podložku vydává charakteristický „plechový“ zvuk.

Polyvinylchlorid v plameni hoří, ale po vyjmutí z plamene zhasíná. Plamen je žlutý se zelenavým okrajem. Pach při spalování je chlorový. Při spalování tvoří výrazné zuhelnatělé zbytky. Uvolňovaný dým je kyselý.

Polyvinylacetát při zapálení hoří a jiskří. Tvorba zuhelnatělých zbytků je typická i pro polyvinylacetát. Pach při spalování je čpavý. Plamen má purpurový okraj.

Polymetylmetakrylát hoří modrým plamenem a spaliny česnekovitě páchnou.

Polyamid hoří také modrým plamenem, ale po vyjmutí ze zapalujícího plamene zhasíná. Spaliny páchnou po spálené rohovině.

Polyuretan po zapálení hoří a nasládle páchne. Může se tavit a odkapávat. Barva plamene bývá modrá s bílým okrajem.

Epoxidová pryskyřice po zapálení hoří a čadí. Pach při spalování je těžko popsatelný, ale zcela charakteristický. Barva plamene bývá žlutočervená.

Při zkoušce plamenem se doporučuje ověřit si charakteristický pach pálením srovnávacího materiálu známého složení a nespoléhat pouze na obecný popis hoření. Zejména v případě polyamidu a epoxidu je pachové srovnání velmi spolehlivé.

Zpravidla máme před sebou kompozitní materiál obsahující v polymerním pojivu (matrici) rozptýlené pigmenty a plniva a ani samotný polymer není chemicky homogenní. Kromě modifikujících složek přidávaných úmyslně (jako jsou změkčovadla) obsahuje i polymer často technologické zbytky rozpouštědel a nezreagovaných výchozích složek. Chování polymeru může být ovlivněno i tím, že je v napěněné formě.

Vzhledem k těmto skutečnostem je přesná identifikace vzorku neznámého polymerního materiálu obtížná a je mnohdy nesnadným úkolem i pro chemickou laboratoř. Snazší je laboratorně prokázat podobnost nebo shodnost se vzorkem známého materiálu.

## 5.12.2 Kvantitativní analýza

Metodami kvantitativní analýzy se v analyzované látce dá určit jak obsah prvků, tak obsah jednotlivých sloučenin nebo funkční skupin. Určení obsahu se nazývá analytickým stanovením.

Přesné analytické stanovení se v zásadě provádí trojím způsobem: gravimetricky, volumetricky a instrumentálně. Ve všech třech případech musíme vycházet z přesně odměřeného množství látky (výchozí navážky).

Základními přístroji v každé analytické laboratoři jsou proto předvážky s citlivostí 0,01 g a analytické váhy s citlivostí 0,0001 g.

### 5.12.2.1 Orientační stanovení

Na hranici mezi kvalitativním a kvantitativním rozborem leží přibližné zkoušky na přítomnost určitého (významného) množství nějaké složky (prvku, sloučeniny, funkční skupiny). Provádějí se na vzorcích neodměřených nebo odměřených jen přibližně (odměrným válcem, na předvážkách).

Typickým příkladem je stanovení přípustného či nepřípustného obsahu humusovitých částic v kamenivu do betonu na základě porovnání barvy alkalického výluhu ze zkoušeného kameniva s pomocným barevným etalonem (ČSN EN 1744-1).

Orientační testy mohou být upraveny do podoby dávající přesnější semikvantitativní odpověď v rámci určité číselné stupnice. Snad nejznámější je zjištění koncentrace vodíkových iontů (acidita či alkalita prostředí) pomocí proužků savého papíru napuštěného směsí acidobázických indikátorů (pH papírek).

Testování pomocí činidel nasáklých do papírového proužku se pro svoji jednoduchost těší značné oblibě. Zejména pro kontrolu kvality vody se užívá celá řada zkušebních proužků. Je s nimi možno testovat např. obsah dusitanů či dusičnanů, obsah chloru, obsah vápenatých a hořečnatých iontů (celkovou tvrdost vody).

### 5.12.2.2 Gravimetrie

Gravimetrie (vážkové stanovení) je nejstarší kvantitativní analytickou metodou. Spočívá v izolaci a zjištění hmotnosti určité složky získané z analyzované látky.

Nejčastěji se při gravimetrickém stanovení postupuje tak, že se zkoumaný materiál převede do roztoku a stanovovaná složka se izoluje selektivním vysrážením ve formě nerozpustné, stálé a dobře definované sloučeniny.

Vzniklá sraženina se pak oddělí filtrací od ostatních komponent roztoku. Následuje její sušení nebo žíhání. Protože se jedná o definovanou sloučeninu (vzniklou známým reakčním mechanismem), lze jejím zvážením zjistit původní hmotnost stanovované složky.

Typickým příkladem použití gravimetrické metody je určení obsahu síranů v cementu podle ČSN EN 196-2. Provádí se úplným rozkladem přesné navážky (n) cementu v horké kyselině chlorovodíkové. Výchozí množství cementu se volí v rozsahu 0,95 – 1,05 g.

Po úplném rozkladu cementu se nerozpuštěný podíl zachytí na filtru, který se pečlivě promyje horkou vodou. Kyselost filtrátu se upravuje pomocí roztoku hydroxidu amonného a případně i kyseliny chlorovodíkové na hodnotu pH 1,0 – 1,5.

Tímto postupem vzniká pracovní roztok, ve kterém jsou přítomné síranové ionty, které chceme stanovit. Síranové ionty však zdaleka nejsou jedinými ionty v tomto roztoku. Pracovní roztok obsahuje především chloridové anionty (pocházející z kyseliny chlorovodíkové) a kationty pocházející z cementu. Síranové anionty tedy musíme kvantitativně oddělit. K tomuto účelu se používá reakce horkého pracovního roztoku s horkým roztokem chloridu barnatého.

$BaCl_2 + (SO_4)^{2-} \rightarrow BaSO_4 + 2\ (Cl)^-$

Síran barnatý je nerozpustný a z roztoku vypadává v podobě bílého zákalu, který rychle sedimentuje. Sraženina síranu barnatého se oddělí jemným bezpopelovým filtračním papírem a pečlivě promyje vodou.

Přítomnost chloridů ve filtrátu se kontroluje pomocí dusičnanu stříbrného. Roztok $AgNO_3$ poskytuje s chloridovými ionty bílý zákal nerozpustného chloridu stříbrného.

$AgNO_3 + Cl^- \rightarrow AgCl + (NO_3)^-$

Sraženina na filtru se vodou promývá tak dlouho, až se vzorek filtrátu přestane po přidání dusičnanu stříbrného kalit.

Filtr se pak i se sraženinou umístí ve vyžíhaném a zváženém porcelánovém kelímku. Kelímek se znovu vyžíhá při teplotě 900 – 950 ℃, aby filtrační papír beze zbytku shořel.

Zbytek v kelímku je suchý čistý síran barnatý. Jeho množství se nazývá vyvážka (v).

K vyjádření obsahu síranů v cementu používáme obsah ekvivalentního množství oxidu sírového v hmotnostních procentech.

Toto ekvivalentní množství zjistíme z následující relace, ve které vystupuje závěrečné množství síranu barnatého. V prvém řádku úměry jsou hmotnosti jednoho molu síranu barnatého a jednoho molu oxidu sírového.

233,426 g $BaSO_4$.....80,066 g $SO_3$

v g .....…….. x g

---

Platí tedy:

$x = 0{,}343 \cdot v$

Obsah oxidu sírového v hmotnostních procentech je pak dán jako:

Obsah $SO_3 = (x / n) .100\ (\%)$

V podstatě stejný zkušební postup se podle ČSN 73 2028 používá i pro zjišťování obsahu síranových iontů ve vodě pro výrobu betonu. Namísto gramové navážky cementu se v tomto případě k přípravě pracovního roztoku použije 100 $cm^3$ zkoušené vody. Tento objem vody je v dalším textu značen jako o.

Koncentrace síranových iontů ve vodě se vyjadřuje v mg síranových iontů na 1 $dm^3$ a příslušná úměra má proto následující podobu:

233,426 g $BaSO_4$ .....96,066 g $(SO_4)^{2-}$

*v* g ……..... *y* g

---

$y = 0{,}4115 \cdot v$

Obsah $(SO_4)^{2-} = (y/o) \cdot 10^6$ $(mg.dm^{-3})$.

### 5.12.2.3 Volumetrie

Druhým klasickým analytickým stanovením je volumetrie (odměrná analýza) založená na měření objemu roztoku činidla přesně známé koncentrace (odměrný roztok). Protože přesná koncentrace odměrného roztoku se nazývá titr, říká se tomuto postupu také titrace.

Základní volumetrickou pomůckou je skleněná trubice s kohoutem (byreta) o objemu 10 – 100 ml, opatřená stupnicí umožňující odměřovat kapalinu vypouštěnou z naplněné byrety s přesností 0,05 ml.

Odměrný roztok se při titraci z byrety přidává do zkoušeného roztoku tak dlouho, dokud je v roztoku přítomna látka, kterou stanovujeme. Činidlo se volí tak, aby se stanovou látkou rychle a definovaným způsobem reagovalo. Okamžik, kdy bylo přidáno právě dostatečné (ekvivalentní) množství činidla, se poznává buď tak, že z roztoku zcela zmizí stanovovaná látka, nebo tak, že se v roztoku objeví volné činidlo, které už nemá s čím reagovat.

Přítomnost ještě nezreagované stanovované látky nebo naopak přítomnost již nereagujího činidla musí být nějak signalizována. Nejčastěji se k tomu používá nepatrná přísada třetí látky, která se účinkem činidla nebo stanovované látky výrazně barevně mění. Takovéto látce se říká indikátor.

V bodě ekvivalence (ve kterém činidlo právě zreagovalo s veškerou stanovovanou látkou) indikátor přechází na jinou barvu. Bod ekvivalence se proto také označuje jako bod přechodu.

Nejznámější skupinou indikátorů jsou acidobázické indikátory, jejichž barva je závislá na koncentraci vodíkových iontů, tedy na kyselosti či zásaditosti roztoku. S použitím těchto indikátorů, jako je metylová oranž (v kyselém prostředí červená – v zásaditém žlutá), fenolftalein (v kyselém prostředí bezbarvý – v zásaditém červenofialový), můžeme v neznámém roztoku stanovit obsah kyseliny (zásady) pomocí činidla

tvořeného zásadou (kyselinou) známé koncentrace.

Druhou velkou skupinou indikátorů jsou indikátory, které se zbarvují v přítomnosti kovových iontů. Pokud zajistíme správné pH roztoku, zbarvují se tyto indikátory jenom určitými kovy, což umožňuje provést příslušně selektivní stanovení.

Jako činidlo se při stanovování kovových iontů používají komplexotvorná činidla na bázi etylendiaminotetraoctové kyseliny. Tato činidla vytvářejí s kovy (ve vhodně kyselém, respektive vhodně zásaditém prostředí) velmi stálé chelátové komplexy. Celému stanovení se proto říká chelatometrická titrace nebo prostě chelatometrie.

Chelatometrické titrace se používají ke stanovení obsahu vápníku, hořčíku, hliníku a železa v cementu (ČSN EN 196-2).

K přesnějšímu vystižení bodu ekvivalence je možné vyhodnocovat barevnou změnu indikátoru pomocí fotometru, nebo sledovat změny elektrického chování titrovaného roztoku (potenciometrická titrace, voltamperometrická titrace). Takto prováděné odměrné stanovení však již vlastně patří mezi metody instrumentální analýzy.

#### 5.12.2.4 Instrumentální analýza

Instrumentální analýza má do značné míry fyzikálně-chemický charakter. Množství sledované složky se stanovuje na základě intensity nějakého fyzikálního jevu zpracovaného do podoby elektrického signálu. Většinou se jedná o optické, spektrální a elektrochemické metody nebo o metody využívající plynulé sledování hmotnostních a teplotních změn .

Nasazení instrumentálních metod je záležitostí specializovaných laboratoří a je smysluplné teprve tehdy, jestliže klasické analytické metody (gravimetrie a volumetrie) jsou příliš pracné nebo obtížně realizovatelné.

K instrumentálním stanovením se uchylujeme také tehdy, jestliže je klasické provedení analýzy nemožné vzhledem k malým množstvím stanované složky, nebo tam, kde se dlouhodobě provádí opakovaně mnoho stejných stanovení.

Automatizované instrumentální analytické systémy, pracující v podstatě on-line, umožňují mimořádně precizní kontrolu výrobního procesu a mohou podstatně přispět ke zvýšení kvality výroby.

Příkladem může být přístroj BEA (Belt Elemental Analyser) používáný v cementárnách k průběžné kontrole elementárního složení surovinové násady nebo vyrobeného slínku.

### 5.12.3 Silikátový rozbor

Silikátový rozbor představuje soubor gravimetrických, volumetrických a instrumentálních postupů pro kvantitativní stanovení obsahu technicky významných prvků a k určení podílu vybraných dalších složek v silikátovém materiálu.

Jak už bylo uvedeno, prvky se žádnou chemickou operací nemohou změnit, a proto je možné při provádění elementární analýzy nerozpustných silikátových materiálů, analyzovaný vzorek podrobit i velmi drastickým operacím.

Při silikátovém rozboru se používá povaření v kyselině chlorovodíkové, alkalické tavení a rozklad kyselinou fluorovodíkovou.

Všechny tyto operace musí být prováděny na přesném množství vzorku, a to tak, aby nedocházelo k nekontrolovaným ztrátám stanovovaného prvku. Proto je nutné dlouhodobé promývání filtru, opakované oplachování stěn nádob od ulpívajících zbytků a celkově velmi pečlivá práce.

#### 5.12.3.1 Rozbor cementu

V případě cementu je celý postup silikátového rozboru normalizován v ČSN EN 196-2 . Normalizovaný postup se skládá z řady na sebe navazujících stanovení. Jejich výsledky slouží nejen ke zjištění elementárního složení cementu, ale i k posouzení jeho jakosti.

Na počátku se zjišťuje ztráta žíháním (hmotnostní úbytek při žíhání) a nerozpustný zbytek (velikost podílu nerozpustného v kyselině chlorovodíkové). Vysoká ztráta žíháním může znamenat, že cement byl znečištěn cizorodou příměsí nebo nedokonale vypálen. Častější příčinou je částečná hydratace a karbonizace cementu v důsledku nevhodného uložení. Zvýšený nerozpustný zbytek signalizuje nedostatečné vypálení nebo přítomnost přísad či příměsí.

Jakostní norma ČSN EN 197-1 předpokládá, že u cementů CEM I a CEM III nepřekročí ztráta žíháním ani nerozpustný zbytek hranici 5 %.

Gravimetrické stanovení obsahu síry a jeho vyjádření ve formě oxidu sírového bylo popsáno výše. Je to rovněž důležitý jakostní ukazatel. Podle ČSN EN 197-1 je obsah $SO_3$ v cementu (podle druhu cementu) limitován hodnotou 3,5 % 4,0 %, případně 4,5 %.

Relativně snadné je volumetrické stanovení oxidu vápenatého, hořečnatého, železitého a hlinitého s pomocí speciálních komplexotvorných činidel.

Mnohem pracnější je stanovení oxidu křemičitého ($SiO_2$), které se provádí v několika stupních. Při tomto stanovení se musí pracovat s kyselinou fluorovodíkovou. Práce s kyselinou fluorovodíkovou je náročná z hlediska bezpečnosti práce. Protože kyselina fluorovodíková leptá sklo i porcelán, musí se při tomto stanovení používat drahé platinové nádobí.

V současnosti se předpokládá doplnění normy ČSN EN 196-2 o část 2.2 - Chemický rozbor cementu metodou rentgenové fluorescenční spektrometrie.

##### 5.12.3.1.1 Mineralogické složení cementového slínku

Při zjišťování kvantitativního mineralogického složení portlandského slínku se omezujeme na čtyři hlavní hydraulicky aktivní slínkové minerály (trikalciumsilikát , dikalciumsilikát, trikalciumaluminát a tetrakalciumaluminátferit).

Ve specializovaných laboratořích používaných výrobci cementu se mineralogické složení cementu hodnotí postupnou extrakcí jednotlivých minerálních fázi s pomocí roztoku kyseliny salicylové v metanolu a kvantitativní rentgenovou difrakční analýzou (QXDA) vlastního cementu i získaných extraktů.

Nověji se používá také metoda využívající optický mikroskop spojený speciální digitální videokamerou. Počítačovým zpracováním získaných snímků s pomocí speciálního software se dá posoudit plošné zastoupení zrn jednotlivých minerálů v obrazu a na jeho základě lze stanovit i jejich obsah. Nejlepší výsledky dává digitální analýza obrazu při stanovení $C_3S$ a $C_2S$, celé potřebné vybavení je však velmi drahé.

Na základě mezilaboratorních srovnání se jako oprávněný jeví předpoklad, že žádná z obou metod neposkytuje při stanovení $C_3S$ a $C_2S$ větší absolutní přesnost než 2 – 5 %. V případě $C_4AF$ a $C_3A$ je možné uvažovat absolutní přesnost 1 – 2 %.

Vyhodnocení obsahu slínkových minerálů na základě přímého mikroskopického pozorování cementového slínku je velmi pracné a náročné na zkušenosti a trpělivost pracovníka. K dosažení dostatečné přesnosti se přítomnost jednotlivých minerálů musí hodnotit nejméně ve 4000 bodech zorného pole. Výsledky však jsou srovnatelné s digitální metodou.

Rozbor mikroskopického obrazu může přinést i další informace. Na základě velikosti alitových zrn a hodnoty jejich optického dvojlomu a na základě velikosti belitových zrn a jejich barvy lze odhadovat budoucí hodnotu normalizované pevnosti cementu. Jak však uvádí Taylor jsou zkušenosti s kvalitou takto získaného odhadu dosti různé.

K přibližnému určení zastoupení slínkových minerálů v cementu často postačuje postup podle R. H. Bogua, při kterém se obsahy hlavních syntetických minerálů počítají na základě výsledků kvantitativní elementární analýzy cementového slínku.

Elementární složení portlandského slínku *Tab. 5.17*

| Prvek | Průměrný obsah prvku (%) | Oxid | Vyjádření průměrného obsahu prvku pomocí oxidu (%) | Běžné rozmezí obsahu prvku vyjádřené pomocí oxidu (%) |
|---|---|---|---|---|
| Ca | 46,4 | CaO | 65 | 56 – 69 |
| Si | 9,8 | $SiO_2$ | 21 | 16 – 26 |
| Al | 3,2 | $Al_2O_3$ | 6 | 4 – 8 |
| Fe | 2,1 | $Fe_2O_3$ | 3 | 1 – 8 |
| Mg | 1,2 | MgO | 2 | 0 – 6 |
| S | 1,0 | $SO_3$ | 2 | 1 – 3 |
| O | 35,3 | – | – | – |
| Celkem | 99,0 | – | 99 | – |

Výpočet mineralogického složení podle Bogua je založen na několika jednoduchých hmotnostních bilancích vycházejících ze stechiometrických poměrů, ve kterých reagují jednotlivé slínkotvorné prvky, které v žáru cementářské pece vstupují do reakcí v podobě příslušného oxidu.

Celá výpočtová procedura přitom probíhá od prvků, které jsou ve slínku zastoupeny v malém množství a jejichž obsah proto limituje celkově vzniklé množství sloučeniny, ve které jsou obsaženy.

V následující ukázce odvození algoritmu pro výpočet minerálního složení jsou používány zaokrouhlené hodnoty molekulových hmotností. Obsahy jednotlivých látek v hmotnostních procentech jsou vyjadřovány tak, že je příslušný cementářský vzorec látky zapsán do hranatých závorek.

Tabulka celočíselně zaokrouhlených molekulových hmotností slínkových oxidů a slínkových minerálů *Tab. 5.18*

| Sloučenina | Cementářský vzorec | Molekulová hmotnost |
|---|---|---|
| Oxid vápenatý | C | 56 |
| Oxid křemičitý | S | 60 |
| Oxid hlinitý | A | 102 |
| Oxid železitý | F | 160 |
| Dikalciumsilikát | $C_2S$ | 172 |
| Trikalciumsilikát | $C_3S$ | 228 |
| Trikalciumaluminát | $C_3A$ | 270 |
| Tetrakalciumaluminátferit | $C_4AF$ | 486 |

Celý výpočet začíná od železa, které je prvkem, jehož obsah je ve slínku zjevně nejmenší. Obsah železa vyjádřený jako $Fe_2O_3$ činí okolo 3 %. Prakticky veškeré železo je ve slínku vázáno ve formě tetrakalciumaluminátferitu.

Jestliže si konkrétně zjištěný obsah oxidu železitého označíme jako [F], pak můžeme snadno zjistit obsah $C_4AF$ na základě úvahy, že ke vzniku jednoho molu tetrakalciumaluminátferitu je potřeba jeden mol oxidu železitého.

Pak lze sestavit následující úměru:

160 ..... 486

[F].....[$C_4AF$]

---

Pro množství vzniklého tetrakalciumaluminátferitu [$C_4AF$] tedy platí:

[$C_4AF$] = (486/160) . [F]

[$C_4AF$] = 3,04 . [F]

V dalším kroku můžeme vypočítat obsah trikalciumaluminátu. Jeho vznik je limitován množstvím oxidu hlinitého, které v průměru činí okolo 6 %. Při výpočtu však nemůžeme vycházet přímo z výchozího (analyticky zjištěného) množství oxidu hlinitého označeného [A].

V další kalkulaci musíme vzít v úvahu, že původní množství oxidu hlinitého se snížilo tím, že se tento oxid zčásti spotřeboval na vytvoření tetrakalciumaluminátferitu. Pro tvorbu trikalciumaluminátu je proto k dispozici jen nějaké nové menší množství [A'].

Úbytek původně přítomného hliníku vyplývá ze skutečnosti, že při tvorbě $C_4AF$ připadá na jeden mol oxidu železitého jeden mol oxidu hlinitého. Množství hliníku, které zůstalo k dispozici pro další reakci, tedy je:

$$[A'] = [A] - (102/160) . [F]$$

Toto množství limituje množství vniklého trikalciunaluminátu podle následujícího vztahu:

$$[C_3A] = (270/102) . [A']$$

Zpětným dosazením pak můžeme vyjádřit závislost množství trikalciumaluminátu přímo na výchozích množstvích hliníku a železa:

$$[C_3A] = (270/102) . ( [A] - (102/160) . [F] )$$

$$[C_3A] = 2,65 . [A] – 1,69 . [F]$$

Jen o málo složitější je následující hmotnostní rozvaha. Vychází z předpokladu, že pro tvorbu dikalciumsilikátu je limitující složkou oxid křemičitý a že nejprve vzniká pouze dikalciumsilikát, který až následně může vytvářet trikalciumsilikát.

Výchozí množství oxidu křemičitého činí průměrně 20 %. Pro náš výpočet si toto množství označíme [S]. V prvním kroku vzniká pouze dikalciumsilikát v množství, které označíme $[C_2S']$:

$$[C_2S'] = (172/60) . [S],$$

$$[C_2S'] = 2,87 . [S].$$

V druhém kroku bude tento dikalciumsilikát reagovat se zbývajícím oxidem vápenatým. Výchozí obsah oxidu vápenatého v portlandském cementu činí průměrně okolo 63 %. Konkrétní analyticky zjištěné výchozí množství si označíme [C]. Víme ale, že toto množství se v předchozích hmotnostních bilancích již zčásti spotřebovalo. Nejprve kleslo na hodnotu [C'] v důsledku tvorby $C_4AF$:

$$[C'] = [C] - 4 . (56/160) . [F],$$

$$[C'] = [C] - 1,4 . [F].$$

Toto množství se dále zmenšilo v důsledku tvorby trikalciumaluminátu na množství [C'']:

$$[C''] = [C] – 1,4 . [F] - (3 . (56/102) . [A'] )$$

$$[C''] = [C] – 1,4 . [F] – (3 . (56/102) . ( [A] - (102/160) . [F] ))$$

$$[C''] = [C] – 1,4 . [F] – 1,65 . [A] + 1,05 . [F]$$

Po zreagování veškerého oxidu křemičitého pak pro další bilanci zbývá oxid vápenatý v množství [C''']:

$$[C'''] = [C] - 1,4 . [F] - 1,65 . [A] + 1.05 . [F] - 2 .(56/60).[S]$$

$$[C'''] = [C] – 0,35 . [F] - 1,65 . [A] – 1,87 . [S]$$

Teprve toto zbývající množství zreaguje s přebytkem dikalciumsilikátu, a je tedy limitujícím faktorem pro vznik trikalciumsilikátu:

$$[C_3S] = (228/56) . [C''']$$

$$[C_3S] = 4,07 . [C''']$$

$[C_3S] = 4,07 .( [C] – 0,35 . [F] - 1,65 . [A] – 1,87. [S] )$

$[C_3S] = 4,07 . [C] - 1,43 . [F] – 6,72 . [A] – 7,60 . [S]$

A konečně vznikem trikalciumsilikátu se sníží obsah dikalciumsilikátu na konečnou hodnotu:

$[C_2S] = [C_2S'] - (172/228) . [C_3S]$

$[C_2S] = 2,87 . [S] – 0,75 . [C_3S]$

$[C_2S] = 2,87 . [S] – 0,75 . (4,07. [C]-1,43 . [F]- 6,72 . [A]- 7,60 . [S] )$

$[C_2S] = 8,6 . [S] –3,07. [C]+1,08. [F]+ 5,1. [A]$

Mineralogické složení, které se (na základě znalosti obsahu železa, hliníku, vápníku a křemíku) vypočítá ze čtyř výše odvozených rovnic, není analyticky stanoveným mineralogickým složením v pravém slova smyslu. Představuje pouze potenciální mineralogické složení, jehož vznik závisí na úplnosti splnění výchozích předpokladů.

V případě běžného cementu je vypočtené potenciální minerální složení uspokojivou aproximací skutečného mineralogického složení zejména v případě $C_4AF$ a $C_3A$.

Příkladem praktického použití potenciálního mineralogického složení je norma ČSN 72 2103, která stanovuje požadavky na síranovzdorný cement. Podle této normy se obsah trikalciumaluminátu počítá právě na základě zjištěného množství železa a hliníku. Vypočtený obsah $C_3A$ musí být menší než 3,5 %. Zároveň musí síranovzdorný cement obsahovat méně než 5 % oxidu hlinitého.

Při výpočtech obsahu $C_3S$ a $C_2S$ dochází k přecenění množství vzniklého $C_2S$ na úkor $C_3S$ . V literatuře je proto možné nalézt složitější vztahy, které při výpočtu obsahu slínkových minerálů zohledňují obsah volného vápna, obsah síry, obsah hořčíku a další faktory [

#### 5.12.3.1.2 Stanovení chloridů, oxidu uhličitého a alkalií

Náplní další cementářské zkušební normy ČSN EN 196-21 je stanovení chloridů, oxidu uhličitého a alkálií v cementu.

Stanovení chloridů se provádí na kyselém pracovním roztoku připraveném rozpuštěním cementu v kyselině dusičné. Chloridy se sráží roztokem dusičnanu stříbrného a přebytek dusičnanu stříbrného se stanovuje titrací s vizuální indikací bodu ekvivalence. Odměrným roztokem je thiokyanatan amonný. Jako indikátor se užívá roztok síranu železitoamonného. Celý postup je možné charakterizovat jako běžnou volumetrickou metodu používanou pro stanovení chloridů i v jiných oborech (Volhardova titrace).

Přípustný obsah chloridů je podle normy ČSN EN 197-1 (pro všechny druhy a třídy CEM cementů) maximálně 0,1 %.

Stanovení oxidu uhličitého se provádí gravimetricky. V uzavřené aparatuře se oxid uhličitý uvolní z cementu koncentrovanou kyselinou fosforečnou a proudem suchého inertního plynu se vede do absorpčních trubic obsahujících hydroxid sodný na zrnitém nosiči. Z hmotnostního přírůstku těchto trubic se pak přímo určuje množství uvolněného oxidu uhličitého. Metoda je náročná na pečlivé sestavení dokonale těsnicí absorpční aparatury.

Stanovení obsahu alkálií (tj. sodíku a draslíku) je typickou ukázkou instrumentální analytické metody. Ke stanovení je potřebný plamenný fotometr umožňující měřit intenzitu linie sodíku (589 nm) a linie draslíku (768 nm). Před vlastním stanovením se přístroj musí kalibrovat pomocí osmi standardních roztoků s postupně stoupajícím obsahem sodíku a draslíku.

Význam stanovení obsahu alkálií v našich podmínkách značně vzrostl po té, co se objevily problémy s alkalickou křemičitou reakcí (viz kapitola o korozi). Obsah sodíku a draslíku se pro posuzování rizika této reakce vyjadřuje jako ekvivalentní obsah oxidu sodného. Přitom platí:

Ekvivalentní obsah $Na_2O$ = Obsah $Na_2O$ + 0,658 . Obsah $K_2O$.

O riziku nežádoucí reakce cementu s kamenivem se hovoří většinou při ekvivalentním obsahu oxidu sodného nad 1 %. Pro nepříznivé prostředí (konstrukce pozemních komunikací vystavené vodě) se za vyhovující považuje ještě menší hodnota ekvivalentního obsahu $Na_2O$ (0,8 % pro CEM II nebo 0,6 % pro CEM I). Je však na místě připomenout, že zdrojem alkálií v betonu mohou být i voda, kamenivo a přísady.

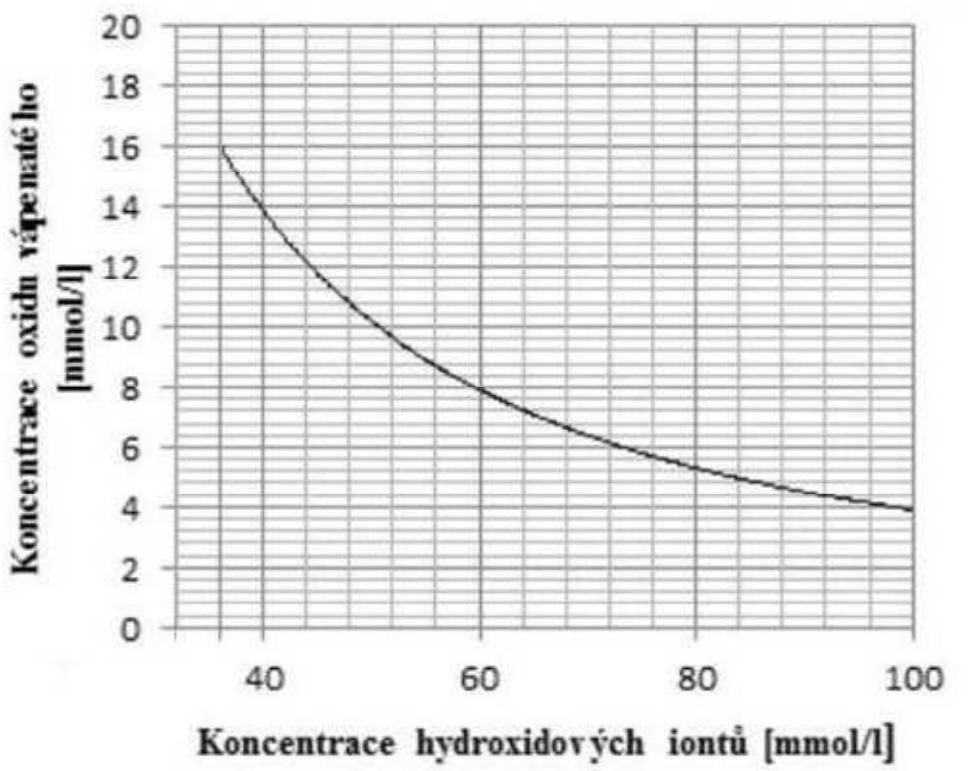
#### 5.12.3.1.3 Stanovení šestimocného chromu

V roce 2007 byla vydána ČSN EN 196-10 - Metody zkoušení cementu - Část 10: Stanovení obsahu ve vodě rozpustného chrómu (Cr6+) v cementu. Význam této normy je především v posuzování hygienických či ekologických vlastností cementu.

#### 5.12.3.1.4 Zjištění pucolanity

Zvláštní chemickou zkoušku pro cementy CEM IV popisuje ČSN EN 196-5. Zkouška (která je zjednodušenou variantou t. zv. Franttiniho testu) spočívá v analýze roztoku, který se vytvoří nad 20 g cementu, rozmíchaného v polyetylenové láhvi se 100 ml čerstvě převařené destilované vody, po 8 a 15 dnech stání v termostatu o teplotě 40 ℃.

Ve vzniklém roztoku se volumetricky zjišťuje obsah oxidu vápenatého a obsah hydroxylových iontů. Z jejich poměru se po srovnání s grafem uvedeným v normě určuje pucolanita cementu. V grafu je vynesena křivka rozpustnosti CaO (při 40 ºC) v závislosti na koncentraci hydroxylových iontů (*obr. 5.75*). Pokud analyticky zjištěný bod leží pod křivkou, je výsledek zkoušky pucolanity vyhovující.




Obr. 5.75 Diagram pro vyhodnocení pucolanity

Reaktivita samotných pucolánových příměsí (jako je přírodní tuf nebo metakaolin) se určuje zkouškou nazývanou Chappelle test. Spočívá v zahřátí suspenze zkoušeného pucolánu s přebytkem hydroxidu vápenatého na 95 ℃ a udržování této teploty po 18 hodin. Následně se zjistí množství zreagovaného hydroxidu vápenatého. Výsledek se vyjadřuje v miligramech $Ca(OH)_2$ spotřebovaného na jeden gram zkoušené příměsi].

Výsledek získaný v Chapelle testu nelze přeceňovat, pucolánovou aktivitu mohou v praxi projevit i látky, které se v tomto testu jeví jako málo reaktivní.

### 5.12.3.1.5 Analýza složek směsných cementů

Prakticky používané cementy obsahují často kromě slínku i další složky (cementy CEM II - CEM V). Kvantitativnímu stanovení těchto složek je věnována ČSN P ENV 196-4. Tato norma především specifikuje postupy, pomocí kterých se jednotlivé složky (slínek, struska, vápenaté látky, křemičité látky a regulátory tuhnutí) navzájem oddělují. Využívá se k tomu především rozdílné hustoty, rozdílné rozpustnosti v kyselině dusičné a rozdílné rozpustnosti v chelátotvorných činidlech.

Kromě toho je třeba stanovit obsahy určujících chemických složek (např. obsah manganu). Rozbor doplňuje i mikroskopické pozorování zrn jednotlivých složek.

Celý postup si zřejmě může kvalitně osvojit jen specializované pracoviště, protože jeho úspěšné provádění vyžaduje pracovníky s větší laboratorní praxí.

### 5.12.3.2 Stanovení hmotnosti složek betonu

Při dodatečném zjišťování složení betonu již použitého v konstrukci má své místo postup pro stanovení hmotnostní koncentrace cementu a kameniva ve ztvrdlém betonu podle ČSN 73 1323.

Celý postup sestává z postupného určení chemicko-analytických charakteristik jak zkoušeného betonu, tak jeho základních složek (cementu a kameniva). Pokud vzorky výchozích složek nejsou k dispozici, použijí se pro výpočet známé hodnoty, typické pro příslušný druh materiálu.

Určuje se především objemová hmotnost betonu, hmotnostní podíl zbytku po žíhání vysušeného vzorku betonu (ztráta žíháním), hmotnostní podíl nerozložitelný v kyselině (nerozpustný zbytek) a případně i obsah uhličitanů a obsah oxidu vápenatého a hořečnatého.

Konkrétní provedení zkoušky závisí na tom, zda použité kamenivo je v kyselině chlorovodíkové rozložitelné, či nikoliv, popřípadě zda se v kyselině rozkládá jenom část kameniva. Nejjednodušší je v případě kameniva zcela nerozložitelného kyselinou.

Vlastní výpočet je tvořen hmotnostní bilancí jednotlivých složek, na základě jednotlivých určených charakteristik.

Postup je vhodný pro obyčejný hutný beton a dovoluje určit hmotnostní koncentraci cementu portlandského nebo struskoportlandského typu, s přesností 5 %. Hmotnostní koncentraci kameniva je možné určit s přesností 10 %.

## 5.12.4 Rozbor vody

Chemický rozbor vody přestavuje dosti rozsáhlý soubor zkoušek, kterými zjišťují látky ve vodě rozpuštěné nebo rozptýlené. Protože pro pitné účely se voda ve vodárnách připravuje ve vysoké kvalitě, mají zkoušky vody ve stavebnictví význam hlavně při posuzování vody z jiných zdrojů.

Kvalitu záměsové vody pro přípravu betonu předepisuje ČSN EN 1008, která zároveň stanovuje i postup pro její zkoušení. Vývojový diagram, který je součástí normy jako informativní příloha B, ukazuje, že kompletní posuzovací postup obsahuje 30 posuzovacích kritérií.

Vzorek pro zkoušku vody podle ČSN EN 1008 musí být reprezentativní a musí mít objem nejméně 5 litrů. Před zkouškou musí být uchováván v čisté uzavřené nádobě, která byla před naplněním opakovaně vypláchnuta vodou ze stejného zdroje.

Nejprve se posuzuje znečistění vody olejem, tuky, čisticími prostředky (saponáty), humusovitými látkami a rozptýlenými nečistotami. V této souvislosti se posuzuje také barva a zápach vody.

Po následující zkoušce pH se voda slabě okyselí kyselinou chlorovodíkovou a zjišťuje se případný sirovodíkový zápach.

Následují kvalitativní chemické zkoušky na obsah chloridů, síranů, alkálií, cukrů, fosfátů, dusičnanů, olova a zinku. Místo nich je možné stanovit vliv vody na tuhnutí cementové kaše a na pevnost zkušebních těles z betonu nebo malty se zkoušenou vodou.

Počátek tuhnutí, stanovený na cementové kaši normální hustoty, nesmí být kratší než 1 hodina a nesmí se lišit od počátku tuhnutí stanoveného pro stejný cement s destilovanou vodou o více než 25 %. Konec tuhnutí nesmí být delší než 12 hodin a nesmí se od hodnoty stanovené na srovnávací cementové kaši z destilované vody lišit o více než 25 %.

K porovnání pevnosti se použijí tělesa připravená s vodou destilovanou. Průměrná pevnost po 7 dnech nesmí být u těles se zkoušenou vodou menší než 90 % průměrné pevnosti těles srovnávacích.

Pokud obsah látek rozpustných ve vodě (stanovený jako odparek filtrátu po filtraci filtrem 0,45 μm) překročí hodnotu 100 $mg.dm^{-3}$, musí se zkontrolovat obsah konkrétních rozpustných látek, pro něž je tato hodnota limitní.

Kvantitativní stanovení je rovněž nezbytné, pokud přítomnost některé ze sledovaných látek ukáže kvalitativní analýza.

Pokud se předpokládá použití vody pro přípravu betonu s kamenivem citlivým na alkalickou reakci, je obsah ekvivalentní oxidu sodného ve vodě omezen hodnotou 1500 $mg.dm^{-3}$.

Požadavky na záměsovou vodu do betonu se často přebírají i jako požadavky na záměsovou vodu používanou při přípravě malt. V některých náročnějších případech se požaduje použití vody pitné.

Pro přípravu stavebních materiálů je pitná voda dodávaná veřejnými vodovody vyhovující a nemusí se zkoušet. Její další čistění speciálními filtry nemá žádný racionální důvod. Při další práci by se odstraněné látky ve vodě stejně znovu objevily, protože všechny ostatní používané složky mají technickou čistotu.

Pro používání „harmonizované vody“ nebo „magneticky upravené vody“ pro přípravu stavebních materiálů nejsou žádné důvody. Oba pojmy jsou technicky zcela bezobsažné, stejně jako obskurní termín „pí-voda“.

# 6 FORMULACE STAVEBNÍCH HMOT

Termín *formulace* pochází z latinského slova *forma* znamenajícího tvar nebo podobu. V technické praxi jako formulaci označujeme činnost, jejímž cílem je vytvořit ze dvou nebo více složek směsný výrobek v podobě vhodné pro budoucí použití.

Důvodem takovéhoto zpracovávání může být snazší dávkování látky ve směsné podobě, snížení reaktivity směsného produktu v důsledku poklesu koncentrace účinné látky, zlepšené nakládání s látkou v důsledku příznivějších reologických vlastností směsi, zvýšení bezpečnosti při manipulaci a v neposlední řadě i doplňující se účinek použitých složek. Speciálním případem pak je vznik nové kvality nedosažitelný samostatným použitím původních složek.

Může se jednat o úpravu jedné hlavní složky, která je s pomocí dalších přidávaných složek upravována do tekuté, těstovité, nebo sypké hmoty obsahující vhodnou koncentraci hlavní složky. Formulovaná směs však může obsahovat i více aktivních složek, u kterých je žádoucí společné použití a které se ve svém účinku doplňují nebo posilují.

Složky, ze kterých je vytvářena formulová směs, spolu nereagují vůbec nebo reagují natolik pomalu, že připravenou směs je možné skladovat (někdy i dlouhodobě) či alespoň transportovat na místo budoucího užití bez zásadní změny složení.

I v případě, že se chemická podstata jednotlivých chemických substancí při přípravě formulované směsi vůbec nemění, je formulace často nezbytná k jejich dalšímu využití v „nechemické“ praxi.

Problematika formulace (tvorby a konečné úpravy složení) směsných výrobků má v každém chemickém výrobním odvětví svá specifika, jak co do surovin tak co do účelu a při studiu na chemických vysokých školách je většinou vykládána v rámci přednášek věnovaných technologii výrobních procesů v příslušném odvětví.

V každém odvětví si navíc jednotliví producenti vychovávají své vlastní specialisty pro formulační návrhy (formulátory), protože formulační know-how často patří k velmi důvěrným výrobním informacím.

Velkým problémem je skutečnost, že formulace se používá nejvíce v obchodně citlivé fázi vývoje konečného produktu. Z tohoto důvodu probíhá výchova formulačních chemiků často až v rámci důvěrných podnikových školení a spolupráce mezi akademickou sférou a průmyslem v oblasti formulace je spíše výjimečná.

Bezprostřední meziodvětvový přenos know - how se na první pohled jeví jako málo pravděpodobný. Kroky, které je třeba podniknout při zavádění určité sloučeniny do praktického použití, však přesto mohou být do jisté míry podobné i v případě různých aplikačních odvětví.

Určité typy látek používané ke konečné formulaci výrobku jsou totiž společné pro více odvětví. Typickým příkladem jsou ředidla a změkčovadla používaná nejen při formulaci nátěrových hmot, ale i lepidel, plastických hmot, čisticích past, kosmetických přípravků, a léků a dokonce i explosivních materiálů.

Rovněž technologické postupy používané při tvorbě směsného výrobku (rozpouštění, dispergace, homogenizace) jsou si často podobné a zejména v příbuzných odvětvích je možné při formulaci konkrétního výrobku hledat určitou inspiraci.

Na některých zahraničních univerzitách jsou proto vyučované samostatné předměty označované jako*, formulation science, formulation chemistry,* nebo *formulation engineering.*

Při výběru českého názvu pro obor zabývající se společným přístupem k formulaci v různých odvětvích je možné konstatovat, že ani formulační věda ani formulační chemie nejsou dostatečně výstižné názvy.

Formulace je úzce spjata s výrobním procesem a o úspěchu formulace kromě vlastností formulovaného výrobku rozhodují i ekonomické a marketingové faktory, které jsou při vědeckých studiích vedlejší.

Chemické poznatky jsou při výběru kompatibilních komponent jistě důležité a dají se velmi vhodně využít, nejsou však zcela nezbytné, což dokládají úspěšné historické formulace provedené empiricky v době kdy chemie jako věda prakticky neexistovala.

Jako nejvhodnější název se jeví sousloví *formulační inženýrství*. Tento termín dostatečně zdůrazňuje bezprostřední vazbu mezi formulací a jejím praktickým využitím, nepředstírá existenci nějaké konzistentní teorie řešené v rámci základního výzkumu a nevytváří dojem, že prakticky úspěšná formulace je čistě chemickou záležitostí.

.

## 6.1 ZÁKLADNÍ POJMY FORMULAČNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Vzhledem k tomu, že v Česku se problematika formulace jako samostatný předmět nevyučuje, je vhodné v úvodu zavést, popřípadě upřesnit základní terminologii oboru.

### 6.1.1 Definice formulace

Velkou skupinu formulovaných hmot tvoří směsi, které jsou dlouhodobě stálé a ve kterých začne probíhat chemická reakce až na základě nějaké vnějšího impulsu, nebo po přidání nějaké aktivující složky.

Často je proto nabízena definice: formulace je míšení navzájem nereagujících složek za účelem získání směsi žádaných vlastností.

Žádané vlastnosti formulované směsi může být obtížné blíže specifikovat, určitě snazší je uvést cíl (aplikaci), kvůli kterému se formulace provádí.

Informace o tom, že formulací vzniká dále použitelná směs míšených látek je lepší charakteristikou uskutečňovaného děje než apodiktické tvrzení, že mísené látky spolu nereagují.

Jako definici lze proto doporučit výrok: formulace je míšení látek, nebo návrh jak uskutečnit takové míšení, s cílem vytvořit směs těchto látek vhodnou pro určité další použití.

Takováto definice zároveň respektuje fakt, že slovem formulace se běžně rozumí také návrh složení, podle kterého se příprava formulované směsi fyzicky uskutečnila či uskutečňovat bude *(formulační návrh*).

### 6.1.2 Receptura a reglement

Termín *receptura* je v podstatě synonymický s termínem *formulační návrh*. Obvykle se ale používá v těch případech kdy je návrh složení už určitým způsobem kodifikován a zachycen v písemné formě v nějaké normě nebo doporučení. V receptuře jsou především vyjmenovány jednotlivé komponenty (složky) vytvářející formulovanou směs a je zde uvedeno i jejich množství.

S termínem receptura se rovněž setkáváme při přípravě polotovarů,, které jsou dále zpracovány prostřednictvím nějaké výrobní linky, termín formulace je naopak běžný především u finálních výrobků zpracovávaných (aplikovaných) u uživatelů mimo výrobní závod.

Pokud receptura upřesňuje i způsob přípravy formulované směsi (kupř. nutnost rozpouštění za tepla) je lepší v technické praxi používat termín *reglement* (výrobní předpis), který má ovšem širší význam a je používán i pro směrnice k provádění chemických výrobních operací.

Často používaný termín *recept* má rovněž poněkud širší význam podle toho v jakém oboru či souvislosti je použit (recept na výdej léku, recept na guláš, recept na dlouhý věk).

### 6.1.3 Kompozice a komponenty

Formulovaný produkt, který představuje fyzickou realizaci receptury, může být označován jako *kompozice*, nebo jako *přípravek* či *prostředek*.

Termíny přípravek a prostředek se používají spíše u kompozic, které jsou prodávány pod nějakým obchodním označením, ale v zásadě jsou všechny tři termíny rovnocenné.

Termín *kompozit* je vhodné používat pro kompozice používané jako stavební či konstrukční materiál, tedy v podstatě tam, kde pro další použití jsou rozhodující mechanické vlastnosti.

*Složky*, které kompozice obsahuje, se nazývají *komponenty*. Jako *přísada* se obvykle označuje komponenta, která má v kompozici minoritní zastoupení, nebo plní pomocnou funkci. Setkat se můžeme i s termínem *příměs* používaném většinou ve stejném smyslu.

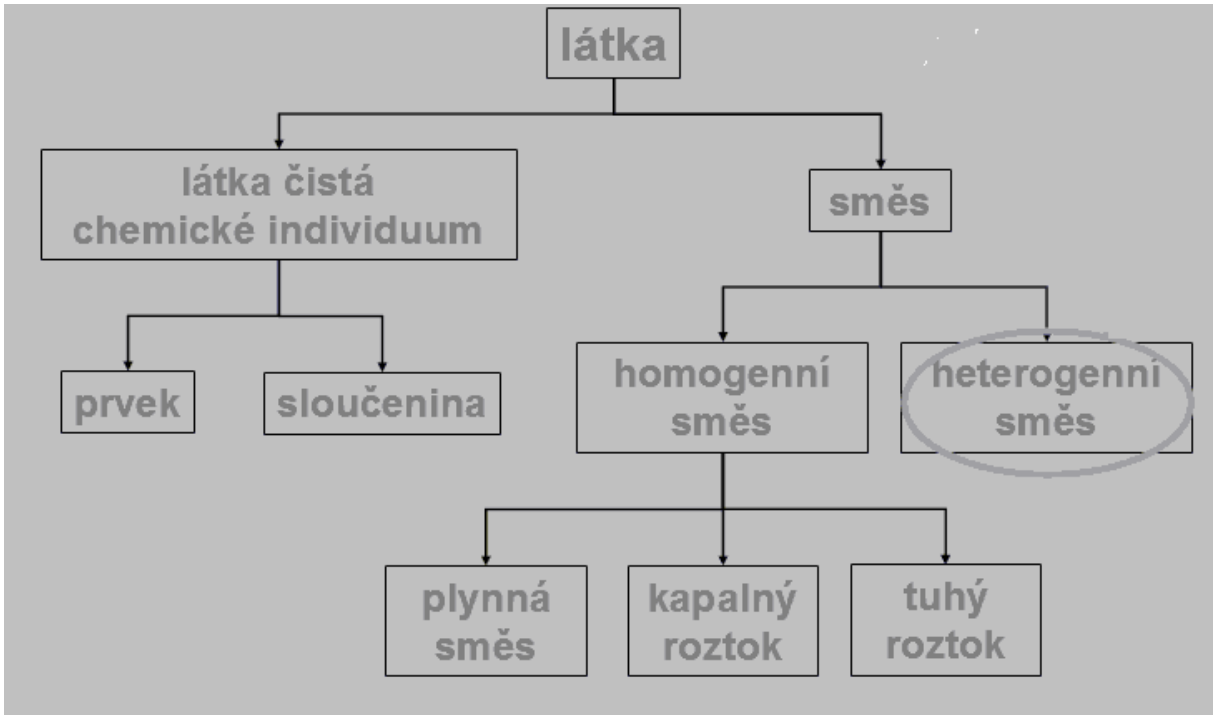
V betonářské technologii se mezi přídavkem a příměsí rozlišuje. Množství přísady nepřekračuje 5 % z hmotnosti cementu a přísada bývá kapalná či rozpuštěná v záměsové vodě. Příměs je přidávána ve větším množství a bývá práškovitá.

Zvláštní postavení ve formulačním inženýrství mají *faktory.* Označujeme tak vybrané komponenty, jejichž množství se během zpřesňování (optimalizace) formulace cíleně mění.

#### 6.1.3.1 Kvalitativní a kvantitativní složení

Každou směs (recepturu) charakterizuje především *kvalitativní složení*, tedy druh látek, které jí tvoří a samozřejmě také *kvantitativní složení*, tedy množství jednotlivých látek přítomných ve směsi.

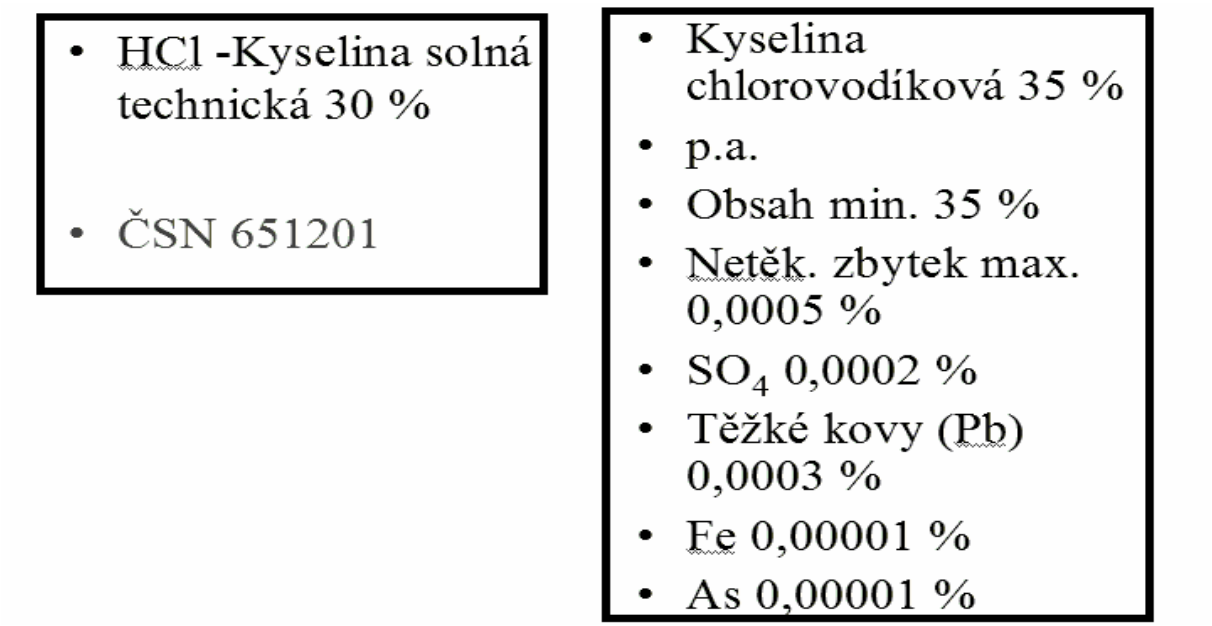
Hovoříme-li o prvcích nebo sloučeninách z hlediska chemických vlastností, máme na mysli čisté látky. Při praktické formulaci si ale musíme být vědomi toho, že absolutně čistá látka jen abstrakcí. Každé hmotné těleso vždy obsahuje určité nečistoty.




Obr. 6.1 Nejčastější formou stavebních hmot je heterogenní směs

Navíc je třeba si uvědomit, že název (jméno) chemické látky používáme nejen pro samotnou látku (více či méně čistou), ale i pro látkový přípravek představující obvyklou podobu látky (například roztok).

Na obrázku 6.2 je dobře vidět, že i velmi čistá kyselina chlorovodiková (kvalita pro analýzu) obsahuje zhruba jen třetinu chlorovodíku. Přesto se o ní mluví jako o HCl.




Obr. 6.2 Údaje na štítcích dvou láhví s prakticky vyráběnou HCl

### 6.1.3.2 Koncentrační vyjádření

V praxi obvykle nejsou míchány prvky či sloučeniny jako víceméně čistá chemická individua. Daleko častější je používání látek směsného charakteru. Tuto skutečnost je třeba respektovat pří provádění látkových bilancí nezbytných pro další formulační práci.

V mnoha případech je množství nečistot srovnatelné s množstvím znečištěné látky. V řadě případů je uvažovaná látka v reálné směsi dokonce v menšině. Pak zpravidla místo o čistotě hovoříme o koncentraci látky.

Nejběžnějším způsobem vyjádření koncentrace (čistoty) nějaké látky je hmotnostní zlomek. Je definován jako bezrozměrný podíl z hmotnosti příslušné látky obsažené v uvažovaném materiálu a celkové hmotnosti tohoto materiálu.

V praxi se k vyjádření koncentrace velmi často používá obsah vyjádřený ve hmotnostních procentech, což je stonásobek hmotnostního zlomku.

$$HmotnostniZlomek = \frac{HmotnostSložky}{HmotnostVšechSložek}$$

$$HmotnostniProcento = 100 * HmotnostniZlomek$$

Od hmotnostních procent je třeba rozlišovat vyjádření hmotnostním poměrem x : 100. Tento způsob je obvyklý v recepturách na přípravu technických směsí.

Pro přípravu modifikovaní hmoty se kupříkladu předepisuje přidat na 100 kg základní látky 15 kg aditiva (tedy přídavek 15 % z hmotnosti základní látky). Vznikne 115 kg produktu, který ovšem obsahuje jen asi 13 % přidané látky.

Podobně jako hmotnostní zlomek je definován i objemový zlomek, určený podílem objemu příslušné složky k celkovému objemu směsi:

Objemový zlomek a od něj odvozená objemová procenta jsou veličiny, které v případě kapalných směsí mohou vést k nedorozumění, protože objemy jednotlivých složek kapalné směsi nedávají ve svém součtu přesný celkový objem. Úloha na smísení pak není řešitelná bez znalosti příslušných hustot.

### 6.1.3.3 Hmotnostní bilance

Pokud předpokládáme, že míchání a míšení jako probíhá jako čistě fyzikální děj, pak platí, že hmotnost uzavřené soustavy se smísením složek nezmění a že hmotnost celkového množství kterékoliv látky se míšením v uzavřené soustavě nemění.

Množství sloučeniny nezávisí ani na fyzikálních parametrech okolí (teplotě systému) ani na množství jiných sloučenin doprovázejících sledovanou sloučeninu.

Při provádění *hmotnostní bilance* je třeba dbát na to, aby všechny bilancované složky byly uvažovány ve stejných hmotnostních jednotkách. Objemové údaje je nutné převést na údaje hmotnostní (většinou pomocí hustoty či objemové hmotnosti).

Hmotnostní bilance představují základ pro další formulační úvahy a výpočty. V té či oné formě se s nimi ve formulační praxi každý setká. Matematický aparát hmotnostních bilancí vychází z učiva základní školy (trojčlenka).

Asi nejznámější hmotnostní bilancí je úloha o míchání dvou různě koncentrovaných roztoků téže látky (o koncentraci A a B) s cílem připravit třetí roztok o předem určené koncentraci C. Koncentrace výsledného roztoku pochopitelně musí ležet mezi koncentracemi výchozích roztoků.

Pro množství účinné látky ve výsledném roztoku a v roztocích výchozích zjevně platí:

$m_1*A + m_2*B = C*(m_1 + m_2)$,

kde $m_1$ a $m_2$ jsou hmoty jednotlivých výchozích roztoků.

A odtud:

$m_1*A + m_2*B = C*m_1 + C*m_2$,

$m_1*A - C*m_1 = C*m_2 - B*m_2$,

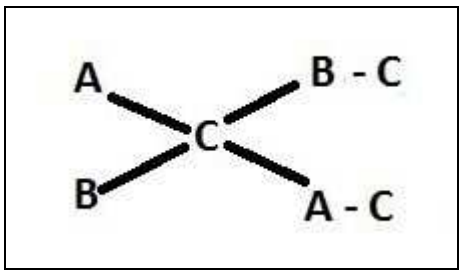
$m_1*(A-C) = m_2*(C-B)$,

$m_1/m_2 = (C-B)/(A-C)$.

Výsledkem je poměr navážek ($m_1/m_2$), který pro další výpočet označíme jako q:

$q = m_1/m_2$.

V praxi se pro výpočet m1/m2 často používá mnemotechnická pomůcka známá jako *křížové pravidlo*.




Obr. 6.3 Absolutní hodnoty rozdílů koncentrací (po odečtení křížem) odpovídají poměru mísení

Množství nového roztoku je dáno součtem dílčích navážek ($m_1 + m_2$) jejichž konkrétní hodnoty neznáme. Pro výpočet navážek potřebných k přípravě určitého množství (m) využijeme:

$m_1 = q*m_2$,

$m_1 = q*(m-m_1)$,

$m_1 = q*m - q*m_1$,

$m_1 + q*m_1 = q*m$,

$m_1* (1 + q) = q*m$,

$m_1 = q*m /(1 + q)$.

$m_2 = m - m_1$.

Tak primitivní zadání jako je úloha v předcházejícím případě nepůsobí většinou žádné problémy.

Hmotnostní bilance vícesložkových soustav však může být o dost náročnější. Princip řešení je však vždy týž.

Je-li k dispozici jako surovina množina *M* různých směsných látek, jejichž složení je popsáno pomocí až *N složek*, přičemž celkový obsah složky K nalezený pro kteroukoliv směsnou látku *L* je *P(K,L)* a odpovídající celkový obsah složky K ve výsledné směsi je *VP(K),* pak platí:

P(1,1) × X(1) + P(1,2) × X(2) + ~ + P(1,M) × X(M) = VP(1),

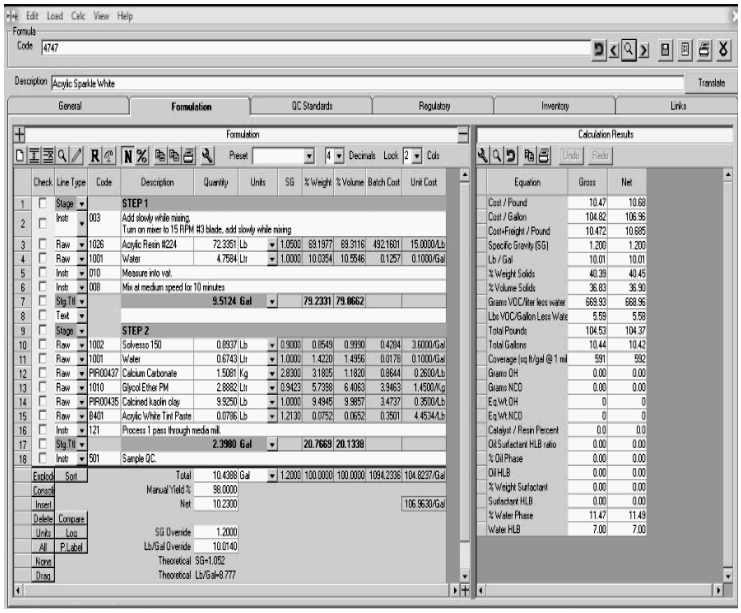
P(2,1) × X(1) + P(2,2) × X(2) + ~ + P(2,M) × X(M) = VP(2),

P(3,1) × X(1) + P(3,2) × X(2) + ~ + P(3,M) × X(M) = VP(3),

P(N,1) × X(1) + P(N,2) × X(2) + ~ + P(N,M) × X(M) = VP(N) ,

kde *X(L)* je hmotnostní zlomek odpovídající zastoupení látky *L* v celkové hmotnosti směsi.

Většinou se míchání složitějších směsí řeší v Excelu, nebo ve speciálních bilančních programech (zpravidla spojených s nějakou databází surovin a polotovarů). Pro účely výroby bilanční programy často obsahují i cenové údaje.




Obr. 6.4 Ukázka programu FORMULATOR, Software, LLC s cenovými údaji

### 6.1.4 Optimální formulace

Stabilní dále použitelnou směs lze vždy připravit s použitím různého množství stejných výchozích složek. Jednotlivé formulace se pak ve svých vlastnostech více či méně liší.

Pod pojmem *optimalizace* se ve formulačním inženýrství rozumí vyhledání optimálního množstevního zastoupení výchozích komponent.

Pokud pro některou z vlastností směsi platí, že se na její velikosti podílejí jednotlivé složky směsi nezávisle a že tato velikost je složena z příspěvků těchto jednotlivých složek, je taková vlastnost označována jako *aditivní*.

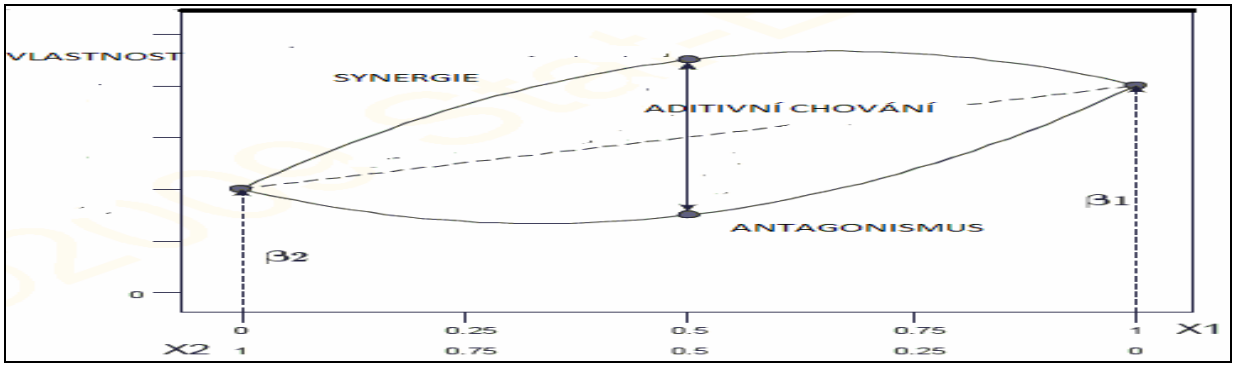
Jednotlivé složky v čistém stavu mají určitou hodnotu aditivní vlastnosti, kterou do výsledné směsi přinášejí ve velikosti odpovídající podílu, který ve směsi zaujímají.

V praxi se pro výpočet aditivní vlastnosti směsi používá směšovací pravidlo, podle kterého je výsledná vlastnost směsi tvořena součtem parciálních (dílčích) vlastností složek, přičemž parciální vlastnost složky je dána její původní látkovou vlastností vynásobenou objemovým (v některých případech plošným nebo hmotnostním) podílem této složky v materiálu nebo výrobku.

Úspěšnost aplikace směšovacího pravidla je různá. Zatímco výpočet průměrné objemové hmotnosti za použití parciálních objemových hmotností dává správné výsledky, výpočet finální pevnosti používající parciální plošné pevnostní příspěvky složek (podle jejich zastoupení v namáhaném průřezu) je velmi problematický, protože mikroskopické poruchy vznikající na styku různých složek působí jako koncentrátory napětí a zde následně vzniklé větší trhliny výslednou pevnost oslabují.

Směšovací pravidlo je pochopitelně nepoužitelné v případech ve kterých se přípravou směsného materiálu dosáhne účinku, který nelze získat samostatným použitím žádné ze složek směsi.

Celková hodnota příslušné vlastnosti je pak vyšší než prostý součet dílčích hodnot této vlastnosti v jednotlivých složkách. V takovém případě je tato vlastnost *synergická*. Pokud ve směsi dochází k oslabení některé z vlastností v důsledku vzájemného spolupůsobení alespoň dvou složek, jde o *antagonismus*.




Obr. 6.5 Schematické znázornění synergie a antagonismu

Stanovení optimálního zastoupení jednotlivých složek není triviálním úkonem. Posílení jedné žádoucí vlastnosti může být provázeno oslabením vlastnosti jiné.

### 6.1.5 Formulační experiment

Souhrn několika zkoušek, kterými studujeme více formulačních variant nebo zjišťujeme více vlastností se zpravidla označuje jako formulační experiment.

Dobrý návrh formulačního experimentu má:

a) využít předchozích znalostí a zkušeností při volbě faktorů a vymezování úrovní,

b) stanovit rozsah experimentu a druhy prováděných zkoušek,

c) dodat požadovanou informaci s minimální námahou.

S pomocí formulačního experimentu se řeší nějaký formulační cíl (kvalitativního nebo kvantitativního charakteru).

Komponenta, nebo skupina komponent, o které víme nebo předpokládáme, že má na výsledek formulační zkoušky určitý účinek, se označuje jako faktor.

Při formulačním experimentu buď měníme množství nebo jakost faktoru.

Faktory se dělí na 2 skupiny:

*Spojité faktory* - pro danou úroveň můžeme nastavit jejich libovolnou hodnotu (ve vymezeném pracovním rozsahu). Např. koncentrace složky.

*Diskrétní faktory* - pro danou úroveň můžeme nastavit konkrétní jednu hodnotu nebo status. Např. druh složky.

Určitému typu (druhu nebo jakosti) kvalitativního faktoru nebo množství u faktoru kvantitativního se říká *úroveň faktoru*. *Efekt faktoru* je změna výsledků pokusů při změně jeho úrovní.

Změna efektu při měnících se úrovních kombinace dvou nebo více faktorů se nazývá *interakce.*

Formulační benefit mohou přinést už jednofaktorové experimenty, ale s ohledem na možné interakční efekty se často přistupuje k experimentům vícefaktorovým.

*Experimental design* nebo též *design of experiment (DOE)* do češtiny překládaný jako *plánování nebo navrhování experimentů* je postup při kterém je v paralelně prováděných experimentech vyšetřován celý soubor faktorů.

Počet faktorů ve vícefaktorových experimentech bývá nejčastěji dva až pět, nedoporučuje se více než sedm faktorů, neboť provedení je časově i materiálově náročné a následná analysa takovýchto experimentů je již značně složitá.

Aby celkový počet pokusů v experimentu nebyl příliš velký, volíme nejčastěji pro každý faktor pouze dvě úrovně; potom mluvíme o experimentech typu $2^n$, které jsou dosti jednoduché a mají v praxi největší význam.

Méně obvyklé je již volit tři úrovně pro každý faktor, kde celkový počet pokusů tedy je $3^n$. Experimenty o více než čtyřech úrovních se již zpravidla neprovádějí.

Formulační experimenty lze provádět v laboratoři, kde je velká volnost pro změnu úrovní zkoumaných faktorů, jelikož formulované vzorky se po ukončení experimentu nemusí dále používat.

Jindy se experimenty provádějí v rámci již probíhajícího procesu a pak je nutno omezit se na relativně malé změny v jednotlivých krocích, jelikož použitelnost výrobku by měla být zachována.

Metoda malých změn procesních proměnných během běžného toku výroby se označují jako metoda *EVOP* (*evolutionary operation*). Změny prováděné touto metodou nejsou dostatečně velké, aby vedly k nevyhovujícímu produktu, ale jsou dostatečně významné pro určení další možné optimálizace.

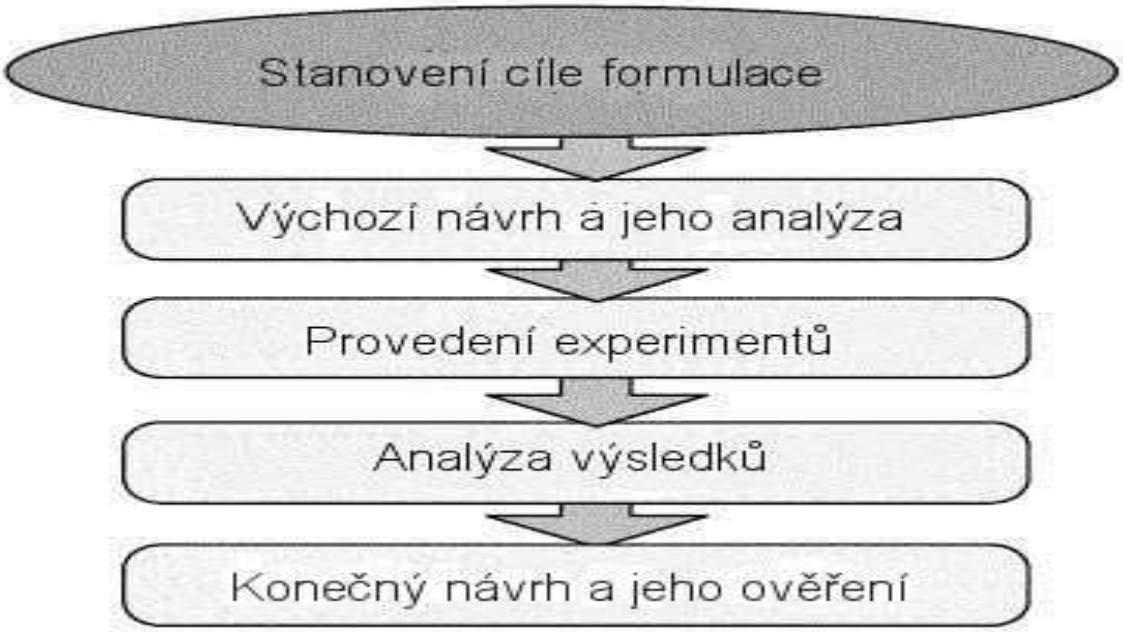
Zvláštním případem experimentu prováděného rámci běžící výroby je vynucená (nouzová) formulace vyvolaná potřebou reakce na nějaký akutní stav (např. nečekaný výpadek v dodávkách suroviny určité kvality).

Vynucené formulační změny je vhodné nejprve ověřit na *laboratorním modelu* výrobního zařízení a v něm co nejlépe simulovat podmínky panující při výrobě.

## 6.2 FORMULAČNÍ METODIKA

Na začátku každé formulačního experimentu je důvod proč se formulace bude provádět. Tento důvod je nejlépe formulovat jako kontrolovatelný cíl k němuž je třeba se co nejvíce přiblížit.

V souladu s tímto záměrem se s využitím informací, které jsou k dispozici formuluje výchozí návrh.




Obr. 6.6 Návrh a zpracování formulace – blokové schéma

Formulační postupy, které jsou používány v různých technických oborech, vykazují řadu styčných bodů.

S pomocí analogie lze přenést zkušenosti, získané při formulacích v jednom oboru, do oboru jiného a experimentální metodika používaná při optimalizaci formulačních návrhů je v podstatě společná pro všechny obory. Prakticky univerzální je i software používaný pro vyhodnocení optimalizačního postupu.

Širší teoretické zázemí potřebné k úspěšné formulaci se ovšem liší obor od oboru a ani vlastní realizace formulace není stejná.

Kupříkladu znalost vztahů mezi strukturou a pevností, důležitá při formulaci stavebních hmot, je nevýznamná při vývoji kosmetických přípravků a znalost kožních alergiím která je v kosmetice klíčová je pro formulátora stavebních hmot jen okrajovou záležitostí.

I když určitá povědomost o formulačních postupech používaných v jiných oborech je inspirující, musí kvalifikovaný formulátor disponovat i osobní formulační a aplikační zkušeností získanou právě v příslušném oboru.

Být se nějakým „všeoborovým“ formulátorem proto není možné. Jako životní profesi je nutné zvolit určité odvětví a v něm se specializovat na určité typy výrobků.

### 6.2.1 Výchozí návrh

Vlastní formulační proces může v zásadě probíhat dvojím způsobem. Buď se postupuje na základě předem stanoveného experimentálního plánu, který se vyhodnocuje jako celek, nebo se jednotlivé varianty volí postupně, na základě průběžně získávaných dat.

V obou případech je při provádění formulace nutné vycházet z nějakého výchozího návrhu.

Výchozí návrh (výchozí formulace) především specifikuje druh použitých složek. Zvolené komponenty je při tom účelné rozdělovat na *hlavní složky* (které jsou nositeli požadovaného účinku) a *pomocné složky* (které upravují snadnost manipulace, bezpečnost při použití a celkový dojem kterým výrobek působí).

Finální formulace by měla obsahovat optimální množství složek a musí být experimentálně ověřena v každém případě.

Má-li jít o výrobek, který bude hromadně vyráběný, bývá konečný výběr prováděn na základě ekonomické kalkulace.

Zjevně nejsnadnější je převzetí výroby nějakého osvědčeného receptu. Takový postup je nejsnáze uskutečnitelný při rozšiřování již zavedené výroby do dalšího vlastního závodu.

Teoreticky je sice v takovém případě výrobek beze změny převzít jako finální návrh a vyrábět přímo identickou repliku, ale v praxi mohou existovat rozdíly v použitém výrobním zařízení a některá know-how nemusí být úplně zřejmá. Ověření formulace a případně pokus o její optimalizace je proto žádoucí.

Stejně lze postupovat i při snaze o dodatečné zlepšení nějaké formulace již prakticky používané ve vlastní výrobě. Dosud používanou formulaci je možné považovat za výchozí návrh a při další optimalizaci postupovat stejně jako u nového výrobku.

Nelze sice předem říci, že provedené experimenty přinesou v tomto případě nějaký prakticky významný výsledek, ale u formulací vytvořených původně bez systematické optimalizace je možnost úspěchu poměrně vysoká.

Zvláštním případem náhrady je generikum. Spočívá v záměně některé klíčové složky za složku stejného složení, ale jiného původu (od jiného výrobce). S generickými přípravky se nejčastěji setkáváme ve farmacii.

I u dlouhodobě používané a úspěšné formulace může být mnohdy provedena *obměna* složení přinášející positivní efekt.

Ceny a dostupnost vhodných složek se mohou časem měnit. U vícesložkových výrobků tak vzniká prostor pro ekonomicky motivovanou formulační obměnu, spočívající v náhradě některé z pomocných komponent levnější složkou stejných vlastností.

Jako příklad jednoduché ekonomicky motivované obměny lze uvést změnu pigmentu v červenohnědém epoxidovém povlakovém tmelu tuzemské produkce, který se používal jako závěrečná vrstva při provádění laminátových izolací kvasných nádrží v pivovarských spilkách od počátku šedesátých let.

Červenohnědý odstín tomuto tmelu dodával přírodní okrový pigment dovážený z Francie. Náhrada původního okru stejným množstvím termické železité červeně z tuzemské produkce přinesla nemalé devizové úspory a vlastnosti tmelu přitom zůstaly zachovány. Původní odstín nebyl normalizován a nevelká odstínová změna byla zákazníky akceptována.

Formulaci s okrovým pigmentem přitom v žádném případě nelze označit za špatnou, nebo za odbytou z hlediska výběru vhodného pigmentu. Termické červeně Fepren se totiž na trhu objevily až v roce 1967.

Samozřejmě, že důvody k obměně mohou být i technické, kdy nahrazující složka je z nějakého důvodu účinnější než složka původní.

Původní výrobek však může sloužit také jenom jako podklad k tvorbě volné repliky ve které jsou originální složky původního receptu zčásti nebo úplně nahrazeny dostupnějšími surovinami, které jsou původním surovinám funkčně podobné.

Kromě plnohodnotných náhrad může v některých případech jít o méně kvalitní náhražky (používané zejména z ekonomických důvodů), jejich dopad na výslednou kvalitu je však třeba pečlivě zvažovat.

Otázka, zda obměněný výrobek má být uváděn na trh pod stejným jménem, je otázkou obchodní politiky výrobce.

V některých případech lze pro tvorbu výchozího návrhu využít výrobek z jiného oboru. Který v praxi plní analogickou funkci.

Při tvorbě kompilátu jsou při tvorbě výchozího návrhu používány informace z otevřených zdrojů.

Často se pro volbu úvodního množství nějaké složky používá doporučení výrobce příslušné komponenty. Tento způsob je běžný u aditiv vyráběných přímo pro určitý účel.

Nadužívání katalogového přístupu je typické pro „salonní formulátory“, kterým chybí vlastní formulační zkušenosti.

Zkompilovaná formulace nemusí být špatná, ale optimální (t. j. nejlepší) bude jen stěží. Nelze předpokládat, že bez dalšího experimentálně podloženého výběru bude plně využit synergický potenciál přítomných komponent.

Extenzivní aplikace takovéhoto přístupu sebou navíc nese *dortové riziko*. Směs „samých dobrých věcí“ dobrá být vůbec nemusí [Čapek,J.,1946].

Při tvorbě plagiátu jsou při tvorbě výchozího návrhu používány informace z nejrůznějších zdrojů. Nebývají to oficiální doporučení. V některých případech může jít i o důvěrné informace získané nestandardními postupy, v jiných případech o informace získané rozborem původního výrobku.

Vztah mezi původním výrobkem a plagiátem zůstává utajen. Legálnost použitých postupů se může případ od případu lišit.

K navrhování nové stavební hmoty se může přistupovat i na základě nějaké technické respektive technicko-ekonomické potřeby aniž by byl k dispozici nějaký inspirativní vzor. Představa k čemu má nový výrobek sloužit by měla být co nejpřesnější a potřeba zcela nového řešení zřetelná.

U nového výrobku se při optimalizace vychází z návrhu formulovaného na základě předchozí zkušenosti s vlastnostmi a používáním jednotlivých „čistých“ složek.

Není-li opravdu k dispozici nějaké řešení, které se už za stejných nebo podobných podmínek osvědčilo, je třeba navrhnout zkoušky a kriteria podle kterých se bude úspěšnost jednotlivých vývojových formulací hodnotit..

Množstevní zastoupení hlavních složek se výchozím návrhu volí s ohledem na požadovaný účinek v rámci fyzikálních a ekonomických limitů. Při dávkování pomocných složek se často postupuje na základě analogie s využitím předchozích zkušeností formulátora.

Jednoznačná konstrukce receptury na základě požadovaných vlastností sice možná není, existují však doporučení, které (zejména v některých odvětvích) představují výchozí vodítko při formulačních úvahách.

Kupříkladu při formulaci barev se při dávkování pevných složek vychází ze znalosti kritické objemové koncentrace jednotlivých pigmentů a jejich množství použité při formulaci se nastavuje na osvědčený zlomek z hodnoty této koncentrace.

Při práci s materiály obsahujícími řádově hrubší plniva jako jsou prefabrikované betonové a maltové směsi se při výběru jednotlivých zrnitých komponent snažíme o určitou zrnitost výsledné sypké soustavy.

Obvyklým způsobem výchozího zpracování ideového návrhu je pseudonáhodná volba množství komponent. Při tomto postupu se intuitivně volí několik variant výchozího návrhu a po určitém ověření se k další optimalizaci vybere nejlepší z nich.

Pokusy jsou přednostně navrhovány v takové oblasti, kde je očekáván dobrý výsledek. Tato oblast je dána zkušeností formulátora.

Tento postup je obviňován z toho, že je svévolný a že sebou nese riziko nalezení pouze lokálního extrému, ve skutečnosti se však vcelku dobře osvědčuje.

### 6.2.2 Analýza výchozího návrhu

Výchozí návrh má podobu jedné určité formulace (receptury), která má být v dalších krocích optimalizována a verifikována.

Každý výchozí návrh musí především splňovat legislativní požadavky (viz Obr.1.1 v kapitole 1).

Posouzení splnění příslušných předpisů je třeba věnovat náležitou pozornost ve všech případech. I v případě repliky může přebíraná receptura vykazovat závažné vady.

Pokud je výchozím návrhu přítomná nějaká nepřípustná složka (azbest, dehet) není účelné s takovou recepturou dále pracovat.

### 6.2.2.1 Výběr rozsahu faktorů

Další kroky se provádějí na základě úvahy ve které se rozhoduje o tom, které složky budou považovány za faktory s cíleně měněnou velikostí a jaká bude v experimentu minimální a maximální velikost jednotlivých faktorů.

K prvotnímu posouzení správnosti úvahy se používají malé (cca 100 g) vzorky namíchané zpravidla ručně v kelímku. Pokud není zapotřebí dispergace vysokoobrátkovým míchadlem je ruční míchaní takto malých vzorků vyhovující.

Kromě centrálního návrhu se stejným způsobem připravují další orientační vzorky ve kterých se ověřují minimální a maximální množství jednotlivých faktorů.

Chování jednotlivých vzorků se hodnotí více méně jen kvalitativně. Posuzuje se konsistence, dostatečná zpracovatelnost a případně i kvalita zatuhnutí (rýpáním šroubovákem).

Na základě získaných poznatků se plánuje příprava p vzorků pro výchozí experimenty, kde $p > n$ a n je počet faktorů.

S výhodou se dá použít ortogonální faktoriální plán typu $2^n$ ve kterém se využijí předpokládané hranice.

S minimem pokusů se tak získá maximální informace na kterou lze navázat sekvenční optimalizací.

### 6.2.2.2 Stanovení významné přesnosti

Přesnost, s jakou měníme poměr použitých komponent, by měla odrážet fakt, že se zpravidla nejedná o látky analytické čistoty. Jestliže obsah vlastní účinné složky je v nějaké komponentně zaručen s pětiprocentní přesností, nemá smysl při provádění optimalizačních experimentů volit jemnější krok, než odpovídá pětiprocentní změně vlastní účinné složky.

Je třeba mít stále na paměti, že schopnost spokojit se s právě postačující přesností je známkou vyspělého ducha.

V této souvislosti je vhodné zmínit negativní dopad, který má na technické myšlení studentů (a vlastně i nejen studentů) současné používání výpočetní techniky.

Zatímco logaritmické pravítko jaksi samočinně nutilo uživatele k zaokrouhlování, kalkulačka vypíše výsledek s maximální implementovanou přesností. To některé uživatele svádí k tomu, že za významné považují číselné rozdíly, které jsou ve skutečnosti zcela zanedbatelné a fakticky vlastně ani neexistují.

Určitý únik z pasti příliš přesných výpočtů nabízí integrace měřicí techniky s osobním počítačem. Programy pro zpracování digitálního výstupu z nějaké měřicí aparatury jsou dnes zpravidla opatřeny i nějakým (statisticky nebo normově podloženým) zaokrouhlovacím algoritmem.

Zda je nějaký číselně vyjádřitelný rozdíl ve vlastnostech formulovaných směsi významný by mělo být posuzováno vždy na základě statistické analýzy posuzující rozptyl naměřených hodnot srovnávané veličiny v jednotlivých formulacích.

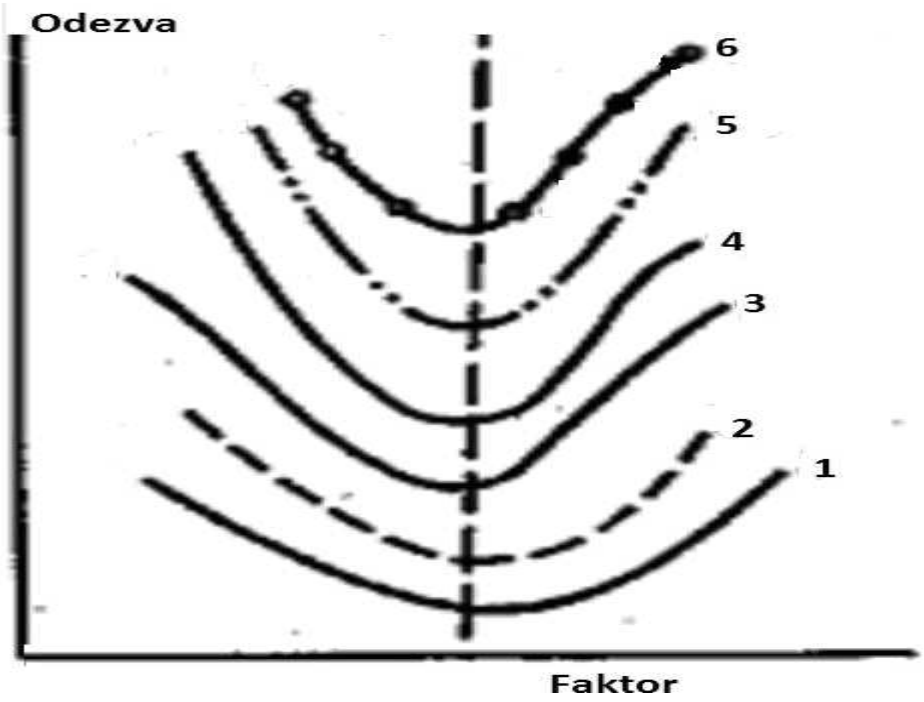
Statistickými metodami lze nalézt střední hodnotu, jež je nejlepším odhadem hledané veličiny, a příslušnou míru rozptýlení. Nejběžnější je výpočet směrodatné odchylky metodou nejmenších čtverců (viz Tab. 3.12 v kapitole 3).

Přítomnost . odlehlých měření. je velmi často podceňována a v řadě i docela renomovaných prací se může vyskytnout vylučování odlehlých hodnot tzv. „od oka“.

### 6.2.2.3 Výběr formulačních kriterií

Obecně se formulační experimenty provádějí proto, aby se nalezly faktory možného vlivu nebo aby se některé efekty optimalizovaly.

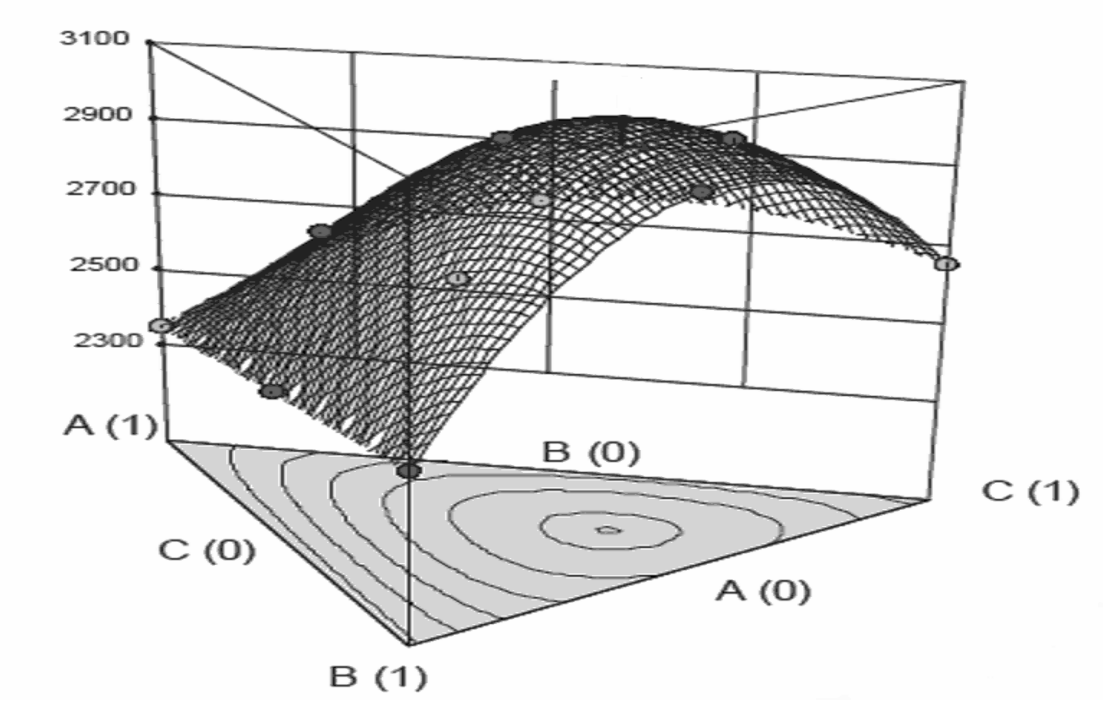
Při optimalizaci se údaje z experimentu užívají k zjišťování toho, v jakém vztahu je úroveň nějaké vlastnosti (odezva) k vybranému složení (úrovni faktoru).




Obr. 6.7 Palmetový zákon – zobrazení odezvy při jednofaktorových zkouškách šesti různých vlastností ´

Nalezená závislost určité vlastnosti (určitého kritéria) se prezentuje jako *odezvová křivka* nebo *odezvová plocha*.

V případě odezvových křivek získávaných při jednofaktorových experimentech, lze využít toho, že průběh křivek obdržených z podobných zkoušek je podobný (palmetový zákon) a provádět optimalizaci na základě jediné odezvové křivky jediného kritéria..




Obr. 6.8 Ukázka odezvové plochy ve vícefaktorovém experimentu

Odezvové plochy získané ve vícefaktorovém experimentu by se měly chovat podobně i když nalezení extrémní hodnoty bývá obtížnější.

S ohledem na zobrazitelnost či představitelnost průběhů možných vztahů většina formulátorů nerada opouští třírozměrný prostor.

Obrázek 6.8 ukazuje do značné míry ideální případ. Pokud má okolí extrému tvar měkké protáhlé rokle může pokus o optimalizaci selhat.

Při vyhodnocování efektu jednotlivých faktorů často nepostačí zvolit jako optimalizační kriterium jednoduchou fyzikální vlastnost (např. pevnost), ale musí se použít ukazatel komplexnější (složený z více vlastností s různou přidělenou vahou), který daný materiál charakterizuje dostatečně výstižně.(dostatečně komplexní kritérium).

Kupříkladu v případě pěnových hmot jsou příznivé (nízké) hodnoty objemové hmotnosti dosahovány na úkor pevnosti a jako základní optimalizační kriterium se proto nabízí určité vyvážení těchto dvou veličin.

K tomu je možné použít například koeficient nosnosti *Kn* používaný při hodnocení výrobků z autoklávovaného pórobetonu.

Označíme-li objemovou hmotnost kg.m$^{-3}$ $\rho_v$ a pevnost tlaku v MPa jako $\sigma_p$ pak:

$Kn = 100 . \sigma_p / \rho_v .$

U pórobetonu dosahuje *Kn* běžně hodnoty 0,4 – 0,6.

Při hledání optimální hodnoty zvoleného komplexního kriteria je samozřejmě nutné respektovat i hodnoty dílčích vlastností ze kterých je kriterium vytvořeno (nejlépe formou vhodných okrajových podmínek).

V případě polymerbetonových hmot používaných jako podlahoviny jsou samotné pevnostní zkoušky také jen málo přínosné, protože tyto hmoty pevnostní požadavky prakticky vždy splňují s rezervou.

Pro životnost podlahového souvrství je důležitější napjatost ke které dochází v důsledku objemových změn na kontaktu podkladu a podlahové vrstvy. Optimální jsou samozřejmě minimální hodnoty napjatosti.

Ve vytápěných nebo temperovaných objektech mají vyhovující životnost podlahové hmoty, které splňují Stennerovo kriterium:

$\alpha_t * E \leq 0{,}3$ MPa/K

kde $\alpha_t$ je koeficient lineární teplotní roztažnosti podlahové hmoty (1/K),

$E$ – modul pružnosti podlahové hmoty (MPa).

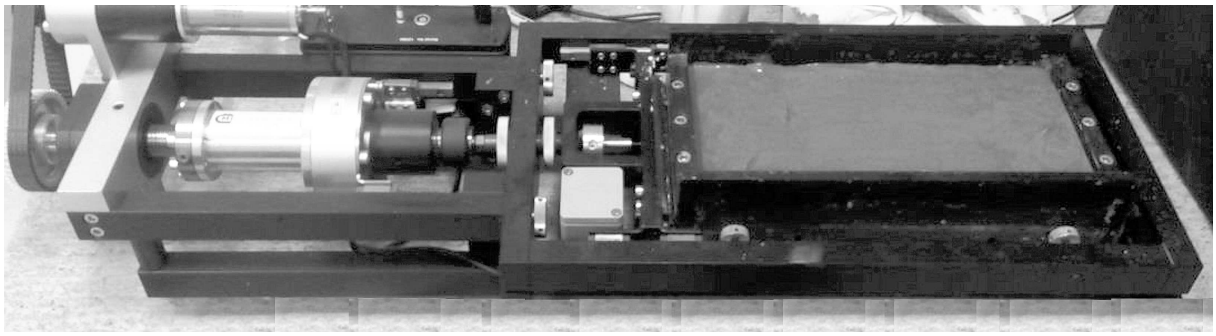
Je proto účelnější měřit modul pružnosti a koeficient lineární teplotní roztažnosti a kontrolovat hodnotu Stennerova kritéria.

Nejlepším způsobem hodnocení, umožňujícím posuzovat i exteriérovou životnost podlahových a povlakových vrstev, je proměření experimentálních formulací na tensografu.

Tensograf měří hodnotu napjatosti zjištěním velikosti síly potřebné k tomu, aby relativní podélná deformace měřeného zkušebního tělesa vzhledem k přístroji zůstala nulová.

Při teplotních změnách odpovídá zjištění napjatosti stavu, jaký je při aplikaci podlahoviny nebo vrstvy na betonovém podkladu.

Umístí-li se celé zařízení v klimatizační komoře, lze zjišťovat hodnoty napjatosti při zvolených teplotách, včetně účinku teplotního dotvrzení a zrání.



Obr. 6.9 Tensograf TGF 02 ( Coming Plus a. s.).

Tensograf byl do formulační praxe zaveden zhruba před třiceti lety [Fára, F., 1991], ale širšího uznání dosáhl až v nedávné době [Hrbáček, M., 2017].

V některých případech bývá provedení souboru normových zkoušek u finální formulace nepominutelnou podmínkou.

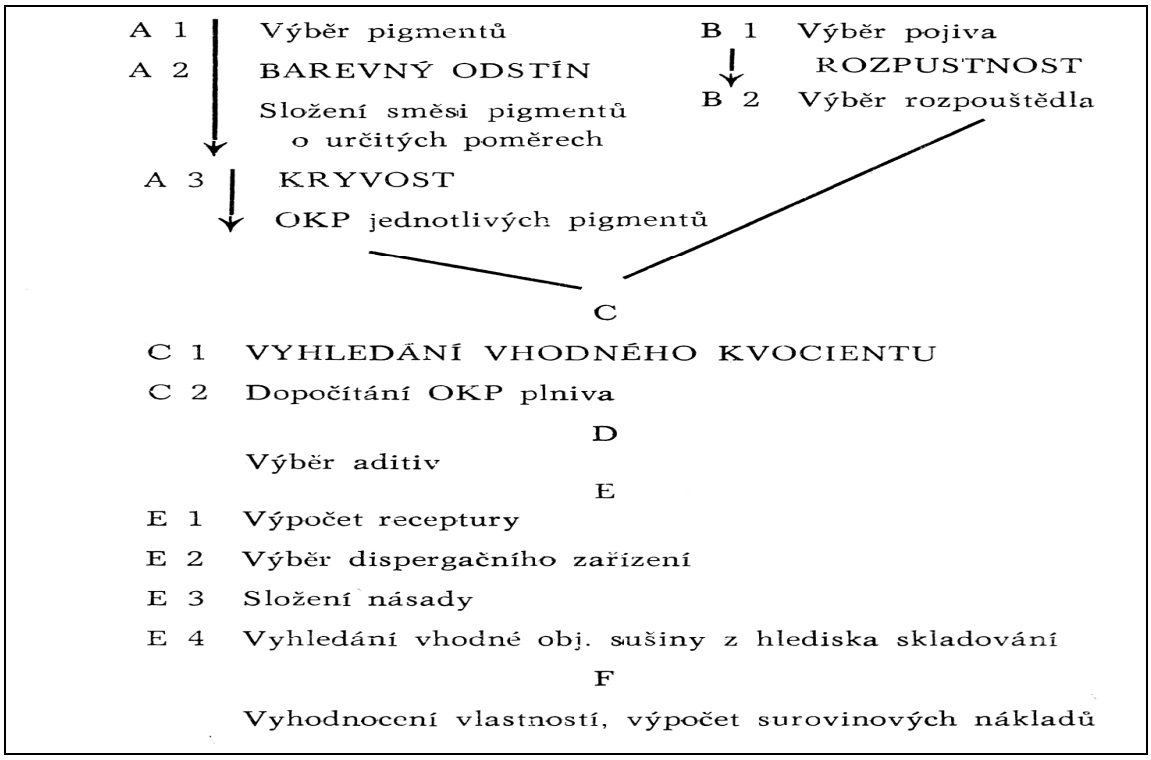
Tab. 6.1 Zpracování formulačního experimentu ve výrobně betonu

**Návrh skladby betonu**

1. **definování požadavků** (vliv prostředí, druh konstrukce, namáhání)
2. **volba složek** (druh cementu, zrnitost kameniva, příměsi), **návrh složení**
3. **experimentální ověření návrhu**
   - stanovení konzistence
   - úprava složení na požadovanou konzistenci
   - zkouška pevnosti
   - úprava složení na pevnost při zachování konzistence
   - stanovení definitivního složení

Tak tomu je kupříkladu při formulaci skladby betonu, kdy experimentální ověření poskytuje údaje požadované jako průkazní zkoušky.

Při formulaci barev se používá tradiční postup [Svoboda, B., 1967] vycházející ze dvou samostatných částí (A a B v obr. 6.10).




Obr. 6.10 Postup při tvorbě formulačního návrhu nátěrové hmoty

Část A je nutno řešit pro každý barevný odstín. Je jen málo závislá na druhu pojiva, takže je obvykle možné vycházet ze známého pigmentového složení dříve zavedená hmoty. Část B je společná pro všechny pigmentové kombinace. Část C se řeší jen pro 3 – 5 barevných odstínů a získané výsledky se použijí i na zbývající pigmentové směsi. V části D jsou společné operace: výběr sikativu, protiškraloupovací přísady, prostředků proti usazování, nebo plování pigmentů.

Finální návrh složení je však vždy žádoucí otestovat v plném rozsahu dostatečně charakterizujícím všechny vlastnosti výrobku.

### 6.2.3 Provedení experimentů

Provedení experimentů má za cíl především potvrdit reálnost a smysluplnost výchozího návrhu. Téměř vždy zároveň představuje pokus o optimalizaci tohoto návrhu.

Výsledná formulace se pak vybírá na základě experimentů s obměňovaným zastoupením některých složek. S výhodou se k plánování těchto experimentů používá některý z obecně použitelných optimalizačních algoritmů.

Obvykle je třeba sledovat více faktorů. Důležité je nepominout žádný dostatečně vlivný.

K vytvoření smysluplné optimalizace je v každém případě zapotřebí rozumný inženýrský přístup, který často chybí pracovníkům s univerzitním vzděláním.

#### 6.2.3.1 Jednofaktorová optimalizace

Nejjednodušší formulací, se kterou se v praxi setkáváme, je pouhá úprava koncentrace nějaké aktivní látky přidáním inertní pomocné látky.

Takový nejmenší možný experiment je pak vlastně testováním jednoho faktoru ve dvou úrovních.

Homogenizovaná směs aktivní složky a zvýšeného množství složky inertní (zředěná směs) usnadňuje dávkování aktivní složky. Přítomná inertní složka tlumí rychlost případné chemické reakce aktivní složky při další aplikací a zvyšuje bezpečnost při manipulaci s aktivní složkou.

Přes jednoduchost této operace může být formulační výsledek pozoruhodný. Tak kupříkladu velmi úspěšný sanitární přípravek (SAVO original) není nic jiného než zředěný roztok technického chlornanu sodného (koncentrace NaClO činí cca 5 %).

Při úpravách tekutosti, zpracovatelnosti, či reologického chování vůbec, je účinek přidávaného ředidla či zahušťovadla viditelný „na první pohled“ což formulaci výrazně zjednodušuje.

Takto jednoduché přípravky se někdy obarvují nebo parfémují. Přísada barviva nebo vůně může přípravku pomoci k vytvoření image formulované speciality.

Tímto postupem vzniklo kupříkladu maloobchodní balení jednoho „univerzálního penetračního prostředku“, které obsahuje nejběžnější styren-akrylátovou disperzi zředěnou vodou v poměru 1 : 5 a obarvenou trochou organického barviva na světle modrou barvu.

Barvení nebo parfémování má zcela jistě především obchodní důvody. Avšak v žádném případě nelze takovéto úpravy považovat jen za klamavou obchodní praktiku.

Při použití může zpracovatelům obarvení pomoci při identifikaci výrobku, který byl přemístěn do neoriginálního obalu, nebo byl skladován v obalu s nečitelnými údaji. Práce s barevným a voňavým výrobkem může být i subjektivně příjemnější.

Přidávaná látka samozřejmě nemusí být jen látkou inertní nebo pomocnou. Může být i složkou hlavní nebo látkou se synergickým účinkem.

Pokud změna sledované vlastnosti není vyhodnotitelná okamžitě po jejím provedení, respektive je-li k získání výsledku potřebný nezanedbatelný čas, provádí se obměna dávkování v několika paralelních experimentech, které se vyhodnocují dodatečně.

Systematická změna dávkování jedné jediné složky bez jakéhokoliv zásahu do vzájemného poměru složek ostatních je tradičním experimentálním postupem vyjádřený latinským úslovím *ceteri paribus* (ostatního stejně).

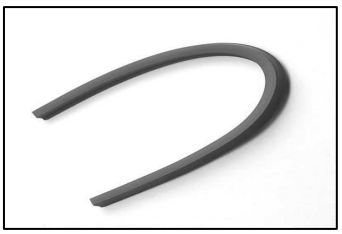
Získanou výsledkovou množinu (křivku) můžeme interpolovat pomocí spojité funkce. Často vyhoví proložení experimentálně získaných bodů funkcí získanou pomocí kvadratické interpolace.

Programy pro kvadratickou interpolaci jsou běžné, příslušný algoritmus je kupříkladu dobře dostupný v Matlabu. Kromě kvadratického polynomu je možné k interpolaci samozřejmě možné použit i jiné funkce.

Jakmile je k dispozici uspokojivá interpolační funkce, je možné určit její extrémní hodnotu (formulační optimum) na základě první derivace.

Je však samozřejmě nutné, aby ve vyšetřovaném oboru nebyla dotyčná funkce monotónně klesající nebo stoupající.

Obecnější postup pak představuje iterace, postupná optimalizace, při které další experimentální body křivky volíme na základě porovnání úspěšnosti předchozích experimentů.



Obr. 6.11 Tvarovatelné křivítko

Pro výběr bodů pro postupnou optimalizaci je k dispozici několik osvědčených metod (půlení intervalu, zlatý řez a Fibonacciho algoritmus).

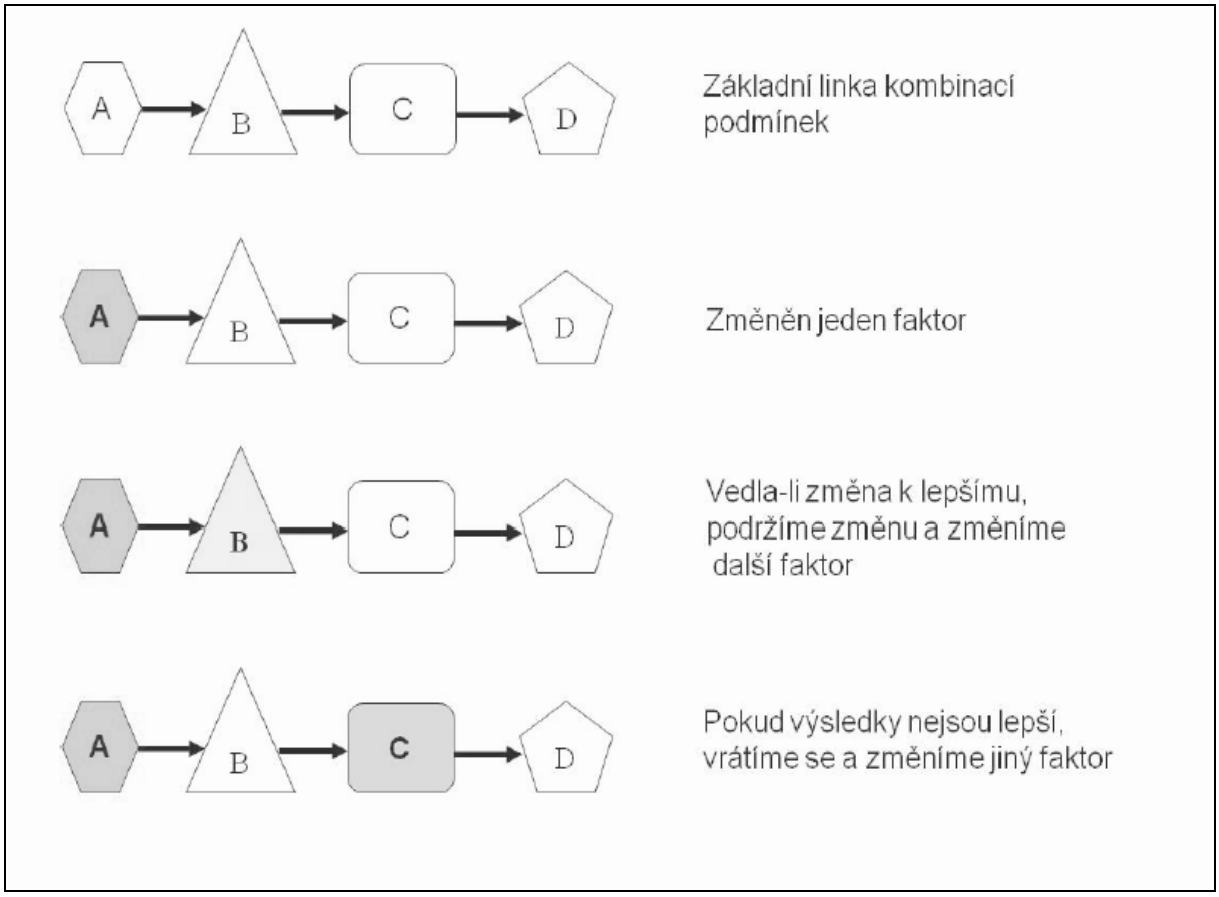
Matematický postup lze obejít grafickým ("inženýrským") způsobem. Experimentálními body proložíme "od oka" (nejlépe s pomocí tvarovatelného křivítka) plynulou spojnici a odečteme viditelný extrém.

Ať už je extrémní bod získán jakýmkoliv způsobem, vždy je třeba ověřit skutečné vlastnosti formulace v tomto bodě.

### 6.2.3.2 Opakovaná jednofaktorová optimalizace

Směs optimalizovanou z hlediska jedné složky je dále možné optimalizovat postupným měněním další složky

.




Obr. 6.12 Princip optimalizace po jednotlivých složkách

Metoda optimalizace po složkách je tedy tvořena postupnou aplikací jednofaktorových optimalizací.

Po získání optimální odpovědi na jeden faktor, zachováme jeho nalezenou hodnotu a snažíme se optimalizovat další faktor.

I když tímto způsobem je možné výrazně zlepšit vlastnosti příslušné kompozice, výsledné řešení nemusí být skutečným optimem, protože při optimalizaci po složkách není dostatečně vyšetřována interakce (synergie) složek.

### 6.2.3.3 Vícefaktorová optimalizace

Obecnější optmalizační postup představuje společná optimalizace více složek. Nejméně dva faktory měníme současně a další experimentální body volíme na základě porovnání vzájemné úspěšnosti předchozích experimentů.

Pro navrhování postupu vícefaktorové optimalizace existuje celá řada algoritmů. Žádný z nich však není všemocný. Nelze proto doporučit jediný obecný algoritmu.

Logické je hledat vhodný algoritmus mezi běžnými postupy a vybírat takový postup, se nám jeví jako účinný a se kterým máme dostatečné zkušenosti.

Na výběr přitom máme postupy k provádění celého optimalizačního experimentu naráz (metody plánování experimentu), nebo postupně (metody sekvenční optimalizace).

Nevhodně volený výchozí návrh se špatně zvolenými faktory nemůže být úspěšně optimalizován žádným způsobem.

#### 6.2.3.3.1 Plánování experimentů

Při působení více faktorů se často jeví jako účelné vyšetřovat vliv změny kombinace faktorů nezávislými experimenty v celé síti pečlivě naplánovaných experimentálních bodů.

Nezávislostí experimentů se přitom rozumí skutečnost, že výsledky získané v jednom bodě neovlivňují umístění dalšího experimentálního bodu což umožňuje provádět experimenty s více body současně (paralelně).

Pečlivé naplánování se provádí tak, aby získané výsledky bylo možné statisticky zpracovat jako celek. V ideálním případě musí tento celek obsah všechny kombinace uvažovaných faktorů a jejich úrovní.

Celkový počet všech možných kombinací (full factorial design) při daném počtu faktorů n ve 2 úrovních vypočteme jako $2^n$. Pro 3 faktory ve 2 úrovních platí $2^3 = 8$, pro 7 faktorů ve 2 úrovních $2^7 = 128$ a pro 15 faktorů ve 2 úrovních $2^{15} = 32\ 768$.

Je zřejmé, že formulační experimenty není možné provádět v takovém rozsahu.

Z tohoto důvodu sestavil Taguchi sadu speciálních tabulek, podle kterých lze v rámci statistických pravidel provádět pouze malou část z celkového poctu možných experimentu.

Ověřovací testy jsou nedílnou součástí Taguchiho metody. Těmito testy je třeba ověřit, že závěry z analýzy výsledků jsou správné.

Metoda faktorových pokusů je značně citlivá na kvalitu vstupních parametrů. Je vhodná zejména tam, kde se pracuje s velkým množstvím dat kvantitativního charakteru, které lze (alespoň v principu) přiřadit k určitým bodům spojitých funkcí přičemž průběh těchto funkcí není znehodnocen neúměrně velkou chybou měření.

Při návrhu složení formulované směsi s pomocí faktorových pokusů je třeba předem sestavit matematický plán experimentu, zachycující možné kombinace různých úrovní sledovaných faktorů a popřípadě ke snížení chyby použít opakování experimentů. Při sledování většího množství faktorů pak počet potřebných experimentálních formulací velmi rychle narůstá.

Vyšší faktorové pokusy pracují na principu analýzy rozptylu pomocí součtů čtverců.

Celkovou proměnlivost ($S_0$) – reprezentovanou součtem čtverců odchylek jednotlivých pozorování od celkového průměru – rozdělíme na samostatné složky ($S_i$), příslušející jednotlivým faktorům.

Postupně šetříme interakce mezi jednotlivými faktory a to na všech úrovních (od dvou faktorů postupně až k (n-1) faktorů).

Nakonec zbude tzv. reziduální (zbytková) proměnlivost ($S_r$), která je způsobená nesledovanými a nezachytitelnými, náhodnými vlivy. Významnost jednotlivých faktorů získáme podílem proměnlivosti daných faktorů s reziduální složkou.

Na základě celkového šetření výsledkového pole je možné provést následný výběr případně nalezených interakcí k dalšímu detailnějšímu posouzení.

Výsledkem takto prováděné analýzy není přímo konkrétní optimalizovaná formulace. Získané výsledky jsou pouze vodítkem pro určení faktorů jejichž současná změna (respektive vzájemně vázaná změna) představuje racionální cestu k dosažení optima.

Navrhování experimentů je v podstatě strategie pro provádění experimentů, která počítá s okolními, experimenty provázejícími podmínkami.

Tato strategie bere v úvahu, že studium některých faktorů v izolovaných podmínkách, kdy se všechny další faktory udržují „konstantní" úrovni, obvykle nereprezentuje to, co se s těmito faktory děje v „reálném" světě, kde se současně mění řada věcí.

Při navrhování experimentu je nezbytné omezit vychýlení (zkreslení) vnášené okolními podmínkami.

Oblast „faktoriálních experimentů" se zabývá vzájemnými vztahy mezi mnoha faktory, které experimentátora zajímají. Časově oddělené studie jednotlivých faktorů mohou být za jistých okolností užitečné pro odhalení podstaty určitého faktoru, často však mohou být zavádějící,

Neznámé vzájemně působící efekty mohou být zdrojem selhání. Postupy uspořádávání do „bloků", „neúplných bloků", „latinských čtverců", „dělených oblastí" a „znáhodněním" se snažíme minimalizovat nežádoucí efekty těchto rušivých prvků.

Faktoriální experimenty mohou být uvažovány se dvěma verzemi neboli úrovněmi každého faktoru, což sice omezuje interpretaci na lineární vztahy, ale může to být dostačující pro „třídění", aby se určilo, zda se má faktoru věnovat zvláštní pozornost.

Lze rovněž zavést tři nebo více úrovní neboli verzí, aby se umožnil odhad „křivkových" efektů. Rozsah experimentu má zřejmý význam pro jeho účinnost a „dílčí replikace", ve významu výběru určité části z úplného faktoriálního experimentu, je vysoce hodnotná.

Pro vyhledání těch faktorů, které nejvíce ovlivňují skutečné změny, může být vysoce účinný „třídicí" experiment používající pouze několik dílčích replikací.

Pro uplatnění faktorové analysy je třeba, aby výsledek zkoušek bylo možno kvantitativně vyjádřit.

Záměrem experimentů je ověřit možnost postupného šetření výsledkového pole s následným výběrem případně nalezených interakcí k dalšímu detailnějšímu posouzení.

K výhodám tohoto přístupu k zjišťování možností racionální formulace patří možnost kombinovat kvalitativní i kvantitativní faktory a možnost základního posouzení interakční vazby mezi více faktory při únosném počtu experimentálních formulací.

Zpracování experimentálních dat lze zřejmě vcelku dobře realizovat s použitím univerzálního tabulkového kalkulátoru typu Excel nebo Lotus, tedy bez nároků na speciální programové vybavení.

Na závěr je třeba připomenout, že statistické metody vždy vycházejí z určité zvolené pravděpodobnosti a výsledky tedy vždy obsahují určitou nejistotu. Kvalitní výsledky regresní analýzy lze získat pouze s kvalitními daty. Kvalita dat je důležitější než sofistikovanost vyhodnocovacího postupu.

#### 6.2.3.3.2 Sekvenční optimalizace

Optimální složení kompozice se určuje postupně na základě výsledků získaných s předchozími formulacemi. K určení směru následné optimalizace se používají různé metody gradientní nebo komparativní.

Z častěji používaných gradientních metod je možné jmenovat metodu největšího spádu, metodu Gauss - Seidelovu, Marquardtovu, Hooke - Jeevesovu a Rosenbrockovu.

Gradientní charakter mají i nejnovější optimalizační postupy, jako jsou genetické algoritmy a metoda simulovaného žíhání.

Komparativní optimalizace má do značné míry charakter přímého hledání. Celý postup připomíná hru „Přihořívá – Samá voda“. Příslušná změna se provádí vždy na základě komparace - vyhodnocení úspěšnosti předchozích úprav.

Nejvýznamnějším sekvenčním optimalizačním postupem používaným v současnosti ve formulačním inženýrství je zřejmě metoda flexibilního simplexu.

Tato komparativní metoda spočívá v úpravách polohy, orientace a podoby virtuálního pravidelného vícerozměrného mnohoúhelníku (simplexu), jehož vrcholy jsou tvořeny kombinací optimalizovaných parametrů. Tyto úpravy se provádějí na základě hodnot optimalizačního kriteria zjištěných v jednotlivých vrcholech.

Podstatou metody jsou pravidla podle kterých se mění poloha, rozměry a orientace celého simplexu a tím i hodnoty optimalizovaných parametrů.

Původní simplexová metoda pracující s pevnou velikost simplexu se dnes již nepoužívá.

Celý průběh optimalizačního postupu je založen na čtyřech operacích, spočívajících v lineární transformaci počátečního simplexu.

Po vyhodnocení funkčních hodnot v jednotlivých vrcholech se zruší vrchol **W** s nejméně příznivou hodnotou optimalizované funkce a na přímce určené tímto rušeným bodem a těžištěm zbývajících bodů (centroidem) se zřizuje nový bod.

Tento nový bod **R** se vytváří na opačné straně vůči centroidu, přičemž absolutní hodnota jeho vzdálenosti od centroidu se od původní vzdálenosti mezi centroidem a rušeným bodem se může lišit v důsledku úpravy vhodným simplexovým koeficientem. Tato operace se nazývá odraz (reflexe).

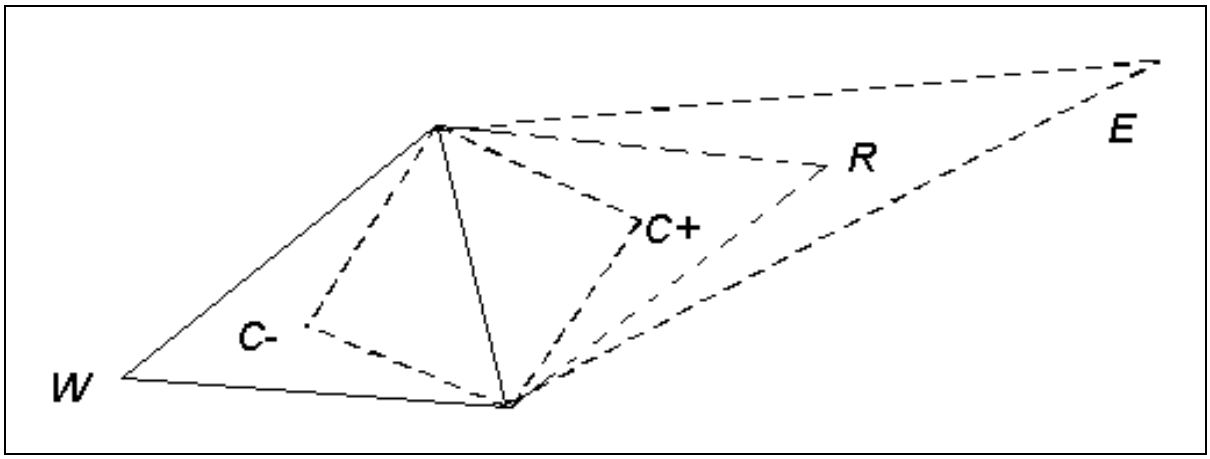
Podle úspěšnosti této operace, následuje buď prodloužení (expanze) poskytující bod **E**, nebo zkrácení (kontrakce) nově vzniklého vektoru poskytující bod **C+**.

Koncový bod nejlepšího z takto získaných vektorů spolu se zbylými body původního simplexu vytváří další simplex. Je-li to nutné k získání vrcholu s příznivější hodnotou, provede se reflexe zkráceného vektoru na bod **C-** a celý simplex se popřípadě v dalším kroku zmenší (redukce) vytvořením příslušných bodů.

Opakováním tohoto postupu se dosahuje toho, že se otáčený, překlápěný a pulzující simplex některým ze svých vrcholů přibližuje k hledanému bodu. V jeho blízkosti pak dochází častěji ke zmenšení simplexu a tím k detailnějšímu vyšetření okolí optima.

Metoda flexibilního simplexu je dnes obecně považována za nejschůdnější metodu pro přímé hledání extrému vícerozměrné funkce. Je proto součástí řady univerzálních statistických balíků.

Osvědčuje se i v těch případech kdy stanovení minima na základě nulové hodnoty první derivace je nepoužitelné kvůli neznámému funkčnímu průběhu, nebo riziku prakticky nesmyslných výsledků (takovým výsledkem může být třeba záporná hmotnost navážky).




Obr. 6.13 Geometrická interpretace optimalizačních operací pro dvourozměrný simplex (W – nejhorší hodnota výchozího trojúhelníku, R – hodnota po reflexi, E – expandovaná hodnota reflexe, $C_+$ hodnota po kontrakci reflexe, $C_-$ reflektovaná kontrakce)

Pro úlohy řešené ve formulačním inženýrství je charakteristické, že proměnné veličiny (faktory) jsou numericky vymezeny do určitých reálných hranic.

Toho je třeba využít při tvorbě výchozího pokusného schématu (výchozího návrhu) tak, že první simplex sestavíme prakticky jen základě kombinací horních a dolních mezí jednotlivých proměnných a nutných kombinací „vnitřních“.

Tím se pokryje celý operační prostor simplexové optimalizace a usnadní se volba nového pokusu vyloučením některého z jinak možných čtyř návrhů (obvykle vyloučením **E** nebo **R**). Tento postup zároveň umožní používat v počátečních stadiích optimalizace dostatečně velký krok.

Ve srovnání s pokusnými schématy plánovaných experimentů obsahujících $n^2$ prvků je výchozí simplexové schéma řádu n+1 výhodnější.

Kromě toho základní čtvercové schéma plánovaného experimentu přináší pouze (mnohdy ne zcela spolehlivou) informaci o významnosti a směru vlivu jednotlivých faktorů. K nalezení optima jsou zapotřebí další experimenty.

Simplexová metoda poskytuje naopak reálnou možnost dosáhnout významného zlepšení výsledků již prvními pokusy. Při prakticky prováděných formulacích dochází k vymezení optimální oblasti aniž by počet pokusů musel výrazněji přesáhnout 2 n.

### 6.2.4 Analýza výsledků

Zatímco výchozí návrh je především otázkou příležitosti, zkušenosti, analogie a někdy i šťastného nápadu, proces jeho dalšího zdokonalování je v podstatě optimalizační úlohou, která je ovšem často následována nějakým výběrovým řízením, protože množina získaných výsledků prostě jednoznačné optimum nevykazuje.

K hodnocení celkového benefitu je možné použit srovnávání výhod a nevýhod jednotlivých řešení pomocí vícekriteriální analýzy.

Tab. 6.2 Postupové schéma výběrového řízení na základě vícekriteriální analýzy

| | |
|---|---|
| ***Krok 1.*** | Stanovení ***cíle*** rozhodování |
| ***Krok 2.*** | Vyčlenění ***množiny variant*** $A = \{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$ a ***množiny kritérií*** $C = \{f_1, f_2, \ldots, f_m\}$ |
| ***Krok 3.*** | ***Dílčí vyhodnocení*** (uspořádání, změření) všech variant podle jednotlivých kritérií |
| ***Krok 4.*** | ***Agregace dílčích hodnocení*** do výsledného celkového hodnocení a ***výběr „optimální“ varianty*** |

K realizaci obecného schématu vícekriteriálního hodnocení se dnes používá celá řada technik.

Klasickým postupem je metoda párového hodnocení Fullerovým trojúhelníkem a velmi oblíbená je Saatyho modifikace této metody.

V případě formulovaných hmot má však často konečné výběrové řízení prostý charakter ekonomické rozvahy, kdy jediným kriteriem jsou výrobní náklady.

Je sice možné vložit cenu jako jedno z výběrových kriterií mezi kriteria ostatní, ale tento způsob se spíše nedoporučuje. Realisticky stanovená váha ceny totiž všechna ostatní kriteria „převálcuje“.

### 6.2.5 Konečný návrh

Receptura vybraná jako konečný návrh musí být především pečlivě experimentálně ověřena zda vykazuje všechny vlastnosti na požadované úrovni a splňuje formulační cíl. To je důležité zejména tehdy kdy byla optimalizace prováděna jen s částí kriterií.

U konečného návrhu je dále třeba dořešit všechny technické záležitosti související s uvedením výrobku na trh (kupř. druh a velikost balení) a zpracovat potřebnou dokumentaci (produktový a bezpečnostní list).

Zejména je třeba dbát na dodržení všech požadavků REACH podle zákona o chemických látkách.

Úspěšnou ověřovací výrobou (realizací formulace) formulační proces v podstatě končí.

## 6.3 REALIZACE FORMULACE

Formulované hmoty vždy obsahují více než jednu složku. Praktická realizace formulace spočívá ve společném zpracování odpovídajících podílů všech složek do konečného výrobku.

Zpracování může mít podobu jednoduchého promíšení nebo společného mletí u pevných složek a míšení (míchání) vedoucího k rozpouštění či dispergování u složek kapalných, nebo kapalných a pevných.

S růstem viskozity soustavy způsobené vyšším podílem tuhých látek až do těstovité konzistence systému přechází míchání v hnětení - homogenizaci pastových, krémových nebo těstovitých směsí.

### 6.3.1 Kapalné směsi

Zdaleka nejjednodušší je příprava formulovaných hmot v podobě homogenních roztoků navzájem dobře mísitelných látek.

Obrázek 3.1 (v kapitole 3.1.4) názorně ukazuje vzájemnou mísitelnost vybraných kapalin.

O vzájemné mísitelnosti látek rozhoduje tak zvaný *parametr rozpustnosti*, který je úzce spjat s polaritou dané látky vyjádřenou hustotou kohezní energie.

Při přípravě dobře tekutého laboratorního vzorku stačí k přípravě homogenního roztoku pečlivé ruční promíchání.

U laboratorních formulací viskóznějších hmot přijde vhod kuchyňský robot, nebo míchací nástavec k elektrické vrtačce s regulací otáček. Existují samozřejmě i speciální laboratorní míchadla, nebývají však nezbytná.

V průmyslovém měřítku se ke smísení vzájemně mísitelných kapalin používají míchací zařízení opatřená í vrtulovým, rámovým nebo kotvovým míchadlem. Někdy jsou vybavena i ohřevem míchací nádrže ke snížení viskozity míchané směsi.

Návrh vhodného míchacího zařízení je komplexní úlohou z oboru chemického a strojního inženýrství. Příslušný návrh musí obsahovat návrh velikosti a geometrie mísicí nádoby, typ a konkrétní provedení míchadla, provozní otáčky a potřebný příkon míchacího pohonu. Vyřešen musí být i způsob plnění a vyprazdňování míchací nádoby.

Výběr vhodného typu míchadla závisí především na viskozitě míchané směsi.

Orientační rozsah vhodného použití jednotlivých typů míchadel uvádí následující tabulka [Stręk, F.,1977] .

Tab. 6.3 Míchadla pro kapalné směsi

| Typ míchadla | Viskozita směsi [Pa.s] |
|---|---|
| Kotvové | 0,1 – 3 |
| Vrtulové | 0,001 - 10 |
| Turbinové s rovnými lopatkami | 0,001 - 50 |
| Lopatkové | 0,1 - 50 |
| Rámové | 1 - 100 |
| Šnekové | 5 - 300 |
| Pásové | 10 - 3000 |

Velmi dobré poklady pro návrh míchacích zařízení lze nalézt v souboru starších technických norem ČSN 6910xx a ON 6910xx.

Na základě těžko srozumitelného rozhodnutí tehdejšího vydavatele (Český normalizační institut) byly všechny tyto normy v roce 2003 bez náhrady zrušeny. Dnes tedy patří mezi tak zvané neplatné normy.

V současnosti je vydavatelem norem Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, který umožňuje i nadále tyto normy zakoupit v tištěné podobě.

Renomovaní výrobci míchacích zařízení používají k vytvoření individuálního návrhu míchacího zařízení speciální software a při fyzické realizaci konstrukce používají vlastní skladebné prvky. I tak může být zhotovení míchacího zařízení na zakázku poměrně nákladné.

Výhodnější může být vybrat nějaký „katalogový“ míchací stroj, který je pro zamýšlený účel vhodný.

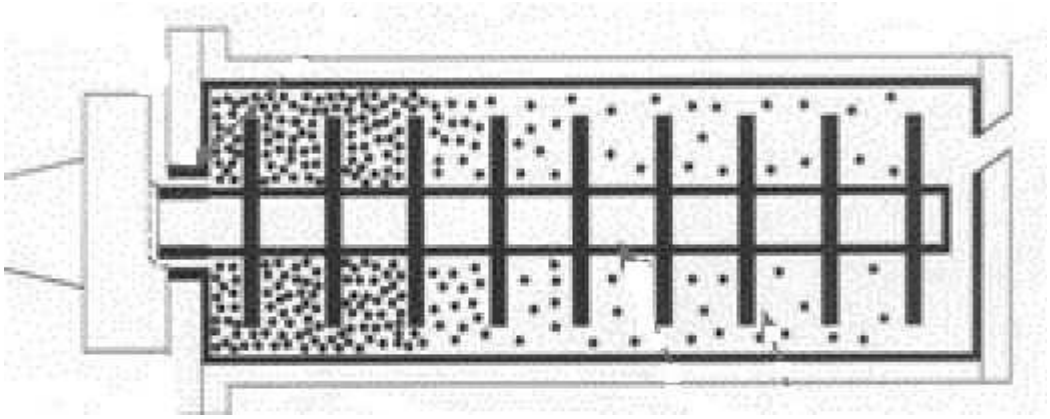
Pokud je mísitelnost či rozpustnost problematická, uchylujeme se při formulaci k tvorbě disperzí nebo emulzí. Při jejich přípravě se uplatňuji zařízení s dispergačním účinkem (vysokoobrátková zubová míchadla, perlové mlýny a kalandry). Nejčastěji se používají míchadla s obvodovou rychlostí 10 – 25 m. $s^{-1}$ .

Turbínové míchadlo může mít oběžné kolo otevřené nebo uzavřené. Lopatky mohou být rovné nebo zahnuté proti směru otáčení. Turbinové míchadlo má desítky až stovky otáček za minutu.

Vrtulové míchadlo je tvořeno vrtulí se 2, 3 i 4 listy. Počet otáček je volen dle viskozity kapaliny v rozmezí 400 - 1500 ot.min-1.

Diskové (zubové) míchadlo je tvořeno kruhovým diskem na okraji opatřeným zuby, které je umístěno v ose míchané nádoby.

Při výrobě barev se k dispergaci pigmentů používá perlový mlýn ve kterém se společně se směsí pigmentu a pojiva dispergačnímu procesu podrobují pomocná mlecí tělíska (perličky) o velikosti 0,5 – 3 mm, které se po dispergaci oddělují na kovových sítech. K největší dispergaci dochází v rozmezí 800-1500 otáček/min v oblasti mezi obvodem mlecích disků a pláštěm mlýna.



Obr.6.14 Schéma perlového mlýnu

Formulované produkty obsahující kapalné medium a nerozpustnou pevnou složku mohou mít podobu těstovitých hmot a past. K usnadnění jejich přípravy se někdy používá zvýšená teplota, která způsobí snížení viskozity míchané soustavy a usnadní promíchávání či dispergaci.

Pro predikci účinku zvýšené teploty na viskozitu lze postupovat tak, že se změří viskozita při dvou hraničních teplotách a viskozita uvnitř tohoto teplotního rozmezí se zjišťuje na základě Arrheniovského vztahu.

Zvýšená teplota se používá také k usnadnění rozpouštění přidávané pevné látky kapalin při přípravě homogenního roztoku pevné látky,

Kapalné formulované hmoty nemusí být ovšem tvořeny jen homogenními roztoky. Velké uplatnění mají i polymerní disperze (typu olej ve vodě) nebo hmoty obsahující dispergované pevné částice (pigmenty).

### 6.3.2 Zrnité směsi

Zrnité látky mohou být konglomerátem několika chemických látek. Z tohoto důvodu obvykle bývá za složku směsí považován soubor částic, které mají při dynamických operacích stejné chování. Jednotlivé složky jsou tedy charakterizovány rozměry, tvarem, kvalitou povrchu a hmotností částic.

Za homogenní je považována taková zrnitá směs, kde jsou částice různého chování rovnoměrně rozděleny v celkovém objemu směsi.

#### 6.3.2.1 Suché zrnité směsi

Ve stavebnictví jsou poměrně běžné suché zrnité směsi. Míchání suchých směsí se často označuje jako mísení.

Při mísení probíhají následující pochody:

•Smykové mísení – tvorba ploch v celkovém objemu soustavy, po kterých částice klouzají a tím se navzájem přemisťují

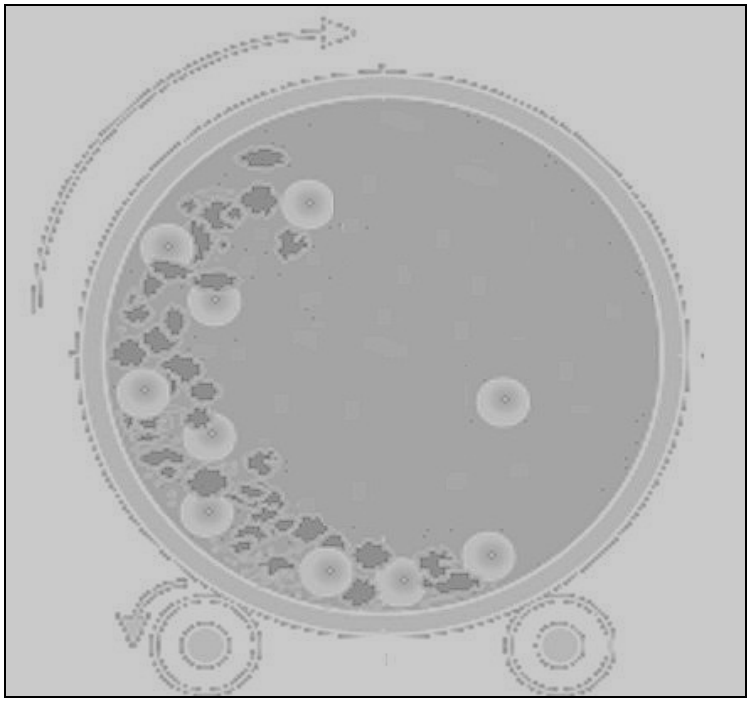
• Konvektivní mísení – přemisťování skupin částic navzájem do různé polohy

• Difúzní mísení – změna polohy mezi jednotlivými částicemi soustavy

• Mísení náhodnými srážkami – mezi částicemi nebo o stěnu zařízení

• Rozpojování shluků částic, deformace částic – rozpad na menší částice (zvláště výrazné u mlýnů).

V laboratoři se mísení suchých směsí provádí v různých protřepávacích zařízeních a kulových mlýnech.



Obr. 6.15 Schéma kulového mlýnu

Kulové mlýny jsou velmi oblíbené ve výrobnách cementu. Používají se k mletí cementového slínku. K rozemletému slínku se přimílá sádrovec a další příměsi.

Pro mísící centra ve výrobnách maltových směsí se používají speciální dvouhřídelové míchačky. Dvě hřídele s lopatkami vytvářejí uprostřed míchačky fluidní zónu, kde dochází ke vznosu míchaných surovin. Toto řešení umožňuje rychlé promísení směsi při malé rychlosti otáčení.

Pro mísení velkých objemů sypkých materiálů se často používá pneumatické mísení.

V cementárnách se takto mísí vstupní suroviny (mletý vápenec a křemen).

Mísení se provádí v silech jejichž dno je vybaveno soustavou trysek , do kterých je přiváděn tlakový vzduch. Sila mají průměry 9 - 20 m a objem do 15000 $m^3$ . Nevýhodou je nutnost odprášení velkého množství vzduchu.

Do míchané suché směsi je možno dávkovat kapaliny. Ty se rozprašují do fluidní zóny. Intenzivní pohyb míchané směsi ve fluidní zóně zajišťuje dobrou distribuci kapaliny v míchané směsi. Do prášků, granulí a pelet lze rozprašovat kapaliny o malé viskozitě.

Nástřik výševiskózních kapalin se řeší ohřevem přívodního potrubí a tryskového systému, protože viskozita nastřikované kapalina s rostoucí teplotou klesá.

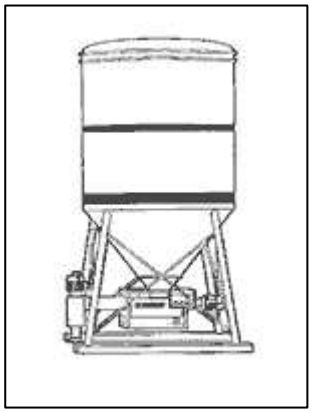
Jako modelový příklad dobře ilustrující problematiku formulace nových stavebních hmot je možné zvolit suché omítkové a maltové směsi.

Průmysl SOMS (suchých omítkových a maltových směsí) doznal značný rozvoj současně s rozvojem výrobních a aplikačních technik. Klíčovou úlohu při tom hrála výstavba nových výrobních jednotek a logistika surovin i hotového výrobku.

Zatímco původně bylo tyto hmoty připravovaných ze směsi suchých pojiv (cementu, vápna), plniv a vody přímo stavbě, výstavba nových vybavených jednotek vybavených dostatečným počtem zásobní na suroviny a počítačově řízenými dávkovači umožnila výrobně realizovat i relativně složité formulace.

Tab. 6.4 Průmyslové malty podle ČSN EN 998-1 a ČSN 998-2

| |
|---|
| *Návrhová malta* (podle volby výrobce) je malta, pro níž výrobce volí složení a výrobní postup tak, aby byly zajištěny předepsané vlastnosti (záměr užitné hodnoty).<br><br>*Předpisová malta* (podle receptury) je malta, která je vyráběna ve stanoveném poměru složek a jejíž vlastnosti se posuzují podle použitého poměru složek (záměr receptury). |



V případě suchých omítkových a maltových směsí se jedná o formulované výrobky vyráběné ve značných množstvích.

Na jedné akci může být zpracováváno relativně velké množství SOMS (vnější omítka bytového domu).

Pro provádění velkých akcí byla vyvinuta aplikační linka tvořená dopravním silem na suchou směs, kontinuální míchačkou na omítkové směsi s vodou, pneumatickým dopravníkem (silomatem) a omítacím strojem.

Obr. 6.16 Dopravní silo s míchačkou

Běžné jsou však i malé stavební akce (rekonstrukce bytového jádra) na které se omítková směs dodává v pytlích. Mísení s vodou se pak provádí ručními míchadly,

### 6.3.2.2 Těstovité směsi

Těstovitý charakter mají směsi obsahující společně kapalnou a pevnou fázi. Dominující stavební směsí takovéhoto typu je dnes beton, který je zároveň reprezentantem nejběžnějších stavebních těstovitých hmot ve kterých kapalnou fázi tvoří voda.



Snad nejznámější stavební míchací zařízení těstovitých směsí představuje výklopná spádová míchačka používaná k přípravě menších množství malt a betonů.

Čas vlastního míchání se zpravidla pohybuje od 30 sekund do 2 minut v závislosti na vlastnostech míchaných materiálů. Celkový čas míchacího cyklu (tj. vč. naplnění a vyprázdnění míchačky) činí pro jednu náplň obvykle 2 minuty.

Obr. 6.17 Spádová míchačka



Svébytným míchacím zařízením je autodomíchávač (automix) používaný k přepravě vyrobeného betonu a v modifikované verzi též k přepravě dalších hmot ohrožených sedimentací.

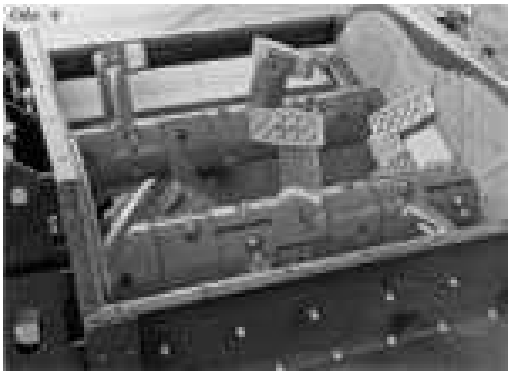
Obr. 6.18 Mobilní domíchávač – automix

Směsi, které obsahují menší množství vody a jsou tedy sypké nebo zavlhké (konzistence S1 a S2) se přepravují na výsypné korbě.

Výroba betonu dnes provádí převážně v samostatných výrobních jednotkách (betonárnách). Je podrobně popsána v kapitole 4.

Vlastní míchání v těchto výrobnách probíhá ve žlabových míchačkách s kapacitou

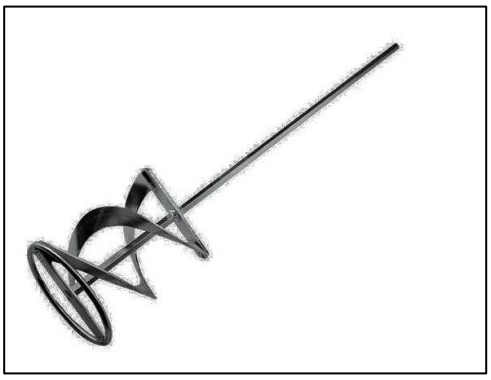
100 – 1000 tun čerstvého betonu za hodinu.



Obr. 6.19 Žlabová míchačka

Spádová míchačka je vhodná pro přípravu hrubě granulárních a nepříliš viskosních směsí. Pro přípravu jemných tenkovrstvých lepicích malt nebo přípravu pryskyřičných podlahových hmot vhodná není.

Již bylo konstatováno, že velký rozvoj nových formulovaných hmot nastal v oblasti suchých omítkových a maltových směsí. Na menší akce se tyto hmoty dodávají pytlované a vodní složku je do nich třeba vmísit na místě.



Dříve používané ruční míšení nahradily spirálové mísicí nástavce. Pro menší množství tekutějších hmot vyhoví nástavec upnutý do elektrické vrtačky.

Obr. 6.20 Mísící nástavec

Tužší hmoty a větší množství připravované směsi vyžadují silnější pohonnou jednotku upravenou pro obouruční držení.



Výhodné jsou dvě protiběžné míchací metly, které důkladně a efektivně rozmíchají jakoukoliv směs. Díky protiběžnému směru navíc nemají snahu otáčet nádobou, takže práce je velmi rychlá a pohodlná.

Obr, 6.21 Obouruční míchadlo




.

Pro přípravu jemných tenkovrstvých lepicích malt nebo přípravu pryskyřičných podlahových hmot se na trhu objevily míchačky s nuceným pohybem míchané směsi opatřené sadou hrabacích a stíracích lopatek.

Obr. 6.22 Míchačka s nuceným oběhem

### 6.3.3 Kusové formulované výrobky

Méně časté jsou mezi stavebními hmotami tuhé formulované výrobky distribuované v kusovité podobě.

Při jejich přípravě se pracuje s roztavenou směsí odlévanou do vhodných forem, nebo se kusovitá podoba získává lisováním granulátu.

Většinou jde o asfaltové výrobky, které jsou aplikované později v roztaveném stavu, nebo speciální výrobky lepicího charakteru (tavné tyčinky do lepicích pistolí).

### 6.3.4 Vícesložkové finální výrobky

V některých případech se ponechává konečná úprava formulovaného produktu na spotřebiteli. Bývá tomu tak tehdy, pokud je výrobek určen pro různé formy zpracování (např. stříkání nebo natírání), protože pak je třeba konsistenci výrobku přizpůsobit konkrétní aplikační technice.

Někdy se spotřebiteli svěřuje rozpouštění formulovaného přípravku ve vodě, nebo jeho ředění vodou. To je samozřejmě možné jen tehdy, kdy jde o bezpečnou a bezproblémovou operaci.

K pozitivům takovéhoto řešení patří snížení dopravních nákladů a nákladů na obaly. K negativům pak zvýšená možnost chyby při přípravě finální podoby výrobku. Nelze vyloučit ani zcela bizarní chyby.

Ukázalo se, že úzus uvádět jako první ředěnou látku a jako druhé ředidlo není všeobecně známý. Mohlo tak dojít k tomu, že nekvalifikování pracovníci pochopili předpis k vcelku běžnému ředění kapalné penetrační disperze vodou v poměru 1 : 5 jako pokyn k ředění 5 : 1, protože se předtím s takovým ředěním setkali při úpravě viskozity alkydového laku.




Relativně bezproblémové je ředění prefabrikovaných práškových směsí jako jsou suché maltové směsi (SMS), malířské hmoty a různá lepidla, protože správné ředění obvykle dává směs s optimální zpracovatelností.

Správné dávkování dvousložkových hmot je nejlépe zajistit pomocí vhodně dimenzovaného dvoudílného balení jehož obsah se zpracuje najednou, s výhodou přímo v tomto obalu.

Obr. 6.23 Vhodný dvousložkový obal

## 6.4 SOFTWAROVÁ PODPORA

V této kapitole jsou blíže zmíněny především ty statistické a optimalizační programy, které nacházejí ve formulačním inženýrství nejvýraznější uplatnění.

Kromě vlastních formulačních programů pro plánování experimentů a programů pro sekvenční optimalizaci sem patří i programy pro vícekriteriální analýzu, které se používají při závěrečném hodnocení alternativních formulací a programy pro hmotnostní bilance a materiálové kalkulace, které jsou nezbytné při zejména při výrobní realizaci formulovaných hmot.

### 6.4.1 Komerční formulační programy

K plánování experimentů je dnes na trhu celá řada velmi sofistikovaných programových produktů. Po bližším seznámení s vlastnostmi těchto programů, bylo konstatováno, že jejich hlavní výhodou je pohodlnost obsluhy a perfektní grafická prezentace výsledků.

Pro účely formulačního inženýrství jsou tyto programy poněkud předimenzované.

Ve formulačním inženýrství pocházejí vstupní data z relativně pracných experimentů a jejich množství je proto logicky omezené. Schopnost programu statisticky hodnotit stovku faktorů řádově přesahuje požadavky formulačních experimentů.

Jako příklad je možné uvést přídavný modul programu STATISTICA - Navrhování experimentů (STATISTICA Design of Experiments) firmy StatSoft.

Tento modul (fakticky jde o samostatný program) nabízí extrémně obsáhlý výběr procedur používaných k analýze experimentálních návrhů v průmyslovém výzkumu: $2^{(k-p)}$ faktoriální návrhy s rozdělováním do bloků (přes 100 faktorů, včetně unikátních a velmi výkonných prohledávacích algoritmů k nalezení minimální odchylky či maximálně nesmíšeného návrhu. Uživatel má možnost specifikovat, které efekty nemají být směšovány.

Dále poskytuje třídící návrhy (pro více jak 100 faktorů), $3^{(k-p)}$ faktoriální návrhy s rozdělováním do bloků, návrhy s různými úrovněmi, centrované kompozitní návrhy, konstrukce pomocí latinských čtverců, návrhy pomocí trojúhelníkových ploch a další.

Snad ještě komplexnější nabídku přináší program Trial Run firmy SPSS, který je provozovatelný samostatně (bez potřeby pořízení dalšího statistického či jiného programu).

Základem programu jsou opět klasické faktorové pokusy a latinské čtverce. Kromě 41 typů vlastního uspořádání experimentu nabízí Trial Run výběr z 6 různých možností grafického zobrazení výsledků.

K výhodám programu patří modul Design Coach, který, po stanovení faktorů a úrovní, generuje konkrétní předpis pro realizaci vícefaktorového experimentu.

Zaslouženě dobrou pověst má Design - Expert - statistický softwarový balík od Stat-Ease Inc., který je speciálně určen pro provedení experimentů (DOE).

Design - Expert nabízí srovnávací testy, screening, charakterizaci, optimalizaci, robustní návrh parametrů, návrhy směsí a kombinované návrhy.

Design-Expert poskytuje testovací matice pro skenování až 50 faktorů. Statistická významnost těchto faktorů je stanovena analýzou rozptylu (ANOVA). Grafické nástroje pomáhají identifikovat dopad každého faktoru na požadované výsledky a odhalit abnormality v datech. [

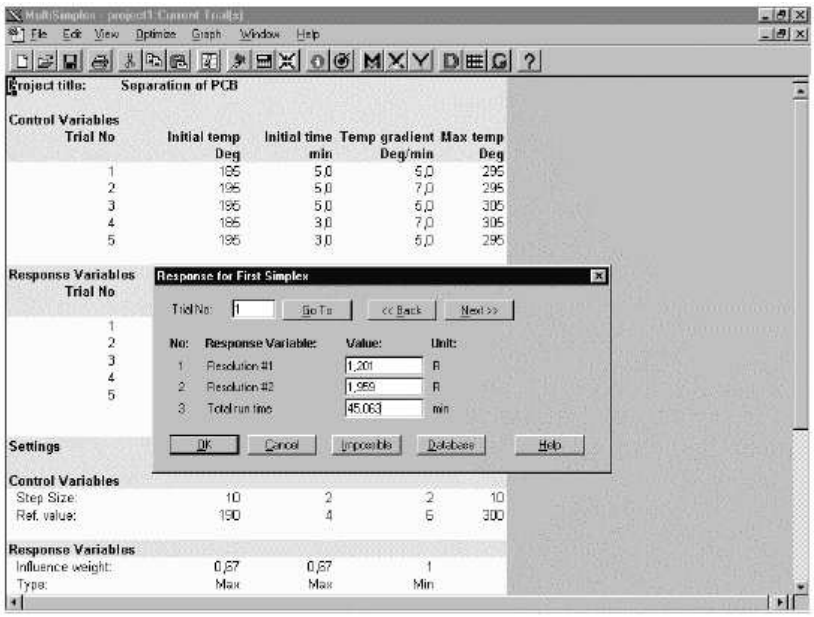
Aplikace MINITAB vznikla na Pensylvánské státní universitě týmem v roce 1972. Původně šlo o univerzitní projekt určený především pro začínající a příležitostné uživatele statistických analýz. Její ovládání v základní verzi je proto intuitivní. Obsahuje ovšem mnoho dalších modulů, které z MINITABU činí silný nástroj, zejména co se týče kontroly kvality, statistického řízení procesu, nebo analýzy spolehlivosti.

Program MINITAB (v současné 18. verzi) je pravděpodobně nejvíce používaným statistickým balíkem pro práci s DOE.

Pokud jde o sekvenční optimalizaci jsou nejběžnější klasické algoritmy (Hook-Jeeves, Gauss-Seidel, Nelder-Mead) součástí programu MATLAB.

Původní Nelder-Meadův algoritmus pro flexibilní simplex (z roku 1965) se v průběhu let dočkal celé řady různých modifikací. Souhrnně jsou označovány jako amébové programy. Například v programu Mathematica 4.2 (Wolfram Research Inc.) je amébový program obsažen jako procedura Nminimize.

Univerzálním a uživatelsky přátelským programem pro provádění optimalizace metodou flexibilního simplexu je i program MultiSimplex (Grabitech Solution AB).

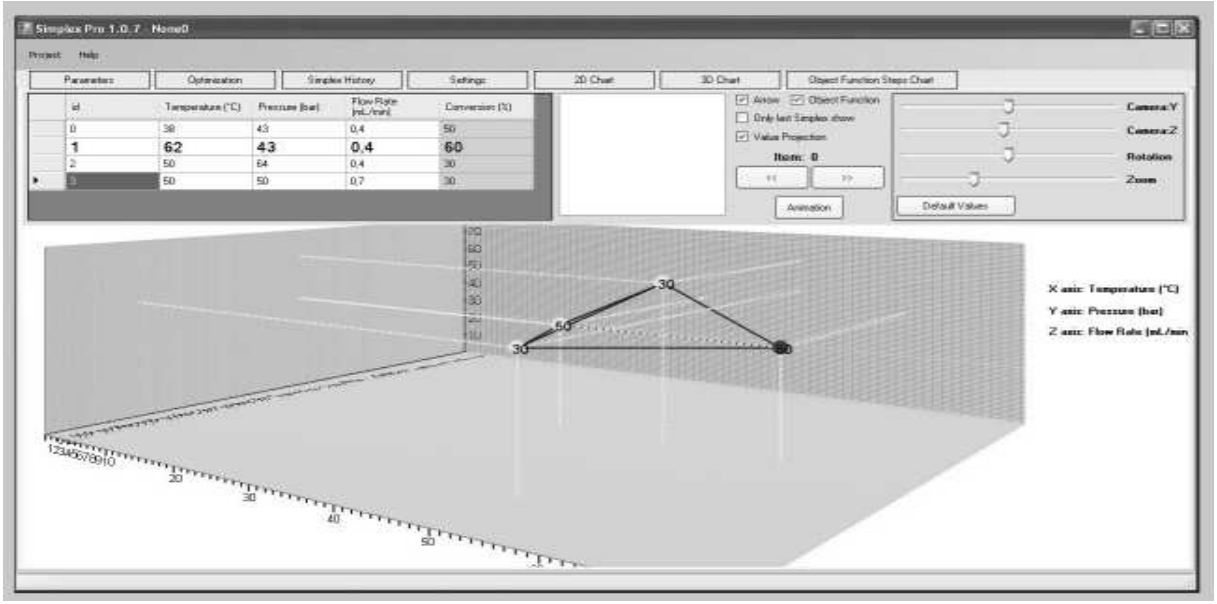



Obr. 6.24 Vstupní okénko programu MultiSimplex

Pro úspěšnou optimalizaci má značný význam správná volba výchozích bodů. Podrobným rozborem této problematiky se zabýval Öberg [Öberg,T.,1998].

Jeho poznatky jsou spolu s optimálními hodnotami simplexových koeficientů implementovány právě v programu MultiSimplex.

Nejnověji nabízí samostatný amébový program firma ThalesNano pod názvem Simplex Pro.




Obr. 6.25 Ukázka okénka programu Simplex Pro

### 6.4.2 Formulační freeware

Pracnost vícefaktorových početních metod je přímo předurčuje pro řešení s pomocí výpočetní techniky. Vysoká cena profesionálních programů však nedovoluje jejich nasazení u menších formulátorů.

Z uvedeného důvodu je možné na webu nalézt i řadu freewarových aplikací. Typicky se jedná o řešení v Excellu nebo Matlabu, která vyžadují dobrou orientaci uživatele v použitém programovém prostředí. Zcela přátelské formulační programy poskytující uživateli potřebnou informaci tak říkajíc „na klíč“ jsou poměrně vzácné.

Na webové stránce na které je umístěn tento text, (tedy na stránce http://people.fsv.cvut.cz/~svobodal/ ) se nacházejí následující tři programy použitelné při formulačních výpočtech.

Byly sem zařazeny dlouho před napsáním šesté části knihy Stavební hmoty s tím, že mají ilustrovat možnosti programovacích jazyků PowerBasic a PureBasic.

Program DDdtest je původně DOS program přepsaný do podoby 32bit aplikace pomocí konzolového (textového) módu programu PureBasic.

Program Aggmix 3.0 je napsán v DOS jazyku PowerBasic a je zapouzdřen do Windows emulátoru DOSBox.

Program SOVA 1.0 je 32win aplikace napsaná v PureBasic.

Programy jsou koncipovány jako plně funkční a nevyžadují od uživatele při praktickém používání žádné další znalosti v oblasti zdrojových kódů.

### 6.4.2.1 DDtest

Program DDtest je malá programová utilita určená k základnímu ošetření experimentálně získaných dat pomocí Dean-Dixonova testu.

Nejedná se tedy o specializovaný formulační software v pravém slova smyslu, nicméně při hodnocení výsledků potřebných pro vlastní formulaci se DDtest dobře uplatňuje.

Tab. 6.5 Postup při zjišťování odlehlosti

Výsledky stanovení se nejdříve vzestupně seřadí:

$x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq x_n$

Dle těchto hodnot se následně určí variační rozpětí - rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší stanovenou hodnotou.

$R = x_n - x_1$

Následně se určí tzv. Q minimální tak, že se vypočítá rozdíl mezi druhou a první nejnižší hodnotou stanovení a výsledek se vydělí variačním rozpětím.

$$Q_{min} = \frac{x_2 - x_1}{R}$$

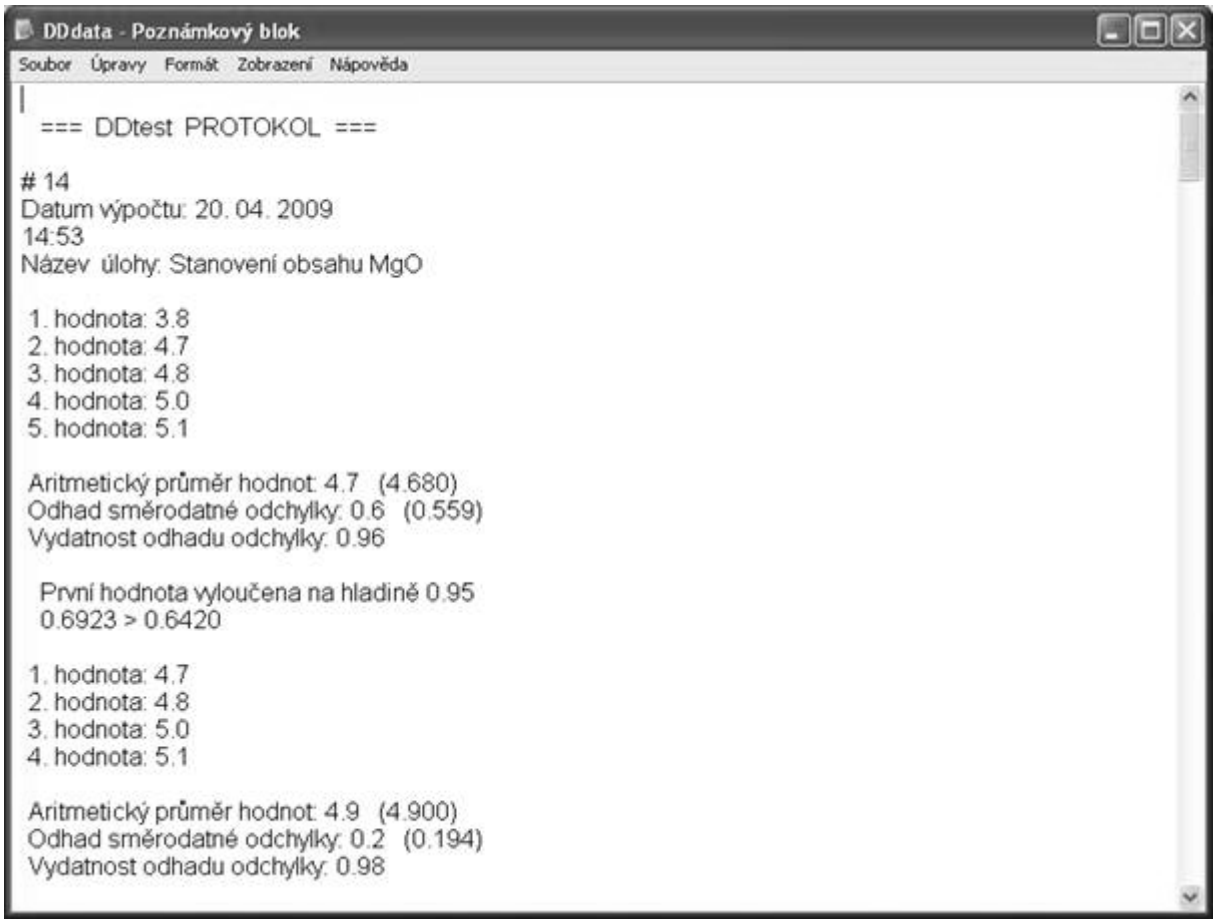
Podobným způsobem se určí Q maximální - vypočítá se rozdíl mezi dvěma nejvyššími hodnotami stanovení a výsledek se vydělí variačním rozpětím.

$$Q_{max} = \frac{x_n - x_{n-1}}{R}$$

Princip programu spočívá v zjištění rozpětí **R** mezi největší a nejmenší naměřenou hodnotou a následném stanovení odlehlosti $\mathbf{Q}_1$ respektive $\mathbf{Q}_n$ obou krajních hodnot.

Pokud zjištěná odlehlost některé z těchto krajních hodnot překročí kritickou tabelovanou hodnotu, přikročí se k jejímu vyloučení.

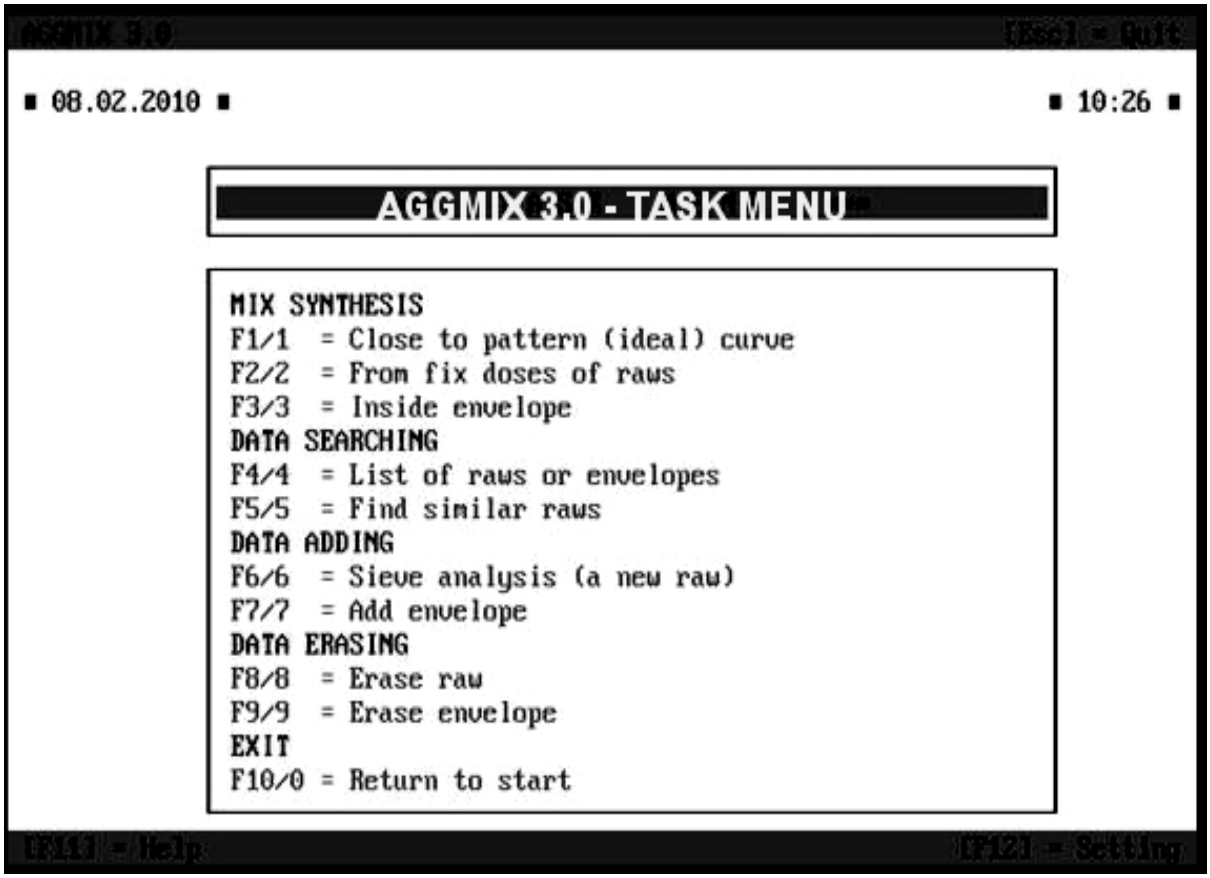
Výpočtem odhadu směrodatné odchylky a vyloučením odlehlé položky může program DDtest přispět ke zvýšení kvality a věrohodnosti výsledků získávaných z malých počtů měření o rozsahu 3 – 9 numerických položek.




Obr. 6.26 Ukázka výstupu programu DDtest

### 6.4.2.2 Aggmix 3.0

Velmi speciálním formulačním programem je program Aggmix 3.0 určený pro navrhovaní granulárních směsí se zrnitostí blízkou nějakému předem stanovenému vzoru.




Obr. 6.27 Volba úkonů v programu Aggmix

Původní důraz na průběh čáry zrnitosti používaných maltových a betonářských plniv dnes poněkud oslábl. Je totiž zřejmé, že neexistuje univerzální ideální zrnitost, a obecné teoretické úvahy o podobě ideální čáry zrnitosti proto mají jen omezený význam.

Příprava suroviny požadované zrnitosti však stále patří k častým úkolům při formulaci maltových nebo betonových kompozic.

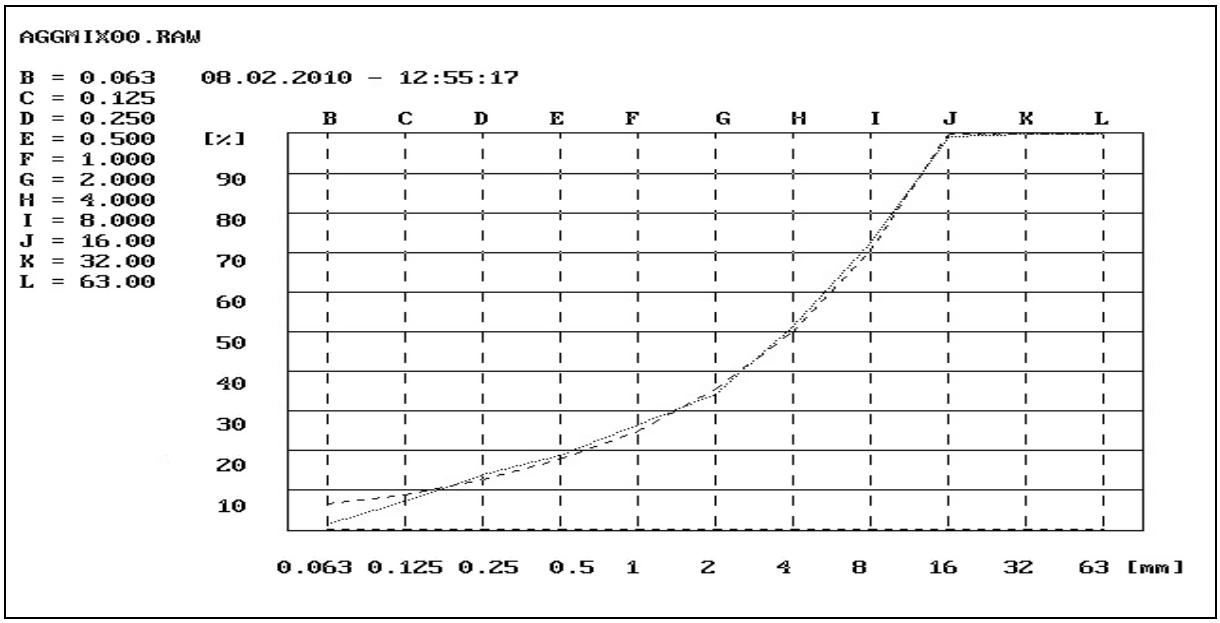
Spíše než se striktně předepsanou ideální zrnitostí se můžeme setkat se vzorovým vymezením průběhu čáry zrnitosti v rámci určitého pásma (obr.4.70 – 4.75).

K dispozici bývá omezené množství surovin z nichž je možné připravit pouze směs, která se žádoucí zrnitosti více či méně přibližuje.

Je-li k dispozici jako surovina množina M různých látek, jejichž zrnitost byla stanovena na N normových sítech, přičemž propad nalezený na kontrolním sítě K pro látku L je P(K, L) a odpovídající vzorový propad na stejném kontrolním sítě je V (K), pak se jako nejjednodušší optimalizační postup pro návrh granulometricky podobného plniva jeví vyhledání minima součtu druhých mocnin rozdílů mezi V (K) a P(K, L).

Program Aggmix 3.0 využívá k tomuto vyhledání sekvenční optimalizaci amébového typu.

Výhodou postupného amébového hodnocení jednotlivých návrhů je možnost vyloučit jako nevyhovující fyzikálně nemožný bod (záporný obsah nějaké složky) a velmi snadno je rovněž možné penalizovat i překročení hranice stanoveného pásma dávkování nějaké složky. Zároveň je v programu možné provádět i určitou bonifikaci za splnění vhodného pomocného kritéria.




Obr. 6.28 Nejtěsnější možné přiblížení ke vzorové čáře odpovídá minimální možné hodnotě $\Sigma[V(K) - P(K,L)]^2$.

### 6.4.2.3 Sova 1.0

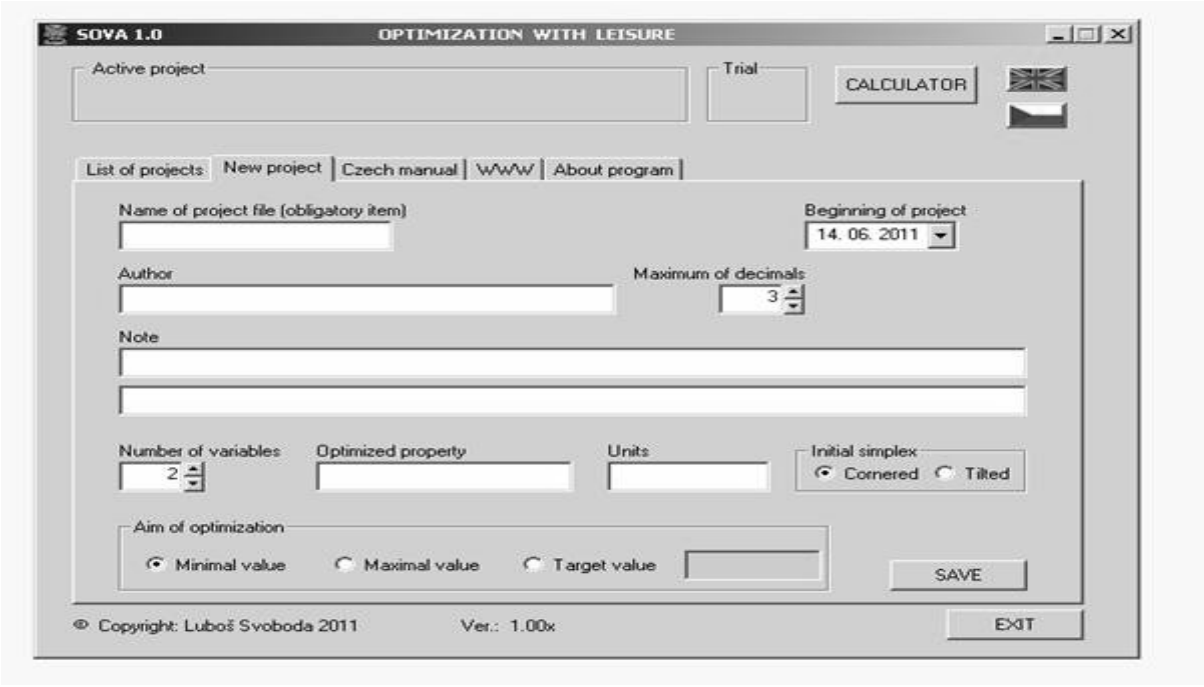
Program SOVA (Simplexová Optimalizace Vícerozměrných Aplikací) je amébový program koncipovaný tak, aby byl snadno použitelný především při formulaci nových kompozitních materiálů.

Program SOVA umožňuje ve stejném období pracovat s větším počtem optimalizačních úloh, mezi kterými lze při práci s programem libovolně přepínat. Založení nového projektu se provádí vyplněním jednoduchého formuláře.

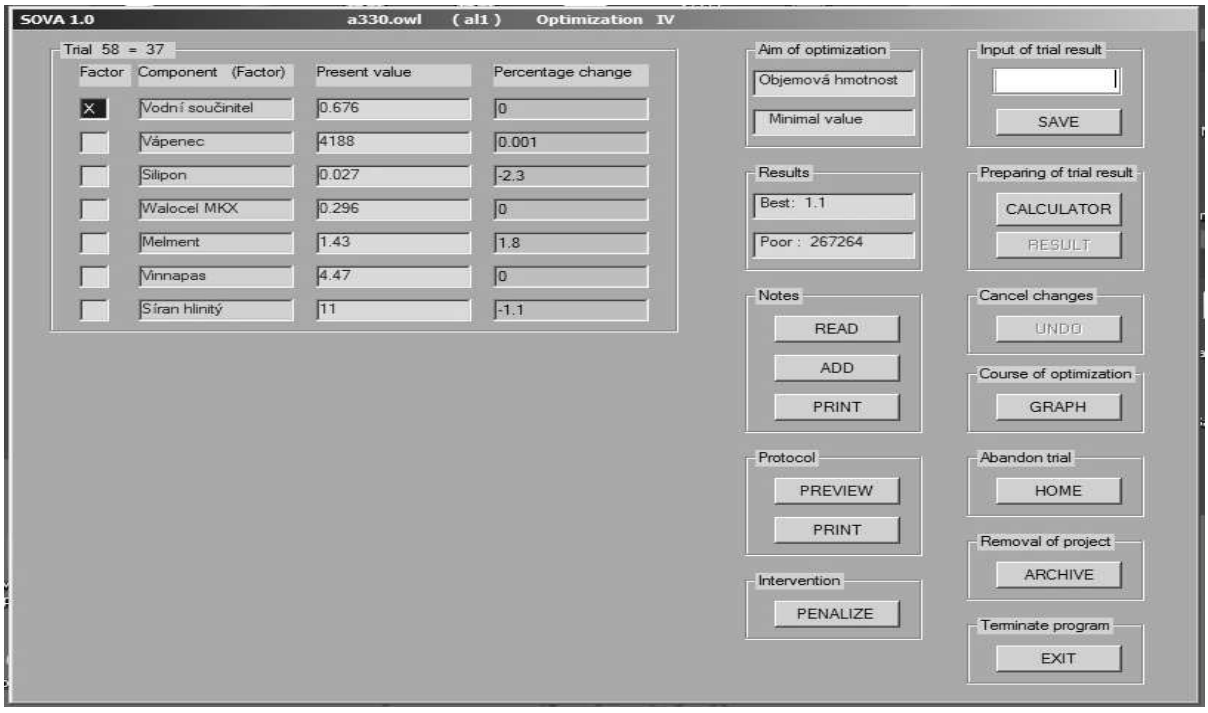
Práci na projektu je možné kdykoliv přerušit a zase se k ní vrátit pouhým stiskem několika tlačítek. Protože simplexová optimalizace má vždy sekvenční charakter je opakované přerušování zcela běžné a tato vlastnost má zásadní význam.

Po vyplnění všech hodnot optimalizačního kriteria příslušejících k úvodnímu simplexu se zobrazí závěrečné okno ze kterého je ovládána veškerá další činnost programu.

V levé části okna je rámeček ve kterém se postupně objevují návrhy nových optimalizačních pokusů. Vpravo se nachází vkládací okénko, kterým se do programu vkládá hodnota optimalizačního kriteria dosažená v příslušném pokusu.




Obr. 6.29 Formulář SOVA pro založení nové optimalizační úlohy (projektu)




Obr. 6.30 Závěrečné okno SOVA vytvářené po vyplnění úvodního simplexu

K pohodlné práci s programem přispívá i penalizační tlačítko používané k odmítnutí nevhodných optimalizačních návrhů a tlačítko umožňující zrušit poslední změny provedené v projektu.

Stanovit předem nějaké kriterium pro ukončení optimalizace je velmi obtížné a ukončovací kriterium je často zdrojem problémů. V programu SOVA proto není ukončovací kriterium vůbec použito.

Místo toho má uživatel k dispozici sloupcový graf na kterém může průběžně sledovat vývoj optimalizované veličiny a takto získanou názornou informaci využít při rozhodování o pokračování v optimalizaci.

Ve srovnání s faktorovými experimenty klade sekvenční způsob optimalizace menší nároky na množství zdrojových dat.

Konkrétní úprava algoritmu „améba“ použitá v programu SOVA je při hledání optima zvláště účinná a vykazuje rychlejší konvergenci než analogický algoritmus genetický

### 6.4.3 Programy pro multikriteriální výběr

Pokud jde o programy pro vícekriteriální analýzu, které jsou používány při vzájemném porovnávaní variant konečného návrhu, je trhu opravdu velké množství programů.

To je samozřejmě dáno tím, že výběr z více variant je častou úlohou ve všech oborech lidské činnosti. Pokud v hledači Google zadáme „ software related to MCDM“ (*Multiple Criteria Decision Making*) obdržíme řadu použitelných odkazů.

Jednou z nejlepších freewarových aplikací pro multikriteriálních analýzu je český program MCA7 [Korviny P., 2016]. Tento program vytvořený na Slezské univerzitě, umožňuje provádět výpočty:

metodou váženého součtu (WSA - Weighted Sum Approach),

metodou ideálních bodů (IPA - Ideal Points Analysis),

metodou TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution),

metodou shody a neshody (CDA - Concordance Discordance Analysis).

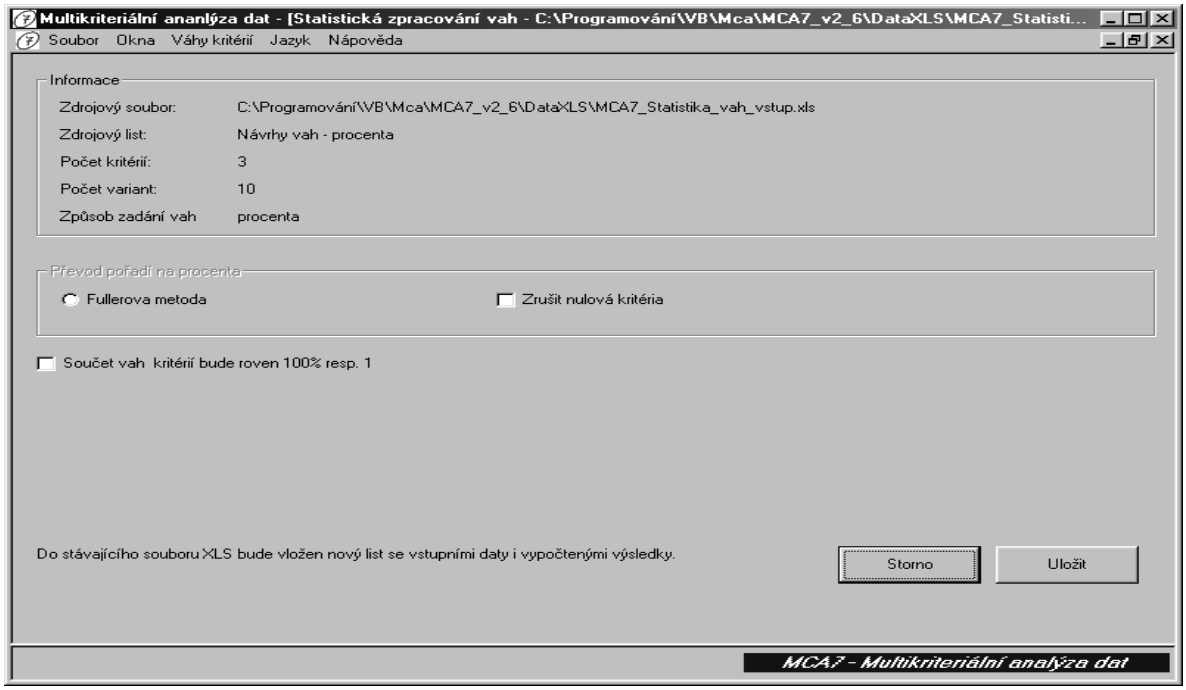
Zároveň program usnadňuje určování vah kritérií následujícími metodami:

metodou Fullerova trojúhelníku,

Saatyho metodou,

metodou geometrického průměru řádků.

Kromě základních znalostí ovládání operačního systému Windows a tabulkového procesoru MS Excel neklade program MCA7 žádné speciální požadavky na svého uživatele. Ovládání programu MCA7 je intuitivní a k dispozici je i velmi solidní uživatelská příručka.




Obr. 6.31 Jedno ze vstupních oken programu MCA7

### 6.4.4 Programy pro hmotnostní a materiálové bilance

Z kategorie programů určených pro hmotností bilance a ekonomické rozvahy nových formulací je kromě již zmíněného programu FORMULATOR (obr. 6. 4) vhodné upozornit na australský program DTW Formu-Tools, který je používán i u nás.

K výhodám poskytovaným pomocí nástroje Formu-Tools.patří:

• Zlepšení produktivity při kalkulaci nákladů formulace.

• Informace o surovinách a připravených vzorcích na stisk tlačítka.

• Usnadnění formulace stálé kvality.

• Úspory nákladů vzniklé efektivním využitím zbylých materiálů.

• Vývoj formulací s co nejmenšími náklady.

• Vytváření dvousložkových hmot.

• Výpočet množství složek požadovaných, k tomu aby byly splněny předepsané hodnoty poměrů složek (např. poměr pigmentů k pojivu), nebo celkové množství složek určitých typů (např. rozpouštědel).

## 6.5 BUDOUCNOST FORMULAČNÍHO INŽENÝRSTVÍ




K posouzení dalšího vývoje v oblasti formulačního inženýrství byla použita SWOT analýza.

Pod tímto názvem se ukrývá mnemotechnická pomůcka, která zajišťuje, že při rozboru nebude opomenut žádný důležitý aspekt.

Obr. 6.32 SWOT

Pojmy v horním řádku používáme k hodnocení vlastností samotného hodnoceného subjektu, řádek druhý hodnotí interakce mezi subjektem a okolím.

K silným stránkám (**S**) formulačního inženýrství můžeme počítat práci s osvědčenými vzory a analogiemi.

Za příležitosti k dalšímu k dalšímu rozvoji (**O**) formulačního inženýrství ve stavebnictví zcela jistě bude patřit pokračující vývoj aditivních technologií (označovaných jako 3D tisk) a technologií pro robotické zdění.

Potřeba formulace nových betonových a maltových směsí vhodných tyto aplikace přinese další podněty k tvorbě formulací, stejně jako tento efekt svého času přinesl samozhutnitelný beton a maltové či betonové směsi pro torkretování.

Kvalitní řemeslníci, kteří jsou ochotní a schopní si se stavebním materiálem podle místních podmínek „pohrát“ a odevzdat optimální výsledek už prakticky nejsou k dispozici. Zároveň narůstá riziko špatného zacházení s materiálem.

Tomu bude nutné čelit vývojem nových kvalitních, robustních a na obsluhu jednoduchých materiálových řešení.

O tom, že problém špatného zacházení s materiálem zdaleka není jen o českou specialitou svědčí fakt, že v angličtině už je *foolproof material* zcela věcnou a emocí prostou charakteristikou. Český ekvivalent „blbovzdorný materiál“ má zatím stále charakter žertovné nadsázky.

V posledních letech se jako slibný optimalizační nástroj začíná objevovat umělá inteligence. Expertním systémům opřeným o neuronové sítě, genetické algoritmy, rozhodovací stromy a neuro-fuzzy logiku zřejmě patří formulační budoucnost.

Dosažené výsledky ovšem naznačují, že úspěšné formulace vyžadují pro takováto řešení opravdu velké množství kvalitních vstupních údajů a že ve stávající podobě genetické algoritmy i z tohoto důvodu nedávají výrazně lepší výsledky než tradiční přímá hledání.

Enormní datová potřeba může, spolu s výpočetní náročností, představovat hrozbu (**T**) pro rozvoj takovýchto systémů. Formulační systémy opřené o umělou inteligenci se nejspíš nejprve budou prosazovat jen jako vojenské nebo medicínské aplikace.

V souvislosti s tím je nejspíš vhodné se zamyslet především nad tím jaké slabé stránky (**W**) má současná stavební formulační praxe, protože lze předpokládat, že (bez ohledu na různé vizionářské představy) budou v nejbližších letech řešeny problémy podobně jako dnes.

Lze však předpokládat, že i tam kde se dnes problematice formulace věnují spíše jedinci, bude posilovat trend k tvorbě komplexních formulačních týmů.

Slabou stránkou solitérně prováděného formulačního výzkumu kupříkladu je posuzování skutečného prospěchu, který přináší nová formulace.

V řadě prací se autoři spokojí s proměřením základních funkčních parametrů (např. pevnosti, tepelné vodivosti, či vodotěsnosti) a to obvykle normovaným postupem. Pokud získané hodnoty jsou vyšší než u dosud vyráběné formulace považuje se nová formulace za úspěšnou.

Málo řešeným problémem zůstává uživatelská přívětivost nové formulace. Jde o to, aby se novým materiálem nepracovalo hůře než se starým. Kvalitní formulační laboratoř k takovému zjištění musí mít dostatečné technické i personální zázemí.

K technickému zázemí, které umožňuje kdykoliv provést dostatečně kvalitní posouzení aplikačních vlastností, patří místnost umožňující provádět pokusné aplikace za simulovaných klimatických podmínek.

Pokud jde o zázemí personální měl by být v aplikační skupině pracovník s delší praktickou zkušeností, který je znalý současného stavu a je schopný aplikační vlastnosti nového materiálu ve srovnání s tímto stavem posoudit.

Snaha o minimalizaci nákladů při zachování kvality produktu je dnes hlavním motivem při tvorbě nových formulací stávajících výrobků, ani v budoucnu tomu nebude jinak. V komplikovaných podmínkách globální ekonomiky poroste při posuzování prospěchu nových formulací význam účasti ekonomického experta.

„Bobtnající“ matematické ošetření formulačních experimentů si zřejmě vynutí vznik formulačních týmů ve kterých bude hrát důležitou roli statistický specialista, zaručující že použité matematické ošetření experimentálních dat bude přiměřené a nepovede k nerealistickým závěrům.

Vedoucí osobností formulačního týmu však musí nadále zůstat materiálový odborník vybavený hlubokou znalostí současných materiálů, detailní znalostí používaných zkušebních technik a co nejúplnější znalostí praktických efektů, které přinesly předešlé úpravy faktorů.

# 7 LITERATURA

## Monografie, výzkumné správy, skriptá


1. Adámek, J. – Novotný, B. – Koukal, J.: Stavební materiály. Brno: VUT, 1997. 173 s.
2. Antoš, A. – Burian, A.: Vodní sklo. Ústí nad Labem: Silchem+Sand Team, 2002. 135 s.
3. Bačáková, M.: Technické požadavky na stavební výrobky podle dokumentů ES, ČR a SR. Zlín: ITC, 2006. 129 s.
4. Barš, R.: Kompozitní materiály. Praha: SNTL 1988. 328 s.
5. Bárta, R.: Chemie a technologie cementu. Praha: ČSAV, 1961. 1108 s.
6. Bažantová, Z. – Svoboda, L. – Vimmrová, A. – Topolka, Z.: Nauka o materiálech 10 – Zkušební metody. Praha: ČVUT, 2000. 123 s.
7. Bechyně, S.: Betonové stavitelství I. Technologie betonu. Svazek 1 – Složky betonu. Praha: SNTL, 1954. 624 s.
8. Bonda, A. – Chmela, E. – Chroust F.: Keramické obklady a dlažby budov. Praha: SNTL, 1960. 238 s.
9. Bhagwan, D. A. – Lawrence J. B.: Vláknové kompozity. Praha: SNTL, 1987. 296 s.
10. Bílčík, J.: Sanácia betónových konštrukcií. Bratislava: Jaga, 1996. 104 s.
11. CEN Report CR 1901 Regional Specifications and Recommendations for the avoidance of damaging alkali – silica reactions in concrete. Brusel: CEN, 1995. 63 s.
12. Cihlářský lexikon. České Budějovice: CSČM – PTdesign, 2001. 127s.
13. Čechura, J.: Stavební fyzika 10. Akustika stavebních konstrukcí. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. 173 s.
14. Černý, R. – Rovnaníková, P.: Transport Processes in Concrete. London: Spon Press, 2002, 537 s.
15. Čtyroký, V. aj.: Ložiska nerudných surovin ČSR. Praha: Univerzita Karlova, 1983. 521 s.
16. Doležal, O. – Palek, L.: Koroze betonu ve stavební praxi. Praha: SNTL,1988. 185 s.
17. Doležal, B.: Odolnost plastů a pryží. Praha: SNTL, 1981. 700 s.
18. Drochytka, R. aj.: Keramické obklady a dlažby. Hradec Králové: Vega, 2000. 187 s.
19. Drochytka, R.: Plastické látky ve stavebnictví. Brno: CERM, 1998. 122 s.
20. Dřevařská technická příručka. Praha: SNTL, 1970. 748 s.
21. Ehrman, V. aj.: Maltoviny a maltové směsi. Praha: Incon – F, 1994. 400 s.
22. Forest Product Laboratory – Wood Handbook – Wood as an engineering material. Madison: USDA Forest Service, 1999. 463 s.
23. Fraňo, V. aj.: Stavebné látky. Bratislava: Alfa, 1984. 312 s.
24. Gemrich, J. – Lahovský, J. – Táborský, T.: Ochrana životního prostředí a využití vápenců. Praha: MŽP 1998. 50 s.
25. Halahyja, M. – Bačko, B. – Bludoček, K. – Puškáš, J., – Tomašovič, P.: Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie. Praha: SNTL, 1985. 748 s.
26. Hamák, L. – Žigraj, J.: Technológia výroby betónu. Bratislava: Alfa, 1988. 321 s.
27. Hanykýř, V. – Kutzendörfer, J.: Technologie keramiky. Hradec Králové: Vega, s. r. o., 2000. 287 s.
28. Hennig, O. – Lach, V.: Chemie ve stavebnictví. Praha: SNTL, 1983. 216 s.
29. Hlaváč, J.: Základy technologie silikátů. Praha: SNTL, 1981. 316 s.
30. Horman, M.: Příručka pro betonáře. Čížkovice: Lafarge Cement a. s., 2000.107 s.
31. Hošek, J.: Termická analýza hliněných omítek. Praha: ČVUT FSV, Zpráva o řešení úkolu GAČR 103/99/0941 (1999).
32. Hönig, A. – Zaplatal, V.: Nedestruktivní zkušebnictví. Brno: VUT, 1982, 392 s.
33. Jambor, J.: Chemické rozbory v stavebníctve. Bratislava: SAV, 1953. 368 s.
34. Jílek, A. aj.: Betonové konstrukce I. Praha: SNTL/ALFA, 1976. 368 s.
35. Jiránek, M. – Kuplík, V. – Wassermauer, R.: Zdravotní nezávadnost staveb. Praha: ČKAIT, 1999. 176 s
36. Kottunen, P. O.:Wood. Structure and Properties. Uetikon-Zuerich: Trans Tech Publications Ltd, 2006. 538 s.
37. Klučka, T.: Kompozitní materiály na bázi portlandského cementu s karbonátovou příměsí. Habilitační práce. Praha: ČVUT, 1999. 117 s.
38. Klučka, T. aj.: Diagnostika vlhkého zdiva. Praha: WTA CZ, 2003. 127 s.
39. Klučka, T. aj.: Vlastnosti betonu a jeho zkoušení. Praha: Sekurkon, 1999. 145 s.
40. Klučka, T. – Kolář, K. – Kouřsko, J.: Magnetokinetické metody sanace vlhkosti. In: CONSTRUMAT 2005. Žilina: Žilinská universita, Stavebná fakulta, 2005, s. 237 – 244.
41. Klučka, T. – Kouřsko, J. – Bouška, P.: Zkoušení stavebních hmot a konstrukcí II – Zkoušky materiálů, stavebních prvků a konstrukcí. Praha: Sekurkon, 1999. 146 s.
42. Klučka, T. – Kouřsko, J. – Bouška, P. – Kolář, K.: Beton. Složky – technologie – vlastnosti – zkoušení. Praha: Sekurkon, 2005. 174 s.
43. Klučka, T. – Kouřsko, J. – Kolář, K. – Bouška, P.: Zkoušení vlastností betonu a jeho složek. Praha: Sekurkon, 2001. 174 s.
44. Krauss, A. – Langs, A.: Introduction to the chemical analysis of plastics. London: Iliffe Books, 1969. 226 s.
45. Kuklík, P.: Dřevěné konstrukce. Praha: ČKAIT, 2005. 172 s.
46. Kutnar, Z.: Šikmé střechy – Skladby a detaily, část B. Praha: Dektrade, a. s., 2007. 131 s.
47. Lvov, F. – Jiroš, P.: Nauka o dřevě. Praha: SNTL, 1961. 640 s.
48. Matoušek, M. – Drochytka, R.: Atmosférická koroze betonů. Praha: IKAS, 1998. 171 s.
49. Mleziva, J.: Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití. Praha: Sobotáles 1993. 523 s.
50. Nedbal, F. aj.: Speciální betony. Praha: Svaz výrobců betonu, 2001. 204 s.
51. Nedbal, F.: Za betonem do Evropy. Praha: Svaz výrobců betonu, 1998. 160 s.
52. Němec, F.: Klíč k určování nerostů. Praha: SPN, 1958.198 s.
53. Novák, J.: Kontrola jakosti ve stavebnictví. Praha: ČVUT 1996. 186 s.
54. Novák, J. aj.: Nauka o materiálech 10. Stavební materiály I. Praha: ES ČVUT, 1999. 178 s.
55. Novák, R. – Nováková, D.: Základy měření a zpracování dat. Praha: ČVUT, 1999.
56. Novák, J. – Novotný, J. – Topolka, Z.: Stavební materiály. Praha: ES ČVUT, 1991. 184 s.
57. Novotný, B.: Hodnocení kvality a možnosti využití stavebních recyklátů. Habilitační práce. Brno: VUT, 1999. 141 s.
58. Nyč, M.: Sádrokarton. Stavby a rekonstrukce. Praha: Grada, 2001. 152 s.
59. Osten, M.: Práce s lepidly a tmely. Praha: Grada, 1996. 129 s.
60. Pařílková, M. – Schlattauer, P.: Katalog přísad do betonů, malt a omítek. Praha: Výzkumný ústav maltovin, 2002. 284 s.
61. Puškár, A. – Fučila, J. – Szomolányiová, K. – Mrlík, J.: Okna, dveře, prosklené stěny. Bratislava: Jaga, 2003. 255 s.
62. Pytlík, P.: Cihlářství. Brno: VUT, 1995. 264 s.
63. Pytlík, P.: Stavební materiály v pozemních stavbách. Brno: CERM, 1995. 258 s.
64. Pytlík, P.: Technologie betonu. Brno: VUT, 1997. 346 s.
65. Pytlík, P.: Vlastnosti a užití stavebních výrobků. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 1998. 399 s.

66. Rixom, R. – Mailvaganam N.: Chemical admixtures for concrete. London: SPON, 1999. 437 s.
67. Rousková, I. a kol.: Stavebné materiály. Bratislava: Jaga, 2000. 261 s.
68. Rybařík, V.: Ušlechtilé stavební a sochařské kameny České republiky. Hořice v Podkrkonoší: 1994. 219 s.
69. Szabó, T.: Přísady a přídavky do malt a betonů. Praha: SNTL, 1985. 160 s.
70. Sedlerová I., – Dohnálek J.: Dějiny betonového stavitelství v českých zemích do konce 19. století. Praha: ČKAIT, 1999. 328 s.
71. Schätz, M.: Moderní materiály ve výtvarné praxi. Praha: SNTL,1982. 240 s.
72. Schulze, W. – Tischer, W. – Ettel, W. – Lach, V.: Necementové malty a betony. Praha: SNTL, 1990. 271 s.
73. Schulze, W.: Der Baustoff Beton, Band 1, Zementgebundene Mörtel und Betone. Leipzig: VEB Verlag für Bauwessen, 1984. 320 s.
74. Schunck, E. – Oster, H. J. – Barthel, R. – Kiessl, K.: Atlas střech – šikmé střechy. Bratislava: Jaga group, 2003. 449 s.
75. Slavíčková, J, – Forster, Z. – Ehrman V.: Nové Rochlovy stavební tabulky, díl. 2, Praha: Incon – F., 2003. 304 s.
76. Somayaji, S.: Civil Engineering Materials. New Jersey (USA): Prentice – Hall, 2001. 398 s.
77. Svoboda, L – Tobolka Z.: Stavební izolace. Praha: ČKAIT, 1997. 150 s
78. Svoboda, L.: Základy stavební chemie. Praha: ČVUT, 1995. 71 s.
79. Syrový, B.: Kámen v architektuře. Praha: SNTL, 1984. 349 s.
80. Šašek, L. aj.: Laboratorní metody v oboru silikátů. Praha: SNTL, 1981. 328 s.
81. Šlachta, E.: Provzdušněný a plastifikovaný beton. Praha: SNTL, 1954. 37 s.
82. Taylor, H. F. W.: Cement chemistry. London: Thomas Telford Publishing, 1997. 459 s.
83. TKP 18 – Beton pro konstrukce. Praha: MDS – OPK, 1997. 83 s.
84. Tobolka, Z.: Zkoušení stavebních hmot. Praha: SNTL, 1989. 128 s.
85. TP 137 Z1 Vyloučení alkalické reakce kameniva v betonu na stavbách pozemních komunikací. Praha: MD – OPK, 2003, 30 s.
86. Unčík, S. aj.: Európske normy a betón. Trnava: BetónRacio, 2004. 187 s.
87. Valenta, O.: Trvanlivost betonu a betonových konstrukcí. Praha: SNTL, 1965.
88. Vavřička, J. – Chvalk, J. – Malík, F.: Stavební tepelná technika. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2000. 420 s.
89. Vávra, R.: Doktorská disertační práce. Praha: Stavební fakulta ČVUT, 1999. 170 s.
90. Vavřín, F. – Retzl, K.: Ochrana stavebního díla proti korozi. Praha: SNTL, 1987, 205 s.
91. Vavřín, F.: Maltoviny. Praha: SNTL, 1980. 250 s.
92. Větchý, J.: Betonové prvky vnější architektury. Přednáškový materiál firmy MCM, 2004.
93. Vlček, M. – Klečka, K. – Kolář, K. – Kolísko, J.: Sanace vlhkého zdiva. Praha: Česká stavební společnost, 2003. 107 s.
94. Vollmert, B.: Základy makromolekulární chemie. Praha: Academia, 1970. 776 s.
95. Vowes, B.: Trvanlivost konstrukcí z předpjatého betonu. Praha: SNTL, 1988. 208 s.
96. Výborný, J. aj.: Nauka o materiálech 20 (21) – Pórobeton. Praha: ES ČVUT, 1999. 123 s.
97. Vybrané obory průmyslu stavebních hmot v roce 2005. Praha: ÚRS, 2006.
98. Wasserbauer, R.: Biologické znehodnocení staveb. Praha: Nakladatelství ARCH, 2000. 257 s.
99. West, G.: Alkali – aggregate reaction in concrete roads and bridges. London: Thomas Telford Publ. 1996. 163 s.
100. Witzany, J.: Poruchy a rekonstrukce zděných budov. Praha: Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 1999. 312 s.
101. Zeman, O.: Cvičení z geologie. Praha: ČVUT, 1986. 80 s.
102. Zeman, O.: Technická petrografie a regionální geologie ČSSR. Praha: ČVUT, 1975. 123 s.
103. Žabičková, I.: Hlinené stavby. Brno: ERA, 2002. 174 s.


## Studie a články


104. Bouška, P. aj.: Vlastnosti cihlářských výrobků a poruchy stropních konstrukcí z desek Hurdis. In: Sekurkon. Sborník přednášek. Praha, 2002. 86 s.
105. Brandštetr, J.: Struskoalkalické betony. In: Stavivo, 1984, roč. 62, č. 3, s. 110 – 115.
106. Červenka, V.: Azbest ve stavebnictví. In: Stavitel roč. 9, 2001, č. 8, s. 12 – 13.
107. Fridrichová, M.: Vývoj a vlastnosti alfa sádry. In: VII. vedecká konferencia TU v Košiciach, 2002, s. 75 – 78.
108. Gorgol, V.: Norma ČSN EN 206 – 1 (1. část a 2. část). In: Navrhování a provádění betonových konstrukcí podle nových evropských norem. Sborník příspěvků. Praha: ČBS, 2001, s. 5 – 13, 21 – 29.
109. Havlín, D.: Materiál pro licové zdivo. In: Materiály a technologie pro stavbu, roč. 4, 1998, č. 2, s. 66.
110. Hela, R. – Fajgart, D.: Samozhutnitelné betony v České republice. In: Sborník přednášek. Concon 2000. Praha: ČBZ a FSv. ČVUT v Praze, 2000, s. 5 – 8.
111. Hela, R.: Metodika zkoušení vlastností čerstvých samozhutňujících betonů. In: Sborník přednášek. Betonářské dny 2000. Pardubice: ČBZ, 2000, s. 175 – 180.
112. Hellerová, E.: Historie a současnost pálené krytiny systému TONDACH z hlediska revize ČSN 73 1901. In: Střechy, fasády – izolace, roč. 6, 1999, č. 2, příloha s. 42 – 43.
113. Hrazský, J. – Kral, P.: Stanovení příčin zbarvení povrchových ploch cementotřískových desek. In: Materiály pro stavbu, roč. 9, 2003, č. 8, s. 43 – 45.
114. Jelínek, J. – Tobolka, Z.: Výroba a vlastnosti betonu z pórovitého kameniva Lytag. In: Karni, J. – Karni, E.: Gypsum in construction: origin and properties. Materials and structures, 1995, č. 28, s. 92 – 100.
115. Kolísko, J. – Klečka, T: Využití technické směrnice WTA 2 – 2 – 91 pro návrh a aplikaci sanačních omítkových systémů. In: Sanace a rekonstrukce staveb, sborník z 21. konference ČSS, Praha: 1999.
116. Kotorová, H.: Keramické neglazované dlaždice. In: Materiály a technologie pro stavbu, roč.1, 1995, č. 1, s. 28 – 31.
117. Kuklík, P. – Kuklíková, A.: Dřevo a materiály na bázi dřeva. In: Materiály pro stavbu, roč. 8, 2002, č. 5, s. 16 – 20.
118. Largent, R.: Bull. Liaison Lab. In: Ponts et Chaussees, 1978, roč. 93, s. 63.
119. Liu, K. – Cheng, H. – Zhou, J.: Investigation of brucite-fiber-reinforced concrete. In: Cement and Concrete research, roč. 34, 2004, s. 1981 – 1986.
120. MDF desky lepené enzymy. In: Svařování, dělení, spojování materiálů, roč. 2, 2004, č. 2, s. 61.
121. Myška, M.: Alkalické rozpínání betonu. In: Sborník konference Construmat 1999, Ostrava, s. 275 – 277.
122. Myška, M.: Krystalizační přísada a vodotěsnost betonu. In: Sborník konference Technologie betonu 2007, Pardubice, s. 149 – 153.
123. Myška, M.: Polystyren v nových šatech. In: Sborník konference Construmat 1995, s. 62 – 63, Černice-Praha.
124. Myška, M.: Popílky do betonu – ano či ne? In: Stavitel 12/2002.
125. Myška, M.: Použití popílku pro výrobu betonu podle nové betonářské normy ČSN EN 206-1. In: Sborník konference Speciální betony, vlastnosti, technologie, aplikace, Sekurkon, Otrokovice, 2002.

126. Myška, M.: Použití suché směsi stříkaného betonu při opravě VD Vranov nad Dyjí.
In: Sborník z konference 12. Betonářské dny 2005, Hradec Králové, 2005.
127. Myška, M.: Popílek do betonu vyhovující ČSN EN 206 – 1.
In: Beton TKS, roč. 2, 2002, č. 1, s. 29 – 33.
128. Myška, M.: Vysokopevnostní betony s nízkou pórovitostí.
In: Sborník přednášek. Praha, Konference Construmat, 1995, s. 61 – 63.
129. Myška, M. – Havlíček, J. – Umlauf, K.: Beton, který hřeje – nové plnivo do lehkých betonů.
In: Stavitel, 1996, č. 4, s. 18 – 19.
130. Novák, J.: K problematice používání chemických přísad do betonu.
In: Betonářské dny 1995. Sborník přednášek – díl 1. Pardubice, ČBS, 1995, s. 1 – 7.
131. Pötzer, F. J.: Nanogel aerogels. In: 34. mezinárodní konference o nátěrových hmotách. Sborník přednášek. Seč u Chrudimi, 2004. s. 354 – 361.
132. Procházka, J.: Problematika navrhování konstrukcí z vysokohodnotných betonů.
In: Sborník z konference FC & HPC 2003 – Fibre Concrete & High Performance Concrete, Praha: Sekurkon 2003, s. 59 – 66.
133. Pumr, D. – Kudrna, J. – Horský, A.: Analýza ČSN EN 771 – 1 a zkušebních ČSN EN 772 pro pálené zdicí prvky, koncepce výrobkových ČSN a národní přílohy k ČSN EN 771 – 1.
In: Rozborový úkol č. RU/0730/03, ČSNI – CSČaM, 2003. 98 s.
134. RILEM TC 106 – AAR: Alkali – aggregate reaction. Recommendations.
In: Materials and Structures, 2000, roč. 33, č. 229, s. 283 – 293.
135. Rovnaníková, P. – Kotlíková, O.: Pálená a tavená dlažba.
In: Stavba, roč. 5, 1998, č. 6, s. 48 – 51.
136. Rowell, R. M.: Chemical Modification of wood: A short review,
In: Wood Material Science and Engineering, 2006, č.1, s. 29 – 33.
137. Růžička, Jan: Environmentálně efektivní materiály pro stavební konstrukce. Dostupný na:http://www.izolace.cz/index.asp?module=ActiveWeb&page=WebPage&DocumentID=2227>2006.
138. Sofi, M. – van Deventer, J. S. J. – Mendis, P. A. –. Lukey, G. C: Engineering properties of inorganic polymer concretes.
In: Cement and Concrete Research 2007, roč. 37, č. 2, s. 251 – 257.
139. Svoboda, L.: K problematice styrenových emisí.
In: Stavební obzor, roč. 2, 1993, č. 9, s. 266 – 270.
140. Svoboda, L.: Lepení keramických obkladových prvků.
In: Dělení, spojování, svařování materiálů, roč. 1, 2003, č. 5, s. 30 – 31.
141. Svoboda, L.: O míšení frakcí kameniva.
In: Beton TKS, roč. 4, 2004, č. 1, s. 24 – 28.
142. Svoboda, L.: Polymercementové materiály.
In: Beton, roč. 2, 1999,, č. 2, s. 56 – 58.
143. Svoboda, L.: Předúprava betonových podkladů při zhotovování podlahovin ze syntetických pryskyřic.
In: Pozemní stavby, roč. 38, 1990, č. 3, s. 457 – 463.
144. Šmilauer, V. – Bittnar, Z.: Hydratace cementové pasty a model Cemhyd3D.
In: Beton TKS, roč. 3, 2003, č. 6, 32 – 35.
145. Tichý, J. – Vítek, J.: Využití samozhutnitelného betonu v prefabrikaci.
In: Betonářské dny 2000. Pardubice: ČSZ, 2000, s. 159 – 164.
146. Topolka, Z.: Nové technologie výroby vysokopevnostních lehkých betonů.
In: Betonářské dny 1995. Sborník přednášek – díl 2. Pardubice: ČBS, 1995, s. 12 – 16.
147. Trtík, K.: Vláknobetony – zásady provádění a řízení jakosti.
In: Sborník přednášek. Concon 2000. Praha: ČBZ a FSv ČVUT v Praze, 2000, s. 59 – 64.
148. Trtík, K. – Vodička, J.: Vláknobeton s ocelovými vlákny.
In: Sborník přednášek. V. konference. Praha: Sekurkon, 1998, s. 24 – 31.
149. Vacík, V.: Možnosti uplatnění příměsi do cementobetonových směsí.
In: Sborník přednášek. V. konference. Praha: Sekurkon, 1998, s. 121 – 128.
150. Vacinovský, V.: Skleněné duté mikrokuličky Scotliche – speciální plnivo firmy 3M.
In: 31. mezinárodní konference o nátěrových hmotách. Sborník přednášek. Seč u Chrudimi 2000, s. 130 – 131.
151. Vimmrová, A.: Nové konstrukční materiály na bázi dřeva.
In: Materiály pro stavbu, roč. 6, 2000, č. 2, s. 38 – 40.
152. Vimmrová, A. – Svoboda, L.: Sekvenční optimalizace při formulaci sádrové pěny.
In: Sborník konference Construmat 2006, Nitra, s. 20 – 24.
153. Vodička, J.: Aplikace drátkobetonu.
In: Sborník přednášek. Concon 2000. Praha: ČBZ a FSv. ČVUT v Praze, 2000, s. 53 – 58.
154. Voplakal, M.: Vysokopevnostní betony a jejich aplikace.
In: Sborník přednášek. Concon 2000. Praha: ČBZ a FSv. ČVUT v Praze, 2000, s. 15 – 20.
155. Výborný, J.: Kusová stavíva.
In: Materiály a technologie pro stavbu, roč. 3, 1997, č. 6, s. 24 – 28.

## Normy, zákony, vyhlášky, směrnice

156. ČSN 03 8200 Ochrana ocelových konstrukcí proti atmosférické korozi. Předpisování, provádění, kontrola jakosti a údržba (1985).
157. ČSN 33 2030 Elektrotechnické předpisy. Ochrana před nebezpečnými účinky statické elektřiny (1986).
158. ČSN 42 0001 Přehled skupin a podskupin norem třídy 42 – hutnictví (1976 ).
159. ČSN 42 0002 Číselné označování a rozdělení ocelí ke tváření (1978 ).
160. ČSN 42 0006 Číselné označování a rozdělení slitin železa na odlitky (1971).
161. ČSN 42 0055 Neželezné kovy. Číselné označování těžkých a lehkých neželezných kovů (1978).
162. ČSN 42 0139 Tyče pro výztuž do betonu. Technické dodací předpisy (1978).
163. ČSN 42 0311 Zkoušení kovů. Zkušební tyče pro zkoušku tahem. Základní ustanovení (1981).
164. ČSN 42 0340 Zkoušení kovů. Zkouška rázem v ohybu velkých těles (1982).
165. ČSN 42 0342 Zkoušení kovů. Zkouška pevnosti ve střihu (1987).
166. ČSN 42 1407 Barevné označování hliníku a slitin hliníku. Barevné odstíny (1990).
167. ČSN 42 3533 Tyče žebírkové pro výztuž do betonu z oceli značky 10 335. Rozměr (1978).
168. ČSN 42 3534 Tyče pro výztuž do betonu zkrucované za studena z oceli značky 10338. Rozměry (1978).
169. ČSN 42 3535 Tyče žebírkové pro výztuž do betonu z oceli značky 10 425. Rozměry (1978).
170. ČSN 42 3536 Tyče žebírkové pro výztuž do betonu z oceli značky 10 607. Rozměry (1978).
171. ČSN 42 3538 Tyče žebírkové pro výztuž do betonu z oceli značky 10 505. Rozměry (1990).
172. ČSN 42 6448 Kruhové ocelové dráty pro předpínací výztuž do betonu (1989).
173. ČSN 49 0111 Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania modulu pružnosti v tlaku pozdĺž vlákien (1992).
174. ČSN 49 0116 Drevo. Metóda zisťovania modulu pružnosti pri statickom ohybe (1982).
175. ČSN 49 0600-1 Ochrana dřeva – Základní ustanovení – Část 1: Chemická ochrana (1998).
176. ČSN 49 1531-1 Dřevo na stavební konstrukce – Část 1: Vizuální třídění podle pevnosti (1998) – zrušena.
177. ČSN 49 2120 Dřevěné podlahoviny. Základní ustanovení (1974).
178. ČSN 73 3602 Zkoušení krytinových a izolačních materiálů v rolích (1987), změna (2002).
179. ČSN 73 3602 Zkoušení krytinových a izolačních materiálů v rolích (1987), změna (2002).

180. ČSN 65 0201 Hořlavé kapaliny – Prostory pro výrobu, skladování a manipulaci (2003).
181. ČSN 65 3191 Vodní sklo sodné tekuté. Společná ustanovení (2002).
182. ČSN 72 1021 Laboratórne stanovenie organických látok v zeminách (1970).
183. ČSN 72 1171 Stanovení hmotnosti, porovitosti a mezerovitosti kameniva (1967).
184. ČSN 72 1174 Stanovení vlhkosti a nasákavosti kameniva (1968).
185. ČSN 72 1175 Stanovení mechanických vlastností kameniva (1990).
186. ČSN 72 1176 Zkouška trvanlivosti a odolnosti kameniva proti mrazu (2004).
187. ČSN 72 1177 Zkouška humusovosti kameniva (1968).
188. ČSN 72 1179 Stanovení reaktivnosti kameniva s alkáliemi (1968).
189. ČSN 72 1180 Stanovení rozličných častíc kameniva (1968).
190. ČSN 72 1182 Zkouška zrychlené ohladitelnosti kameniva (1977).
191. ČSN 72 1206 Sádrovec a anhydrit jako přísada do cementu (1976).
192. ČSN 72 1510 Kamenivo pro stavební účely. Názvosloví a klasifikace (1987).
193. ČSN 72 1800 Přírodní stavební kámen pro kamenické výrobky. Technické požadavky (1990).
194. ČSN 72 1810 Prvky z přírodního kamene pro stavební účely. Společná ustanovení (1987).
195. ČSN 72 1820 Obkladové a dlažební desky z přírodního stavebního kamene (1996).
196. ČSN 72 1850 Obrubníky a krajníky. Společná ustanovení (2001).
197. ČSN 72 1860 kámen pro zdivo a stavební účely. Společná ustanovení (1969).
198. ČSN 72 2072-9 Popílek pro stavební účely – Část 9: Popílek pro výrobu minerálních vláken (2001).
199. ČSN 72 2103 Cement síranovzdorný – Složení, specifikace a kritéria shody (2002).
200. ČSN 72 2113 Stanovení měrné hmotnosti cementu (1989).
201. ČSN 72 2301 Sádrová pojiva. Klasifikace. Všeobecné technické požadavky. Zkušební metody (1980).
202. ČSN 72 2413 (CEN/TR 15123) Navrhování,příprava a provádění vnějších a vnitřních polymerových omítkových systémů (2005).
203. ČSN 72 2414 (CEN/TR 15124) Navrhování, příprava a provádění vnitřních sádrových omítkových systémů (2006).
204. ČSN 72 2430 – 1 Malty pro stavební účely. Část 1. Společná ustanovení (1992).
205. ČSN 72 2430 – 2 Malty pro stavební účely. Část 2. Průmyslově vyráběné malty (1992).
206. ČSN 72 2430 – 3 Malty pro stavební účely. Část 3. Malty pro zdění, výrobu keramických dílců a stykové malty (1992).
207. ČSN 72 2430 – 4 Malty pro stavební účely. Část 4. Malty pro omítky (1992).
208. ČSN 72 2430 – 5 Malty pro stavební účely. Část 5. Speciální malty (1992).
209. ČSN 72 2601 Skúšanie tehliarskych výrobkov. Spoločné ustanovenia – Změna Z3 a Změna Z4.
210. ČSN 72 2642 Cihelné výrobky pro vodorovné konstrukce – Hurdisky (2003).
211. ČSN 72 4801 Výrobky zdravotnické keramiky (1982).
212. ČSN 72 4805 Vady výrobků jemné keramiky. Názvy a definice (1991).
213. ČSN 72 4840 Výrobky zdravotnické keramiky. Všeobecné technické požadavky (1990).
214. ČSN 72 4841 Výrobky zdravotnické keramiky. Zkušební metody (1993).
215. ČSN 72 5149 Keramické obkladačky a dlaždice – Názvy a definice (1984).
216. ČSN 72 5182 Keramická mozaiky. Jakost, tvary rozměry.
217. ČSN 72 5191 Keramické obkladové prvky. Stanovení protiskluznosti (2004).
218. ČSN 72 5220 Hospodářská kamenina. Jakost, tvary a rozměry (1974).
219. ČSN 72 5250 Chemicky odolná stavební kamenina – Požadavky a zkušební metody (2005).
220. ČSN 72 7010 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Společná ustanovení (1995).
221. ČSN 72 7011 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda válce (1994).
222. ČSN 72 7012 – 1 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 1: Společná ustanovení (1994).
223. ČSN 72 7012 – 2 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 2: Metoda chráněné teplé desky (1994).
224. ČSN 72 7012 – 3 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku (1994).
225. ČSN 72 7013 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda koule (1994).
226. ČSN 72 7302 Tepelněizolační materiály z anorganických vláken. Metody zkoušení (1985).
227. ČSN 72 7306 Stanovení součinitele tepelné vodivosti stavebních materiálů a výrobků (1995).
228. ČSN 72 7308 Minerální vlákna. Technické požadavky (1989).
229. ČSN 72 7312 Prošívané rohože z minerální vlny (1995).
230. ČSN 72 7313 Lamelové rohože z minerální vlny (1995).
231. ČSN 73 0532 Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních výrobků – Požadavky (2000).
232. ČSN 73 0532 Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a související vlastnosti stavebních výrobků – Požadavky ( 2000).
233. ČSN 73 0532 Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních výrobků – Požadavky (2000).
234. ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov. Část 1: Terminologie (2005).
235. ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky (2007).
236. ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov. Část 3: Návrhové hodnoty veličin (2005).
237. ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov. Část 4: Výpočtové metody (2005).
238. ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží (2000).
239. ČSN 73 0602 Ochrana staveb proti radonu a záření gama ze stavebních materiálů (2006).
240. ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty (2000).
241. ČSN 73 0804 (2002) Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty (2002).
242. ČSN 73 0821 ed. 2 Požární bezpečnost staveb – Požární odolnost stavebních konstrukcí (2007).
243. ČSN 73 0822 Požárné technické vlastnosti hmot – Šíření plamene po povrchu stavebních hmot (1987).
244. ČSN 73 0823 Požárné technické vlastnosti hmot – Stupeň hořlavosti stavebních hmot (1984).
245. ČSN 73 0862 Stanovení stupně hořlavosti stavebních hmot (1999).
246. ČSN 73 0864 Požárné technické vlastnosti hmot – Stanovení požární výhřevnosti hořlavých látek pevného skupenství (1989).
247. ČSN 73 1001 Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy (1988).
248. ČSN 73 1105 Stropy. Navrhování a provádění hurdiskových stropů (2003).
249. ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí (1988).

250. ČSN 73 1352-5 Stanovení mechanických vlastností pórobetonu. Pracovní diagram – modul pružnosti (1991).
251. ČSN 73 1311 Zkoušení betonové směsi a betonu. Společná ustanovení (1987).
252. ČSN 73 1314 Zkušební metody pro stanovení vodního součinitele čerstvého betonu (2002).
253. ČSN 73 1316 Stanovení vlhkosti nasákavosti a vzlínavosti betonu (1989).
254. ČSN 73 1322 Stanovení mrazuvzdornosti betonu (1988) + Změna Z1 (2003).
255. ČSN 73 1323 Stanovenie hmotnosti zložiek betónu (1990).
256. ČSN 73 1324 Stanovení obrusnosti betonu (1971).
257. ČSN 73 1325 Stanovení mrazuvzdornosti betonu zkrácenými zkouškami (1971).
258. ČSN 73 1326 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek (1984).
259. ČSN 73 1327 Stanovení sorpčních vlastností betonu (1971).
260. ČSN 73 1332 Stanovení tuhnutí betonu (1985).
261. ČSN 73 1373 Tvrdoměrné metody zkoušení betonu (1981).
262. ČSN 73 1601 Plastové konstrukce. Základní ustanovení pro navrhování (1988).
263. ČSN 73 1901 Navrhování střech. Základní ustanovení (1997).
264. ČSN 73 2028 Voda pro výrobu betonu (1982) zrušená.
265. ČSN 73 2035 Zkoušení stavebních dílců na zatížení rázem (1997).
266. ČSN 73 2401 Provádění a kontrola konstrukcí z předpjatého betonu (1998).
267. ČSN 73 2578 Zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí (1982).
268. ČSN 73 2824 – 1 Třídění dřeva podle pevnosti – Část 1: Jehličnaté řezivo (2004).
269. ČSN 73 3251 Navrhování konstrukcí z kamene (1987).
270. ČSN 73 3450 Obklady keramické a skleněné (2005).
271. ČSN 73 3451 Obecná pravidla pro navrhování a provádění keramických obkladů (2005).
272. ČSN 73 3713 Navrhování, příprava a provádění vnitřních polymerových omítkových systémů (2006).
273. ČSN 73 3714 Navrhování, příprava a provádění vnitřních sádrových omítkových systémů (2006).
274. ČSN 73 3715 Navrhování, příprava a provádění vnitřních cementových a/nebo vápenných omítkových systémů (2006).
275. ČSN 73 6133 Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací (1998).
276. ČSN 73 6206 Navrhování betonových a železobetonových mostních konstrukcí (1972).
277. ČSN 73 6207 Navrhování mostních konstrukcí z předpjatého betonu (1993).
278. ČSN 73 6123 Stavba vozovek – Cementobetonové kryty – Část 1: Provádění a kontrola shody (2006).
279. ČSN 73 6174 Stanovení modulu pružnosti a přetvárnosti betonu ze zkoušky v tahu ohybem (1994).
280. ČSN 74 4505 Podlahy Společná ustanovení (1987).
281. ČSN 74 4507 Odolnost proti skluznosti povrchu podlah – Stanovení součinitele smykového tření (2007).
282. ČSN 74 4507 Zkušební metody podlah. Stanovení protiskluzných vlastností povrchů podlah (1981).
283. ČSN 77 0052-2 Obaly – Odpady z obalů – Část 2: Identifikační značení obalů pro následné využití odpadu z obalů (2003).
284. ČSN 91 4640 Nádržkové splachovače. Technické předpisy (1988).
285. ČSN EN 31 Umyvadla se sloupem – Připojovací rozměry (1999).
286. ČSN EN 32 Umyvadla nástěnná – Připojovací rozměry (1999).
287. ČSN EN 33 Záchodové mísy stojící na podlaze, s pevně připojenou splachovací nádrží – Připojovací rozměry (2003).
288. ČSN EN 34 Záchodové mísy nástěnné, s pevně připojenou nádrží. Připojovací rozměry (1993).
289. ČSN EN 35 Bidety stojící na podlaze, s horním přívodem vody – Připojovací rozměry (2000).
290. ČSN EN 36 Bidety nástěnné, s horním přívodem vody – Připojovací rozměry (1999).
291. ČSN EN 37 Záchodové mísy stojící na podlaze, s volným přítokem vody – Připojovací rozměry (1999).
292. ČSN EN 38 Záchodové mísy nástěnné, s volným přítokem vody. Připojovací rozměry (1993).
293. ČSN EN 46 Ochranné prostředky na dřevo. Zjišťování preventivního účinku proti čerstvě vylíhnutým larvám Hylotrupes bajulus (Linnaeus) (Laboratorní metoda) (1995).
294. ČSN EN 80 Pisoárové mísy nástěnné – Připojovací rozměry (2002).
295. ČSN EN 87 Keramické obkladové prvky. Názvy, klasifikace, požadavky a označování (1994).
296. ČSN EN 101 Keramické obkladové prvky. Stanovení tvrdosti povrchu podle Mohse (1994).
297. ČSN EN 111 Umývátka nástěnná – Připojovací rozměry (2003).
298. ČSN EN 121 Keramické obkladové prvky. Tažené obkladové prvky s nízkou nasákavostí (E < 3%). Skupina A I (1994).
299. ČSN EN 159 Keramické obkladové prvky. Za sucha lisované obkladové prvky s nízkou nasákavostí (E > 10%). Skupina B III (1994).
300. ČSN EN 176 Keramické obkladové prvky. Za sucha lisované obkladové prvky s nízkou nasákavostí (E < 3%). Skupina B I (1994).
301. ČSN EN 177 Keramické obkladové prvky. Za sucha lisované obkladové prvky s nízkou nasákavostí (3% < E =< 6%). Skupina B IIa (1994).
302. ČSN EN 178 Keramické obkladové prvky. Za sucha lisované obkladové prvky s nízkou nasákavostí (6% < E =< 10%). Skupina B IIb (1994).
303. ČSN EN 186-1 Keramické obkladové prvky. Tažené obkladové prvky s nasákavostí (3% < E =< 6%). Skupina A IIa – část 1 (1994).
304. ČSN EN 186-2 Keramické obkladové prvky. Tažené obkladové prvky s nasákavostí (3% < E =< 6%). Skupina A IIa – část 2 (1994).
305. ČSN EN 187-1 Keramické obkladové prvky. Tažené obkladové prvky s nasákavostí (6% < E =< 10%). Skupina A IIb – část 1 (1994).
306. ČSN EN 187-2 Keramické obkladové prvky. Tažené obkladové prvky s nasákavostí (6% < E =< 10%). Skupina A IIb – část 2 (1994).
307. ČSN EN 188 Keramické obkladové prvky. Tažené obkladové prvky s nasákavostí (E > 10%). Skupina AIII (1994).
308. ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu. Část 1: Stanovení pevnosti (1996).
309. ČSN EN 196-2 Metody zkoušení cementu. Část 2: Chemický rozbor cementu(1996).
310. ČSN EN 196-3 Metody zkoušení cementu. Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti (1996).
311. ČSN EN 196-4 Metody zkoušení cementu. Část 4: Kvantitativní stanovení hlavních složek (1993).
312. ČSN EN 196-5 Metody zkoušení cementu. Část 5: Zkouška pucolanity pucolánových cementů (1996).
313. ČSN EN 196-6 Metody zkoušení cementu. Stanovení jemnosti mletí (1993).
314. ČSN EN 196-7 Metody zkoušení cementu. Postupy pro odběr a úpravu vzorků cementu (1993).
315. ČSN EN 196-8 Metody zkoušení cementu – Část 8: Stanovení hydratačního tepla – Rozpouštěcí metoda (2004).
316. ČSN EN 196-9 Metody zkoušení cementu – Část 9: Stanovení hydratačního tepla – Semiadiabatická metoda.(2007).
317. ČSN EN 196-10 Metody zkoušení cementu – Část 10: Stanovení obsahu ve vodě rozpustného chrómu (Cr6+) v cementu (2004).
318. ČSN EN 196-21 Metody zkoušení cementu. Stanovení chloridů, oxidu uhličitého a alkálií v cementu (1993).

319. ČSN EN 197-1 Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití (2001).
320. ČSN EN 197-2 Cement – Část 2: Hodnocení shody (2001).
321. ČSN EN 197-4 Cement – Část 4: Složení, specifikace a kritéria shody vysokopecních cementů s nízkou počáteční pevností (2004).
322. ČSN EN 206-1/Změna Z2 – 2003 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda (2003).
323. ČSN EN 295-1 Kameninové trouby, tvarovky a spoje trub pro venkovní a vnitřní kanalizaci. Část 1: Požadavky (2000).
324. ČSN EN 295-2 Kameninové trouby, tvarovky a spoje trub pro venkovní a vnitřní kanalizaci. Část 2: Kontrola jakosti a odběr vzorků (2000).
325. ČSN EN 295-3 Kameninové trouby, tvarovky a spoje trub pro venkovní a vnitřní kanalizaci. Část 3: Zkušební postupy (1999).
326. ČSN EN 295-4 Kameninové trouby, tvarovky a spoje trub pro venkovní a vnitřní kanalizaci. Část 4: Požadavky na speciální tvarovky, přechody a příslušenství (1997).
327. ČSN EN 295-5 Kameninové trouby, tvarovky a spoje trub pro venkovní a vnitřní kanalizaci. Část 5: Požadavky na děrované trouby a tvarovky (2000).
328. ČSN EN 295-6 Kameninové trouby, tvarovky a spoje trub pro venkovní a vnitřní kanalizaci. Část 6: Požadavky na kameninové šachty (1997).
329. ČSN EN 295-7 Kameninové trouby, tvarovky a spoje trub pro venkovní a vnitřní kanalizaci. Část 7: Požadavky na kameninové trouby a jejich spoje určené pro ražení (1997).
330. ČSN EN 295-10 Kameninové trouby, tvarovky a spoje trub pro venkovní a vnitřní kanalizaci. Část 10: Funkčními požadavky (2005).
331. ČSN EN 300 Desky z orientovaných plochých třísek (OSB) – Definice, klasifikace a požadavky (2006).
332. ČSN EN 309 Dřevotřískové desky. Definice a klasifikace (1995).
333. ČSN EN 310 Desky ze dřeva. Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu (1996).
334. ČSN EN 312 Třískové desky – Požadavky (část 1 – 7) (2004).
335. ČSN EN 313-1 Překližované desky – Klasifikace a terminologie – Část 1: Klasifikace (1999).
336. ČSN EN 316 Dřevovláknité desky – Definice, klasifikace a značky (2000).
337. ČSN EN 335-1 Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi. Definice tříd. Ohrožení biologickým napadením. Část 1: Všeobecné zásady (1994).
338. ČSN EN 335-2 Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi. Definice tříd ohrožení biologickým napadením. Část 2: Aplikace na rostlé dřevo (1995).
339. ČSN EN 336 Konstrukční dřevo. Jehličnaté a topolové dřevo. Rozměry, dovolené odchylky (1997).
340. ČSN EN 338 Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti (2003).
341. ČSN EN 356 Sklo ve stavebnictví – Bezpečnostní zasklení – Zkoušení a klasifikace odolnosti proti ručně vedenému útoku (2000).
342. ČSN EN 386 Lepené lamelové dřevo – Požadavky na užitné vlastnosti a minimální výrobní požadavky (2002).
343. ČSN EN 410 Sklo ve stavebnictví – Stanovení světelných a slunečních charakteristik zasklení (2000).
344. ČSN EN 413-1 Cement pro zdění. Část 1: Specifikace (2004).
345. ČSN EN 413-2 Cement pro zdění. Část 2: Zkušební metody (1996).
346. ČSN EN 423 Pružné podlahové krytiny – Zjišťování odolnosti proti vzniku skvrn (2002).
347. ČSN EN 445 Injektážní malta pro předpínací kabely – Zkušební metody (1998).
348. ČSN EN 446 Injektážní malta pro předpínací kabely – Postupy injektování (1998).
349. ČSN EN 447 Injektážní malta pro předpínací kabely – Požadavky na běžnou maltu (1998).
350. ČSN EN 450-1 Popílek do betonu – Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody (2005).
351. ČSN EN 459-1 Stavební vápno – Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody (2002).
352. ČSN EN 459-2 Stavební vápno – Část 2: Zkušební metody (2002).
353. ČSN EN 459-3 Stavební vápno – Část 3: Hodnocení shody (2003).
354. ČSN EN 477 Profily z neměkčeného polyvinylchloridu (PVC – U) pro výrobu oken a dveří – Stanovení odolnosti proti prorážení hlavních profilů pomocí padajícího závaží (1997).
355. ČSN EN 478 Profily z neměkčeného polyvinylchloridu (PVC – U) pro výrobu oken a dveří – Stanovení chování po tepelném namáhání při 150 °C – Zkušební metoda (1997).
356. ČSN EN 479 Profily z neměkčeného polyvinylchloridu (PVC – U) pro výrobu oken a dveří – Stanovení smrštění po tepelném namáhání (1997).
357. ČSN EN 480-1 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 1: Referenční beton a referenční malta pro zkoušení (2007).
358. ČSN EN 480-2 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 2: Stanovení doby tuhnutí (1999).
359. ČSN EN 480-4 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 4: Stanovení odlučování vody v betonu (1999).
360. ČSN EN 480-5 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 5: Stanovení kapilární absorpce (1999).
361. ČSN EN 480-6 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 6: Infračervená analýza (1999).
362. ČSN EN 480-8 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 8: Stanovení obsahu sušiny (1999).
363. ČSN EN 480-10 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 10: Stanovení obsahu vodou rozpustných chloridů (1999).
364. ČSN EN 480-11 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 11: Stanovení charakteristiky vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu (2000).
365. ČSN EN 480-12 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 12: Stanovení obsahu alkálií v přísadách (1999).
366. ČSN EN 480-13 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 13: Referenční malta pro zdění pro zkoušení přísad do malty (2003).
367. ČSN EN 480-14 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 14: Měření náchylnosti na korozi vyztužené oceli v betonu – Potenciostatická elektrochemická zkušební metoda (2007).
368. ČSN EN 490 Betonová krytina. Požadavky na výrobek (1995).
369. ČSN EN 491 Betonová krytina. Zkušební metody (1994).
370. ČSN EN 492 Vláknocementové střešní desky rovinné (1998).
371. ČSN EN 494 Vláknocementové střešní vlnovky a tvarovky (1999).
372. ČSN EN 513 Profily z neměkčeného polyvinylchloridu (PVC – U) pro výrobu oken a dveří – Stanovení odolnosti při vystavení umělým povětrnostním vlivům (2000).
373. ČSN EN 514 Profily z neměkčeného polyvinylchloridu (PVC – U) pro výrobu oken a dveří – Stanovení pevnosti svařených rohů a T – spojů (2001).
374. ČSN EN 515 Hliník a slitiny hliníku. Výrobky tvářené. Označování stavů (1996).
375. ČSN EN 538 Pálené střešní tašky pro skládané krytiny – Stanovení únosnosti (1996).
376. ČSN EN 539-1 Pálené střešní tašky pro skládané krytiny – Stanovení fyzikálních charakteristik – Část 1: Zkouška prosákavosti (1996).
377. ČSN EN 539-2 Pálené střešní tašky pro skládané krytiny – Stanovení fyzikálních charakteristik – Část 2: Zkouška mrazuvzdornosti (1999).
378. ČSN EN 544 Asfaltové šindele s minerálním a/nebo syntetickým vyztužením (2006).

379. ČSN EN 573-1 Hliník a slitiny hliníku. Chemické složení a druhy tvářených výrobků. Část 1. Číselné označování (2005).
380. ČSN EN 573-2 Hliník a slitiny hliníku. Chemické složení a druhy tvářených výrobků. Část 2 (1996).
381. ČSN EN 607 Okapové žlaby a tvarovky z PVC – U. Definice, požadavky, zkoušení. (2003).
382. ČSN EN 622-1 Vláknité desky – Požadavky – Část 1: Všeobecné požadavky (2003)
383. ČSN EN 622-2 Vláknité desky – Požadavky – Část 2: Požadavky na tvrdé desky (2005)
384. ČSN EN 622-3 Vláknité desky – Požadavky – Část 3: Požadavky na polotvrdé desky (2005)
385. ČSN EN 622-4 Vláknité desky – Požadavky – Část 4: Požadavky na izolační desky (1998)
386. ČSN EN 622-5 Vláknité desky – Požadavky – Část 5: Požadavky na desky vyrobené suchým procesem (MDF) (2006)
387. ČSN EN 633 Cementotřískové desky. Definice a klasifikace (1996).
388. ČSN EN 634 – 1Cementotřískové desky – Specifikace – Část 1: Všeobecné požadavky (1997).
389. ČSN EN 634 – 2 Cementotřískové desky – Specifikace – Část 2: Požadavky pro třískové desky pojené portlandským cementem pro použití v suchém, vlhkém a venkovním prostředí (1998).
390. ČSN EN 678 Stanovení objemové hmotnosti v suchém stavu autoklávovaného pórobetonu (1995).
391. ČSN EN 679 Stanovení pevnosti v tlaku autoklávovaného pórobetonu (1995).
392. ČSN EN 680 Stanovení smrštění v suchém stavu autoklávovaného pórobetonu (1995).
393. ČSN EN 755-9 Hliník a slitiny hliníku – Lisované tyče, trubky a profily – Část 9: Profily, mezní úchylky rozměrů a tvaru (2002).
394. ČSN EN 771-1 Specifikace zdicích prvků – Část 1: Pálené zdicí prvky (2003).
395. ČSN EN 771-1 Změna A1 (72 2634) Specifikace zdicích prvků – Část 1: Pálené zdicí prvky (2005).
396. ČSN EN 771-2 Specifikace zdicích prvků – Část 2: Vápenopískové zdicí prvky (2003).
397. ČSN EN 771-2 Změna A1 (72 2634) Specifikace zdicích prvků – Část 2: Vápenopískové zdicí prvky (2005).
398. ČSN EN 771-3 Specifikace zdicích prvků – Část 3: Betonové tvárnice s hutným a pórovitým kamenivem (2004).
399. ČSN EN 771-3 Změna A1 (72 2635) Specifikace zdicích prvků – Část 3: Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem (2005).
400. ČSN EN 771-3 Oprava 1 (72 2635) Specifikace zdicích prvků – Část 3: Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem (2006).
401. ČSN EN 771-4 Specifikace zdicích prvků – Část 4: Pórobetonové tvárnice (2004).
402. ČSN EN 771-6 Specifikace zdicích prvků – Část 6: Zdicí prvky z přírodního kamene (2006).
403. ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdicí prvky – Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku (2000).
404. ČSN EN 772-11 Zkušební metody pro zdicí prvky – Část 11: Stanovení nasákavosti betonových tvárnic a zdicích prvků z umělého a přírodního kamene vlivem kapilarity a počáteční rychlosti nasákavosti pálených zdicích prvků (2004).
405. ČSN EN 772-13 Zkušební metody pro zdicí prvky – Část 13: Stanovení objemové hmotnosti materiálu zdicích prvků za sucha a objemové hmotnosti zdicích prvků za sucha (kromě zdicích prvků z přírodního kamene) (2000).
406. ČSN EN 772-16 Zkušební metody pro zdicí prvky – Část 16: Stanovení rozměrů (1999).
407. ČSN EN 822 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení délky a šířky (1997).
408. ČSN EN 823 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení tloušťky (1997).
409. ČSN EN 824 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení pravoúhlosti (1997).
410. ČSN EN 825 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení rovinnosti (1997).
411. ČSN EN 826 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Zkouška tlakem (1997).
412. ČSN EN 844-1 Kulatina a řezivo zrušená – Terminologie – Část 1: Obecné termíny společné pro kulatinu a řezivo (1997).
413. ČSN EN 844-3 Kulatina a řezivo – Terminologie – Část 3: Obecné termíny vztahující se k řezivu (1997).
414. ČSN EN 844-4 Kulatina a řezivo – Terminologie – Část 4: Termíny pro vlhkost (1998).
415. ČSN EN 844-9 Kulatina a řezivo – Terminologie – Část 9: Termíny pro znaky řeziva (1998).
416. ČSN EN 932-1 Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 1: Metody odběru vzorků (2001).
417. ČSN EN 932-2 Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 2: Metody zmenšování laboratorních vzorků (2000).
418. ČSN EN 932-3 Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 3: Postup a názvosloví pro jednoduchý petrografický popis (1997).
419. ČSN EN 932-6 Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 6: Definice opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (2000).
420. ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor (1998).
421. ČSN EN 933-2 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 2: Stanovení zrnitosti – Zkušební síta, jmenovité velikosti otvorů (1997).
422. ČSN EN 933-3 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 3: Stanovení tvaru zrn – Index plochosti (2001).
423. ČSN EN 933-4 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index (2000).
424. ČSN EN 933-7 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 7: Stanovení obsahu schránek živočichů – podíl schránek živočichů v hrubém kamenivu (2001).
425. ČSN EN 933-8 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 8: Posouzení jemných částic – Zkouška ekvivalentu písku (2001).
426. ČSN EN 933-9 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9: Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří (2001).
427. ČSN EN 934-2 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Část 2: Přísady do betonu – Definice, požadavky, shoda, označování a značení štítkem (2003).
428. ČSN EN 934-3 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Část 3: Přísady pro zdicí malty – Definice, požadavky, shoda, označování a značení štítkem (2004).
429. ČSN EN 934-4 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Část 4: Přísady do injektážní malty pro předpínací kabely – Definice, požadavky, shoda, označování a značení štítkem (2003).
430. ČSN EN 934-6 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Část 6: Odběr vzorků, kontrola shody a hodnocení shody (2003).
431. ČSN EN 997 Záchodové mísy a soupravy se zabudovanou zápachovou uzávěrkou (2004).
432. ČSN EN 998-1 Specifikace malt pro zdivo – Část 1: Malta pro vnitřní a vnější omítky (2003).
433. ČSN EN 998-2 Specifikace malt pro zdivo – Část 2: Malta pro zdění (2003).
434. ČSN EN 1008 Záměsová voda do betonu – Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu (2003).
435. ČSN EN 1015 – 1 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 1: Stanovení zrnitosti sítovým rozborem (2000).
436. ČSN EN 1015 – 2 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt (2000).

437. ČSN EN 1015 – 4 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 4: Stanovení konzistence čerstvé malty s použitím přístroje pro stanovení hodnoty penetrace (1999).
438. ČSN EN 1015 – 6 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty (2000).
439. ČSN EN 1015 – 7 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě (2000).
440. ČSN EN 1015 – 9 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 9: Stanovení doby zpracovatelnosti a času pro úpravu čerstvé malty (2000).
441. ČSN EN 1015 – 11 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku (2000).
442. ČSN EN 1024 Pálené střešní tašky pro skládané krytiny – Stanovení geometrických charakteristik (1998).
443. ČSN EN 1063 Sklo ve stavebnictví – Bezpečnostní zasklení – Zkoušení a klasifikace odolnosti proti střelám (2000).
444. ČSN EN 1084 Překližované desky.Třídy úniku formaldehydu podle metody plynové analýzy (1997).
445. ČSN EN 1094-1: Žárovzdorné výrobky izolační – Část 1: Terminologie keramických vláknitých výrobků (1998).
446. ČSN EN 1094-2: Žárovzdorné výrobky izolační – Část 2: Klasifikace tvarových výrobků (1999).
447. ČSN EN 1094-4: Žárovzdorné výrobky izolační – Část 4: Stanovení objemové hmotnosti a skutečné pórovitosti tvarových výrobků (1996).
448. ČSN EN 1094-6: Žárovzdorné výrobky izolační – Část 6: Stanovení trvalých délkových změn v žáru tvarových výrobků (1999).
449. ČSN EN 1097-1 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 1: Stanovení odolnosti proti otěru (mikro – Deval) (1997).
450. ČSN EN 1097-2 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení (2006).
451. ČSN EN 1097-3 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva (2001).
452. ČSN EN 1097-5 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 5: Stanovení vlhkosti sušením v sušárně (2001).
453. ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti (2006).
454. ČSN EN 1097-7 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 7: Stanovení měrné hmotnosti filleru – Pyknometrická zkouška (2000).
455. ČSN EN 1097-8 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 8: Stanovení hodnoty ohladitelnosti (2000).
456. ČSN EN 1097-9 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 9: Stanovení odolnosti proti obrusu pneumatikami s hroty – Nordická zkouška (2001) zmrazování a rozmrazování (2005).
457. ČSN EN 1194 Dřevěné konstrukce. Lepené lamelové dřevo. Třídy pevnosti a stanovení charakteristických hodnot (1999).
458. ČSN EN 1226-2 Stanovení soudržnosti ocelové výztuže s autoklávovaným pórobetonem trámcovou zkouškou – Část 2: Dlouhodobá zkouška (2004).
459. ČSN EN 1304 Pálené střešní tašky pro skládané krytiny – Definice a specifikace výrobků (2003).
460. ČSN EN 1308 Maltoviny a lepidla pro keramické obkladové prvky. Stanovení skluzu (1998).
461. ČSN EN 1323 Maltoviny a lepidla pro keramické obkladové prvky. Betonová deska pro zkoušení (1998).
462. ČSN EN 1324 Maltoviny a lepidla pro keramické obkladové prvky. Stanovení přídržnosti disperzních lepidel smykovou zkouškou (1998).
463. ČSN EN 1338 Betonové dlaždice – Požadavky a zkušební metody (2005).
464. ČSN EN 1338 Betonové dlažební bloky – Požadavky a zkušební metody (2004).
465. ČSN EN 1340 Betonové obrubníky – Požadavky a zkušební metody (2003).
466. ČSN EN 1341 Desky z přírodního kamene pro venkovní dlažbu – Požadavky a zkušební metody (2003).
467. ČSN EN 1342 Dlažební kostky z přírodního kamene pro venkovní dlažbu – Požadavky a zkušební metody (2003).
468. ČSN EN 1343 Obrubníky z přírodního kamene pro venkovní dlažbu – Požadavky a zkušební metody (2003).
469. ČSN EN 1346 Maltoviny a lepidla pro keramické obkladové prvky. Stanovení doby zavadnutí (1998).
470. ČSN EN 1347 Maltoviny a lepidla pro keramické obkladové prvky. Stanovení smáčivosti (1998).
471. ČSN EN 1348 Maltoviny a lepidla pro keramické obkladové prvky. Stanovení přídržnosti cementových maltovin tahovou zkouškou (1998).
472. ČSN EN 1350-4 Zkoušení pórobetonu. Vyhodnocení výsledků zkoušek (1992).
473. ČSN EN 1351 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu autoklávovaného pórobetonu (1998).
474. ČSN EN 1352 Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku autoklávovaného pórobetonu a mezerovitého betonu z pórovitého kameniva (1998).
475. ČSN EN 1353 Stanovení vlhkosti autoklávovaného pórobetonu (1998).
476. ČSN EN 1367-1 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování (2001).
477. ČSN EN 1367-2 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 2: Zkouška síranem hořečnatým (2004).
478. ČSN EN 1367-3 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 3: Zkouška varem pro rozpadavý čedič (2004).
479. ČSN EN 1402-1 Žárovzdorné výrobky netvarové – Část 1: Úvodní ustanovení a klasifikace (2004).
480. ČSN EN 1402-4 Žárovzdorné výrobky netvarové – Část 4: Stanovení konzistence žárobetonů (2004).
481. ČSN EN 1467 Přírodní kámen – Hrubé bloky – Požadavky (2004).
482. ČSN EN 1468 Přírodní kámen – Hrubé desky – Požadavky (2004).
483. ČSN EN 1544 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení dotvarování výrobků z umělých pryskyřic (PC) pro kotvení výztužných prutů působením trvalého tahového zatížení (2007).
484. ČSN EN 1560 Slévárenství – Systém označování litiny – Značky materiálů a číselné označování materiálů (1999).
485. ČSN EN 1563 Slévárenství – Litiny s kuličkovým grafitem (1999).
486. ČSN EN 1602 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení objemové hmotnosti (1997).
487. ČSN EN 1603 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení rozměrové stability za konstantních laboratorních podmínek (23 °C/50 % relativní vlhkosti) (1998).
488. ČSN EN 1604 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení rozměrové stability za určených teplotních a vlhkostních podmínek (1998).
489. ČSN EN 1605 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení deformace při určeném zatížení tlakem a určených teplotních podmínkách (1998).
490. ČSN EN 1606 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení dotvarování tlakem (1998).
491. ČSN EN 1607 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky (1998).
492. ČSN EN 1608 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení pevnosti v tahu v rovině desky (1998).
493. ČSN EN 1609 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření (1998).

494. ČSN EN 1652 Měď a slitiny mědi – Desky, plechy, pásy a kotouče pro všeobecné použití (2000).
495. ČSN EN 1744-1 Zkoušení chemických vlastností kameniva – Část 1: Chemický rozbor (2001).
496. ČSN EN 1745 Zdivo a výrobky pro zdivo – Metody pro stanovení návrhových tepelných hodnot (2004).
497. ČSN EN 1916 Trouby a tvarovky z prostého betonu, drátkobetonu a železobetonu (2004).
498. ČSN EN 1926 Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení pevnosti v prostém tlaku (2007).
499. ČSN EN 1928 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení vodotěsnosti (2001).
500. ČSN EN 1936 Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení měrné a objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti (2007).
501. ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (2006)
502. ČSN EN 1996-2 Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 2: Volba materiálů,konstruování a provádění zděných konstrukcí (2006)
503. ČSN EN 1997-1 Eurokod 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla (2006).
504. ČSN EN 10002-1 Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za okolní teploty (2002).
505. ČSN EN 10002-5 Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 5: Zkouška tahem za zvýšené teploty (1998).
506. ČSN EN 10025-1 Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 1: Všeobecné technické dodací podmínky (2005).
507. ČSN EN 10025-2 Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 2: Technické dodací podmínky na konstrukční oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi (2005).
508. ČSN EN 10027-1 Systémy označování ocelí. Část 1 Stavba značek ocelí (2006).
509. ČSN EN 10027-2 Systémy označování ocelí. Část 2 (Systém číselného označování (1995).
510. ČSN EN 10045-1 Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho – Část 1: Zkušební metoda (V a U vruby) (1998).
511. ČSN EN 10079 Hutnictví železa. Definice ocelových výrobků (2007).
512. ČSN EN 10080 Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná betonářská ocel – Všeobecně (2006).
513. ČSN EN 10291 Kovové materiály – Zkoušení tečení jednoosým tahem – Zkušební metoda (2001).
514. ČSN EN 12002 Malty a lepidla pro keramické obkladové prvky – Stanovení příčné deformace cementových malt a lepidel a spárovacích malt (2003).
515. ČSN EN 12003 Maltoviny a lepidla pro keramické obkladové prvky. Stanovení přídržnosti lepidel na bázi tvrditelných pryskyřic smykovou zkouškou (1998).
516. ČSN EN 12004 Malty a lepidla pro keramické obkladové prvky – Definice a specifikace (2001).
517. ČSN EN 12020-2 Hliník a slitiny hliníku – Lisované přesné profily ze slitin EN AW-6060 a EN AW-6063 – Část 2: Mezní úchylky rozměrů a tvaru (2002).
518. ČSN EN 12057 Výrobky z přírodního kamene – Tenké desky – Požadavky (2005).
519. ČSN EN 12058 Výrobky z přírodního kamene – Podlahové a schodišťové desky – Požadavky (2005).
520. ČSN EN 12085 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení lineárních rozměrů zkušebních vzorků (1998).
521. ČSN EN 12086 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení propustnosti pro vodní páru (1998).
522. ČSN EN 12087 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Stanovení dlouhodobé nasákavosti při ponoření (1998).
523. ČSN EN 12088 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení dlouhodobé navlhavosti při difuzi (1998).
524. ČSN EN 12089 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Zkouška ohybem (1998).
525. ČSN EN 12090 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Zkouška smykem (1998).
526. ČSN EN 12091 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení odolnosti při střídavém zmrazování a rozmrazování (1998).
527. ČSN EN 12311-1 Hydroizolační pásy a fólie – Část 1: Asfaltové pásy pro hydroizolaci střech – Stanovení tahových vlastností (2000).
528. ČSN EN 12326-1 Výrobky z břidlice a přírodního kamene pro skládanou střešní krytinu a vnější obklady – Část 1: Specifikace výrobku (2005).
529. ČSN EN 12326-2 Výrobky z břidlice a přírodního kamene pro skládanou střešní krytinu a vnější obklady-Část 2: Zkušební metody (2001).
530. ČSN EN 12350-1 Zkoušení čerstvého betonu – Část 1: Odběr vzorků (2000).
531. ČSN EN 12350-2 Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím (2000).
532. ČSN EN 12350-3 Zkoušení čerstvého betonu – Část 3: Zkouška Vebe (2000).
533. ČSN EN 12350-4 Zkoušení čerstvého betonu – Část 4: Stupeň zhutnitelnosti (2000).
534. ČSN EN 12350-5 Zkoušení čerstvého betonu – Část 5: Zkouška rozlitím (2000).
535. ČSN EN 12350-6 Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost (2000).
536. ČSN EN 12350-7 Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu – Tlakové metody (2001).
537. ČSN EN 12369-1 Desky na bázi dřeva – Charakteristické hodnoty pro navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1: OSB, třískové a vláknité desky (2001).
538. ČSN EN 12369-2 Desky na bázi dřeva – Charakteristické hodnoty pro navrhování dřevěných konstrukcí – Část 2: Překližované desky (2004).
539. ČSN EN 12372 Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení pevnosti za ohybu při soustředěném zatížení (2007).
540. ČSN EN 12390-1 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy (2001).
541. ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti (2001).
542. ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu. Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles (2002).
543. ČSN EN 12390-4 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 4: Pevnost v tlaku – Požadavky na zkušební lisy (2001).
544. ČSN EN 12390-5 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles (2001).
545. ČSN EN 12390-6 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles (2001).
546. ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu (2001).
547. ČSN EN 12390-8 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou (2001).
548. ČSN EN 12407 Zkušební metody přírodního kamene – Petrografický rozbor (2001).
549. ČSN EN 12429 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Postupy k dosažení rovnovážné vlhkosti za určených teplotních a vlhkostních podmínek (1999).
550. ČSN EN 12430 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení odolnosti při bodovém zatížení (1999).
551. ČSN EN 12431 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví. Stanovení tloušťky izolačních výrobků pro plovoucí podlahy (1999).
552. ČSN EN 12440 Přírodní kámen – Pojmenování (2002).

553. ČSN EN 12446 Komíny – Konstrukční díly – Prvky komínového pláště z betonu (2004).
554. ČSN EN 12475-1 Klasifikace žárovzdorných výrobků tvarových hutných – Část 1: Hlinitokřemičité výrobky (1999).
555. ČSN EN 12475-2 Klasifikace žárovzdorných výrobků tvarových hutných – Část 2: Zásadité výrobky obsahující méně než 7 % zbytkového uhlíku (1999).
556. ČSN EN 12475-3 Klasifikace žárovzdorných výrobků tvarových hutných – Část 3: Zásadité výrobky obsahující 7 % až 30 % zbytkového uhlíku (1999).
557. ČSN EN 12475-4 Klasifikace žárovzdorných výrobků tvarových hutných – Část 4: Zvláštní výrobky (1999).
558. ČSN EN 12504-1 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrty – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku (2001).
559. ČSN EN 12504-2 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedestruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem (2002).
560. ČSN EN 12524 Stavební materiály a výrobky – Tepelné vlhkostní vlastnosti – Tabulkové návrhové hodnoty (2001).
561. ČSN EN 12588 Olovo a slitiny olova – Válcované plechy z olova pro stavebnictví (2007).
562. ČSN EN 12592 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení rozpustnosti (2007).
563. ČSN EN 12593 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse (2007).
564. ČSN EN 12594 Asfalty a asfaltová pojiva – Příprava analytických vzorků (2007).
565. ČSN EN 12606-1 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení obsahu parafínu – Část 1: Destilační metoda (2007).
566. ČSN EN 12620 Kamenivo do betonu (2006)
567. ČSN EN 12637-3 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Slučitelnost výrobků pro injektování – Část 3: Vliv výrobků pro injektování na elastomerové vložky v betonu (2004).
568. ČSN EN 12670 Přírodní kámen – Terminologie (2003).
569. ČSN EN 12775 Desky z rostlého dřeva – Klasifikace a terminologie (2001).
570. ČSN EN 12808-1 Spárovací malty a lepidla pro keramické obkladové prvky. Část 1: Stanovení chemické odolnosti maltovin na bázi reaktivních pryskyřic (2000).
571. ČSN EN 12808-2 Spárovací malty a lepidla pro keramické obkladové prvky – Část 2: Stanovení odolnosti proti oděru (2002).
572. ČSN EN 12808-3 Spárovací malty a lepidla pro keramické obkladové prvky – Část 3: Stanovení pevnosti v ohybu a v tlaku (2002).
573. ČSN EN 12808-4 Spárovací malty a lepidla pro keramické obkladové prvky – Část 4: Stanovení smrštění (2002).
574. ČSN EN 12808 – 5 Spárovací malty a lepidla pro keramické obkladové prvky – Část 5: Stanovení nasákavosti ve vodě (2002).
575. ČSN EN 12859 Sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody (2002).
576. ČSN EN 12860 Sádrová lepidla pro sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody (2002).
577. ČSN EN 12878 Pigmenty pro vybarvování stavebních materiálů na bázi cementu a/nebo vápna – Specifikace a zkušební postupy (2000).
578. ČSN EN 13055 – 2 Pórovité kamenivo – Část 2: Pórovité kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové úpravy a pro stmelené a nestmelené aplikace (2004).
579. ČSN EN 13057 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení odporu ke kapilární absorpci (2003).
580. ČSN EN 13162 Tepelněizolační výrobky pro stavebnictví – Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW) – Specifikace (2002).
581. ČSN EN 13163 Tepelněizolační výrobky pro stavebnictví – Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového polystyrenu (EPS) – Specifikace (2002).
582. ČSN EN 13164 Tepelněizolační výrobky pro stavebnictví – Průmyslově vyráběné výrobky z extrudované polystyrenové pěny (XPS) – Specifikace (2002).
583. ČSN EN 13168 Tepelněizolační výrobky pro stavebnictví – Průmyslově vyráběné výrobky z dřevité vlny (WW) – Specifikace (2002)
584. ČSN EN 13172 Tepelněizolační výrobky – Hodnocení shody (2002).
585. ČSN EN 13226 Dřevěné podlahoviny – Parketové vlysy s perem a/nebo drážkou (2004).
586. ČSN EN 13227 Dřevěné podlahoviny – Lamparkety z rostlého dřeva (2004).
587. ČSN EN 13263-1 Křemičitý úlet do betonu – Část 1: Definice, požadavky a kritéria shody (2005)
588. ČSN EN 13279-1 Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky – Část 1: Definice a požadavky.
589. ČSN EN 13279-2 Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky – Část 2: Zkušební metody.
590. ČSN EN 13286-1 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 1: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Úvod, všeobecné požadavky a odběr vzorků (2004).
591. ČSN EN 13286-2 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška (2005).
592. ČSN EN 13286-3 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 3: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Vibrační tlak s řízenými parametry (2004).
593. ČSN EN 13286-4 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 4: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Vibrační pěch (2004).
594. ČSN EN 13286-5 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 5: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Vibrační stůl (2005).
595. ČSN EN 13286-7 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 7: Zkouška nestmelených směsí cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji (2005).
596. ČSN EN 13286-40 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 40: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v prostém tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy (2004).
597. ČSN EN 13286-41 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy (2004).
598. ČSN EN 13286-42 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 42: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v příčném tahu směsí stmelených hydraulickými pojivy (2004).
599. ČSN EN 13286-43 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 43: Zkušební metoda pro stanovení modulu pružnosti směsí stmelených hydraulickými pojivy (2004).
600. ČSN EN 13286-44 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 44: Zkušební metoda pro stanovení součinitele alfa vysokopecní strusky (2004).
601. ČSN EN 13286-45 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 45: Zkušební metoda pro stanovení doby zpracovatelnosti směsí stmelených hydraulickými pojivy (2005).
602. ČSN EN 13286-46 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 46: Zkušební metoda pro stanovení součinitele stavu vlhkosti (MCV) (2004).
603. ČSN EN 13286-47 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání (2005).

604. ČSN EN 13286-48 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 48: Zkušební metoda pro stanovení stupně rozpadu (2006).
605. ČSN EN 13286-49 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 49: Zkušební metoda pro stanovení zrychleného bobtnání zemin zlepšených vápnem a/nebo hydraulickými pojivy (2005).
606. ČSN EN 13286-50 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 50: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí Proctorova zařízení nebo vibračního stolu (2005).
607. ČSN EN 13286-51 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 51: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí vibračního pěchu (2005).
608. ČSN EN 13286-52 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 52: Metody pro výrobu zkušebních těles vibrokompresí (2005).
609. ČSN EN 13286-53 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 53: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí osového tlaku (2005).
610. ČSN EN 13353 Desky z rostlého dřeva (SWP) – Požadavky (2003).
611. ČSN EN 13369 Společná pravidla pro betonové prefabrikáty (2002).
612. ČSN EN 13383-1 Kámen pro vodní stavby – Část 1: Specifikace (2004).
613. ČSN EN 13395-1 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení zpracovatelnosti – Část 1: Zkouška tekutosti thixotropních malt (2003).
614. ČSN EN 13395-2 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení zpracovatelnosti – Část 2: Zkouška tekutosti injektážních směsí nebo malt (2003).
615. ČSN EN 13395-3 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení zpracovatelnosti – Část 3: Zkouška tekutosti (rozlití) správkových betonů (2003).
616. ČSN EN 13395-4 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení zpracovatelnosti – Část 4: Použití správkové malty na podhledové povrchy (2003)
617. ČSN EN 13398 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů (2004).
618. ČSN EN 13407 Pisoárové mísy nástěnné – Funkční požadavky a zkušební metody (2007)
619. ČSN EN 13412 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení modulu pružnosti v tlaku (2007).
620. ČSN EN 13454-1 (72 2485) Pojiva,kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého-Část 1:Definice a požadavky (2005).
621. ČSN EN 13454-2 Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého – Část 2: Zkušební metody (2004).
622. ČSN EN 13468 Tepelněizolační výrobky pro zařízení budov a průmyslové instalace – Stanovení stopových množství ve vodě rozpustných chloridových, fluoridových, křemičitanových a sodných iontů a stanovení pH (2002).
623. ČSN EN 13488 Dřevěné podlahoviny – Mozaikové parkety (2004).
624. ČSN EN 13491 Geosyntetické izolace – Vlastnosti požadované pro použití jako hydroizolace při stavbě tunelů a podzemních staveb (2005).
625. ČSN EN 13500 Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví – Vnější tepelněizolační kompozitní systémy (ETICS) z minerální vlny – Specifikace (2004).
626. ČSN EN 13501-1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň
627. ČSN EN 13501-4 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 4: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti prvků systémů pro usměrňování pohybu kouře (2007).
628. ČSN EN 13503-2 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení (2004).
629. ČSN EN 13523-18 Kontinuálně lakované kovové pásy – Zkušební metody – Část 18: Odolnost proti vzniku skvrn (2003).
630. ČSN EN 13541 Sklo ve stavebnictví – Bezpečnostní zasklení – Zkoušení a klasifikace odolnosti proti výbuchovému tlaku.(2001).
631. ČSN EN 13556 Kulatina a řezivo – Obchodní názvy dřeva používaného v Evropě (2004).
632. ČSN EN 13578 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Slučitelnost s mokrým betonem (2004).
633. ČSN EN 13579 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – zkouška hydrofobní impregnace sušením (2003).
634. ČSN EN 13580 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Absorpce vody a odolnost hydrofobních impregnací proti alkáliím (2003).
635. ČSN EN 13581 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení úbytku hmotnosti hydrofobizovaného betonu po střídavém působení mrazu a rozmrazovacích solí (2003).
636. ČSN EN 13584 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení dotvarování tlakem správkových výrobků (2004).
637. ČSN EN 13614 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení přilnavosti asfaltových emulzí zkouškou ponořením do vody – Metoda s kamenivem (2004).
638. ČSN EN 13658-1 a 2 Kovové pletivo a lišty- definice, požadavky a zkušební metody-Část 1: Vnitřní omítání, Část 2: Vnější omítání (2005).ČSN EN 13318 Potěrové materiály a podlahové potěry – Definice (2001).
639. ČSN EN 13687-1 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení tepelné slučitelnosti – Část 1: Teplotní cyklování s ponořením do rozmrazovacího solného roztoku (2002).
640. ČSN EN 13687-2 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení tepelné slučitelnosti – Část 2: Teplotní cyklování s náporovým skrápěním (teplotní šok) (2002).
641. ČSN EN 13687-3 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení tepelné slučitelnosti – Část 3: Teplotní cyklování bez ponoření do rozmrazovacího solného roztoku (2002).
642. ČSN EN 13687-4 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení tepelné slučitelnosti – Část 4: Teplotní cyklování za sucha (2002).
643. ČSN EN 13687-5 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení tepelné slučitelnosti – Část 5: Odolnost vůči teplotnímu šoku (2002).
644. ČSN EN 13733 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení trvanlivosti adheziv (2003).
645. ČSN EN 13707 Hydroizolační pásy a folie – Vyztužené asfaltové pásy pro hydroizolaci střech. Definice a charakteristiky (2005 ).
646. ČSN EN 13756 Dřevěné podlahoviny – Terminologie (2004)
647. ČSN EN 13813 Potěrové materiály a podlahové potěry – potěrové materiály – Vlastnosti a požadavky (2003).
648. ČSN EN 13815 Lité sádrové výrobky vyztužené vlákny – Definice, požadavky a zkušební metody (2007).
649. ČSN EN 13859-1 Hydroizolační pásy a folie – Definice a charakteristiky pásů a fólií podkladních a pro pojistné hydroizolace – Část 1: Pásy a folie podkladní a pro pojistné hydroizolace pro skládané krytiny (2005).

650. ČSN EN 13859-2 Hydroizolační pásy a fólie – Definice a charakteristiky pásů a fólií podkladních a pro pojistné hydroizolace – Část 2: Pásy a fólie podkladní a pro pojistné hydroizolace pro stěny (2005)ČSN EN 13823 – Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň – Stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu (2003).
651. ČSN EN 13888 Spárovací malty a lepidla pro keramické obkladové prvky – Definice a specifikace (2003).
652. ČSN EN 13892-1 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 1: Odběr vzorků, zhotovení a ošetřování zkušebních těles (2003).
653. ČSN EN 13892-2 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku (2003).
654. ČSN EN 13892-3 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 3: Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme (2004).
655. ČSN EN 13892-3 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 3: Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme (dosud nezavedena).
656. ČSN EN 13892-4 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 4: Stanovení odolnosti proti obrusu metodou BCA (2003).
657. ČSN EN 13892-5 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 5: Stanovení odolnosti potěrů, sloužících jako užitková vrstva, proti opotřebení válivým zatížením (2004).
658. ČSN EN 13892-6 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 6: Stanovení tvrdosti povrchu (2003).
659. ČSN EN 13892-7 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 7: Stanovení odolnosti potěrů s podlahovou krytinou proti opotřebení válivým zatížením (2004).
660. ČSN EN 13892-8 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 8: Stanovení přídržnosti (2003).
661. ČSN EN 13894-1 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení únavové pevnosti při dynamickém zatěžování – Část 1: Během vytvrzování (2004).
662. ČSN EN 13894-2 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení únavy při dynamickém zatížení – Část 2: Po ztvrdnutí (2003).
663. ČSN EN 13897 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – Stanovení vodotěsnosti po protažení při nízké teplotě (2005).
664. ČSN EN 13914-1 (72 2410) Navrhování, příprava a provádění vnějších a vnitřních omítek – Část 1: Vnější omítky (2005).
666. ČSN EN 13914-2 (72 2410) Navrhování, příprava a provádění vnějších a vnitřních omítek – Část 2: Příprava návrhu a základní postupy pro vnitřní omítky (2005).
666. ČSN EN 13969 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové pásy do izolace proti vlhkosti a asfaltové pásy do izolace proti tlakové vodě. Definice a charakteristiky (2005).
667. ČSN EN 13970 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové parozábrany. Definice a charakteristiky (2005).
668. ČSN EN 13986 Desky na bázi dřeva pro použití ve stavebnictví – Charakteristiky, hodnocení shody a označení (2005).
669. ČSN EN 14016-1 Potěry s hořečnatým pojivem – Kaustický oxid hořečnatý a chlorid hořečnatý – Část 1: Definice a požadavky (2004).
670. ČSN EN 14016-2 Potěry s hořečnatým pojivem – Kaustický oxid hořečnatý a chlorid hořečnatý – Část 2: Zkušební metody (2004).
671. ČSN EN 14146 Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení dynamického modulu pružnosti (pomocí základní resonanční frekvence (2005).
672. ČSN EN 14216 Cement – Složení, specifikace a kritéria shody speciálních cementů s velmi nízkým hydratačním teplem (2004).
673. ČSN EN 14227-1 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 1: Směsi zlepšené cementem pro podkladní a spodní podkladní vrstvy (2005).
674. ČSN EN 14227-2 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 2: Směsi zlepšené struskou (2005).
675. ČSN EN 14227-3 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 3: Směsi zlepšené popílkem (2005).
676. ČSN EN 14227-4 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 4: Popílky pro směsi stmelené hydraulickými pojivy (2005).
677. ČSN EN 14227-5 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 5: Směsi stmelené hydraulickými silničními pojivy (2005).
678. ČSN EN 14227-10 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 10: Zeminy upravené cementem (2006).
679. ČSN EN 14227-11 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 11: Zeminy upravené vápnem (2006).
680. ČSN EN 14227-12 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 12: Zeminy upravené granulovanou vysokopecní struskou (2006).
681. ČSN EN 14227-13 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 13: Zeminy upravené hydraulickými silničními pojivy (2006).
682. ČSN EN 14227-14 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 14: Zeminy upravené popílky (2006).
683. ČSN EN 14279 Vrstvené dřevo (LVL). – Definice, klasifikace a specifikace (2005).
684. ČSN EN 14342 Dřevěné podlahoviny – Charakteristiky, posuzování shody a označení (2005).
685. ČSN EN 14354 Desky na bázi dřeva – Dýhované podlahoviny (2005).
686. ČSN EN 14411 Keramické obkladové prvky – Definice, klasifikace, charakteristiky a označování (2007).
687. ČSN EN 14487-2 Stříkaný beton – Část 2: Provádění (2007).
688. ČSN EN 14488-2 Zkoušení stříkaného betonu – Část 2: Pevnost v tlaku mladého stříkaného betonu (2007).
689. ČSN EN 14580 Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení statického modulu pružnosti (2006).
690. ČSN EN 14617 Umělý kámen – Zkušební metody (2005).
691. ČSN EN 14618 Umělý kámen – Terminologie a klasifikace (2005). ČSN EN 14528 Bidety – Funkční požadavky a zkušební metody (2006).
692. ČSN EN 14618 Umělý kámen – Terminologie a klasifikace (2005).
693. ČSN EN 14630 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení hloubky karbonatace v zatvrdlém betonu pomocí fenolftaleinové metody (2007).
694. ČSN EN 14647 Hlinitanový cement – Složení, specifikace a kritéria shody (2006).
695. ČSN EN 14693 Hydroizolační pásy a fólie – Hydroizolace betonových mostovek a ostatních pojížděných betonových ploch – Stanovení chování asfaltových pásů při aplikaci litého asfaltu (2007).
696. ČSN EN 14755 Vytlačné lisované třískové desky – Požadavky (2006).ČSN EN 14068 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení vodotěsnosti injektovaných trhlin bez pohybu v betonu (2004).
697. ČSN EN 14758-1 Plastové potrubní systémy pro beztlakové kanalizační přípojky a stokové sítě – Polypropylen s minerálními modifikátory (PP-MD). – Část 1: Specifikace pro trubky, tvarovky a systém (2006).
698. ČSN EN 14845-2 Zkušební metody pro vlákna do betonu – Část 2: Vliv na beton (2007).
699. ČSN EN 14879-2 Systémy organických povlaků a obkladů pro ochranu průmyslových zařízení a provozů proti korozi způsobené agresivním prostředím – Část 2: Povlaky na kovových částech (2007).
700. ČSN EN 14879-3 Systémy organických povlaků a obkladů pro ochranu průmyslových zařízení a provozů proti korozi způsobené agresivním prostředím – Část 3: Povlaky na betonových částech (2007).

701. ČSN EN 14889-1 Vlákna do betonu – Část 1: Ocelová vlákna – Definice, specifikace a shoda (2007).
702. ČSN EN 14889-2 Vlákna do betonu – Část 2: Polymerová vlákna – Definice, specifikace a shoda (2007).
703. ČSN EN 14955 Povrchy pro sportoviště – Stanovení skladby a zrnitosti nezpevněných minerálních povrchů pro venkovní sportoviště (2006).
704. ČSN EN 14967 Hydroizolační pásy a fólie – Asfaltové pásy proti vzlínající vlhkosti ve stěnách. Definice a charakteristiky (2007).
705. ČSN EN 14969 Hydroizolační pásy a fólie – Hydroizolace betonových mostovek a ostatních pojížděných betonových ploch – Definice a charakteristiky (2007).
706. ČSN EN 15326 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení hustoty a specifické hmotnosti – Metoda s pyknometrem s kapilární zátkou (2007).
707. ČSN EN 15183 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Zkouška ochrany proti korozi (2007).
708. ČSN EN 15184 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Smyková soudržnost mezi ocelí s nátěrem a betonem (vytrhávací zkouška) (2007).
709. ČSN EN 45011 – Všeobecné požadavky na orgány provozující systémy certifikace výrobků (1998).
710. ČSN EN 45012 – Všeobecné požadavky na orgány provádějící posuzování a certifikaci/registraci systémů jakosti (1998).

711. ČSN EN ISO 178 Plasty – stanovení ohybových vlastností (2001).
712. ČSN EN ISO 899-1 Plasty – Stanovení kripového chování – Část 1: Krip v tahu (2004).
713. ČSN EN ISO 899-2 Plasty – Stanovení kripového chování – Část 2: Krip v ohybu při tříbodovém zatížení (2004).
714. ČSN EN ISO 1182 Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň – Zkouška nehořlavosti (2003).
715. ČSN EN ISO 1716 Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň – Stanovení spalného tepla (2003).
716. ČSN EN ISO 3325 Spékané kovové materiály mimo slinuté karbidy – Stanovení pevnosti v ohybu (2000).
717. ČSN EN ISO 7345 Tepelná izolace – Fyzikální veličiny a definice (1997).
718. ČSN EN ISO 8895 Žárovzdorné výrobky tvarové izolační – Stanovení pevnosti v tlaku při pokojové teplotě (2006).
719. ČSN EN ISO 9239-1 – Zkoušení reakce podlahových krytin na oheň – Část 1: Stanovení chování při hoření užitím zdroje sálavého tepla (2003).
720. ČSN EN ISO 10077 Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla.
721. ČSN EN ISO 10081-1 Klasifikace žárovzdorných výrobků tvarových hutných – Část 1: Hlinitokřemičité výrobky (2005)
722. ČSN EN ISO 10081-2 Klasifikace žárovzdorných výrobků tvarových hutných – Část 2: Zásadité výrobky obsahující méně než 7% zbytkového uhlíku (2005).
723. ČSN EN ISO 10081-3 Klasifikace žárovzdorných výrobků tvarových hutných – Část 3: Zásadité výrobky obsahující 7% až 50% zbytkového uhlíku (2005).
724. ČSN EN ISO 10545-1 Keramické obkladové prvky – část 1: Odběr vzorků a zásady pro přejímku (1999).
725. ČSN EN ISO 10545-2 Keramické obkladové prvky – část 2: Stanovení geometrických parametrů Odběr vzorků a zásady pro přejímku. (1999)
726. ČSN EN ISO 10545-3 Keramické obkladové prvky – část 3: Stanovení nasákavosti, zdánlivé porovitosti, zdánlivé hustoty a objemové hmotnosti (1998).
727. ČSN EN ISO 10545-4 Keramické obkladové prvky – část 4: Stanovení pevnosti v ohybu a lomové síly (1998).
728. ČSN EN ISO 10545-14 Keramické obkladové prvky – Část 14: Stanovení odolnosti proti tvorbě skvrn (1999).
729. ČSN EN ISO 11925-2 Zkoušení reakce na oheň – Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene – Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene (2003).
730. ČSN EN ISO 15310 Vlákny vyztužené plastové kompozity – Stanovení modulu pružnosti ve smyku metodou torzní desky.
731. ČSN EN ISO 17660-1 Svařování – Svařování betonářské oceli – Část 1: Nosné svarové spoje (2007).
732. ČSN EN ISO/IEC 17025 Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří (2005).
733. ČSN ISO 175 Plasty – Stanovení účinků kapalných chemikálií včetně vody (1996).
734. ČSN ISO 3696 Jakost vody pro analytické účely. Specifikace a zkušební metody (1994).
735. ČSN ISO 5019-1 Žárovzdorné tvarovky. Rozměry. Část 1: Pravoúhlé tvarovky (1994).
736. ČSN ISO 5019-2 Žárovzdorné tvarovky. Rozměry. Část 2: Kliny (1994).
737. ČSN ISO 5019-3 Žárovzdorné tvarovky. Rozměry. Část 3: Pravoúhlé tvarovky pro mřížoví rekuperátorů (1994).
738. ČSN ISO 5019-4 Žárovzdorné tvarovky. Rozměry. Část 4: Tvarovky pro klenby elektrických obloukových pecí (1994).
739. ČSN ISO 5019-5 Žárovzdorné tvarovky. Rozměry. Část 5: Záklenky (1994).
740. ČSN ISO 5019-6 Žárovzdorné tvarovky. Rozměry. Část 6: Zásadité tvarovky pro vyzdívky ocelářských kyslíkových konvertorů (1994).
741. ČSN ISO 6506-1 Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Brinella – Část 1: Zkušební metoda (2000).
742. ČSN ISO 6507-1 Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Vickerse – Část 1: Zkušební metoda (1999).
743. ČSN ISO 6508-1 Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Rockwella – Část 1: Zkušební metoda (stupnice A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T) (2000).
744. ČSN ISO 6784 Beton. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku (1993).
745. ČSN ISO 7800 Kovové materiály. Zkouška drátu krutem (1994).
746. ČSN ISO 10319 Geotextilie – Tahová zkouška na širokém proužku (1997).

747. ČSN P ENV 413-1 Cement pro zdění. Část 1: Specifikace (1998).
748. ČSN P ENV 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (1994).
749. ČSN P ENV 1995-1 Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (1996).
750. ČSN P ENV 1995-2 Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 2: Mosty (1998).
751. ČSN P ENV 1997-1 Navrhování geotechnických konstrukcí. Část 1: Obecná pravidla (1996).
752. ČSN P ENV 1997-2 Navrhování geotechnických konstrukcí. Část 2: Navrhování na základě laboratorních zkoušek (2000).
753. ČSN P ENV 1997-3 Navrhování geotechnických konstrukcí Část 3: Navrhování na základě terénních zkoušek (2000).
754. ČSN P ENV 13670-1/Změna Z1-2003 Provádění a kontrola betonových konstrukcí (2003).
755. ČSN P CEN/TS 15363 Speciální technická keramika – Mechanické vlastnosti keramických vláken při vysoké teplotě v nereaktivním prostředí – Stanovení creepového chování metodou studeného konce (2007).
756. prČSN EN 13707 Hydroizolační pásy a fólie – Vyztužené asfaltové pásy pro hydroizolaci střech – Definice a charakteristiky
757. prČSN EN 13859-1 Hydroizolační pásy a fólie – Definice a charakteristiky podkladních pásů a fólií – Část 1: Podklady pro skládané krytiny
758. prČSN EN 13859-2 Hydroizolační pásy a fólie – Definice a charakteristiky podkladních pásů a fólií – Část 2: Podklady pro zdi

759. EN 622-2 Vláknité desky – Požadavky – Část 2: Požadavky na tvrdé desky (1998) – zrušena.

760. EN 622-3 Vláknité desky – Požadavky – Část 3: Požadavky na polotvrdé desky (1998) – zrušena.
761. EN 622-5 Vláknité desky – Požadavky – Část 5: Požadavky na desky vyrobené suchým procesem (MDF) (1998) – zrušena.
762. EN 772-18 Zkušební metody pro zdicí prvky – Část 18: Stanovení mrazuvzdornosti vápenopískových zdicích prvků (2000).
763. EN 12620 Kamenivo do betonu (2006).
764. EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové úpravy silnic, letišť a jiných dopravních ploch (2006).
765. EN 13055-1 Pórovité kamenivo – Část 1: Pórovité kamenivo pro betony, malty a injektážní malty (2004).
766. EN 13055-2 Pórovité kamenivo – Část 2: Pórovité kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové úpravy a pro stmelené a nestmelené aplikace s vyloučením betonu, malty a injektážní malty.
767. EN 13139 Kamenivo pro malty (2004).
768. EN 13242 Kamenivo nestmelené a stmelené hydraulickým pojivem pro inženýrské stavby a pozemní komunikace (2006).
769. EN 13383-1 Kámen pro vodní stavby – Část 1: Specifikace (2003).
770. EN 13450 Kamenivo pro kolejové lože (2006).
771. EN 13968 Geomembranes-Product Specification – návrh (2000).
772. prEN 12602 Prefabrikované vyztužené dílce z autoklávovaného pórobetonu (2001).

773. Metodický pokyn ZP10/2003 odboru odpadů MŽP k nakládání s odpady ze stavební výroby a s odpady z rekonstrukcí a odstraňování staveb.
774. Nařízení vlády 163/2002 Sb. kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky.
775. Nařízení vlády č. 179/1997 Sb., které stanoví grafickou podobu značky CCZ.
776. Nařízení vlády č. 190/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE.
777. Nařízení vlády č. 291/2000 Sb., kterým se stanoví grafická podoba označení CE.
778. TNSK 01/1992 Povrchové úpravy kamenů. Svaz kameníků a kamenosochařů (1992).
779. TNSK 08/1998 Schodišťové stupně, podlažní obruby a prahy z přírodního kamene. Svaz kameníků a kamenosochařů (1998).
780. Vyhláška č. 307/2002 Sb. Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně.
781. Vyhláška č. 37/2001 Sb. Ministerstva zdravotnictví o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody.
782. Vyhláška č. 38/2001 Sb. Ministerstva zdravotnictví o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami a pokrmy.
783. Vyhláška č. 381/2001 Sb. Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů.
784. Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.
785. Vyhláška č.232/2004 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů, týkající se klasifikace, balení a označování nebezpečných chemických látek a chemických přípravků.
786. Výrobní program Válcoven plechu TECHNOTRON, s. r. o. Frýdek – Místek (2003).
787. WTA 4 – 4 – 96 Izolace zdiva proti kapilární vlhkosti (1996).
788. WTA E – 2 – 6 – 99/D – Ergänzungen zum Merkblatt 2 – 2 – 91/D Sanierputzsysteme (2000).
789. Zákon č. 18/1997 Sb. Zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů.
790. Zákon č. 185/2001 Sb. Parlamentu České republiky o odpadech a o změně některých dalších zákonů.
791. Zákon č. 188/2004 Sb. Parlamentu České republiky, kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
792. Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění zákona č. 71/2000 Sb., zákona č. 102/2001 Sb., zákona č. 205/2002 Sb. a zákona č. 226/2003 Sb (Pracovní text zákona ve znění účinném po vstupu ČR do EU).
793. Zákon č.356/2003 Sb. o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů.

## Firemní podklady

794. Acidotechna Praha s. r. o. – prospektový materiál, 2004.
795. Baumit, s. r. o. Hliněné omítky Bayosan VITON, 2003.
796. Best, a. s. , propagační materiály, 2003.
797. BRAMAC, s. r. o. Betonová střešní krytina, 2003.
798. Břidlice Dektrade.(Káně, L. – Zdeněk, L. – Strohalm, P – Mařík, R. – Zwiener, V.). Praha: DEKTRADE, 2001. 63 s.
799. CEMBRIT CZ, a. s. Vláknocementová střešní krytina a fasádní desky. Firemní literatura (2003).
800. ETAG 004 External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering (2003).
801. Eutit, s. r. o., Stará Voda, 2004.
802. Fasádní izolační systém Ecorock (katalogový list), Rockwool a. s., 2003.
803. GOLDBECK Prefabeton, s. r. o. Předpjatý stropní panel SPIROLL, 2002.
804. Kamenivo Liapor – firemní materiály firmy Liapor a. s., Vintířov, 2004.
805. Keramický a betonový blok, s. r. o. Prospekty a ceníky KB – BLOK systém, 2004.
806. Keramika s povrchovou úpravou Hydrotect – firemní materiál Rako, a. s., 2003.
807. KM BETA, a. s. Betonová střešní krytina, 2004.
808. KNAUF Praha, s. r. o. Ceník suchých maltových směsí (2003).
809. KNAUF Praha, s. r. o. Produkty a systémy (2003).
810. KVK Kunčice, a. s. ECRIT – propagační materiály, 2004.
811. Monoglass, USA – prospektová dokumentace 2007.
812. Paramo, a. s, Přehled výrobků PNG 72 3875 Keramické dílce pro vodorovné konstrukce. Stropní dílce z tvarovek CZ – JW (2002).
813. PNG 72 3875 Keramické dílce pro vodorovné konstrukce. Stropní dílce z tvarovek CZ – JW (2002).
814. PORFIX, a. s. Katalog výrobků, 2004.
815. Slovnaft, a. s., Ropa a uhlie, 1993
816. Spark, s. r. o. Praha, 1998. 10 s.
817. Tecons, Izolace staveb bentonitovými geotextiliemi, Příručka výrobku.
818. TONDACH ČR, s. r. o. Střešní systém TONDACH. Ceník 2003.
819. Výrobní program Válcoven plechu Technotron, s. r. o., Frýdek-Místek (2003)
820. WIENERBERGER Cihlářský průmysl, a. s. Podklad pro navrhování a provádění bytových a průmyslových staveb. Porotherm. 10/2002, 3/2003, 9/2003.
821. XELLA, a. s. Pórobeton – propagační materiály, 2004.
822. Zenit, s. r. o. System Dual Seal.

## LITERATURA - DODATEK PRO 3. VYDÁNÍ

Nejdůležitější nové a novelizované normy vydané po roce 2007:


ČSN EN 12440 Přírodní kámen - Pojmenování (2002)

ČSN 72 1860 kámen pro zdivo a stavební účely. Společná ustanovení (1969)

ČSN EN 12407 Zkušební metody přírodního kamene - Petrografický rozbor (2001)

ČSN EN 14618 Umělý kámen - Terminologie a klasifikace (2005)

EN 12620 Kamenivo do betonu (2006)

EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové úpravy silnic, letišť a jiných dopravních ploch (2006)

ČSN EN 13242 +A1 Kamenivo nestmelené a stmelené hydraulickým pojivem pro inženýrské stavby a pozemní komunikace (2006)

ČSN 733450 Obklady keramické a skleněné (1979)

ČSN 744507 Zkušební metody podlah. Stanovení protiskluzných vlastností povrchů podlah (1981)

ČSN EN 1094-1: Žárovzdorné výrobky izolační - Část 1: Terminologie keramických vláknitých výrobků (1998)

ČSN EN 196 - 7 Metody zkoušení cementu. Část 7: Postupy pro odběr a úpravu vzorků cementu. (1993)

ČSN EN 196 - 6 Metody zkoušení cementu. Část 6: Stanovení jemnosti mletí (2010)

ČSN EN 197-1 Cement. Složení, jakostní požadavky a kriteria pro stanovení shody - Část 1: Cementy pro obecné použití (2001)

ČSN EN 933-10 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 10: Posouzení jemných částic - Zmitost filerů (prosévání proudem vzduchu) 2001

ČSN EN 933-4 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 4: Stanovení tvaru zrn - Tvarový index 2000

ČSN EN 933-9 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 9: Posouzení jemných částic - Zkouška methylenovou modří 2001

ČSN EN 933-9 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 9: Posouzení jemných částic - Zkouška methylenovou modří 2001

ČSN EN 1097-2 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení 2001

ČSN EN 1097-7 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 7: Stanovení měrné hmotnosti fileru - Pyknometrická zkouška 2000

ČSN EN 1097-8 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 8: Stanovení hodnoty ohladitelnosti 2000

ČSN EN 1367-1 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání - Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování 2001

ČSN EN 1367-2 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání - Část 2: Zkouška síranem hořečnatým 2001

ČSN EN 1367-4 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání - Část 4: Stanovení smršťování 2001

ČSN EN 1744-1 Zkoušení chemických vlastností kameniva - Část 1: Chemický rozbor 2001

| | |
|---|---|
| ČSN 42 0001:1976 | Přehled skupin a podskupin norem třídy 42 - hutnictví |
| ČSN 42 0002:1978 | Číselné označování a rozdělení ocelí ke tváření |
| ČSN 42 0006:1971 | Číselné označování a rozdělení slitin železa na odlitky |
| ČSN 42 0055:1978 | Neželezné kovy. Číselné označování těžkých a lehkých neželezných kovů |
| ČSN 42 0139:2008 | Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná žebírková betonářská ocel - Všeobecně. |
| ČSN 42 1407:1990 | Barevné označování hliníku a slitin hliníku. Barevné odstíny |
| ČSN 42 5533:1978 | Tyče žebírkové pro výztuž do betonu z oceli značky 10 335. Rozměry |
| ČSN 42 5534:1978 | Tyče pro výztuž do betonu zkrucované za studena z oceli značky 10338. Rozměry |
| ČSN 42 5535:1978 | Tyče žebírkové pro výztuž do betonu z oceli značky 10 425. Rozměry |
| ČSN 42 5536:1978 | Tyče žebírkové pro výztuž do betonu z oceli značky 10 607. Rozměry |
| ČSN 42 5538:1996 | Tyče žebírkové pro výztuž do betonu z oceli značky 10 505. Rozměry |
| ČSN 42 6448:1989 | Kruhové ocelové dráty pro předpínací výztuž do betonu |
| ČSN 73 1201:1988 | Navrhování betonových konstrukcí |
| ČSN 73 6206:1972 | Navrhování betonových a železobetonových mostních konstrukcí |
| ČSN 73 6207:1993 | Navrhování mostních konstrukcí z předpjatého betonu. |
| ČSN EN 515:1996 | Hliník a slitiny hliníku. Výrobky tvářené. Označování stavů |
| ČSN EN 573-1:2005 | Hliník a slitiny hliníku. Chemické složení a druhy tvářených výrobků. Část 1: Číselné označování |
| ČSN EN 573-2:1996 | Hliník a slitiny hliníku. Chemické složení a druhy tvářených výrobků. Část 2 : Označování chemickými značkami |
| ČSN EN 755-9:2008 | Hliník a slitiny hliníku - Lisované tyče, trubky a profily - Část 9: Profily, mezní úchylky rozměrů a tvaru |
| ČSN EN 1560:1999 | Slévárenství - Systém označování litiny - Značky materiálů a číselné označování materiálů |
| ČSN EN 1563:1999 | Slévárenství - Litiny s kuličkovým grafitem |
| ČSN EN 1652:2000 | Měď a slitiny mědi - Desky, plechy, pásy a kotouče pro všeobecné použití |
| ČSN EN 1993-1-1:2007 | Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby |
| ČSN EN 10020:2001 | Definice a rozdělení ocelí |
| ČSN EN 10025-1:2005 | Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí - Část 1: Všeobecné technické dodací podmínky |

ČSN EN 10025-2:2005 Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí - Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli

ČSN EN 10027-1:2006 Systémy označování ocelí - Část 1: Stavba značek ocelí

ČSN EN 10027-2:1995 Systémy označování ocelí. Část 2: Systém číselného označování

ČSN EN 10079:2007 Definice ocelových výrobků

ČSN EN 12020-1:2002 Hliník a slitiny hliníku - Lisované přesné profily ze slitin EN AW-6060 a EN AW-6063 - Část 1: Technické dodací předpisy

ČSN EN 14889-1 Vlákna do betonu - Část 1: Ocelová vlákna - Definice, specifikace a shoda

ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří

ČSN 49 2632 Štěpkocementové desky – Požadavky (2008)

ČSN 73 6174 Stanovení modulu pružnosti a přetvárnosti betonu ze zkoušky v tahu ohybem (1994)

ČSN EN 46-1 Ochranné prostředky na dřevo - Stanovení preventivního účinku proti čerstvě vylíhlým larvám Hylotrupes bajulus (Linnaeus) - Část 1: Aplikace povrchovou ochranou (Laboratorní metoda) (2010)

ČSN EN 46-2 Ochranné prostředky na dřevo - Stanovení preventivního účinku proti čerstvě vylíhlým larvám Hylotrupes bajulus (Linnaeus) - Část 2: Účinek proti vajíčkům (Laboratorní metoda) (2010)

ČSN EN 49-1 Ochranné prostředky na dřevo - Zjišťování ochranné účinnosti proti Anobium punctatum (DeGeer) pozorováním kladení vajíček a přežití larev - Část 1: Povrchová ochrana (Laboratorní metoda) (2005)

ČSN EN 49-2 Ochranné prostředky na dřevo - Zjišťování ochranné účinnosti proti Anobium punctatum (DeGeer) pozorováním kladení vajíček a přežití larev - Část 2: Ochrana impregnací (Laboratorní metoda) (2005)

ČSN EN 350-2 Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi. Přirozená trvanlivost rostlého dřeva. Část 2: Přirozená trvanlivost a impregnovatelnost vybraných dřevin důležitých v Evropě (1996)

ČSN EN 583-1 Nedestruktivní zkoušení - Zkoušení ultrazvukem - Část 1: Všeobecné zásady (2000)

ČSN EN 1014-1 Ochranné prostředky na dřevo - Kreozot a jím impregnované dřevo - Odběr vzorků a analýzy - Část 1: Postupy pro odběr vzorků kreozotu (2011)

ČSN EN 1014-2 Ochranné prostředky na dřevo - Kreozot a jím impregnované dřevo - Odběr vzorků a analýzy - Část 2: Postupy na odběr vzorků kreozotu z impregnovaného dřeva pro následné analýzy (2011)

ČSN EN 1014-3 Ochranné prostředky na dřevo - Kreozot a jím impregnované dřevo - Odběr vzorků a analýzy - Část 3: Stanovení obsahu benzo[a]pyrenu v kreozotu (2011)

ČSN EN 1014-4 Ochranné prostředky na dřevo - Kreozot a jím impregnované dřevo - Odběr vzorků a analýzy - Část 4: Stanovení vodou extrahovatelných fenolů v kreozotu (2011)

ČSN EN 13815 Lité sádrové výrobky vyztužené vlákny - Definice, požadavky a zkušební metody (2007)

ČSN EN 13950 Sádrokartonové tepelně a zvukově izolační kompozitní panely - Definice, požadavky a zkušební metody (2006)

ČSN EN 14374 Dřevěné konstrukce - Vrstvené dřevo na nosné účely – Požadavky (2005)

ČSN EN 15197 Desky na bázi dřeva - Pazdeřové desky – Specifikace (2007)

ČSN EN 15283-1+A1 Sádrové desky vyztužené vlákny - Definice, požadavky a zkušební metody - Část 1: Sádrové desky vyztužené rohoží (2010)

## LITERATURA - DODATEK PRO 4. VYDÁNÍ

Monografie, výzkumné zprávy, skripta


Čapek, J.: Povídání o pejskovi a kočičce, Nakl. Fr. Borový, Praha 1946, 122 s.

De Larrard F., Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach, E&FN Spon, London 1999.

Dewar J.D.), *Computer Modelling of Concrete Mixtures*, E&FN Spon, London 1999 .

Eckschlager, K., *Chyby chemických rozborů,* SNTL Praha 1971. 192 s.

Fára, F.: Komplexní hodnocení objemových změn kompozitních soustav.
Kandidátská práce ČSAV, Praha 1991

Felix, M.; Bláha, K.: Matematickostatistické metody v chemickém průmyslu., SNTL Praha 1962, 336 s.

Gartner, O. Kuda, R.: *Betonové konstrukce*. VUT Brno, 1991.

Hrbáček, M.: *Využití tensografu při optimalizaci složení malty. ,*Bakalářská práce, VUT Brno, 2017, 56 s.

Jelen L*.: Praktická technologie betonu*, , SNTL, Praha 1956, 53 s.

Kočica, M.: *Iterační metody optimalizace*. Diplomová práce, UTB,Zlín 2006, 77 s.

Likeš, J.: Navrhování průmyslových experimentů. SNTL, Praha, 1968.

Maňas, M.: *Optimalizační metody*, Praha, SNTL 1979. 260 s.

Meloun, M., Militký, J. *Statistická analýza experimentálních dat.* Praha: Academia, 2004. 953 s.

Miller, I. DOE – Návrh a analýza experimentu s pomocí MINITAB®. Praha, Interquality, 2010,128 s.

Pytlík, P.: *Technologie betonu*, VUT, Brno 1997.

Rowe R., Roberts R*. Intelligent Software for Product Formulation.*

Svoboda, B. a kol*.: Formulace a zkoušení nátěrových hmot,* ČSVTS-DT, Pardubice 1967,183 s.

Taylor and Francis, London, 1998, 250 p.

Walters, F. H., Parker, L. R., Morgan, S. L., Deming, S. N.: *Sequential Simplex Optimization.*
A Technique for Improving Quality and Productivity in Research, Development and Manufacturing,
CRC Press, Boca Raton 1991. 403 p.


Studie a články


Araujo, P. W. Brereton, R. G.: Trends in Anal. Chem. 15 (), 1996, p. 63.

*Bastgen K. J.:* Betonwerk + Fertigteil‑Technik 43 (5), s. 266, 1977

Cengiz Toklu, Y.: Aggregate Blending Using Genetic Algorithms.Computer-Aided
Civil and Infrastructure Engineering 20 (6),2005, s. 450–460.

Dean, R. B. – Dixon, W. J. 1951. Simplified statistics for small numbers of observations.
Analytical Chemistry roč. 23, s. 636-638.

Dinger, D. R. Funk, J. E. : Interceram 41 (5), p. 33, 199.

Fuller, W. B. – Thomson, S.E.: *The laws proportioning concrete*.
Trans. Am. Soc. Civ. Eng. 59, 1907, s. 67–143.

*Krell J.:* Betonwerk + Fertigteil‑Technik 48 (10), s. 585, 1982,

Kwan A.K.H., Mora C.F. (2001), “Effects of various shape parameters on packing of aggregate particles”,
Magazine of Concrete Research, Vol.53, No.2, pp. 91 -100.

Lewis, R. M. Torczon, V. Trosset, M. W.: J. of Comput. and Appl. Math. 14, 000, p. 191.

Nelder, J. A – Mead, R.: A simplex method for function minimization.
*Computer Journal,* vol. 7 (1965) 308–313.

Öberg. T. *Importance of the first design matrix in experimental simplex optimization.*
Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 1998 44 (1-2), 147-151
Rozycki, C.: Chemie analityczna 38 (10), s. 681, 1993.
Shakhmenko, G. – Birsh, J.: Concrete Mix Design And Optimization.
2nd Int. PhD Symposium in Civil Engineering 1998, Budapest.
Svoboda, L.: Construmat 2000. [Sborník], SPU, Nitra 2000, s. 211.
Svoboda, L.: *O mísení frakcí kameniva*. Beton TKS 4(1), 2004, s. 24-28.
*Svoboda L.:* Stavební obzor 11(3), s. 86, 2002.
Stroeven,P. – Stroeven,M.: Assessment of packing characteristic by computer simulation,
Cement and Concrete Research 29,1999, s. 1201–1206.
Taufer, I. – Drábek, O. – Javůrek, M.: Metoda simplexů – efektivní nástroj pro řešení optimalizačních úloh.
*CHEMAGAZÍN*, XXI, 6, s. 31–34.
Yang, R. Y. – Zou, R. P. – Yu, A. B.: Computer simulation of the packing of fine particles.
Phys. Rev. E 62, 2000, s. 3900–3908.

Normy, zákony, vyhlášky směrnice

ČSN 69 1005 Míchací zařízení. Míchací zařízení svislá do objemu 50 m3.
Typy, základní parametry a rozměry
ČSN 69 1002 Míchací zařízení. Míchací zařízení. Technické požadavky. Metody zkoušení
ČSN 69 1000 Míchací zařízení. Veličiny, jednotky a značky, používané při stavbě míchacích zařízení
ČSN 69 1010 Míchací zařízení. Jmenovitý objem, průměr a výška nádob
ČSN 69 1011 Míchací zařízení. Narážky nádob míchacích zařízení. Hlavní rozměry
ČSN 69 1012 Míchací zařízení. Poměry průměrů nádob a míchadel
ČSN 69 1014 Míchací zařízení. Kotvové míchadlo. Hlavní rozměry
ČSN 69 1017 Míchací zařízení. Lopatkové míchadlo s kolmými lopatkami. Hlavní rozměry
ČSN 69 1019 Míchací zařízení. Vrtulové míchadlo s konstatním stoupáním šroubovice. Hlavní rozměry
ČSN 69 1020 Míchací zařízení. Šestilopatkové míchadlo s rovnými šikmo umístěnými lopatkami.
Hlavní rozměry
ČSN 69 1021 Míchací zařízení. Turbinové míchadlo s rovnými kolmými lopatkami s dělicím kotoučem.
Hlavní rozměry
ČSN 69 1025 Míchací zařízení. Třílopatkové míchadlo s rovnými šikmo umístěnými lopatkami.
Hlavní rozměry
ČSN 69 1026 Míchací zařízení. Klecové míchadlo. Hlavní rozměry
ČSN 69 1028 Míchací zařízení. Šroubové míchadlo. Hlavní rozměry
ČSN 69 1029 Míchací zařízení. Pásové míchadlo. Hlavní rozměry
ČSN 69 1038 Míchací zařízení. Zubové míchadlo. Hlavní rozměry
ON 69 1003 Směrnice pro navrhování míchacích zařízení s rotačními míchadly
ON 69 1004 Geometrické uspořádání a parametry míchacích zařízení pro základní účely míchání
ON 69 1006 Ucpávky výplňové provazcové pro míchací zařízení. Připojovací a základní rozměry.
ON 69 1009 Objednávání míchacích zařízení s rotačními míchadly
ON 69 1013 Typy rotačních míchadel kapalin
ON 69 1039 Průměry hřídelů míchacích ústrojí

Stavební hmoty

Luboš Svoboda a kolektiv

_____

Předchozí vydání:

Česká:

1. vydání: Jaga Group s. r.o., Praha 2004 (dotisk 2005)

2. vydání: Jaga Group s. r. o., Praha 2007

3. vydání (elektronické): Luboš Svoboda, Praha 2013

Slovenské:

1. vydání: Stavebné materiály, Jaga Group s. r. o., Bratislava 2005

_____

Současné elektronické vydání:

4. vydání: Luboš Svoboda, Praha 2018

On line: http://people.fsv.cvut.cz/~svobodal/sh/

Korektura: 7

Stran: 1000

Obrázků: 341

Tabulek: 244

Kontakt pro dotazy a připomínky: **svobodalu@seznam.cz**

**Vydavatel: Luboš Svoboda**
***Dům "U staré podkovy"***



***2018***
***Praha***