

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Přednáška 5

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Hořlavost

- norma ČSN 73 0823 (od r. 2000 neplatná)
- **Schopnost materiálu vzplanout a hořet**
 - **A** – nehořlavé (beton, cihly)
 - **B** – nesnadno hořlavé (minerální vlna)
 - **C1** – těžce hořlavé (desky EPS –F)
 - **C2** – středně hořlavé
 - **C3** – lehce hořlavé
- **Výsledky zkoušek platily do 31.12. 2007**

Stavební hmoty


Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Reakce na oheň

- Norma **ČSN EN 13501 –1**
- **Schopnost materiálu, souvrství či konstrukce šířit požár a ohrožovat svým požárem okolí**
- zhodnocení stavebních materiálů co nejobektivněji z hlediska všech parametrů, které mají na jejich chování při požáru vliv

Závisí i na:

- tloušťce materiálu
- poloze materiálu
- umístění výrobku



→ jeden materiál může mít několik variant zařazení

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Reakce na oheň

- Vzárust teploty (ΔT)
- Úbytek hmotnosti (Δm)
- Plamenné období (t_s)
- Spalné teplo (**PCS**)
- Index rychlosti rozvoje požáru (**FIGRA**)
- Celkové uvolňování tepla (**THR_{600s}**)
- Postranní šíření plamene (**LFS**)
- Rychlost vývinu kouře (**SMOGRA**)
- Celková tvorba kouře (**TSP_{600s}**)
- Šíření plamene (**F_s**)



Přehled tříd reakce na oheň

Třída	Tvorba kouře	Hořící kapky	Požadavky dle EN požárních zkoušek			FIGRA W/s	Typické materiály
			nehořlavost	SBI	malý zdroj		
A1	-	-	x	-	-	-	Kámen, beton
A2	s1, s2 nebo s3	d0, d1 nebo d2	x	x	-	< 120	Sádkarton, minerální vlna
B	s1, s2 nebo s3	d0, d1 nebo d2	-	x	x	< 120	Protipožárně ošetřené dřevo
C	s1, s2 nebo s3	d0, d1 nebo d2	-	x	x	< 250	Povrchové vrstvy na sádr.
D	s1, s2 nebo s3	d0, d1 nebo d2	-	x	x	< 750	Dřevo, desky na bázi dřeva
E	-	- nebo d2	-	-	x	-	Některé polymery
F	-	-	-	-	-	-	Vysoce hořlavé materiály



Reakce na oheň

- převod na hořlavost

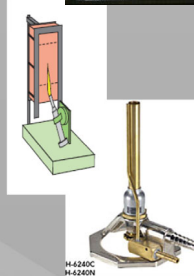
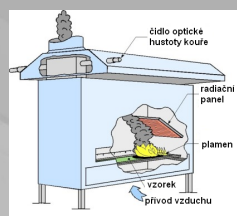
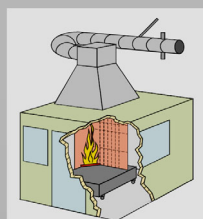
Stupeň hořlavosti	Třída reakce na oheň
A	A1
B	A2
C1	B
C2	C nebo D
C3	E nebo F



Reakce na oheň

Zkoušky:

- účinek jednotlivého hořícího předmětu (SBI test)
- zkouška malým zdrojem plamene
- chování při hoření užitím zdroje sálavého tepla



Reakce na oheň

- Třída reakce na oheň (A1, A2, B, C, D, E, F)



Protipožární tmel (Pyrocryl)

Třída reakce na oheň **B-s1, d0**

- těsnění protipožárních systémů
- při teplotách nad +200°C napěňuje
- zabraňuje šíření ohně

Jednosložkový těsnící spárovací tmel na bázi akrylátové disperze. Po vytvrzení přetřásatelný vhodnými protipožárními náterými. Použitelný pro interiéry na zatmění spár sádkartonových protipožárních konstrukcí, k tmelení spár mezi zdívkou a rámy oken či dveří a podtmelování parapetů, k těsnění kabelových průchodů ve zdivu, prostupů rozvodů vody, plynu apod. Teplota při aplikaci +5 °C až +40 °C.

- Doplňková klasifikace pro tvorbu kouře (s1, s2, s3)

- Doplňková klasifikace pro plamenně hořící kapky/částice (d0, d1, d2)

Stavební hmoty

Třída A1 bez zkoušení:

- Expandovaná pálená hlína
- Expandovaný perlit
- Expandovaný vermiculit
- Minerální vlna
- Pěnové sklo
- Beton
- Beton s kamenivem (hutné a pórovité přírodní nebo umělé kamenivo kromě zabudované tepelné izolace)
- Dílce z autoklávovaného pórobetonu
- Vláknocement
- Cement
- Vápno
- Vysokopecní struska / fluidní popel a fluidní popílek (PFA*)
- Přírodní kamenivo
- Železo, ocel a korozivzdorná ocel
- Měď a slitiny mědi
- Zinek a slitiny zinku
- Hliník a slitiny hliníku
- Olovo
- Sádra a omítky na bázi sádry
- Malty s anorganickými pojivy
- Pálené prvky
- Vápenokřemičité prvky
- Výrobky z přírodního kamene a břidlice
- Prvky ze sádry
- Teraco
- Sklo
- Sklokeramika
- Keramika


Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Požární odolnost

- doba, po kterou je **stavební konstrukce** schopna odolávat požáru, aniž by došlo k porušení její funkce (ztráta nosnosti a stability, poruchy celistvosti)

Týká se konstrukce!



Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Třída požární odolnosti

Symbol	Kritérium hodnocení požární odolnosti
R	Únosnost a stabilita
E	Celistvost
I	Tepelně izolační schopnost – mezní teploty na neohřívaném povrchu
W	Tepelně izolační schopnost – mezní hustota tepelného toku na neohřívaném povrchu
S	Odolnost proti průniku kouře
M	Odolnost proti mechanickému namáhání
C	Konstrukce uzávěru opatřená samozavíračem

- ČR: 15, 30, 45, 60, 90 120 a 180 minut.
- EU: + 10, 20, 240 a 360 minut

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Třídy požární odolnosti

- R** – doba v min, po kterou zkušební prvek zachovává svou schopnost nést při zkoušce zkušební zatížení.
- E** – doba v min, po kterou zkušební prvek zachovává při zkoušce svoji celistvost, aniž by došlo k průchodu ohně na druhou stranu.
- I** – doba v min, po kterou zkušební vzorek zachovává svoji dělicí funkci, aniž by na neohřívané straně byly dosaženy teploty 140 °C (průměrně) a 180 °C (lokálně).



Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Požární odolnost

Nosné konstrukce zajišťující stabilitu stavby musí mít požární odolnost alespoň:

- 30 minut ⇒ 3 a více NP (*)
- 60 minut ⇒ 9 až 12 NP
- 90 minut ⇒ 13 až 20 NP
- 120 minut ⇒ více než 20 NP

(*) NK (nosné konstrukce) a PDK (požárně dělicí konstrukce), nestanoví-li ČSN vyšší požární odolnost - od 1. 7. 2008

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Požární odolnost konstrukce

Tab. 15-3 Požární odolnosti dělicích nosných jednovrstvých stěn

Skupina zdících prvků	Charakteristika	Tloušťka stěny bez omítky	Tloušťka stěny s oboustrannou omítkou ³⁾	Požární odolnost
		[mm]	[mm]	
1S	$5 \leq f_b \leq 75$ obyčejná malta $5 \leq f_b \leq 50$ malta pro tenké spáry $1\ 000 \leq \rho \leq 2\ 400$	90	70-90	REI 30 D1
		90	70-90	REI 45 D1
		90	70-90	REI 60 D1
		100	70-90	REI 90 D1
		100-140	90-140	REI 120 D1
		170-190	110-140	REI 180 D1

Promat Hrázďená stěna ze dřeva, nosná

REI 30 až REI 60 460.25

Technické údaje

- Desky PROMATECT[®]-H, REI 30 a REI 45: d = 10 mm
- REI 60: d = 12 mm
- dřevěné stoly, REI 30: d_h ≥ 100/100 mm
- REI 45 a REI 60: d_h ≥ 120/100 mm
- libovolné vytvoření hrázďené konstrukce
- vyztužka, která je složena z cihel, výsepioakových cihel a z kámenic z přírodních nebo z taženého betonu, d ≥ 100 mm
- sestava srovná 50/11, 2/1, 53 nebo rovny 4, 5 x 50 rozteč cca 150 mm

Udělení doklad: Protokol o klasifikaci č. PK2-02-04-002-C-0.

Hodnota požární odolnosti
REI 30, REI 45 a REI 60 dle ČSN EN 13 501-2.

Důležité pokyny
Stěna je obklopená deskami PROMATECT[®]-H (1) jen z jedné strany tak, že dřevo hrázďené stěny zůstává na druhé straně viditelné. Přestože je obkald jen na jedné straně, platí klasifikace REI 30 až REI 60 pro působení ohně z obou stran.
Lze použít pro nosné, vnitřní stěny i vnější stěny, které odpovídají sílkou a výškou stěny příslušnému napětí σ₀₁ ≤ 2,0 N/mm².

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Radioaktivita

- přirozená radioaktivita materiálů

Periodic Table of the Radioactive Elements

• ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²²⁸Th

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Radioaktivita stavebních materiálů

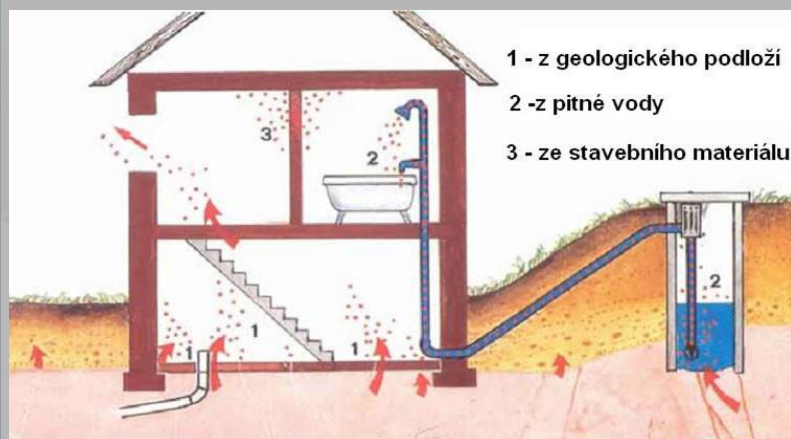
- hmotnostní měrná aktivita a – jednotka: [Bq.kg⁻¹]
- index hmotnostní aktivity I

$$I = \frac{a_K}{3000} + \frac{a_{Ra}}{300} + \frac{a_{Th}}{200}$$

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze



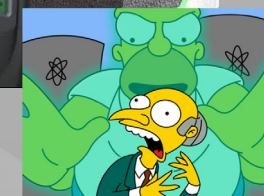
Zdroje radioaktivity ve stavbě



Radioaktivní materiály

Radioaktivní může (ale nemusí!) být např.:

- kamenivo z uranových rud
- struska
- škvára
- elektrárenský popílek



Azbest není radioaktivní!!



Mezní hodnoty hmotnostní aktivity

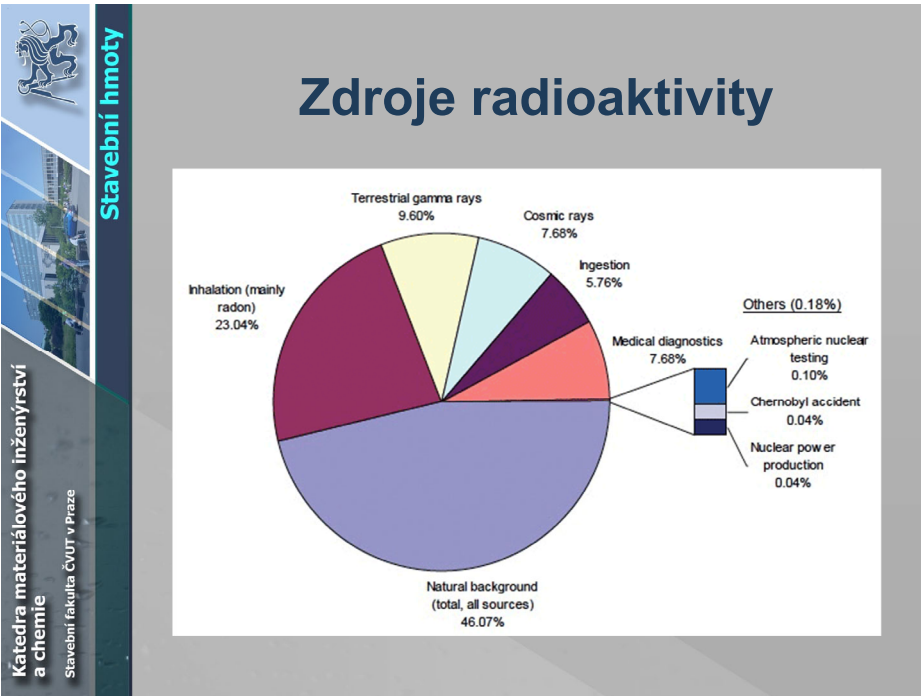
Hmotnostní aktivita Ra-226:

- 150 (500) Bq/kg
 - cihly a jiné výrobky z pálené hlíny, výrobky z betonu, sádry, cementu, vápna, pórobetonu a škvárobetonu
- 300 (1000) Bq/kg
 - stavební kámen a výrobky z něj, umělé kamenivo, ker. obklady, písek, štěrk, kamenivo a jíly, popílek, škvára, struska, prům. sádrovec, hlušina a kaly, materiály z odvalů, výsypek a odkališť, cement, vápno, sádra



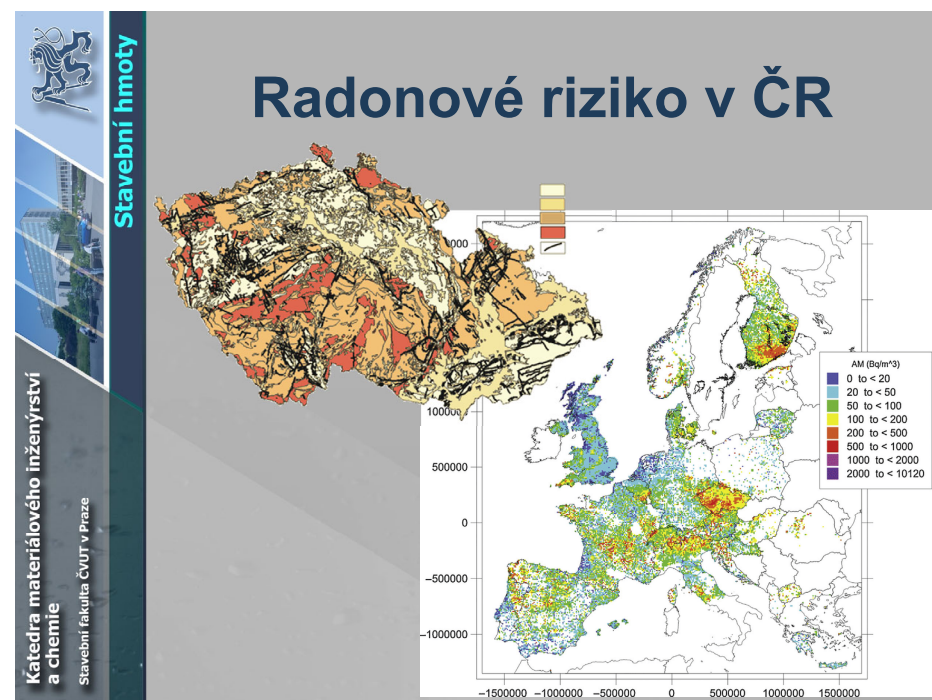
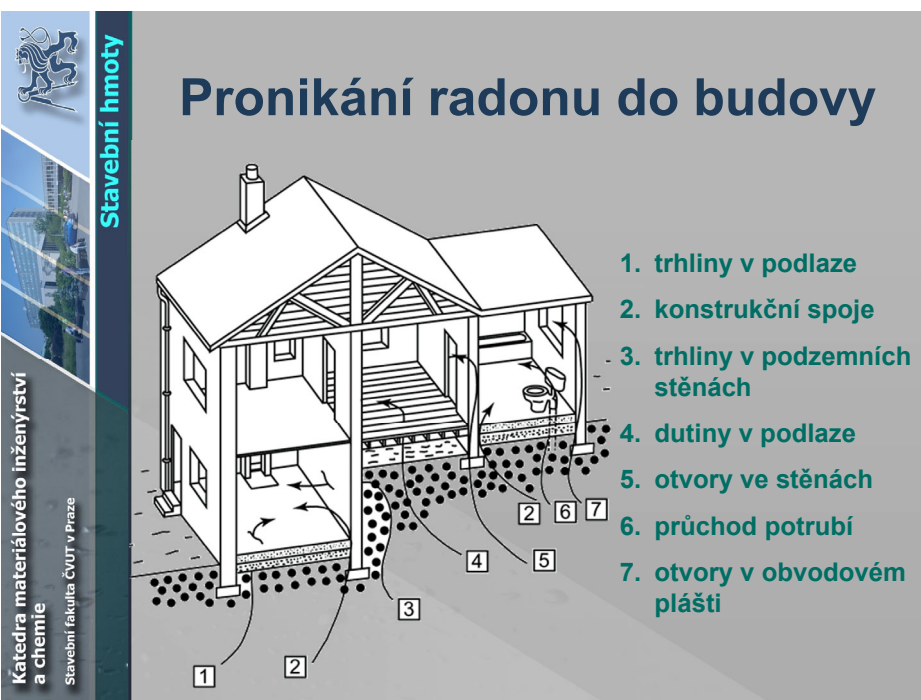
Index hmotnostní aktivity

Stavební materiál	Index hmotnostní aktivity
stavební kámen	1
písek, štěrk, kamenivo a jíly	1
popílek, škvára a struska, umělé kamenivo	1
keramické obkladačky 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 z přírod. a umělého kamene	1

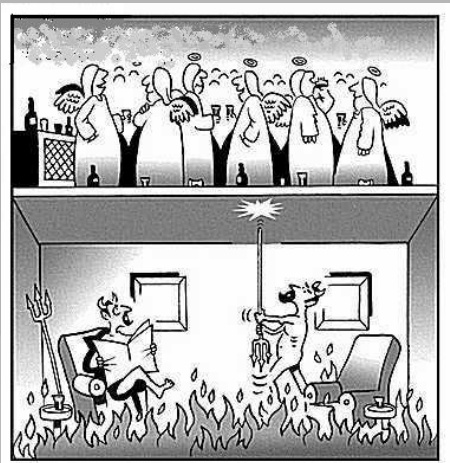


Radon

- plyn bez barvy, chuti a zápachu, chemicky netečný
- poločas rozpadu 3,8 dne → **dceřiné produkty** (pevné látky Po, Pb, Bi)
- dceřiné produkty se mohou vázat na aerosoly a prachové částice
- po vdechnutí jsou zachyceny v průduškách, kde dochází k místnímu ozařování plicní tkáně a možnosti vzniku karcinomu plic

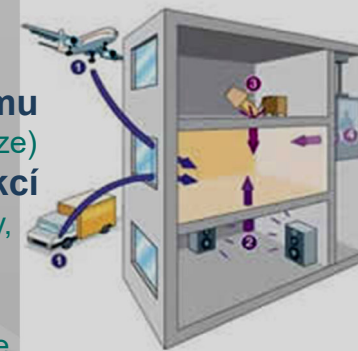


Akustické vlastnosti

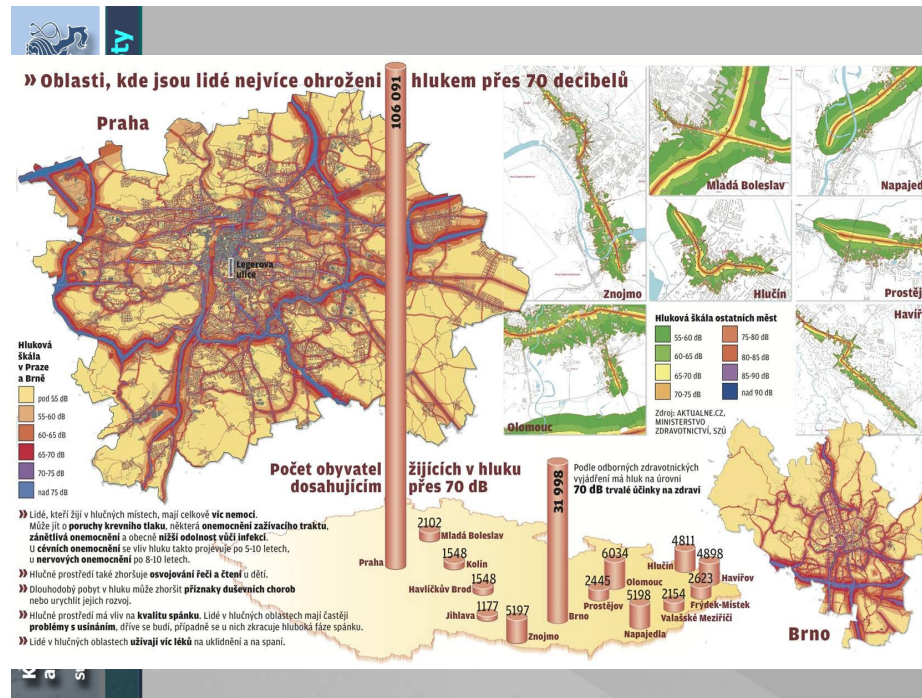
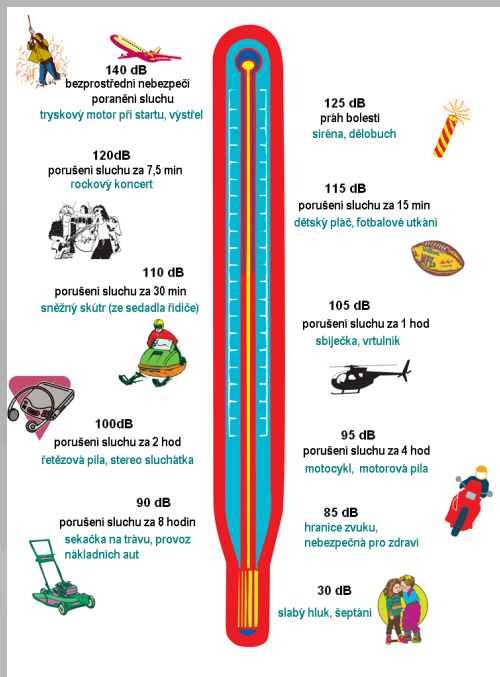


Zdroje hluku

1. Vnější hluk z exteriéru (doprava, letadla, práce)
2. Hluk pocházející z ostatních prostor domu (konverzace, hudba, televize)
3. Hluk nesený konstrukcí (kročeje, padající předměty, dveře)
4. Hluk z technických zařízení (topení, ventilace, výtahy)



Hladina hluku



Stavební hmoty

Základní akustické parametry

- Akustická pohltivost** - schopnost materiálu pohltit část dopadajícího akustického výkonu
 - potlačení **odrazu** zvukových vln
- Zvuková neprůzvučnost**
 - schopnost materiálu zmenšit přenášenou zvukovou energii – potlačení **přenosu** zvuku

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Zvuková neprůzvučnost

Vzduchová neprůzvučnost

- zvuk šířící se vzduchem
- závisí na **plošné hmotnosti** celé konstrukce (min 350 kg.m⁻²)

Kročejová neprůzvučnost

- hluku vznikající chůzí nebo rázy
- přerušení vedení zvuku materiály, které špatně vedou zvuk a tlumí kmitání konstrukce

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Akustické vlastnosti

- potlačení odrazu zvuku - **materiály pohltivé** (akusticky měkké)
 - porézní a perforované materiály
- potlačení přenosu zvuku – **materiály zvukově izolační** (akusticky tvrdé)
 - s vysokou plošnou hmotností

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Akustická pohoda v interiéru

- vyvážená **doba dozvuku**, **hluk v pozadí** a **zvuková izolace**
- v místnosti s dobrou akustikou je požadovaný zvuk **zdůrazněn**, zatímco nežádoucí zvuky jsou **eliminovány** nebo omezeny do té míry, že zanikne jejich rušivý účinek

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Chemické vlastnosti

- Schopnost materiálů účastnit se chemických reakcí
 - změny při zpracování (tvrdnutí pojiv, nadouvání materiálů)
 - materiálová (ne)kompatibilita
 - zrání
 - stárnutí
 - koroze (anorganických materiálů, kovů, biokoroze)

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Materiálová nekompatibilita

Reakce dvou materiálů na styku

- kovové materiály s rozdílným elektrickým potenciálem – elektrochemická koroze (např. měď + ocel, olovo + ocel)
- hliník + alkálie (v betonu, omítce)
- EPS + rozpouštědla (v nátěrových hmotách)
- PVC + formaldehydy (v pěnových hmotách na bázi formaldehydu)




Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Materiálová nekompatibilita

- cement + dřevo (látky, obsažené ve dřevě zpomalují tuhnutí)
- beton + skleněná vlákna
- cement + některé druhy kameniva (ASR)
- sádra + ocel




Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Koroze

- degradace struktury a vlastností materiálu vlivem působení prostředí

Nekovové materiály:

- keramika
- beton
- biokoroze
- plasty

Kovové materiály:

- atmosférická koroze





Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Koroze nekovových materiálů

- Keramika**
 - šamotové cihly + spalování dřeva
 - cihly + spalování zemního plynu
- Beton**
 - vyluhování hydroxidu vápenatého (hladová voda)
 - tvorba rozpustných solí (kyselé vody)
 - vznik objemnějších produktů (síranová koroze)

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Biokoroze

Způsobena:

- mikroorganismy
- houbami
- hmyzem
- ptáky
- rostlinami
- hlodavci







Biodegradace nemusí být vždy nežádoucí!

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Příklady biokoroze

- Dřevo
- Azbestocementová krytina
- Lepenkové vložky asfaltových pásů
- Střešní krytiny
- Hydroizolace
- Tepelné izolace
- Kámen







Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Koroze kovů

- korozní prostředí – roztoky elektrolytů, půda, atmosféra, ...
- Škody způsobené korozí v ČR za rok: 25 mld. Kč



Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Typy koroze kovů

- Plošná
- Bodová
- Štěrbínová




Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Pasivace

- tvorba vrstvy korozního produktu, který chrání zbytek materiálu před korozi
- **Al, Ti:** pokrývají se na vzduchu **kompaktní vrstvou oxidů** (Al_2O_3 , TiO_2), která zabraňuje další korozi
- pasivní vrstva:
1 – 10 nm



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Protikorozní ochrana kovových materiálů

- vhodná volba materiálu pro dané prostředí
- leštění – méně nerovností na povrchu
- ochranné povlaky - nátěrové hmoty
 - povlak korozivzdorného kovu
 - nebo anorganický (smalty, fosfátování)
- inhibitory koroze v korozním médiu
- elektrochemická ochrana - katodická
 - anodická
- omezení rozpustnosti kyslíku – energetické vodní oběhy (teplárny, elektrárny)

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Hygienické vlastnosti

Hygienická nezávadnost:

- koncentrace škodlivin v ovzduší (styren, formaldehyd, změkčovadla)
- kontakt s pokožkou (biocidy, nátěry)
- respirabilní vlákna



Obsah škodlivin může vzrůst i vlivem přesnějších analytických metod, nikoliv reálně !

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Bezpečnostní štítek


	Obchodní jméno: Obsahuje:
	Standardní věty o nebezpečnosti H225 Vysoce hořlavá kapalina a páry H301 Toxický při požití H311 Toxický při styku s kůží H331 Toxický při vdechování
	Pokyny pro bezpečné zacházení P210 Chraňte před teplem/jiskrami/otevřeným plamenem/horkými povrchy. Zákaz kouření P261 Zamezte vdechování prachu/dýmu/plynu/mlhy/par/aerosolů P280 Používejte ochranné rukavice/ochranný oděv/ochranné brýle/obličejový štít P301+ PŘI POŽITÍ: Okamžitě volejte TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÍ P310 STŘEDISKO nebo lékaře. P403+ Skladujte na dobře větraném místě. P233 Uchovávejte obal těsně uzavřený
Výrobce: Dovozce: Distributor:	

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Ekologická nezávadnost

- Energetická náročnost výroby
- Nároky na neobnovitelné zdroje
- Možnost recyklace
- Náklady na likvidaci
- PVC – obtížná recyklovatelnost, toxicita při spalování




Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Trvanlivost materiálů

- Schopnost odolávat prostředí po celou dobu předpokládané funkce
 - stárnutí
 - koroze
 - vyšší teploty
 - UV záření
 - zatížení
 - chemické změny
 - povětrnostní účinky (mráz)



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Životnost stavebních děl

- 40 – 100 let - průmyslové objekty
- 50 – 100 let - obytné a občanské stavby
- 70 – 500 let - mosty a monumentální objekty
- speciální dlouhé životnosti 2 – 5 tisíciletí - kontaminovaná úložiště v jaderné energetice




Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Životnost staveb a výrobků

Předpokl. životnost staveb	Předpokládaná životnost stavebních výrobků			
	roky	Opravitelné či snadno vyměnitelné	Opravitelné či vyměnitelné s urč. úsilím	Po celou dobu životnosti
Krátká	10	10	10	10
Střední	25	10	25	25
Norm.	50	10	25	50
Dlouhá	100	10	25	100

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Životnost některých materiálů

Střešní krytina

- Pálená krytina 100 let
- Betonová krytina 100 let
- Plechová krytina 50 let
- Asfaltový šindel méně než 50 let

Hydroizolace

- Oxidované asfalty 15 let
- Modifikované asfalty 100 let (předp.)
- Kaučuková folie 70 let
- PVC 25 let

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Pojiva



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Pojiva

- materiály, které mají schopnost pojít jiné látky v soudržnou hmotu



0 zpracování 1 tuhnutí (změna fáze) 2 tvrdnutí (nárůst pevnosti)

- 0 aktivace (smíchání vody s pojivem)
- 1 počátek tuhnutí
- 2 konec tuhnutí

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Pojiva

- ve stavebnictví převážně anorganická



Vzdušná

- tvrdnou pouze na vzduchu



Hydraulická

- tvrdnou i pod vodou
- odolná vůči vodě

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Hydraulicita

- schopnost hydratace i pod vodou
- podmínka hydraulicity: přítomnost **hydraulitů** (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3)

- Vzdušná pojiva
- sádra
- vzdušné vápno
- vodní sklo
- hořečnaté pojivo

- Hydraulická pojiva
- hydraulické vápno
- cement
- geopolymery

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Hydraulický modul

$$M_H = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

- vzdušné vápno $M_H > 6$
- hydraulické vápno $M_H < 6$
- portlandský cement $M_H < 2,5$
- hlinitanový cement $M_H < 1,5$

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Hydraulická pojiva



Stavební hmoty

Hydraulické pojivo


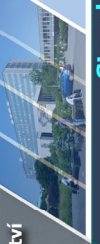


„ Mísí-li se vápno s drolinou od Puzzuoli, tvrdne pod vodou tak dobře, jako na obyčejné stavbě “
 „směs vápna s pucolánovým prachem způsobuje věci obdivuhodné. “

Marcus Vitruvius Pollio , 13 př.n.l.

„ Položen proti mořským vlnám, jakmile se ponoří do moře, stává se tvrdým a odolným, každodenně pevnějším. “


Gaius Plinius II,77 n.l.

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze








Stavební hmoty

Cement



Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Cement

A.D. 1824 N° 5022.

Artificial Stone.

ASPDIN'S SPECIFICATION.


TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME, I, James Aspdin, of Leeds, in the County of York, Esquire, send greeting.

WHEREAS His present most Excellent Majesty King George the Fourth, by His Letters Patent under the Great Seal of Great Britain, bearing date at Westminster, the Twenty-first day of October, in the fifth year of His said Majesty's said Majesty, His letters and successors, give and grant unto me, the said Joseph Aspdin, His special licence, full power, sole privilege, authority, authority, and assigns, or such others as I, the said Joseph Aspdin, my executors, and assigns, should at any time agree with, and no others, from time to time and at all times during the term of years therein expressed, should and lawfully might make, use, exercise, and vend, within England, Wales, and the Town of Berwick-upon-Tweed, my Invention of "An Improvement in the Manner of Preparing or Manufacturing of Artificial Stone" in which said Letters Patent there is contained a proviso obliging me, the said Joseph Aspdin, by an instrument in writing under my hand and seal, particularly to describe and ascertain the nature of my said Invention, and in what manner the same is to be performed, and to cause the same to be enrolled in His Majesty's High Court of Chancery within six calendar months next and immediately after the date of the said in part recited Letters Patent (as in and by the same), reference to being therein had, will more fully and at large appear.

NOW KNOW YE, that in compliance with the said proviso, I, the said Joseph Aspdin, do hereby declare the nature of my said Invention, and the manner in which the same is to be performed, as particularly described and ascertained in the following description thereof (that is to say) —

Joseph Aspdin
Patent na výrobu portlandského cementu (1824)

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze




Stavební hmoty



Výroba cementu

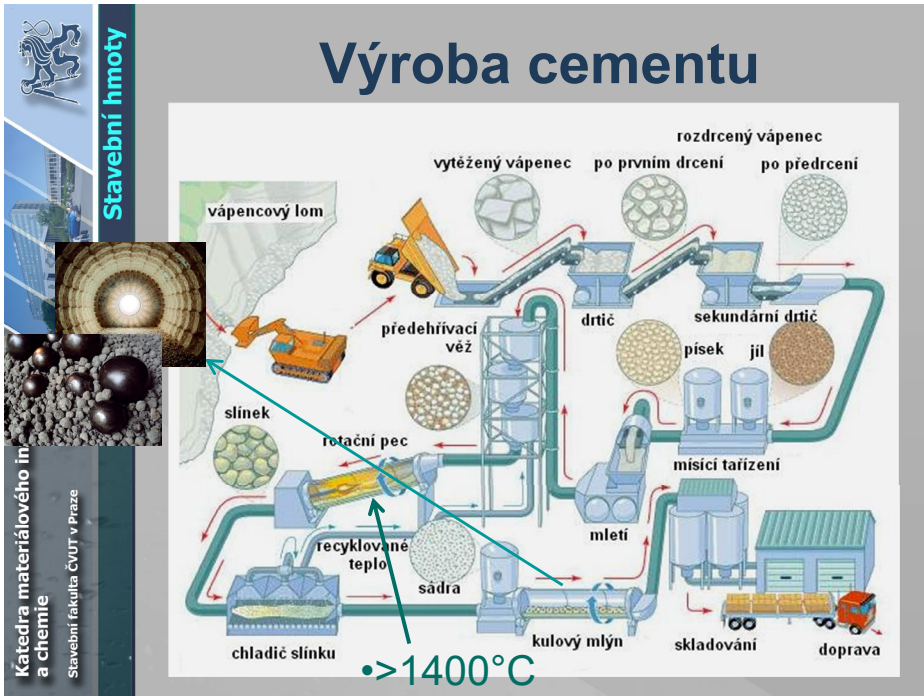
Suroviny:

- vápenec
- přísady:
 - sádrovec
 - hydraulicky aktivní složky (struska, pucolán, popílek..)



Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze



Slinování

- postupné spékání práškovité násady při teplotě 1300 - 1400°C na **slínek** – fyzikální proces slinutí zrn

zrna
póry

- chemické procesy → **slínkové minerály**



Chemické složení cementu

• Ca	46,4 %	• CaO	65 %
• Si	9,8 %	• SiO ₂	21 %
• Al	3,2 %	• Al ₂ O ₃	6 %
• Fe	2,1 %	• Fe ₂ O ₃	3 %
• Mg	1,2 %	• MgO	2 %
• S	1,0 %	• SO ₃	<u>2 %</u>
• O	<u>35,3 %</u>	• Σ	99,0 %
• Σ	99,0 %		

- zjišťuje se silikátovým rozbořem (ČSN EN 196-2)

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Mineralogické složení slínku

Trikalciumsilikát křemičitan trojvápenatý	Alit	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$
Dikalciumsilikát křemičitan dvojvápenatý	Belit	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$
Trikalciumaluminát hlinitan trojvápenatý		$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$
Tetrakalciumaluminát ferit hlinitoželezitan čtyřvápenatý	Celit Brown-millerit	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Cementářská notace

- zkrácený zápis oxidů

Oxid vápenatý	C	CaO
Oxid křemičitý	S	SiO_2
Oxid hlinitý	A	Al_2O_3
Oxid železitý	F	Fe_2O_3

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Zápis slínkových minerálů

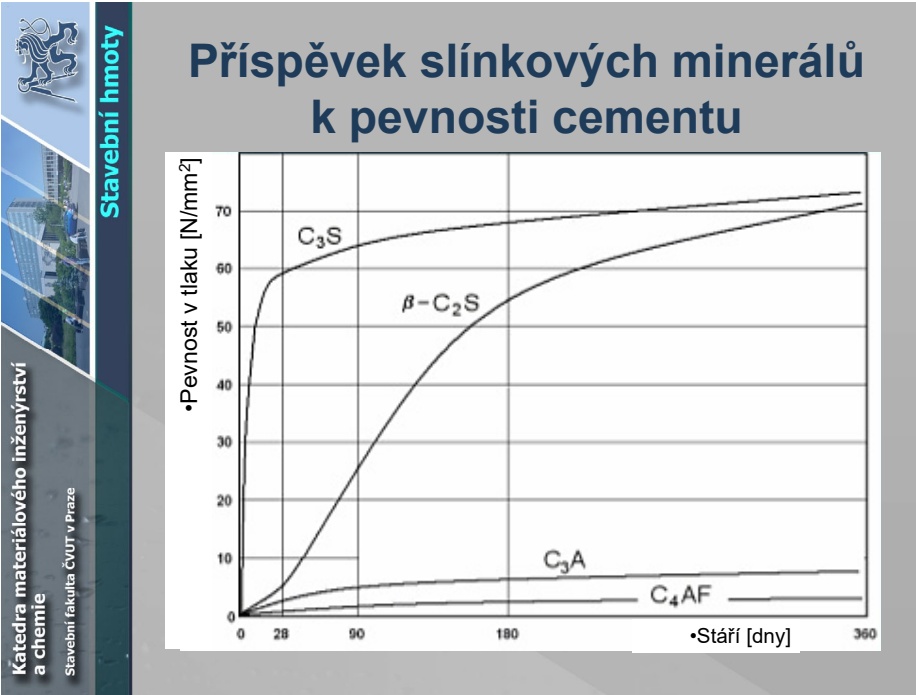
Trikalciumsilikát	C₃S	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$
Dikalciumsilikát	C₂S	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$
Trikalciumaluminát	C₃A	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$
Tetrakalciumaluminát ferit	C₄AF	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Vlastnosti slínkových minerálů

C₃S (alit)	– nabývá pevnost nejdříve zpočátku (rychlovazné cementy)	
C₂S (belit)	– tvrdne po delší době (cementy s nízkým hydratačním teplem)	
C₃A	– velmi rychlá hydratace – zásadní vliv na korozi betonu (síranovzdorné cementy)	 



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Obsah slínekových minerálů

Minerál	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Typ cementu				
Portlandský	65	15	8	9
S nízkým hydratačním teplem	25	55	3	14
Síranovzdorný	73	9	2	13
Bílý	73	14	11	0

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Zjišťování mineralogického složení

- mikroskopicky
- rentgenovou difrakcí
- výpočtem –
- Boguova metoda

Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Boguova metoda

- výpočet potencionálního složení slínku (tedy složení, které je při správně provedeném výpalu pravděpodobné) je založen na využití faktoru limitujících složek, jejichž obsah lze určit **elementární analýzou**
- první limitující složka - Fe_2O_3 (je pouze v C_4AF)
- další limitující složka - Al_2O_3 (v C_4AF a v C_3A)

Stavební hmoty

Odvození Boguových rovnic

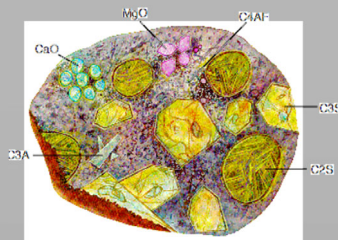
pro výpočet je nutno znát **chemické složení cementu** (% obsah oxidů)

Trikalciumsilikát	C_3S	$3CaO \cdot SiO_2$
Dikalciomsilikát	C_2S	$2CaO \cdot SiO_2$
Trikalciumaluminát	C_3A	$3CaO \cdot Al_2O_3$
Tetrakalciumaluminát ferit	C_4AF	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Boguovy rovnice



$$[C_4AF] = 3.04 * [F]$$

$$[C_3A] = 2.65 * [A] - 1.69 * [F]$$

$$[C_3S] = 4.07 * [C] - 1.43 * [F] - 6.72 * [A] - 7.60 * [S]$$

$$[C_2S] = 8.6 * [S] - 3.07 * [C] + 1.08 * [F] + 5.1 * [A]$$

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Hydratace cementu

- chemický a fyzikální proces, při němž kašovitá cementová směs přechází do tuhého a tvrdého stavu → komplex všech reakcí probíhajících po rozdělání cementu s vodou

Hydratace závisí na:

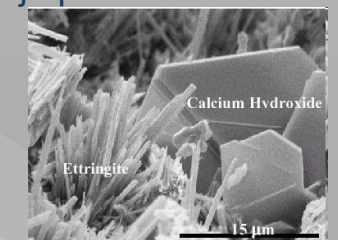
- mineralogickém složení cementu
- jemnosti mletí
- množství záměsové vody
- přítomnosti dalších příměsí

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

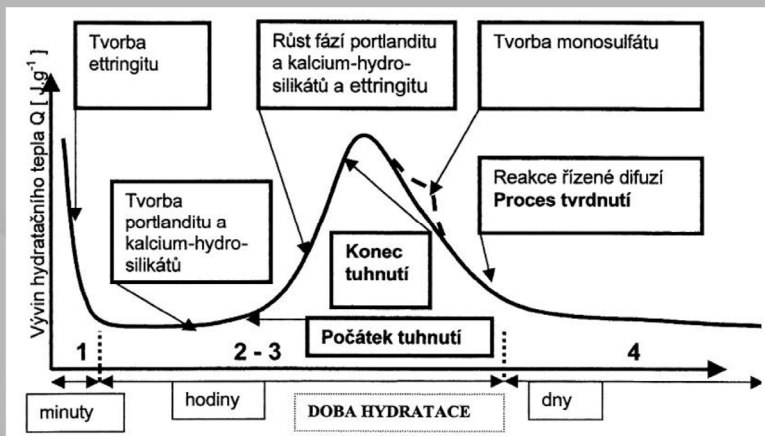
Hydratace cementu

- reakce mezi vodou, sádrou a C_3A → krystalické hydráty (kalcium-alumino-hydrát CAH, ettringit Aft a monofosfát Afm)
- později reakce vody s C_3S → amorfni hydrát (kalcium-silikátový-hydrát - CSH gel).
- hydratace C_2S je podstatně pomalejší než předchozí, postupně zvyšuje pevnost
- jako poslední reakce pravděpodobně s SiO_2

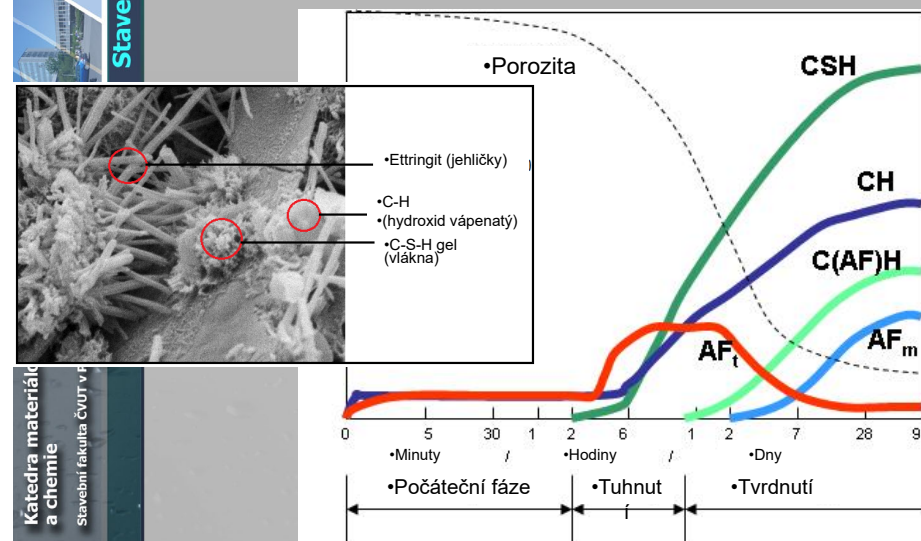


Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Hydratace cementu

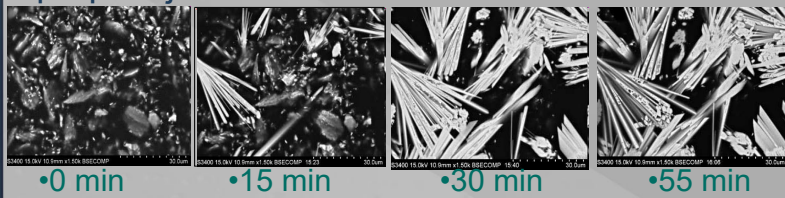


Produkty hydratace cementu



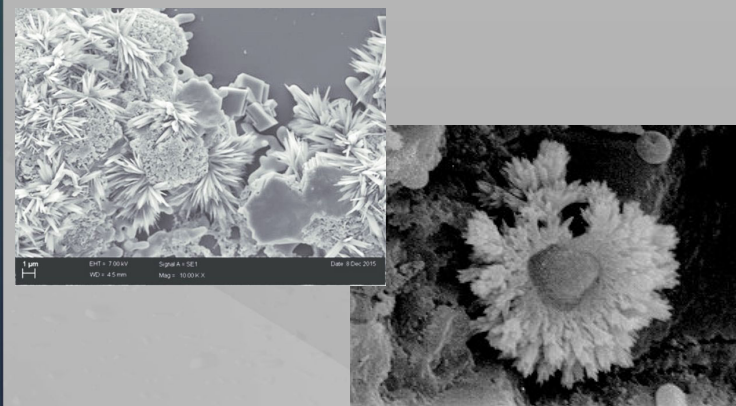
Hydratace cementu

- vzniklé hydráty méně rozpustné → přesycený roztok → srážejí se v drobné krystalky
- kolem krystalků jako jader se vytvářejí krystalky hydratovaných složek
- vlivem molekulárních sil jsou krystaly přitahovány, střetávají se navzájem a prolétávají.



Hydratující cement

- hydratující cementová zrna pořízená SEM (SEM = skenovací elektronový mikroskop)




Stavební hmoty

Typy cementů

ČSN EN 197-1: 5 hlavních typů - 27 cementů pro obecné použití

- **CEM I - Portlandský cement**
 - min 95% slínku
- **CEM II - Portland směsný cement**
 - až 35% popílku
- **CEM III - Vysokopecní cement**
 - až 95% vysokopecní strusky
- **CEM IV - Pucolánový cement**
 - až 55% pucolánů
- **CEM V - Směsný cement**
 - až 80% vysokopecní strusky, popílku nebo pucolánů



Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Složky vícesložkových cementů


- **Portlandský slínek**
 - Hlavní meziprodukt při výrobě cementu
 - Obsažen ve všech cementech pro obecné použití
 - Označení „K“
- Granulovaná vysokopecní struska (označení „S“)
- Pucolány
 - Přírodní křemičité a/nebo hlinito-křemičité látky
 - Přírodní pucolán – označení „P“
 - Přírodní kalcinované pucolány – označení „Q“
- Popílky
 - Získávají se odlučováním z kouřových plynů topenišť spalujících práškové uhlí
 - Dle chemického složení se dělí na
 - Křemičitý popílek – označován „V“
 - Vápenatý popílek – označován „W“
- Kalcinovaná břidlice (označení „T“)
- Vápenec
 - Označení „L“ – obsah organického uhlíku max. 0,50 %
 - Označení „LL“ – obsah organického uhlíku max. 0,20 %
- Křemičitý úlet (označení „D“)

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Pucolány

- obsahují amorfní oxid křemičitý a oxid hlinitý
- po smíchání s vodou netvrdnou
- v přítomnosti vody reagují za normální teploty s hydroxidem vápenatým za tvorby sloučenin vápenatých silikátů a vápenatých aluminátů
 - přírodní: tras, pemza, sopečný tuf, křemelina
 - umělé: elektrárenský popílek, křemičitý úlet, struska



Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

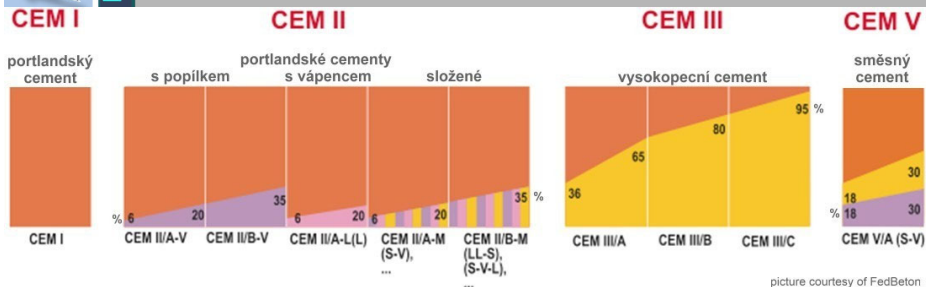
• Druhy cementů - ČSN EN 197-1

Složení (poměry složek podle hmotnosti)¹⁾

Hlavní druhy	Označení výrobků (druhy cementů pro obecné použití)	Hlavní složky										Doplnující složky			
		Slínek	Vysokopecní struska	Křemičitý úlet	Pucolány		Popílky		Kalcinovaná břidlice	Vápenec					
		K	S	D ²⁾	přírodní P	přírodní kalcinované Q	křemičité V	vápenaté W	T	L	LL				
CEM I	Portlandský cement	CEM I	95-100												0-5
	Portlandský struskový cement	CEM I/A-S CEM I/B-S	80-94 65-79	6-20 21-35											0-5 0-5
CEM II	Portlandský cement s křemičtým úletem	CEM II/A-D	90-94		6-10										0-5
	Portlandský pucolánový cement	CEM II/A-P CEM II/B-P	80-94 65-79			6-20 21-35									0-5 0-5
		CEM II/A-Q CEM II/B-Q	80-94 65-79				6-20 21-35								0-5 0-5
		CEM II/A-V CEM II/B-V	80-94 65-79					6-20 21-35							0-5 0-5
		CEM II/A-W CEM II/B-W	80-94 65-79						6-20 21-35						0-5 0-5
	Portlandský cement s kalcinovanou břidlicí	CEM II/A-T CEM II/B-T	80-94 65-79							6-20 21-35					0-5 0-5
		Portlandský cement s vápenecem	CEM II/A-L CEM II/B-L CEM II/A-LL CEM II/B-LL	80-94 65-79 80-94 65-79							6-20 21-35			6-20 21-35	0-5 0-5 0-5 0-5
	Portlandský směsný cement ⁴⁾	CEM II/A-M CEM II/B-M	80-94 65-79						6-20 21-35						0-5 0-5
		CEM III Vysokopecní cement	CEM III/A CEM III/B CEM III/C	35-64 20-34 5-19	35-65 66-80 81-95										
	CEM IV Pucolánový cement ⁴⁾		CEM IV/A CEM IV/B	65-89 45-64				11-35 36-55							0-5 0-5
CEM V Směsný cement ⁴⁾			CEM V/A CEM V/B	40-64 20-38	18-30 31-50										0-5 0-5



•Druhy cementů - ČSN EN 197-1



picture courtesy of FedBeton

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

- portlandský slínek (pálení vápence v peci)
- popílek - křemičitý (zbytkový produkt uhelné elektrárny)
- vápenec (surovina získaná z lomů)
- vysokopecní struska (zbytkový produkt metalurgie)