

Stavební hmoty

Stavební hmoty

Přednáška 8

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

•1

Stavební hmoty

Beton

Pokračování



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

•2

Stavební hmoty

Složky betonu

- ✓ pojivo
- ✓ plnivo
- ✓ voda
- přísady (do 5 % hm. cem.)
- příměsi (práškové)

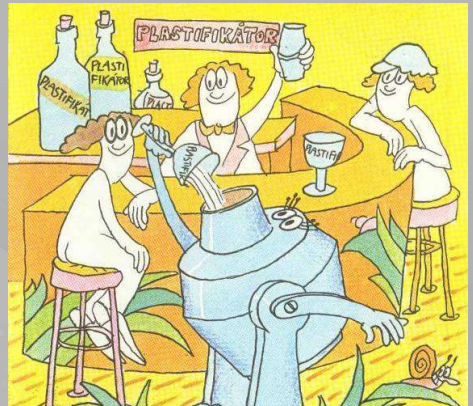


Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

•3

Stavební hmoty

Přísady



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

•4



Stavební hmoty



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Přísady



ČSN EN 934:

- chemické sloučeniny, které se přidávají během míchání do betonu v množství od **0,2 do 5 %** hmotnosti cementu za účelem modifikace vlastností čerstvého nebo tvrdnoucího betonu.
- celkové množství přísad nesmí překročit maximální dávkování doporučené výr.
- převážně tekuté**

•5



Stavební hmoty



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Rozdělení přísad

- ✓ **vodoredukující/plastifikační**
- ✓ **silně vodoredukující/superplastifikační**
- stabilizační (zadržující vodu)
- provzdušňovací
- urychlující tuhnutí
- urychlující tvrdnutí
- zpomalující tuhnutí
- těsnící (hydrofobizační, odpuzující vodu)

•6



Stavební hmoty



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Plastifikátory a superplastifikátory

- redukuji množství vody nutné pro dobrou zpracovatelnost čerstvého betonu o **5 –15 %** (**> 12% - superplastifikátor**)
- upravují povrchovou aktivitu cementu cementová zrna se chovají jako stejně nabitě částice – odpuzují se –
- snižuje se tření



•7



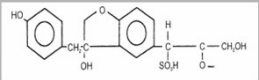
Stavební hmoty



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Plastifikátory

- lignosulfonáty** (odpad při výrobě papíru)



- sodné soli karboxylových hydroxykyselin** (citronové, vinné, glukonové, heptonové)
- hydrolizovaný škrob** (kukuřičný)

•8

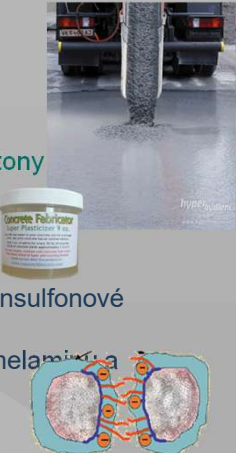


Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Superplastifikátory

- zvýšení tekutosti
 - samozhutnitelné betony,
 - samonivelační potěry
- snížení vodního součinitele
 - > pevnost – vysokopevnostní betony
 - > trvanlivost
 - < smršťování
- **SNF** (sůl polymethylenpolynaftalensulfonové kyseliny)
- **SMF** (kondenzát sulfonovaného melaminu a formaldehydu)
- **PCL** (polykarboxyláty)



•9



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Provzdušňující přísady

- **zvyšují odolnost vůči mrazu !!!**
- uzavřené vzduchové póry 0,01 – 0,03 mm, ve vzájemné vzdálenosti do 0,2 mm
- ideální provzdušení 4 – 6 % objemu
- pevnost betonu klesá o 5% na každé 1 % provzdušnění



•10



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Přísady zpomalující tuhnutí

- prodlužují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického stavu do stavu tuhé látky
- betonování v teplém podnebí nebo v případě, kdy by příliš rychlý vývin tepla mohl zhoršit mechanické vlastnosti
 - zpomalení počátku tuhnutí
 - omezení prudkého vývinu hydratačního tepla
 - betonáž masivních konstrukcí
 - delší doba zpracování betonu

•11



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Přísady urychlující tuhnutí

- urychlovače tuhnutí
 - zkracují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického do tuhého stavu
- betonování v chladném období
- rychlé utěsnění
- betonování pod studenou vodou
- pro stříkané betony (tuhnutí za několik min)



•12

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze



Stavební hmoty

Přísady urychlující tvrdnutí

- urychlovače tvrdnutí
 - urychlují vývoj počátečních pevností betonu
 - mohou a nemusí urychlovat tuhnutí betonu
- betonování v chladném období
- zkrácení odformovací doby (prefabrikace)
- zkrácení nutné doby pro ochranu betonu a uplatnění zimních opatření

•13

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze



Stavební hmoty

Stabilizující přísady

- proti odmísení volné vody (krvácení betonu) a sedimentací tuhých částic
- krvácení betonu (bleeding):
 - nežádoucí jev, kdy uniká cement s vodou z čerstvého betonu při jeho přepravě, ukládání nebo z bednění či formy.
 - obvyklou příčinou je špatný návrh složení čerstvého betonu




•14

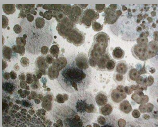
Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze



Stavební hmoty

Další přísady

- Inhibitory koroze
- Adhezní
 - zlepšují přídržnost betonu k podkladu
- Injektážní (expanzní)
- Biocidní (fungicidní)
- Plynotvorné
 - chemickou reakcí vzniká plyn, vylehčující beton
- Pěnotvorné
 - během míchání se do betonu dostává velké množství vzduchových bublin → pěnobeton
- Odpěňovací (pohledový beton)



•15

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze



Stavební hmoty

Použití přísad

- pokud se používá více než jedna přísada, pak se musí jejich vzájemná snášenlivost ověřit při průkazných zkouškách.
- některé přísady jsou navzájem nemísitelné
 - dávkování oddělenými dávkovači nebo propláchnutí dávkovače vodou před naplněním druhé přísady
- jestliže celkové množství tekuté přísady převyšuje 3 l/m³ betonu, pak se musí toto množství vody vzít v úvahu pro výpočet vodního součinitele

•16



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Příměsi

- většinou práškovité látky, dodávané do betonu za účelem zlepšení některých vlastností nebo k docílení zvláštních vlastností
- ve větším množství než přísady (**10 – 40 %**)
- je nutno započítat je do betonu při výpočtu obsahu složek



- zlepšení zrnitosti, čerpatelnosti a zhutnění, odmísení, odlučování vody (bleedingu)
- zvyšují potřebné množství vody

•17



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Příměsi

- inertní**
 - kamenné moučky, jemně mletý vápenec, pigmenty
- pucolánové ** a latentně hydraulické ***
 - popílek, křemičitý úlet, struska

* Latentní hydraulita je schopnost látky tvrdnout ve vodním prostředí za normální teploty za přítomnosti budiče hydraulicity

** Pucolánové látky (s vysokým obsahem aktivního SiO_2) reagují v alkalickém prostředí s CaOH_2 za vzniku pevných látek

•18



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Koroze betonu

Agresivní prostředí :

- „hladová voda „ - koroze I. druhu (vyplavování hydroxidu vápenatého)
- kyselé prostředí** - koroze II. druhu (rozpuštění vápenatých solí, vzniklých z CaCO_3)
- síranová koroze** - koroze III. druhu –



•19

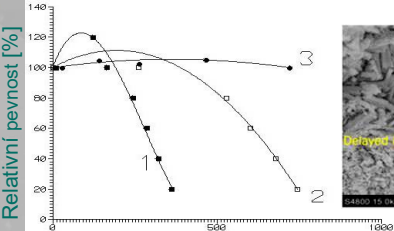
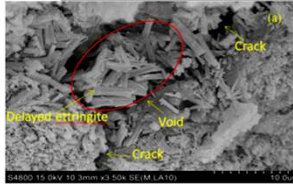
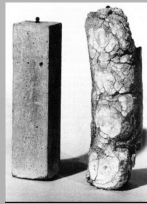


Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Síranová koroze

- závisí na obsahu C_3A → dodatečný vznik **ettringitu**
- $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{31H}_2\text{O}$



Relativní pevnost [%]

Doba expozice v síranovém roztoku [dny]

•20



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Přípustný obsah C_3A v cementu

- v závislosti na stupni agresivity prostředí

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	600-3000	max. 3,5
silně agresivní XA3	3000-6000	max. 3,5

•21



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Síranová koroze



•22



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Koroze výztuže



•23



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Koroze výztuže

- čerstvý beton je silně alkalický (**pH > 12**) (vzniká velké množství $Ca(OH)_2$)
- v alkalickém prostředí je výztuž **pasivována** → nekoroduje



•24



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Karbonatace betonu

- beton vlivem CO_2 z ovzduší ztrácí alkalitu ($\text{pH} < 9$)
$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$
- dochází k vyčerpání **alkalické rezervy** (dobíhající hydratační procesy $\rightarrow \text{Ca(OH)}_2$)
- karbonatace neprobíhá v suchém prostředí (vlhkost $< 30\%$) a pod vodou

•25

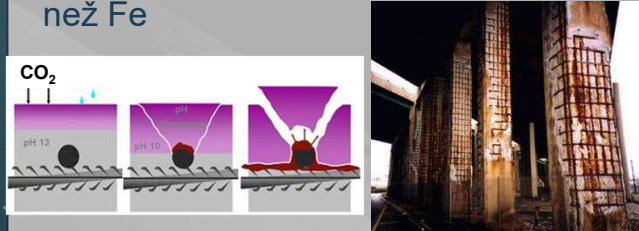


Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Koroze výztuže

- při $\text{pH} < 9,5$ dochází ke korozi výztuže
$$2\text{Fe} + 1,5\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{FeO(OH)}$$
- vzniklý produkt má **2,5 x větší objem** než Fe



•26

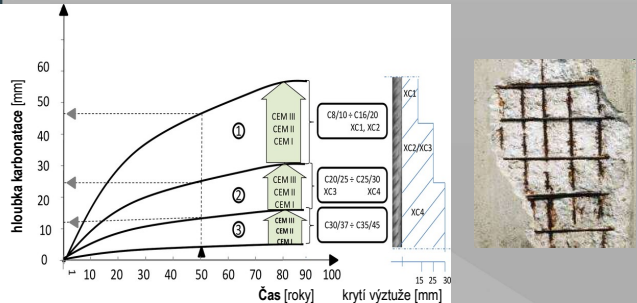


Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Průběh karbonatace betonu

- hloubka karbonatace: $h_k = k_k \cdot t^{0,5}$
- za 1 rok cca 4 - 8 mm
- za 60-70 let hloubka 30 - 60 mm



•27



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Hloubka karbonatace betonu

- zkouška roztokem fenolftaleinu (při $\text{pH} > 9,8$ červený)



•28



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace typového betonu

- **výrobce betonu** zaručuje všechny požadované vlastnosti dodávaného betonu
- **odběratel (specifikátor)** je zodpovědný za specifikaci požadovaných vlastností čerstvého a ztvrdlého betonu (podle projektu)

Příklad označení typového betonu s doplňujícím požadavkem:

BETON ČSN EN 206-1
C 25/30 - XF2 - Cl 0,20 - D_{max} 22 - S1
- Max. průsak 50 mm podle ČSN EN 12 390-8

•29



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace typového betonu

C 25/30 -XF2(CZ,F.2) -Cl 0,20 -D_{max} 22 -S1
dle ČSN EN 206-1/7.3

- **pevnostní třída**
 - stupeň vlivu prostředí
 - (č. tabulky pro mezní hodnoty a složení směsi dle požadované životnosti)
- **obsah chloridů**
 - maximální frakce kameniva
 - stupeň konzistence

•30



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace typového betonu

C 25/30 -XF2(CZ,F.2) -Cl 0,20 -D_{max} 22 -S1

pevnostní třída

- stupeň vlivu prostředí
 - (č. tabulky pro mezní hodnoty a složení směsi dle požadované životnosti)
- obsah chloridů
 - maximální frakce kameniva
 - stupeň konzistence

•31



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace betonu

Pevnostní třídy betonů

C 30/35

- min. charakteristická **válcová pevnost v tlaku**
 - po 28 dnech
 - na válcích v. 300 a ø 150 mm
- min. charakteristická **krychelná pevnost v tlaku**
 - po 28 dnech
 - na krychlích o straně 150 mm

•32



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Specifikace betonu

Pevnostní třídy betonů

Pevnostní třída v tlaku	$f_{ck, cyl}$ (válec) N/mm ²	$f_{ck, cube}$ (krychle) N/mm ²
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

vysokopevnostní
beton

•33



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Specifikace typového betonu

C 25/30 **XF2**(CZ,F.2)-CI 0,20-D_{max} 22-S1

- pevnostní třída
- **stupeň vlivu prostředí**
 - (č. tabulky pro mezní hodnoty a složení směsi dle požadované životnosti)
 - obsah chloridů
 - maximální frakce kameniva
 - stupeň konzistence





•34



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Specifikace betonu

Stupně vlivu prostředí

- **X0**
 - bez nebezpečí koroze nebo narušení
- **XC1, XC2, XC3, XC4**
 - koroze vlivem karbonatace
- **XD1, XD2, XD3**
 - koroze vlivem chloridů, ne však z mořské vody
- **XS1, XS2, XS3**
 - koroze vlivem chloridů z mořské vody
- **XF1, XF2, XF3, XF4**
 - působení mrazu a rozmrazování
- **XA1, XA2, XA3**
 - chemické působení
- **XM1, XM2, XM3**
 - mechanické působení

•35



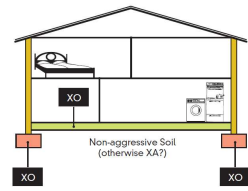
Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Specifikace vlivu prostředí

Bez nebezpečí koroze nebo narušení

X0

pro beton bez výztuže nebo zabudovaných kovových vložek: všechny vlivy s výjimkou střídavého působení mrazu a rozmrazování, obrusu nebo chemicky agresivního prostředí;	beton uvnitř budov s velmi nízkou* vlhkostí vzduchu; beton základů bez výztuže v prostředí bez vlivu mrazu;
pro beton s výztuží nebo se zabudovanými kovovými vložkami: velmi suché	 Non-aggressive Soil (otherwise XA?) beton bez výztuže uvnitř budov

•36



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Specifikace betonu

Specifikace vlivu prostředí

Koroze vlivem karbonatace **XC**

- pokud je beton, obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky, vystaven ovzduší a vlhkosti

XC1	suché nebo stále mokré	beton uvnitř budov s nízkou vlhkostí vzduchu; části staveb uvnitř budov se střední vlhkostí vzduchu (včetně kuchyní, koupelen a prádeln v obytných budovách); beton trvale ponořený ve vodě
XC2	mokré, občas suché	povrch betonu vystavený dlouhodobému působení vody; části vodojemů; většina základů
XC3	středně mokré, vlhké	beton uvnitř budov se střední nebo velkou vlhkostí vzduchu; venkovní beton chráněný proti dešti
XC4	střídavě mokré a suché	povrchy betonu ve styku s vodou, které nejsou zahrnuty ve stupni vlivu prostředí XC2; vnější části staveb z betonu přímo vystaveného srážkám

•37



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Specifikace betonu

Specifikace vlivu prostředí

Koroze vlivem chloridů ne z mořské vody **XD**

- pokud beton, obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky, přichází do styku s vodou, obsahující chloridy, včetně rozmrazovacích solí, ne však z mořské vody
- pokud do betonu proniknou chloridy, pak dojde ke korozi (aktivaci) oceli, aniž by to bylo nutně spojeno s poklesem pH
- v praxi nejčastěji kontaminace betonu chloridy z rozmrazovacích prostředků (posypových solí) na komunikacích
 - v ČR aplikováno cca 150 – 200 tis. tun ročně
 - prostředky na bázi CaCl_2 a MgCl_2 mohou narušovat pojivo v betonu

•38



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Specifikace betonu

Specifikace vlivu prostředí

Koroze vlivem chloridů ne z mořské vody **XD**

- XD1** – středně mokré, vlhké
 - povrchy betonů, vystavené chloridům rozptýleným ve vzduchu, stavební části dopravních ploch, jednotlivé garáže
- XD2** – mokré, občas suché
 - plavecké bazény, beton vystavený působení průmyslových vod obsahujících chloridy
- XD3** – střídavě mokré a suché
 - části mostů a inženýrských staveb vystavené postřikům obsahujícím chloridy, betonové povrchy parkovišť

•39



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Specifikace betonu

Specifikace vlivu prostředí

Působení mrazu a rozmrazování **XF**

- pokud je mokrá beton vystaven významnému působení střídavého mrazu a rozmrazování
- voda obsažená v pórovém systému betonu při cyklickém zmrazování mění objem a skupenství → rozpad betonu
- zejména dopravní stavby



•40



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace betonu

Specifikace vlivu prostředí

Působení mrazu a rozmrazování **XF**

- **XF1** – mírně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků
 - Svislé betonové plochy vystavené dešti a mrazu
- **XF2** – mírně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky
 - Svislé betonové povrchy silničních konstrukcí vystavené mrazu a rozmrazovacím prostředkům rozptýleným ve vzduchu
- **XF3** – značně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků
 - Vodorovné betonové povrchy vystavené dešti a mrazu
- **XF4** – značně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou
 - Vozovky a mostovky vystavené rozmrazovacím prostředkům, betonové povrchy vystavené přímému ostřiku rozmrazovacích prostředků a mrazu

•41



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace betonu

Specifikace vlivu prostředí

Chemické působení **XA**

- **vody**
 - s nízkým obsahem soli (hladové)
 - s vyšší koncentrací vodíkových iontů (kyselé)
 - obsahující agresivní CO₂ (uhličitě)
 - síranové
 - hořečnaté
 - amonné
 - alkalické, průmyslové odpadní, vody obsahující oleje, tuky, sirovodík ...



•42



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace betonu

Specifikace vlivu prostředí

Chemické působení **XA**

- Pokud je beton vystaven chemickému působení rostlé země, podzemní vody nebo je vystaven chemickému prostředí
- **XA1** – slabě agresivní chemické prostředí
 - nádrže čistíren odpadních vod, základy v prostředí XA1
- **XA2** – středně agresivní chemické prostředí
 - části staveb v půdách agresivních vůči betonu
- **XA3** – vysoce agresivní chemické prostředí
 - průmyslové čistírny odpadních vod s chemicky agresivními vodami, sklady chemicky agresivních látek a umělých hnojiv, silážní jámy, krmné žlaby, chladicí věže s odvodem kouřových plynů

•43



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace betonu

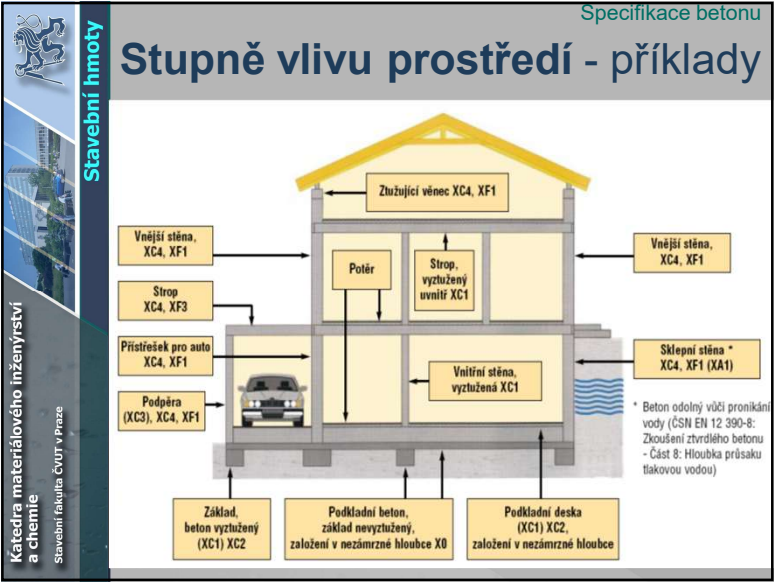
Specifikace vlivu prostředí

Koroze vlivem mechanického působení **XM**

- pokud je beton vystaven pohyblivému mechanickému zatížení (obrusu)
 - dopravou, vodou s abrazivem, kavitací

SVP	Charakteristika prostředí	Max. V/C	Min. třída	Min. dávka cementu [kg/m³]	Specifické zkoušky	Další požadavky
XM1	Mírné vnitřní podlahy	0.55	C 30/37	300		
XM2	Střední Vnitřní podlahy, vnější dlažba	0.55	C 30/37	300		Speciální zpracování povrchu
	Vysoké Vozíky s pryžovými pneumatikami	0.45	C 35/45	320		
XM3	Velmi vysoké Vozíky s elastomerovými pneumatikami, kovovými obručemi, vodní stavby	0.45	C 35/45	320		Úpravy povrchu

•44



•45

Specifikace betonu

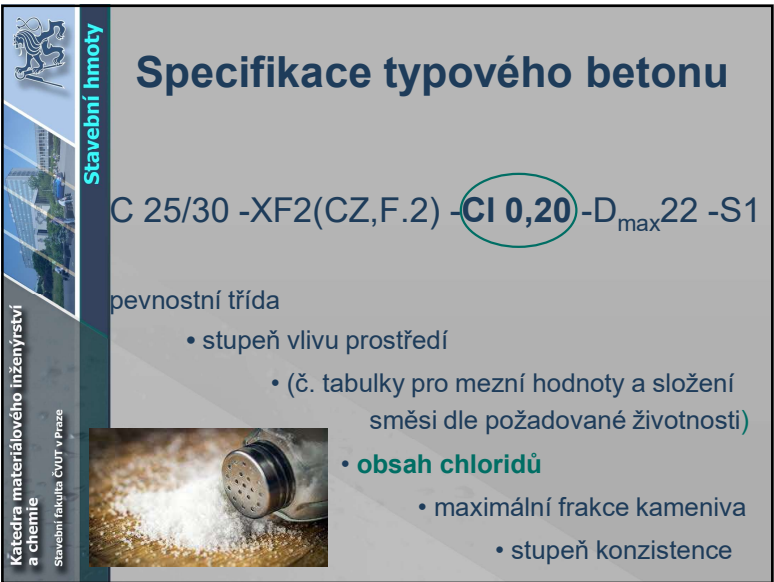
Stupně vlivu prostředí - normativní mezní hodnoty pro složení a vlastnosti betonu

(předpokládá se životnost 50 let, viz NA F.1)

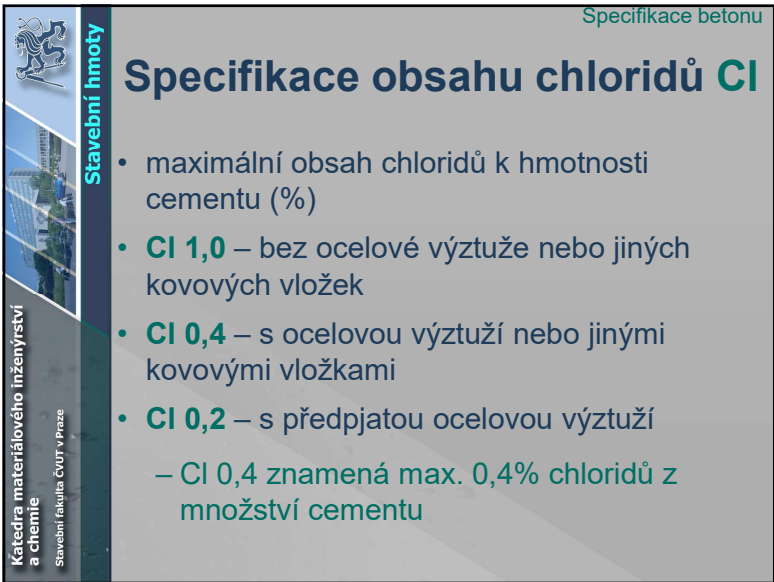
Stupeň	Popis prostředí	Max. w/c	Min. vř. betonu ¹⁾	Min. množství cem. (kg/m ³)	Indikativní min. vř. betonu dle ČSN EN 1992 ¹⁾	Max. průsak vody dle ČSN EN 12 390-8 (mm) ²⁾	Odolnost betonu vůči zmrazování a rozmraz. dle ČSN 73 1326 (kg/m ²)	Jiné požadavky
X0	Bez nebezpečí koroze nebo narušení	---	C12/15	---	C12/15	---	---	---
XC	Koroze vlivem karbonatace							
XC1	suché nebo stále mokré	0,65	C16/20	260	C16/20	---	---	---
XC2	mokré, občas suché	0,60	C16/20	280	C25/30	---	---	---
XC3	středně mokré, vlhké	0,55	C20/25	280	C25/30	---	---	---
XC4	střídavě mokré a suché	0,50	C25/30	300	C30/37	50	---	---
XD	Koroze způsobená chloridy jinými než z mořské vody							
XD1	středně mokré, vlhké	0,55	C25/30	300	C30/37	---	---	---
XD2	mokré, občas suché	0,50	C25/30	300	C30/37	50	---	---
XD3	střídavě mokré a suché	0,45	C30/37 ⁴⁾	320	C35/45	20	---	---
XF	Střídavé působení mrazu a rozmrazování (mrazové cykly), s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich							
XF1	mírně nasycen vodou, bez rozmrazovacích prostředků	0,55	C25/30	300	C25/30	50	---	---
XF2 ⁴⁾	mírně nasycen vodou, s rozmrazovacími prostředky	0,50	C25/30	300	C25/30	50	A/75/1250 C/50/1500	kamenivo podle ČSN EN 12 620
XF3 ⁴⁾	značně nasycen vodou, bez rozmrazovacích prostředků	0,50	C25/30	320	C25/30	35	A/100/1250 C/75/1250	s dostatečnou mrazuvzdorností
XF4 ⁴⁾	značně nasycen vodou, s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou	0,45	C30/37	340	C30/37	35	A/100/1000 C/75/1000	
XA	Chemicky agresivní prostředí							
XA1	slabě agresivní chemické prostředí (viz tabulka dále)	0,55	C25/30	300	C25/30	50	---	---
XA2	středně agresivní chemické prostředí (viz tabulka dále)	0,50	C25/30 ⁴⁾	320	C30/37	35	---	SVC dle
XA3	výsoce agresivní chemické prostředí (viz tabulka dále)	0,45	C30/37 ⁴⁾	360	C35/45	20	---	ČSN 72 2103

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

•46



•47



•48



Stavební hmoty

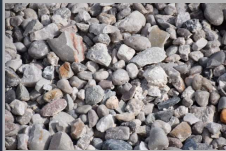
Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace typového betonu

C 25/30 -XF2(CZ,F.2)-CI 0,20-**D_{max}22**-S1

pevnostní třída

- stupeň vlivu prostředí
 - (č. tabulky pro mezní hodnoty a složení směsi dle požadované životnosti)
- obsah chloridů
 - **maximální frakce kameniva**
 - stupeň konzistence



•49



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace betonu

Maximální frakce kameniva

D_{max}

Podmínka nejmenšího rozměru

- nejvýše jedna třetina až polovina nejmenšího rozměru konstrukce (podle jejího tvaru)
- nejmenší vzdálenost ocelových prutů výztuže zmenšená o 5 mm
- nejvýše 1,3 násobek krycí vrstvy výztuže
- 1/3 světlého průměru potrubí, jímž je dopravován beton
- snahou je použití co největšího zrna kameniva, pokud to uvedené podmínky dovolí

•50



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace typového betonu

C 25/30 -XF2(CZ,F.2)-CI 0,20-D_{max}22 - **S1**

pevnostní třída

- stupeň vlivu prostředí
 - (č. tabulky pro mezní hodnoty a složení směsi dle požadované životnosti)
- obsah chloridů
 - maximální frakce kameniva
 - **stupeň konzistence**



•51



Stavební hmoty

Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace betonu

Specifikace stupně konzistence

- **konzistence** = odpor proti přetváření
 - jak moc nebo málo je čerstvý beton tekutý nebo sypký
 - **zpracovatelnost**
- **metody**
 - **sednutí kužele** (Abrams) - **S**
 - **rozlití** - **F**
 - **přeformování VeBe** - **V**
 - **stupeň zhutnění** - **C**

•52



Katedra materiálového inženýrství
a chemie

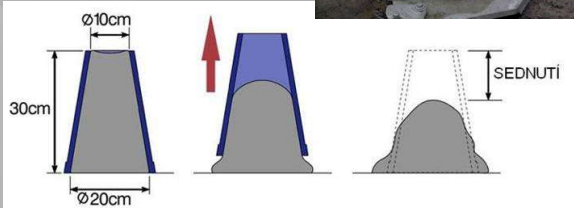
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace betonu

Stavební hmoty

Specifikace stupně konzistence
Sednutí kužele S (Abramsova zk.)

S 1	10 - 40 mm
S 2	50 - 90 mm
S 3	100 - 150 mm
S 4	160 - 210 mm
S 5	≥ 220 mm



•53



Katedra materiálového inženýrství
a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze

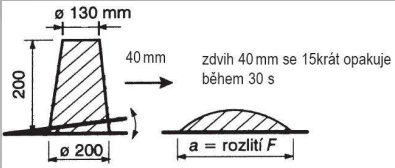
Specifikace betonu

Stavební hmoty

Specifikace stupně konzistence
Rozlítí F

- F1 ≤ 340 mm
- F2 350 – 410 mm
- F3 420 – 480 mm
- F4 490 – 550 mm
- F5 560 – 620 mm
- F6 630 – 750 mm
- F7 760 – 850 mm

— samozhutnitelné betony (SCC)



•54



Katedra materiálového inženýrství
a chemie

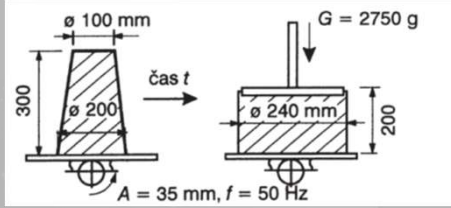
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Specifikace betonu

Stavební hmoty

Specifikace stupně konzistence
Přeformování V (VeBe)

V 0	≥ 31 s
V 1	30 - 21 s
V 2	20 - 11 s
V 3	10 - 6 s
V 4	5 - 3 s



•55



Katedra materiálového inženýrství
a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze

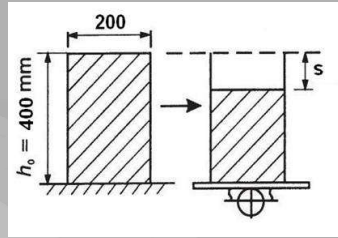
Specifikace betonu

Stavební hmoty

Specifikace stupně konzistence
Stupeň zhutnění C

C 0	≥ 1,46
C 1	1,45 - 1,26
C 2	1,25 - 1,11
C 3	1,10 - 1,04

$$c = \frac{h_0}{h_0 - s}$$



•56



Katedra materiálového inženýrství
a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Faktory ovlivňující konzistenci

- kamenivo
 - distribuce částic
 - druh zrn (tvar, povrch, porozita ...)
- množství a druh cementu
- množství vody
- druh a množství přísad a příměsí
- teplotní podmínky
- doba a intenzita míchání
- vlhkost prostředí
- způsob dopravy, ukládání a zhutňování

•57



Katedra materiálového inženýrství
a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Specifikace betonu

konzistence	≤ 340	-	350-410	490-550	560-620	≥ 630
rozliti F v mm	-	10-40	50-90	160-210	≥ 220	≥ 160
sednutí kužele S v mm	-	≥ 1,20	1,19-1,08	1,07-1,02	-	-
stupeň zhutnění C	-	-	-	-	-	-

doprava a ukládání čerstvého betonu

přímé ukládání do bednění

doprava jeřábem

čerpání čerstvého betonu

zhutňování betonu

dusání

vibrování

propichování

povrchová úprava čerstvého betonu

ihned po uložení

stažení

hlazení

betonová konstrukce

nevzdušný beton

velmi vzdušný beton

železobeton pro vn. konstr.

pohledový beton

beton pod vodu

beton odolný chem. korozi

vodotěsný beton

beton odolný proti ohrusu

Doporučené konzistence č.b.

•58



Katedra materiálového inženýrství
a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Specifikace typového betonu

C 25/30 -XF2(**CZ,F.2**)-CI 0,20-D_{max}22 - S1

pevnostní třída

- stupeň vlivu prostředí
- (č. tabulky pro mezní hodnoty a složení směsi dle požadované životnosti)
- obsah chloridů
 - maximální frakce kameniva
 - stupeň konzistence

•59



Katedra materiálového inženýrství
a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Specifikace betonu

Specifikace životnosti konstrukce

- Označuje se národním dodatkem (CZ) a číslem tabulky mezních hodnot (F.1-3)
- Předpokládaná životnost **50 let** – (CZ, F.1)
 - Běžné bytové a administrativní stavby
- Předpokládaná životnost **100 let** – (CZ, F.2)
 - Dopravní a jiné významné stavby
- Při požadavcích na **obrus a otluk** – (CZ, F.3)
 - Pro stupeň vlivu prostředí XM1-3

•60



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Návrh složení betonu

1. **definování požadavků** (vliv prostředí, druh konstrukce, namáhání)
2. **volba složek** (druh cementu, zrnitost kameniva, příměsí), **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

•61



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Návrh složení betonu

1. **definování požadavků**
 - vliv prostředí, druh konstrukce, namáhání
2. **volba složek**
 - druh cementu, zrnitost kameniva, příměsí),
3. **návrh složení**
 - různé metody (podle Bolomeye, Kennedyho, podle empirického množství vody)
4. **experimentální ověření návrhu**

•62



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Návrh složení betonu

Definování požadavků na beton

- **projektové požadavky**
 - druh stavby, typ konstrukce, specifikace prostředí, pevnostní třída, krytí výztuže,
- **technologické požadavky**
 - konzistence (způsob dopravy a hutnění), rychlost tuhnutí a tvrdnutí,
- **provozní podmínky**
 - období betonáže, vzdálenost dopravy
- **speciální požadavky**
 - objemová hmotnost, vodotěsnost

•63



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

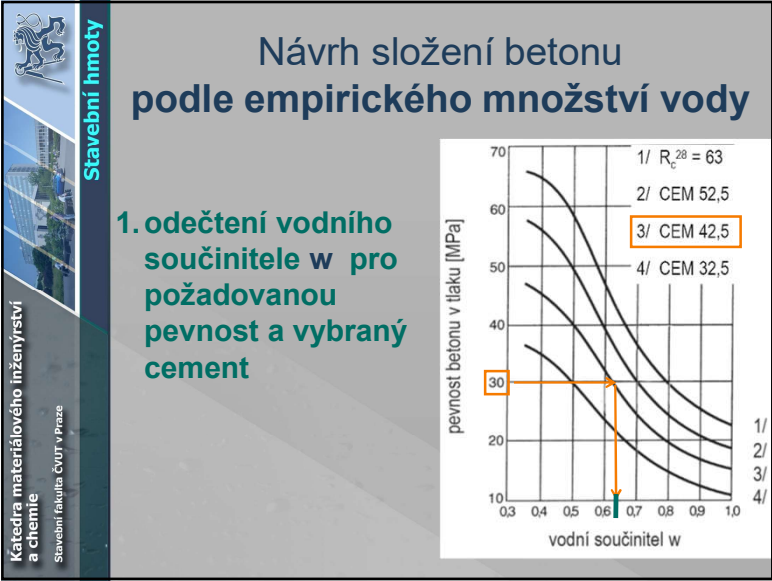
Stavební hmoty

Návrh složení betonu

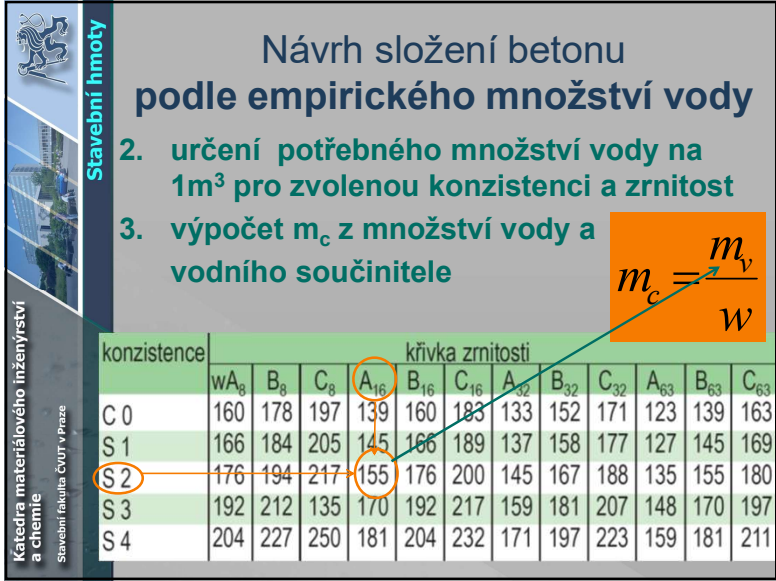
Volba složek

- **kamenivo**
 - **ekonomické hledisko** (dostupnost, cena, dopravní vzdálenost),
 - **technologické hledisko** (zrnitostní skladba, max. velikost zrna, mezerovitost, tvar zrn, objemová hmotnost, mechanické vlastnosti, chemické složení)
- **cement**
 - druh, pevnostní třída, speciální druhy
- **přísady**
 - druh přísady (plastifikační, provzdušňovací, urychlující tuhnutí)
- **příměši**
 - druh a množství

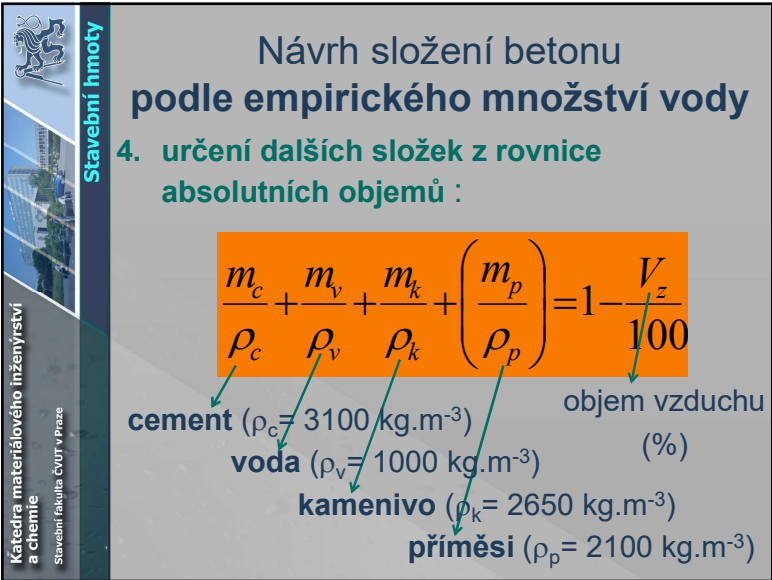
•64



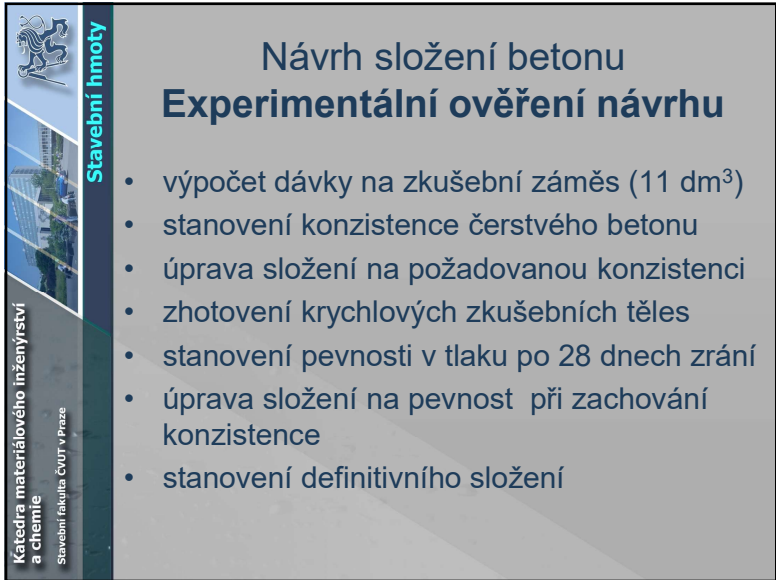
•65



•66



•67



•68



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Druhy betonu

- prostý beton
- železobeton
- předpjatý beton
- b. s rozptýlenou výztuží
- lehký beton ($\rho_v < 2000 \text{ kg.m}^3$)
- vysokohodnotné a speciální betony
 - samozhutnitelné
 - vysokopevnostní
 - vodotěsné
 - stříkané



•69



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Železobeton a předpjatý beton



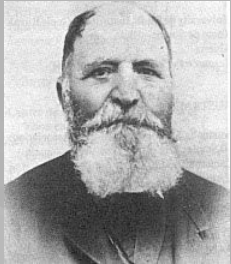
•70



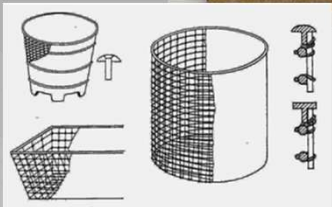
Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Železobeton



Joseph Monier
1823-1906



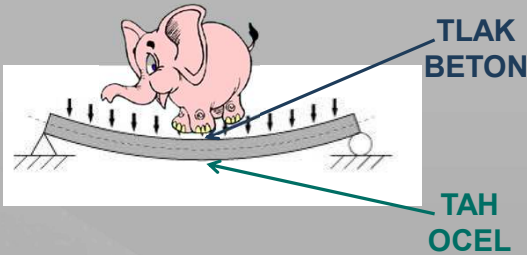
•71



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Železobeton



- dobrá soudržnost oceli s betonem
- stejná tepelná roztažnost ($\alpha_t \approx 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)
- vzájemná snášenlivost

•72



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Výztuž v železobetonu

- pruty
- sítě
- drátky
- pramence (předpínání)



•73



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Beton s rozptýlenou výztuží

- > **pevnost v tahu** → omezení trhlin
- < **deformace** (> modul pružnosti)
- < **křehkost** (> houževnatost a pevnost v rázu)
- > **únavová pevnost**



•74



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Beton s rozptýlenou výztuží

- **výztuž:**
 - ocelové drátky
 - skelná vlákna (alkalivzdorná)
 - PP vlákna (d.6-12mm, tl.18μm)
 - čedičová vlákna



Polypropylene Glass Carbon

•75



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Beton s rozptýlenou výztuží

Použití:

- průmyslové podlahy
- stříkaný beton
- tenkostěnné konstrukce (obvykle prefabrikované)
- konstrukce odolné vůči ohni



•76



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

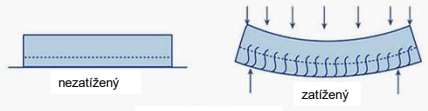
Předpjatý beton

- do prvku je předem vneseno napětí v tlaku

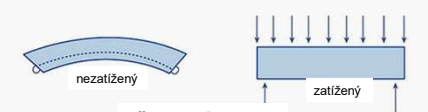
Předpínání:

- předem
- dodatečně

Železobeton



Předpjatý beton





•77



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Předpjatý beton



Opera, Sydney

Capital Gate, Abu Dhabi

Most Incheon, Jižní Korea

Most Morandi, Janov

CN Tower, Toronto

•78



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Lehké betony

- objemová hmotnost < 2000 kg.m³
 - mezerovité
 - nepřímo lehčené (kamenivo)
 - přímo lehčené (póry, pěna)



•79



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

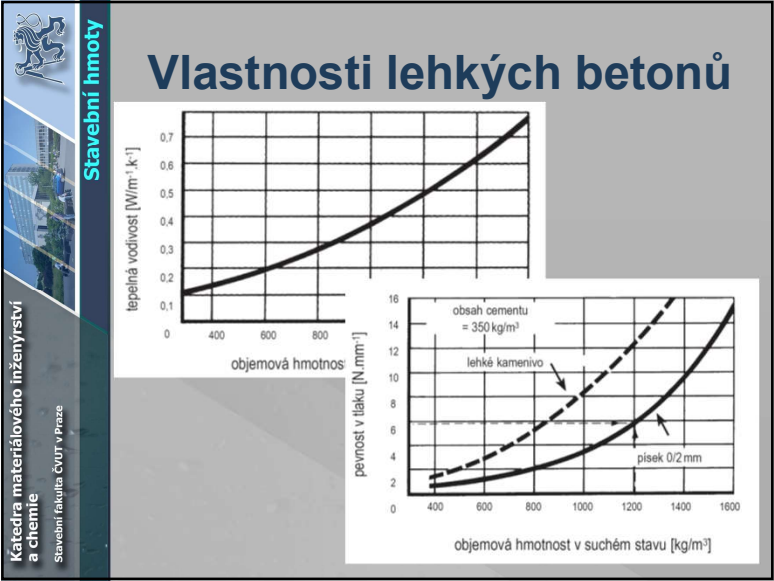
Třídy lehkých betonů

- třídy pevnosti: LC 8/9, LC 12/13, LC 16/18, LC 20/22.....LC 50/55...LC 80/88
vysokopevnostní lehké betony
- třídy objemové hmotnosti:

třída obj. hmotnosti	D 1,0	D 1,2	D 1,4	D 1,6	D 1,8	D 2,0
[kg.m ⁻³]	≥ 800 ≤ 1000	≥ 1000 ≤ 1200	≥ 1200 ≤ 1400	≥ 1400 ≤ 1600	≥ 1600 ≤ 1800	≥ 1800 ≤ 2000

* obj. hm. lehkého betonu může být předepsána i jako konkrétní hodnota.

•80



•81

Lehké betony

Podle použití:

- **konstrukční** (monolitické i prefabrikované)
– $\lambda > 0,5 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $R > 15 \text{ MPa}$
- **konstrukčně - tepelněizolační** (tvárnice a dílce)
– $\lambda = 0,25 - 0,5 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,
 $R = 3 - 15 \text{ MPa}$
- **tepelněizolační**
($\rho_v < 400 \text{ kg.m}^3$)
– $\lambda < 0,25 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $R < 3 \text{ MPa}$

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

•82

Mezerovité betony

Výroba:

- vynechání drobných frakcí – monofrakční beton
- snížení obsahu cementového tmelu

Vlastnosti:

- pevnost v tlaku 1-10 MPa
- objemová hmotnost 900 -1400 kg.m^3

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

•83

Mezerovité betony - použití

- povrchy vozovek
- protihlukové stěny – rychlé vysychání – tlumí hluk

Katedra materiálového inženýrství a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

•84



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Betony s lehkým kamenivem

Pórovité kamenivo:

- přírodní (pemza, tufy)
- umělé z přír. materiálů (jíly, břidlice, perlit)
- umělé z průmyslových odpadů (škvára, struska, popílek)



•85



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Betony s lehkým kamenivem

- pevnost v tlaku do **45 MPa**
- $\rho_v = 1000 - 2000 \text{ kg.m}^3$
- **vysokopevnostní** lehké betony (LWAC) – pevnost až **90 MPa**
- vyšší nasákavost kameniva - vyšší vodní součinitel nebo předvlhčování



•86



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Betony s organickým plnivem

- dřevěné štěpky, hobliny, třísky
- rostlinná vlákna (pazdeří, juta, konopí)
- polystyren



•87



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Polystyrenbeton

- potěry, vyrovnávací vrstvy
 - $\lambda \cong 0,07 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 - $\rho_v = 200 - 500 \text{ kg.m}^{-3}$
- tvárnice



•88

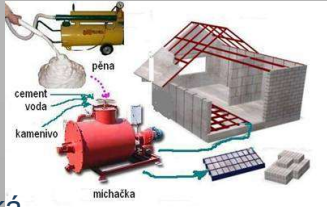


Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Přímo lehčené betony

- **pěnobeton** – předem připravená pěna
- **pórobeton** – chemická reakce přímo ve směsi (autoklávaný pórobeton)



•89



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Vysokohodnotné a speciální betony (HPC)



•90

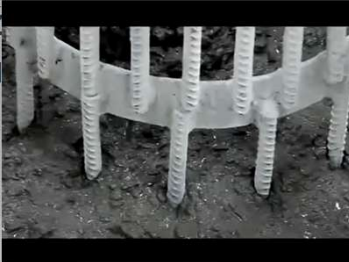


Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

Samozhutnitelný beton SCC (Self-Compacting Concrete)

- vysoce tekutý beton, nese segreguje
- není třeba vibrovat – menší hluk a pracnost
- vhodný pro složité konstrukce s hustou výztuží
- hladký povrch – pohledový beton



•91



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

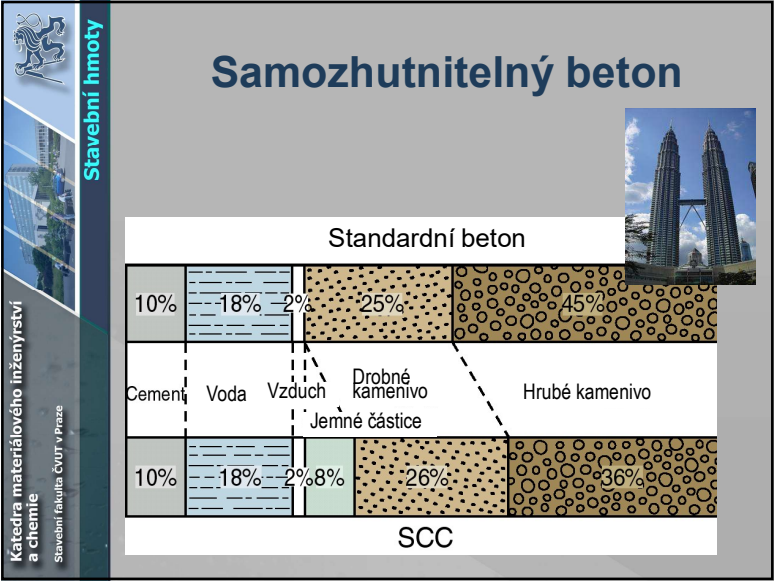
Stavební hmoty

Samozhutnitelný beton

- složení:
 - cement (portlandský)
 - kamenivo (drobné a hrubé)
 - jemnozrnné příměsi (mleté vápence, popílky, strusky a silika)
 - superplastifikátor (na bázi polykarboxylátů - PCL)



•92



•93



•94



•95



•96



Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

APC – Advanced Performance Composites

Musashi Kosugi Towers, Tokio

Složka	Množství na 1 m ³ betonu
Cement s křemičitým úletem	1024 kg
Drobné kamenivo	436 kg
Hrubé kamenivo	840 kg
Záměsová voda	155 l
PP vlákna	2 kg
Ocelové drátky	40 kg
Superplastifikátor	Kyselé poly- karboxyláty PC





Katedra materiálového inženýrství
a chemie
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

APC - Musashi Kosugi Towers, Tokio

- pevnost v tlaku : **150 MPa**
- vodní součinitel: **0.15**
- rozlítí Abramsova kužele: **600 mm**
- obsah vzduchu: **2%**

