



# Stavební hmoty

## Přednáška 7



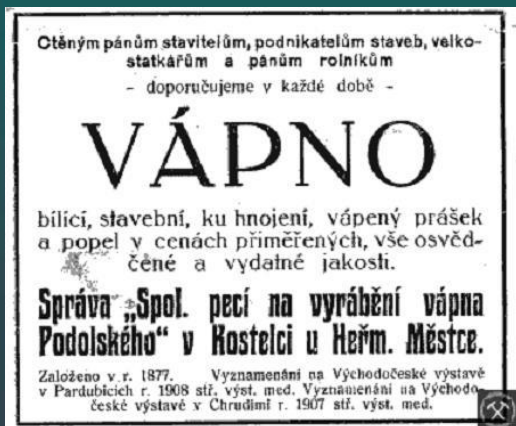
# Vzdušné vápno



- oxid vápenatý  $\text{CaO}$  nebo hydroxid vápenatý  $\text{Ca(OH)}_2$  v různém stupni čistoty
- známo od starověku (Asyřané, Egyptané, Řekové, Římané.....)



# Třídění vápen



EN 459  
Stavební vápno

Vzdušné vápno

Hydraulické vápno

Bílé vápno

Dolomitické  
vápno

Hydraulické  
vápno HL

Přirozená  
hydraulická  
vápna NHL



# Výroba vzdušného vápna

Suroviny:

- vápenec ( $\text{CaCO}_3$ )
- dolomitický vápenec ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ )
- dolomit ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ )





# Výroba vápna



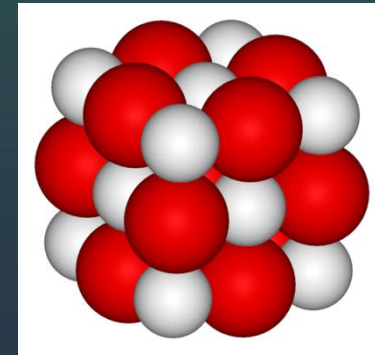
Pieter van Laer (1599 – 1642)



# Výroba vzdušného vápna

- 1. stupeň – pálení vápna → pálené vápno  $\text{CaO}$

- kusové
- práškové



- 2. stupeň – hašení vápna → hašené vápno  $\text{Ca(OH)}_2$

- vápenný hydrát
- vápenná kaše



# Pálení vzdušného vápna

- 900 -1100°C → dekarbonatace



- nižší teplota - **měkce pálené vápno** (reaktivní, vhodné pro malty)
- vyšší teplota – **tvrdě pálené vápno** (méně reaktivní, hutnější, vhodné pro pórobeton)
- překročení teploty – **mrtvě pálené vápno**



# Vápenka



Pacoldova vápenka  
Velká Chuchle



Crypta Balbi  
Řím





# Pálené vápno

- Kusové
- Drcené  $< 25$  mm
- Práškové  $< 3,1$  mm
- Hrubě mleté  $< 2,5$  mm
- Jemně mleté  $< 0,2$  mm
- Velmi jemně mleté  $< 0,09$  mm
- Peletizované





# Hašení vzdušného vápna

Přidávání vody k pálenému vápnu →  
hydratace



Reakce je  
exotermní!

Hrozí nebezpečí  
popálení !



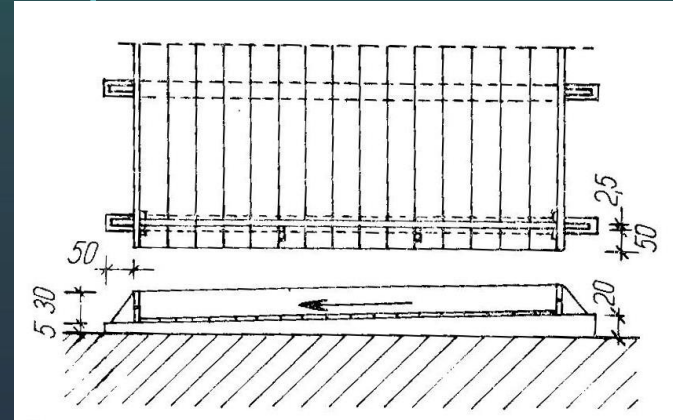


# Mokrý hašení

- skrápění vápna vodou v hasnici (karbu) -  
- 240-320 l vody na 100 kg vápna

→ **vápenné mléko**

- vypuštění do odležovací jámy → **vápenná kaše**  
(suspenze hydroxidu vápenatého)
- odležení vápenné kaše  
– několik hodin až let



Zvětšení objemu – vydatnost vápna – kvalita vápna  
(z 1 kg min 2,6 l kaše)



# Mokrý hašení

- nejvhodnější rychlost hašení při teplotě těsně pod 100 °C
- příliš pomalé hašení – utopené vápno
- příliš rychlé hašení – spálené vápno
  - nedokonalé hašení
  - dohašování v maltě
  - objemové změny





# Suché hašení

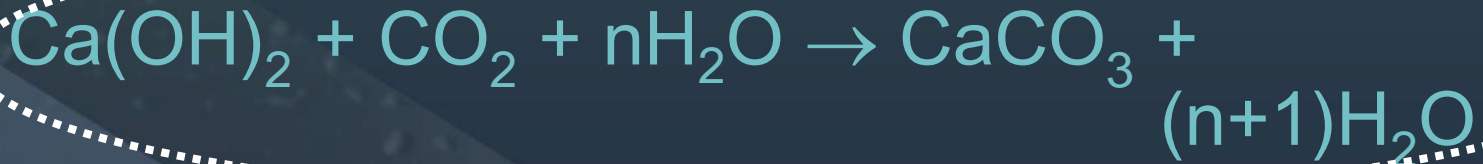
- průmyslová příprava v **hydrátoru**  
65 –70 l vody na 100 kg vápna  
→ práškový **vápenný hydrát**
- po přidání vody  
→ **vápenná kaše**
- nutné odležení kaše





# Tuhnutí a tvrdnutí vzdušného vápna

- Tuhnutí – fyzikální reakce (sesychání koloidního gelu)
- Tvrdnutí – karbonatace

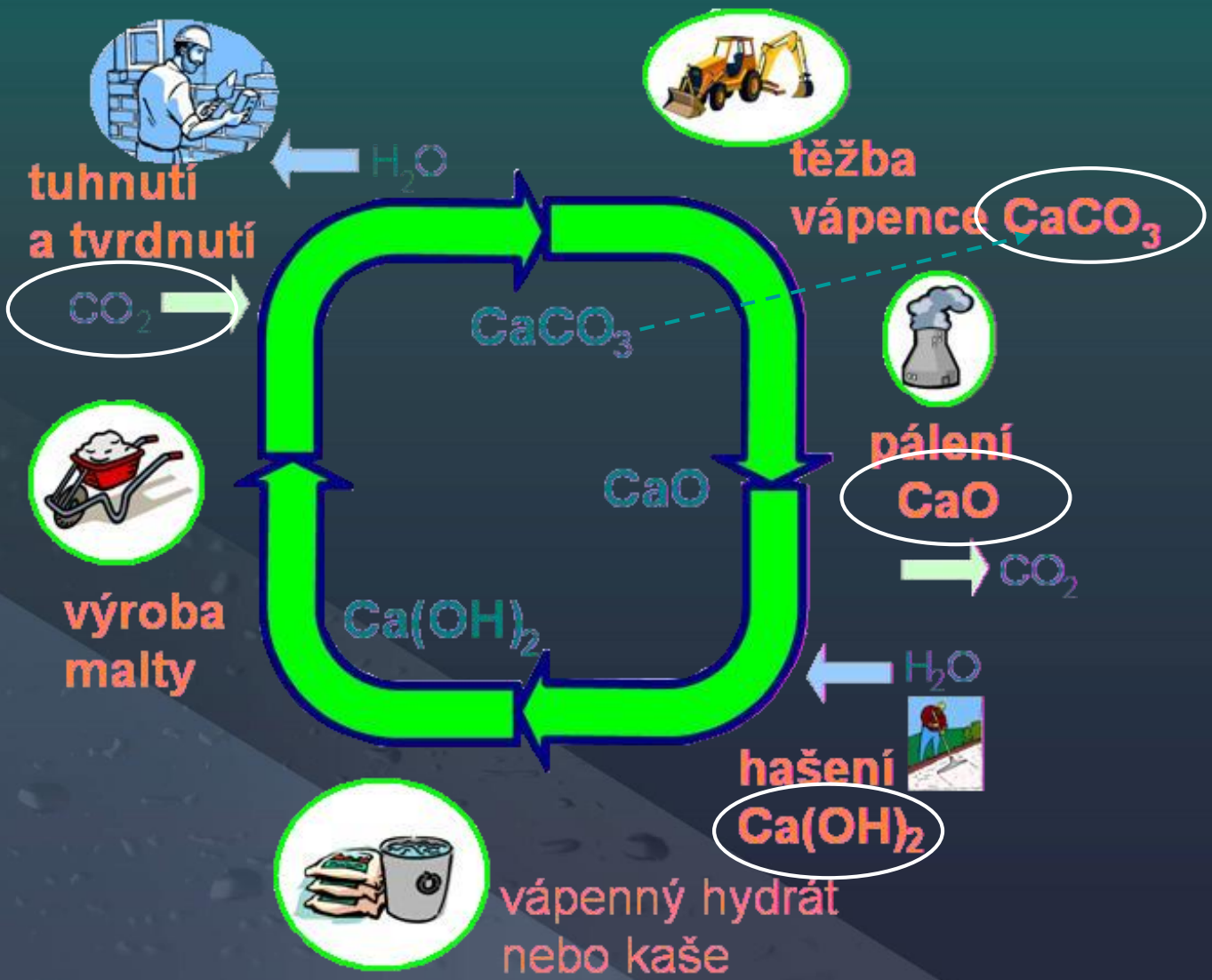


- pomalě
- závisí na koncentraci  $\text{CO}_2$  a na relativní vlhkosti a teplotě vzduchu

**Vápenné omítky je nutno před vymalováním  
nechat min. 1 měsíc uzrát!**



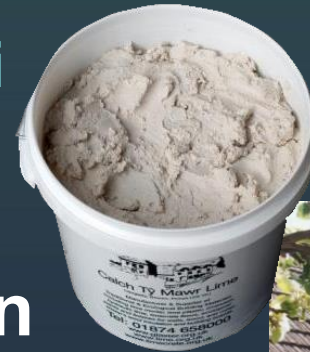
# Vápenný cyklus





# Použití vzdušného vápna

- **malty** – pro zdění i omítání
  - připravované přímo na stavbě
  - průmyslové maltové směsi
- **vápenopískové cihly**
- **autoklávovaný pórobeton**
- **nátěry vápenným mlékem**
- **barevné vápenné nátěry**
- **vápenná voda - zpevňování**



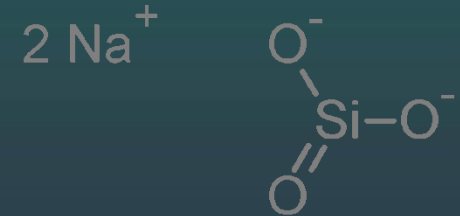




# Vodní sklo

- koloidní roztok křemičitanů alkalických kovů

– sodné, draselné, lithné



- výroba – z křemičitého písku (tavení za přítomnosti alkalických tavidel (soda, potaš) nebo rozpouštění v autoklávu)
- tvrdnutí - po styku s kyselým tvrdidlem (kyselina octová, uhličitá)
- plnivo - minerální moučky



# Použití vodního skla

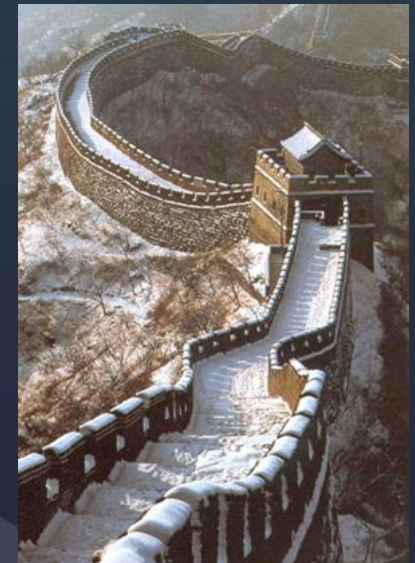
- kyselinovzdorné tmely
- žáruvzdorné vyzdívky
- silikátové nátěry
- nástřiky pro protipožární ochranu
- nátěrové hmoty
- v kombinaci s cementem pro výrobky s dřevěným plnivem





# Hořčnaté pojivo

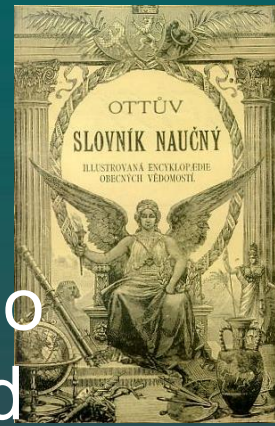
- pojivo na bázi  $\text{MgO}$  a  $\text{MgCl}_2$
- smíchání měkce páleného oxidu hořčnatého s roztokem hořčnatých solí (hl. chloridu hořčnatého)
- tvrdnutí - vznik hydratovaných oxochloridů hořčnatých
- vysoká pevnost a tvrdost
- poměrně pružné
- „Sorelův cement“





# Xylolit

- kamenné dřevo, směs z magnesiového cementu a drtin (dřevěné moučky) pod velkým tlakem lisovaná. Všelihak se formuje a potřebuje na podlahy, stoly, tabule, ozdobné části nábytku. Vzdoruje vlhku, ohni, nebortí se, dobře se vrtá



Ottův slovník naučný



XYLOLITH

jen z nejlepších surovin a dobrými odborníky

TERAZZO

provádí

Jahůdka a Tyrner - Praha VIII.

PARKETY

Na Maninách (pod libeňským mostem)

TELEFON 728-84.



# Geopolymery

- anorganické uměle vyrobené (polymerní) materiály, připravované **alkalickou aktivací základních hlinito-křemičitanových minerálů** (struska, popílek, metakaolin) za normální teploty a tlaku



Geopolymer foam



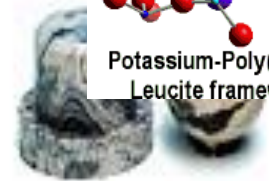
Geopolymer cement



Carbon-Geopolymer composites



Fire-proof materials



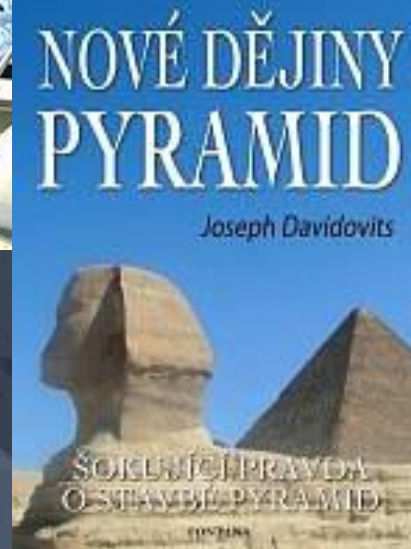
Natural stone or geopolymer stone® ?





# Geopolymery

- Prof. Joseph Davidovits



~~379,- € /1kg~~

~~299,- € /1kg~~

349,- € /1kg

• [http://www.youtube.com/watch?v=znQk\\_yBHre4](http://www.youtube.com/watch?v=znQk_yBHre4)

**Katedra materiálového inženýrství  
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze

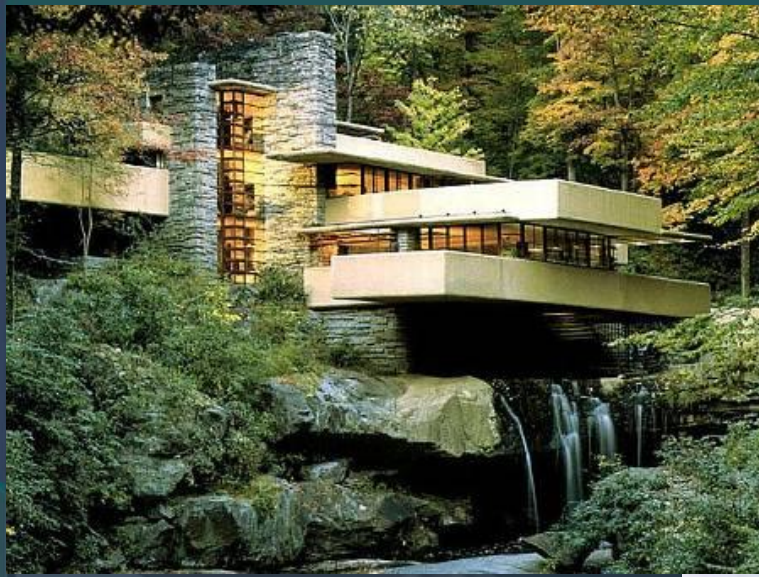


**Stavební hmoty**



# Stavební hmoty

# Beton



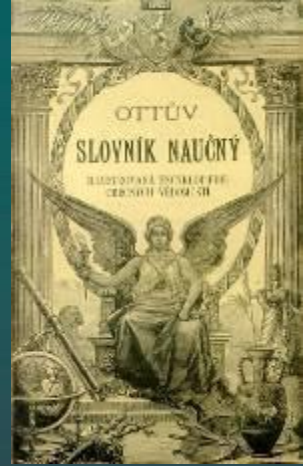
Katedra materiálového inženýrství a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze





# Beton



- jest stavivo z cementu, písku, vody a štěrku, kterážto směs na vzduchu i pod vodou tuhne v pevnou látku. Tato směs, jež podle množství vody je buď zavlhlá, měkká nebo i tekutá, se sype nebo lije do bednění nebo forem, obejmajících tvar příští stavby, ve kterých se podle potřeby a možnosti zpěchuje a ponechá do úplného utvrdnutí, načež se bednění odstraní.

Ottova encyklopedie (1908)



# Složky betonu

- pojivo
- plnivo
- voda
- přísady (do 5 % hm. cem.)
- příměsi (práškové)
- výztuž (bet. ocel, předpjatá výztuž, rozptýlená výztuž)





# Pojmy (ČSN EN 206-1)

- **beton** - materiál ze směsi cementu, hrubého a drobného kameniva a vody, s přísadami nebo příměsemi nebo bez nich, který získá své vlastnosti hydratací cementu.
- **čerstvý beton** - beton, který je zcela zamíchán a je ještě v takovém stavu, který umožňuje jeho zhutnění zvoleným způsobem
- **ztvrdlý beton** - beton, který je v pevném stavu a má již určitou pevnost



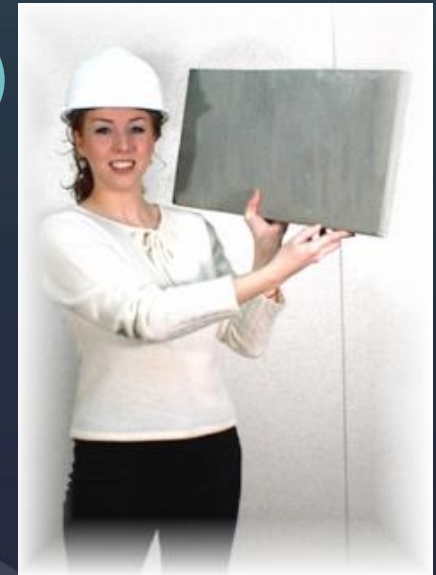
# Složení betonu

- **typové** - výrobce čerstvého betonu garantuje požadované a objednané vlastnosti betonu
- **předepsané složení** - odběratel předá výrobci recepturu složení betonu a výrobce čerstvého betonu již negarantuje vlastnosti betonu, pouze dodržení poměru mísení složek



# Typy betonů podle objemové hmotnosti

- **Hutný (Obyčejný) beton** ( $2000 - 2600 \text{ kg.m}^{-3}$ )
- **Lehký beton** ( $800 - 2000 \text{ kg.m}^{-3}$ )
- **Těžký beton** ( $> 2600 \text{ kg.m}^{-3}$ )





# Výroba betonu

- **Beton vyráběný na staveništi**
  - lokálně připravený odběratelem v místě použití pro vlastní potřebu
- **Transportbeton** – beton, dodávaný v čerstvém stavu
  - staveništní centrální betonárna (transport potrubím, přeprava jeřábem)
  - specializovaná betonárka (autodomíchávač)



# Zpracování čerstvého betonu

- míchání
- doprava
- ukládání
- zhutňování
- odformování
- (ošetřování)





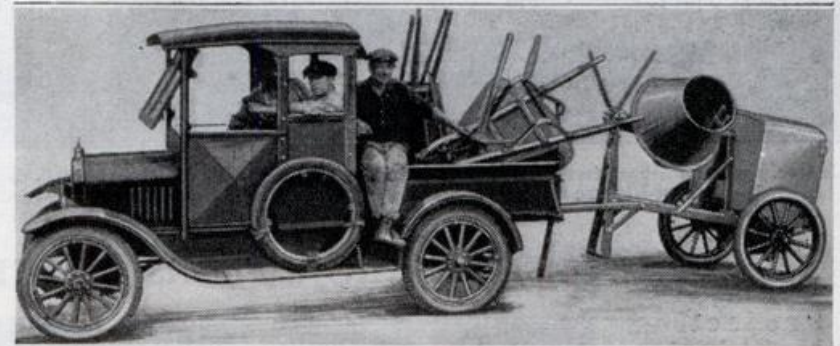
# Ruční výroba betonu na staveništi



## CONCRETE MIXER HAS RUBBER-TIRED WHEELS

A new concrete mixer, now being offered for contractors' use, travels noiselessly and without jarring, and is no hindrance to traffic.

on a rubber-tired two-wheel truck so that it can be easily and quickly moved from one job to another. Whereas the usual portable type of mixer cannot be hauled faster than about 10 miles an hour, this one will trail behind a light auto truck at a speed of 30 miles an hour. A leg, set on the ground when the mixer is in use, supports it in a level position. It



Concrete Mixer Mounted on a Rubber-Tired Two-Wheeled Truck, Which can be Hauled behind an Auto Truck at a 30-Mile Pace Instead of the Usual 10 Miles an Hour



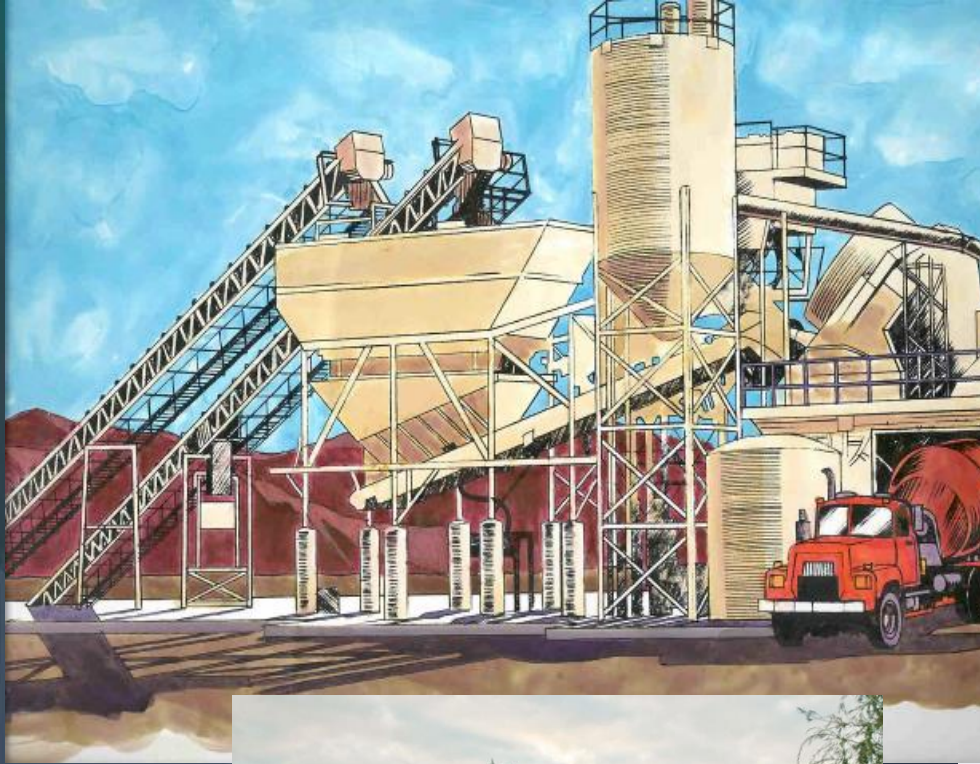


# Centrální výroba betonu na staveništi





# Výroba v betonárně





Stavby

# Doprava betonu

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie

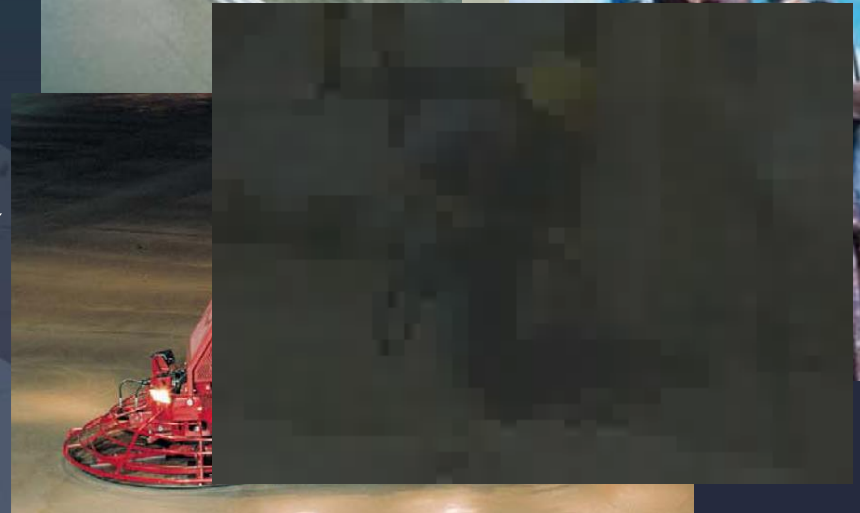
Stavební fakulta ČVUT v Praze





# Zhutňování betonu

- statické
  - lisování, válcování
- dynamické
  - střešání, propichování, vibrování (ponorné, příložné vibrátory)
- kombinované
  - vibrolisování
- chemicko-fyzikální
  - vakuování, plastifikace





# Rozmísení betonu

- oddělení některých složek, například hrubého kameniva nebo cementu s vodou, od zbytku betonu a jejich nahromadění v jedné části betonu → nehomogenní směs
  - nevhodně zvolená doprava čerstvého betonu na stavenišťě,
  - nevhodné ukládání betonu (padání betonu z výšky větší než 60 cm)
  - "převibrování" čerstvého betonu
- **odlučování vody (bleeding)**
  - vytlačování vody na povrch a její odtékání a vylučování z betonu





# Ošetřování betonu

- ochrana proti povětrnostním vlivům, otřesům a nárazům
- k minimalizaci **smrštování** je třeba beton během tuhnutí a na počátku tvrdnutí **udržovat ve vlhkém stavu (min 12 hod)**





# Metody ošetřování betonu

- vlhčení
- přikrytí
- speciální nástřik





# Minimální doba ošetřování betonu

		Minimální doba ošetřování betonu ve dnech <sup>g)</sup>			
Vývoj pevnosti betonu	Odhad $f_{cm,2}/f_{cm,28}$	Povrchová teplota $\nu$ ve °C			
		$\nu \geq 25$	$25 > \nu \geq 15$	$15 > \nu \geq 10$	$10 > \nu \geq 5$ <sup>h)</sup>
rychlý	$\geq 0,5$	1	1	2	3
střední	$\geq 0,3$ až $< 0,5$	2	2	4	6
pomalý	$\geq 0,15$ až $< 0,3$	2	4	7	10
velmi pomalý	$< 0,15$	3	5	10	15



**Katedra materiálového inženýrství  
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze



**Stavební hmoty**



# 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<sub>max</sub> 22 - S1**

**- Max. průsak 50 mm podle ČSN EN 12 390-8**



# Specifikace typového betonu

**C 25/30 - XF2(CZ,F.2) - Cl 0,20 - D<sub>max</sub> 22 - S1**  
dle ČSN EN 206-1/Z.3

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



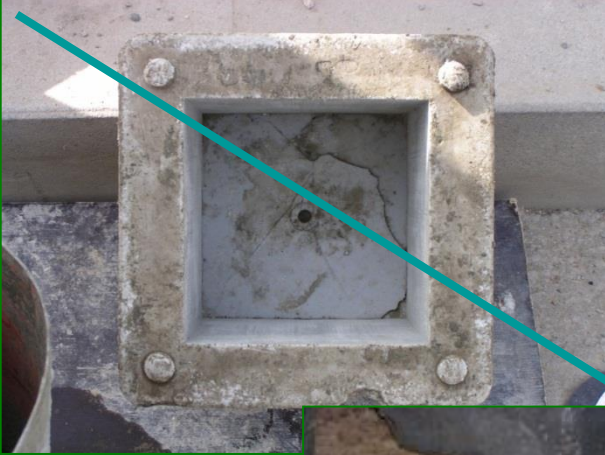
# Pevnostní třídy betonů



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



# Výroba zkušebních těles





# Pevnostní třídy betonů

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



# Srovnání tříd pevnosti betonu

ČSN 73 1201 (1967) již neplatná	ČSN 73 2001 (1970) již neplatná	ČSN 73 2400 (1989) již neplatná	ČSN EN 206-1 (2001) platná	TN SVB ČR 01-2004 (2004) platná
0I	B 60 B 80	(B 3,5) B 5		B 5
0	B 105	B 7,5		B 7,5
I	B 135	B 10 B 12,5	C 8/10	B 10 B 12,5
II	B 170	(B 13,5) B 15	C 12/15	B 15 B 20
III	B 250	B 20 B 25	C 16/20 C 20/25	B 25 B 30
IV	B 330	(B 28) B 30 B 35	C 25/30	B 35 B 40
V	B 400 B 500	B 40 B 45	C 30/37 C 35/45	B 45
VI		B 50	C 40/50	



# Specifikace stupně konzistence

- sednutí kužele (Abrams) - **S**
- rozlití - **F**
- přeformování VeBe - **V**
- stupeň zhutnění - **C**



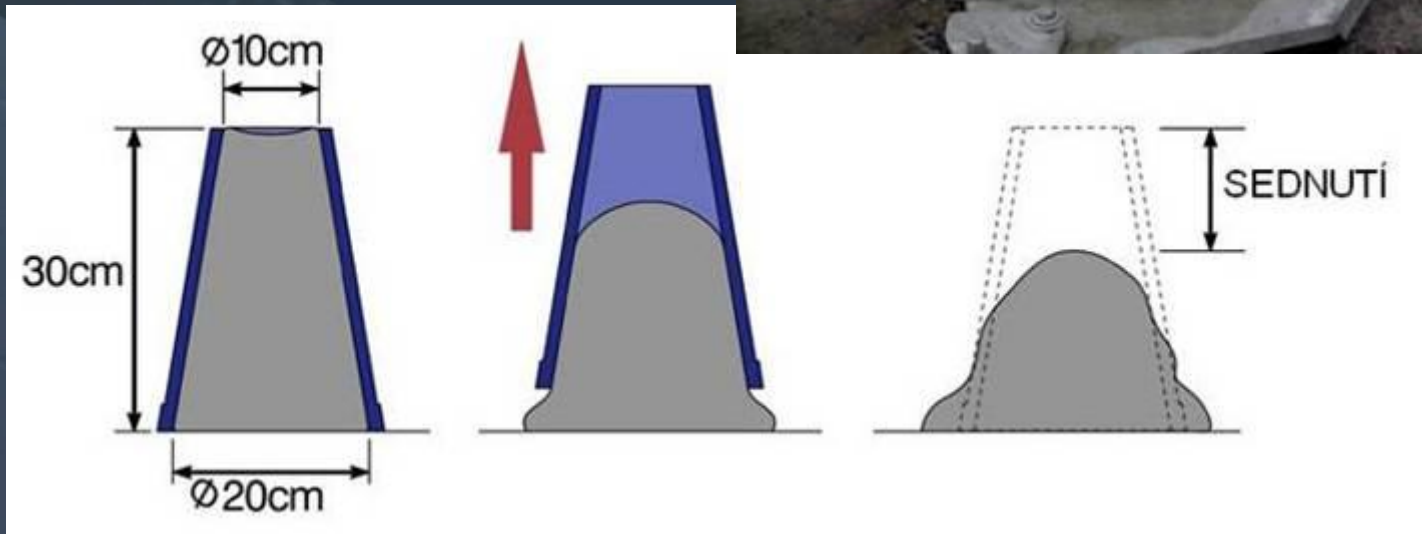




# Specifikace stupně konzistence Sednutí kužele S (Abramsova zk.)

stupeň sednutí kužele

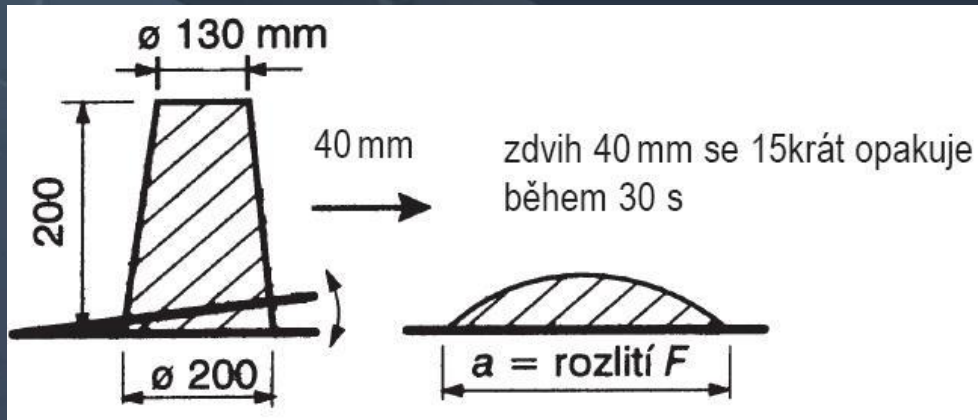
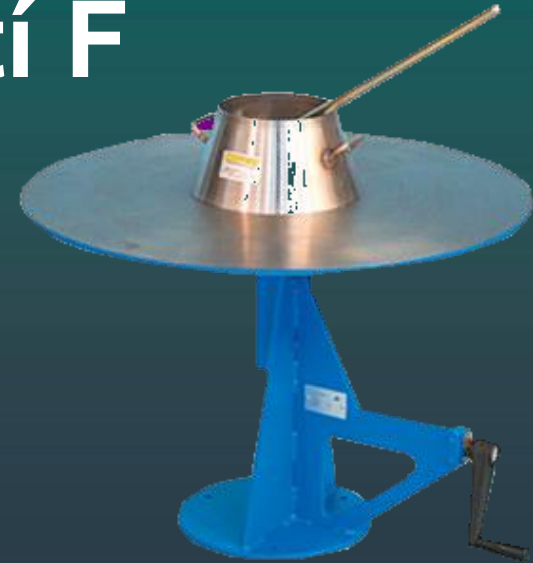
S 1	10 - 40 mm
S 2	50 - 90 mm
S 3	100 - 150 mm
S 4	160 - 210 mm
S 5	$\geq 220$ mm





# Specifikace stupně konzistence Rozlití F

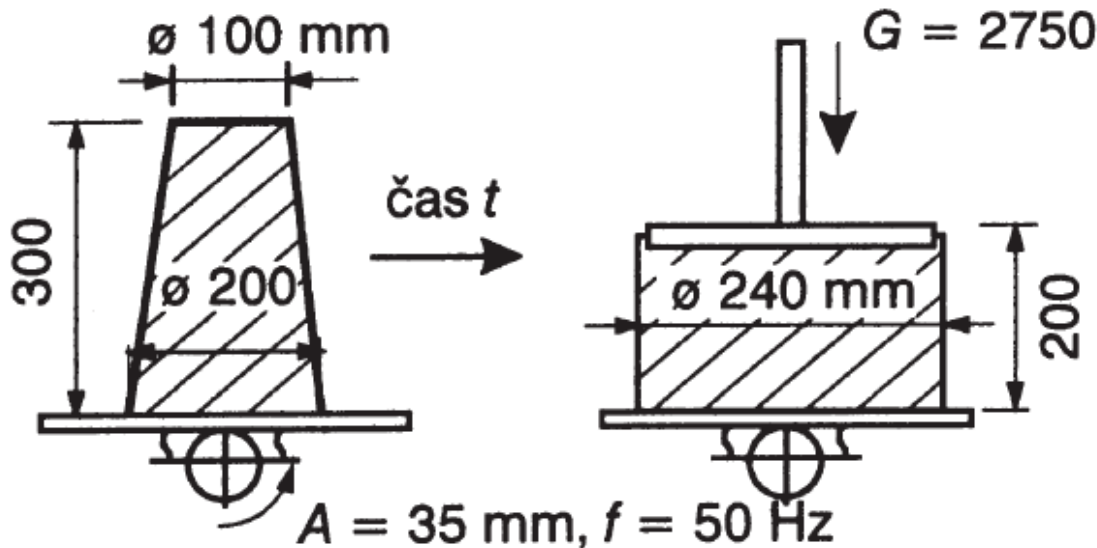
- F1  $\leq 340$  mm
- F2 350 – 410 mm
- F3 420 – 480 mm
- F4 490 – 550 mm
- F5 560 – 620 mm
- F6 630 – 750 mm – samozhutnitelné betony (SCC)
- F7 760 – 850 mm – samozhutnitelné betony (SCC)





# Specifikace stupně konzistence Přeformování V (VeBe)

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

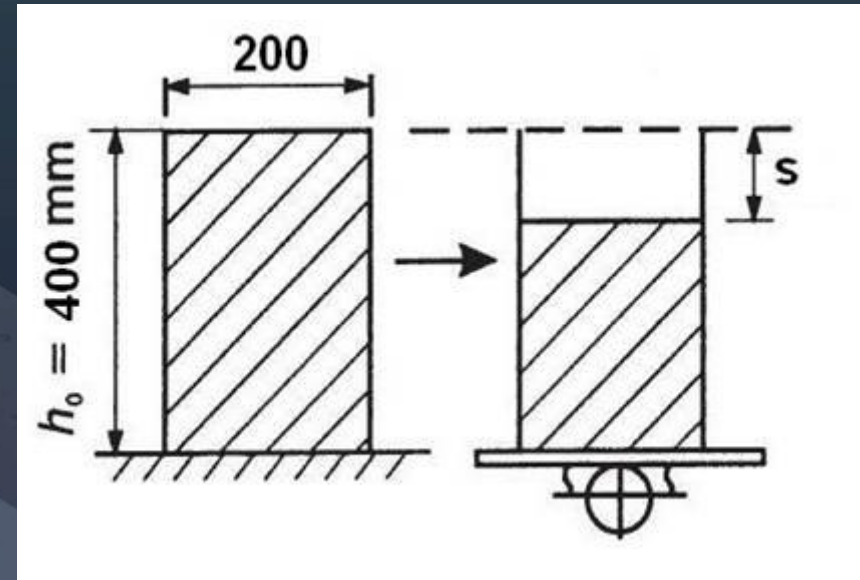




# Specifikace stupně konzistence Stupeň zhutnění C

C 0	$\geq 1,46$
C 1	1,45 - 1,26
C 2	1,25 - 1,11
C 3	1,10 - 1,04

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





## Stavební hmoty

### konzistence

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

### 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

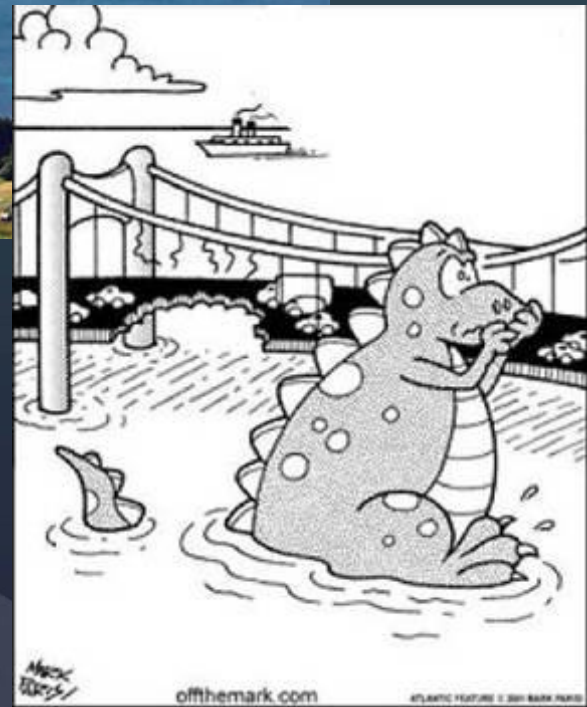
nevyztužený beton	←					→
velmi vyztužený beton		←				→
železobeton pro vn. konstr.			←			→
pohledový beton			←		→	
beton pod vodou			←	→		
beton odolný chem. korozi			←			→
vodotěsný beton			←			→
beton odolný proti obrušování	←			→		

Doporučené konzistence č.b.



Stavební hmoty

# Specifikace vlivu prostředí



Katedra materiálového inženýrství a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze



# Stupně vlivu prostředí

- Bez nebezpečí koroze nebo narušení - **X0**
- Koroze vlivem karbonatace - **XC1, XC2, XC3, XC4**
- Koroze vlivem chloridů, ne však z mořské vody - **XD1, XD2, XD3**
- Koroze vlivem chloridů z mořské vody - **XS1, XS2, XS3**
- Působení mrazu a rozmrazování (mrazové cykly) s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich - **XF1, XF2, XF3, XF4**
- Chemické působení - **XA1, XA2, XA3**
- **Mechanické působení - XM1, XM2, XM3**



# Specifikace vlivu prostředí Bez nebezpečí koroze nebo narušení

X0	<p>pro beton bez výztuže nebo zabudovaných kovových vložek: všechny vlivy s výjimkou střídavého působení mrazu a rozmrazování, obrusu nebo chemicky agresivního prostředí;</p> <p>pro beton s výztuží nebo se zabudovanými kovovými vložkami: velmi suché</p>	<p>beton uvnitř budov s velmi nízkou* vlhkostí vzduchu;</p> <p>beton základů bez výztuže v prostředí bez vlivu mrazu;</p> <p>beton bez výztuže uvnitř budov</p>
----	---	---





# Specifikace vlivu prostředí Koroze vlivem karbonatace

- **Karbonatace betonu**

- reakce mezi kyselými plyny v atmosféře a produkty hydratace cementu ( $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ ) → snížení alkality prostředí na hodnotu  $\text{pH} = 9$  → ztráta ochrany výztuže proti korozi





# Specifikace vlivu prostředí Koroze vlivem karbonatace

- 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, beton trvale ponořený pod vodou
- **XC2** – mokré, občas suché
  - většina základů, části vodojemů
- **XC3** – středně mokré, vlhké
  - beton uvnitř budov se střední nebo vysokou vlhkostí vzduchu, venkovní b. chráněný proti dešti, části staveb, ke kterým má často nebo stále přístup vnější vzduch
- **XC4** – střídavě mokré a suché
  - povrchy betonu ve styku s vodou, vnější části staveb, přímo vystavené dešťovým srážkám



# Specifikace vlivu prostředí Koroze vlivem chloridů ne z mořské vody

- pokud do betonu proniknou chloridy, pak dojde k aktivaci oceli, aniž by to bylo nutně spojeno s poklesem pH
- pokud beton, obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky, přichází do styku s vodou, obsahující chloridy, včetně rozmrazovacích solí, ne však z mořské vody
- **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



# Specifikace vlivu prostředí Působení mrazu a rozmrazování

- pokud je mokrý beton vystaven významnému působení střídavého mrazu a rozmrazování





# Specifikace vlivu prostředí Působení mrazu a rozmrazování

- **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 ostříku rozmrazovacích prostředků a mrazu



# Specifikace vlivu prostředí Chemické působení

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





# Specifikace vlivu prostředí Chemické působení

- 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, chladič věže s odvodem kouřových plynů



# Specifikace vlivu prostředí

## Definice agresivity prostředí

### Chemicky agresivní prostředí

Klasifikace chemického prostředí platí pro zeminu a podzemní vodu při teplotě vody/zeminy v rozmezí +5 °C až +25 °C a pro velmi mírnou rychlost vody blížící se nehybnému stavu. Pro odstupňování je určující nejvyšší hodnota jednotlivých chemických charakteristik. Pokud dvě nebo více chemických charakteristik jsou stejného stupně, pak je utno použít nejbliže vyšší stupeň, pokud zvláštní studie pro tento specifický případ neprokáže, že to není nutné.

Chemická charakteristika	Referenční zkušební metoda	XA1	XA2	XA3
<b>Podzemní voda</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/litr	EN 196-2	≥ 200 a ≤ 600	> 600 a ≤ 3000	> 3 000 a ≤ 6000
pH	ISO 4316	6,5 a ≥ 5,5	< 5,5 a ≥ 4,5	< 4,5 a ≥ 4,0
CO <sub>2</sub> mg/litr agresivní	ČSN EN 13577	≥ 15 a ≤ 40	> 40 a ≤ 100	> 100 až do nasycení
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/litr	ISO 7150-1	≥ 15 a ≤ 30	> 30 a ≤ 60	> 60 a ≤ 100
Mg <sup>2+</sup> mg/litr	ISO 7980	≥ 300 a ≤ 1 000	> 1 000 a ≤ 3 000	> 3 000 až do nasycení
<b>Zemina</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/kg <sup>d)</sup> celkem	EN 196-2 <sup>e)</sup>	≥ 2 000 a ≤ 3 000 <sup>f)</sup>	> 3 000 <sup>f)</sup> a ≤ 12 000	> 12 000 a ≤ 24 000
Kyselost ml/kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann-Gully	v praxi se nepoužívá	

<sup>d)</sup> Jílovité zeminy s propustností menší než 10<sup>-5</sup> m/s se přiřadí do nižšího stupně.

<sup>e)</sup> Zkušební metoda předepisuje vyluhování SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> kyselinou chlorovodíkovou. Jestliže jsou k dispozici zkušenosti v místě užití betonu, lze alternativně použít vyluhování vodou.

<sup>f)</sup> Mezní hodnota 3 000 mg/kg v případě nebezpečí hromadění síranových iontů v etonu při střídavém vysoušení a zvlhčování nebo v důsledku kapilárního sání.



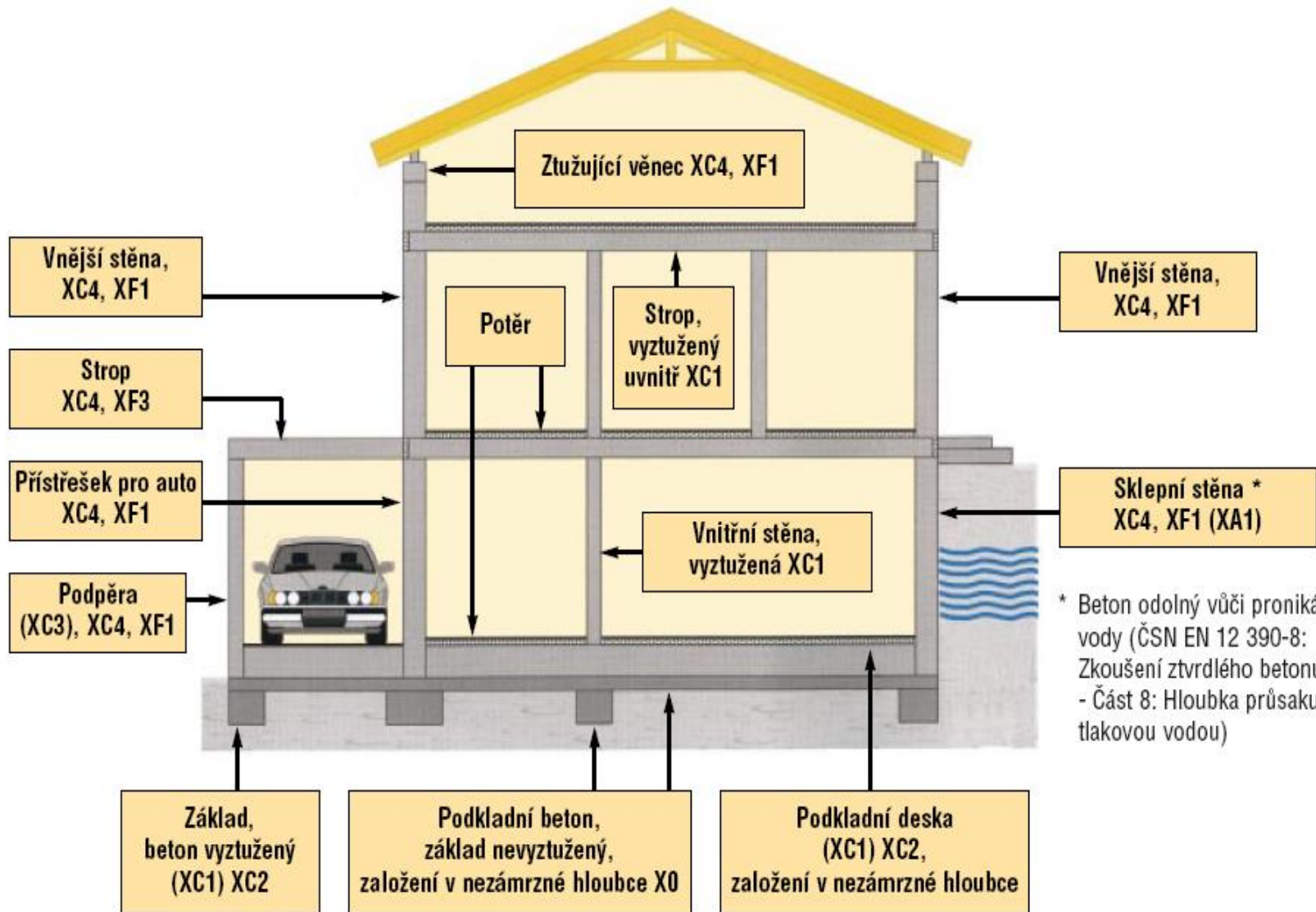


# Specifikace vlivu prostředí Koroze vlivem mechanického působení

- Pokud je beton vystaven pohyblivému mechanickému zatížení
- **XM1** – mírné nebo střední namáhání obrusem
  - Nosné průmyslové podlahy pojížděné vozidly s pneumatikami
- **XM2** – silné namáhání obrusem – nutné speciální zpracování povrchu
  - Nosné průmyslové podlahy pojížděné vozidly s pneumatikami nebo celogumovými koly vysokozdvizných vozíků
- **XM3** – velmi silné namáhání obrusem – úpravy povrchu odolnými materiály
  - Nosné průmyslové podlahy pojížděné vozidly s ocelovými nebo umělohmotnými koly vysokozdvizných vozíků, plochy pojížděné pásovými vozidly, vodní stavby vystavené intenzivnímu proudění vody

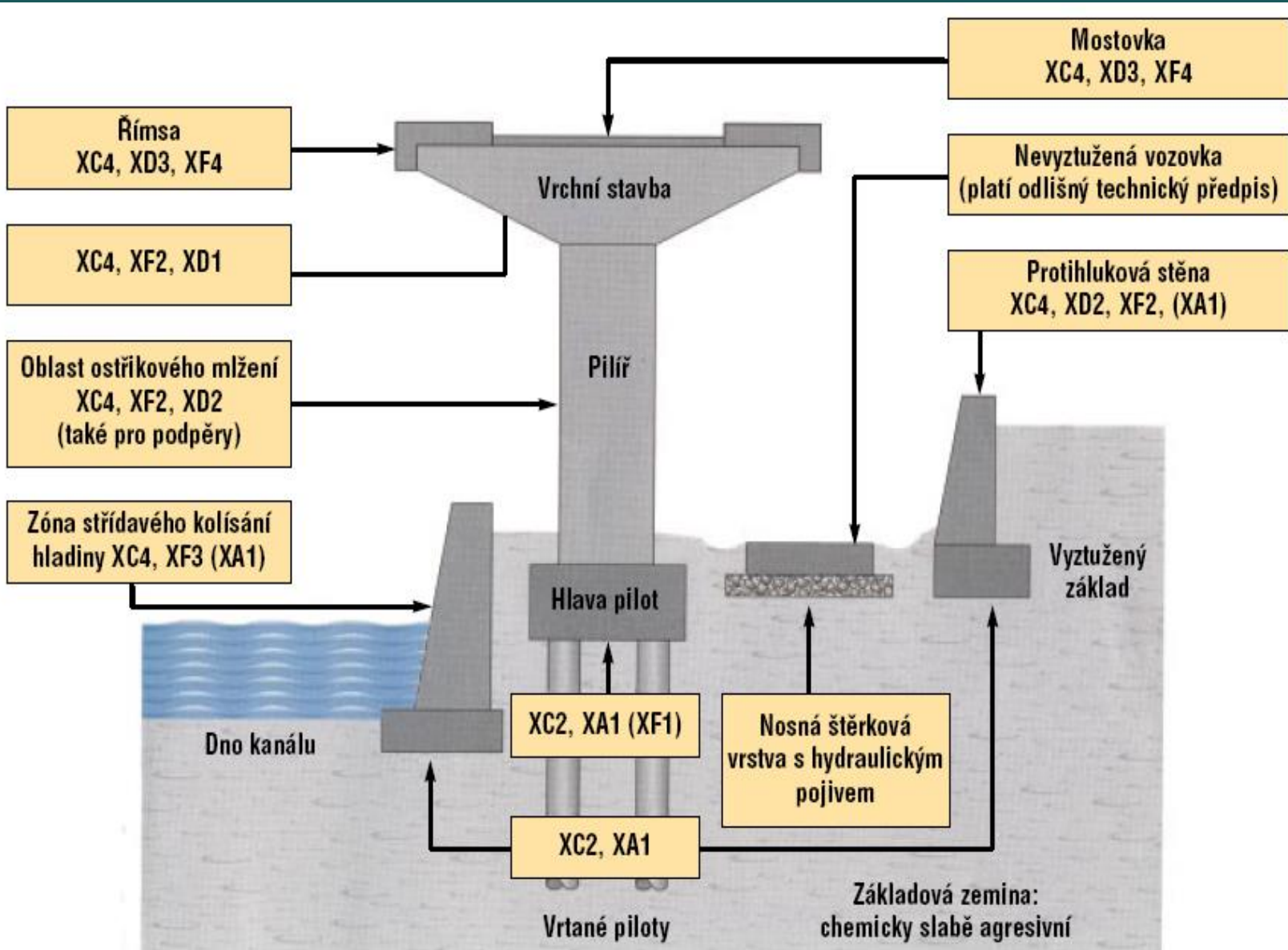


# Stupně vlivu prostředí - příklady





# Stupně vlivu prostředí - příklady



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

(předpokládaná životnost 50 let, viz NA.F.1)

Stupeň	Popis prostředí	Max. w/c	Min. třída betonu <sup>e)</sup>	Min. množství cem. [kg/m <sup>3</sup> ]	Indikativní min. třída betonu dle ČSN EN 1992 <sup>f)</sup>	Max. průsak vody dle ČSN EN 12 390-8 [mm] <sup>b)</sup>	Odolnost betonu vůči zmrazování a rozmraz. dle ČSN 73 1326 [kg/m <sup>2</sup> ]	Jiné požadavky
<b>X0</b>	Bez nebezpečí koroze nebo narušení	---	C12/15	---	C12/15	---	---	---
<b>XC</b>	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	---	---
<b>XD</b>	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 <sup>d)</sup>	320	C35/45	20	---	---
<b>XF</b>	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 <sup>a)</sup>	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 s dostatečnou mrazuvzdorností
XF3 <sup>a)</sup>	značně nasycen vodou, bez rozmrazovacích prostředků	0,50	C25/30	320	C25/30	35	A/100/1250 C/75/1250	
XF4 <sup>a)</sup>	značně nasycen vodou, s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou	0,45	C30/37	340	C30/37	35	A/100/1000 C/75/1000	
<b>XA</b>	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 <sup>c)</sup>	320	C30/37	35	---	SVC dle
XA3	vysoce agresivní chemické prostředí (viz tabulka dále)	0,45	C30/37 <sup>c)</sup>	360	C35/45	20	---	ČSN 72 2103



Katedra materiálového inženýrství a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze



# 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



# Specifikace obsahu chloridů

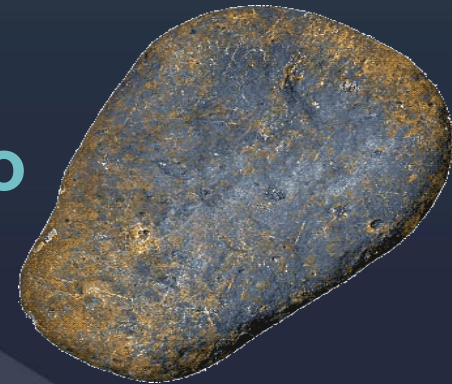
- maximální obsah chloridů k hmotnosti cementu (%), (Cl 0,4 znamená max. 0,4% chloridů z množství cementu)
- **Cl 1,0** – bez ocelové výztuže nebo jiných kovových vložek
- **Cl 0,4** – s ocelovou výztuží nebo jinými kovovými vložkami
- **Cl 0,2** – s předpjatou ocelovou výztuží



# Maximální zrno kameniva

- max.  $1/3$  až  $1/2$  nejmenšího rozměru konstrukce (vodorovná deska max.  $1/2$ , sloupy max.  $1/4$ )
- $1/3$  průměru potrubí u transportu bet.
- max. **1,3** násobek krycí vrstvy výztuže
- nejmenší vzdálenost prutů výztuže - 5 mm

Snahou je použít co největší zrno



**Katedra materiálového inženýrství  
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze



**Stavební hmoty**





# Složky betonu





# Cement

- **pojivo** – smíchání s vodou → cementový tmel → **cementový kámen**
- musí vyhovovat **ČSN EN 197-1**
- **nejdražší složka betonové směsi** – minimalizace dávkování





# Použití cementů

- **Portlandské cementy:**
  - betony o vysokých pevnostech, armované a předpínané konstrukce vystavené vysokému namáhání, náročné betonové výrobky
- **Portlandské cementy směsné:**
  - běžné betony, zejména transportbetony, běžné monolitické a prefabrikované konstrukce, masivní konstrukce, opěrné stěny, vodní díla
- **Vysokopecní cement:**
  - betony, které jsou trvale vystaveny vlhkému až mokrému prostředí (vodní díla), masivní a silnostěnné konstrukce
- **Směsné cementy:**
  - masivní betonové konstrukce, základy, opěrné stěny apod., méně náročné betony a výrobky



# Dávkování cementu

Minimální:

- **prostý beton:**  $200 \text{ kg} / 1 \text{ m}^3$  hotového betonu
- **železobeton :**
  - chráněná expozice:  $240 \text{ kg} / 1 \text{ m}^3$
  - nechráněná expozice:  $260 \text{ kg} / 1 \text{ m}^3$
  - vodohosp. stavby:  $300 \text{ kg} / 1 \text{ m}^3$

Pevnost betonu roste do množství

$450 \text{ kg} / 1 \text{ m}^3$  → vyšší dávkování není ekonomické !



# Jiná pojiva

- **umělé pryskyřice**  
(plastbeton)
  - + vysoká pevnost, odolnost vůči agres. prostředí, rychlé tvrdnutí
  - výroba, cena, hořlavost
- **živice a asfalty**  
(asfaltbeton,..)
  - dopravní a hydrotechnické stavby
- **sádra**  
(sádrobeton)
  - pouze pro vnitřní prostředí
- **jíly**
  - nízké pevnosti, objemové změny



# Kamenivo





# Kamenivo - hodnocení

- ČSN EN 12620 – Kamenivo do betonu - pro hutné a těžké kamenivo
- ČSN EN 13055-1 - Pórovité kamenivo - Část 1: Pórovité kamenivo do betonu, malty a injektážní malty
- ČSN EN 13043 - pro kamenivo pro asfaltové směsi
- ČSN EN 13055-2



# Rozdělení kameniva

znak	rozdělení	příklad
objemová hmotnost	lehké (pórovité) do $2000 \text{ kg.m}^{-3}$ hutné ( $2000$ až $3000 \text{ kg.m}^{-3}$ ) těžké nad $3000 \text{ kg.m}^{-3}$	Liapor, experlit aj. magnetit aj.
původ	těžené nebo drcené přírodní nebo umělé	
velikost zrn	jemné do $0,25 \text{ mm}$ drobné od $0$ do $4 \text{ mm}$ hrubé od $4$ do $63 \text{ mm}$  směs kameniva	moučka, filer, příměs písek ( $0/4$ ) drť, štěrk ( $4/8$ , $8/16$ , $32/63$ ) štěrkopísek, štěr- kodrť ( $0/16$ , $0/32$ )
frakce (dolní a horní velikost síta $d/D$ )	úzká (mezi po sobě jdoucími síty) široká	$2/4$ , $4/8$ , $8/16$ , $16/32$ $4/11$ , $8/32$





# Kamenivo - výběr

- druh
- zrnitost
- maximální velikost zrna
- obsah jemných částic
- tvar zrn
- specifické vlastnosti ( odolnost proti mrazu, obrusu, alkalicko-křemičité reakci)

hornina	objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	tvrdost podle Mohse	pevnost v tlaku [MPa]	pevnost v tahu [MPa]	nasákavost [% hm.]
<b>VYVŘELÉ HORNINY</b>					
žula	2600 - 2800	6 - 7	120 - 240	10 - 35	0,2 - 1,2
diorit	2700 - 3000	6 - 7	135 - 215	20 - 40	0,2 - 0,7
gabro	2800 - 3100	6 - 7	150 - 225	25 - 60	0,2 - 0,5
syenit	2500 - 2900	6 - 7	150 - 200	10 - 20	0,2 - 0,5
čedič	2900 - 3050	6	250 - 400	15 - 25	0,1 - 0,3
trachyt	2400 - 2900	6 - 7	60 - 70	5 - 7	1,0 - 2,0
diabas	2800 - 2900	6	120 - 220	20 - 45	0,1 - 0,8
<b>USAZENÉ HORNINY</b>					
pískovec	2000 - 2400	proměnl.	30 - 80	3,8	4,0 - 8,5
vápenec	2600 - 2850	3	40 - 180	10 - 25	0,2 - 0,6
dolomit	2650 - 2850	3,5	100 - 200	12 - 25	0,2 - 0,6
<b>PŘEMĚNĚNÉ HORNINY</b>					
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



# Kamenivo pro lehké betony

označení	frakce [mm]	sypná hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	tepená vodivost [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	mezerovitost [%]	setřesitelnost [%]
<b>Liapor</b>						
8-16/275	8-16	275 ± 40	550 ± 80	0,09	47	13
8-16/600	8-16	600 ± 50	1100 ± 50	0,14	45	2
4-8/350	4-8	350 ± 35	625 ± 90	0,10	44	12
4-8/450	4-8	450 ± 45	850 ± 125	0,11	44	11

parametr	m.j.	EP 100	EP 150	EP 180	EP AGRO
<b>Experlit</b>					
sypná hmotnost (max.)	kg.m <sup>-3</sup>	100	150	180	200
tepel. vodivost	W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	0,06	0,07	0,075	0,08
vlhkost (max.)	%	2	2	2	2
zrnitost (mm)					
< 0,315	%	70 - 95	max. 70	max. 40	max. 15
< 1,0	%	85 - 100	70 - 100	30 - 80	max. 25
1,0 - 4,0	%	max. 5	0 - 30	20 - 70	min. 75



# Kamenivo pro těžké betony

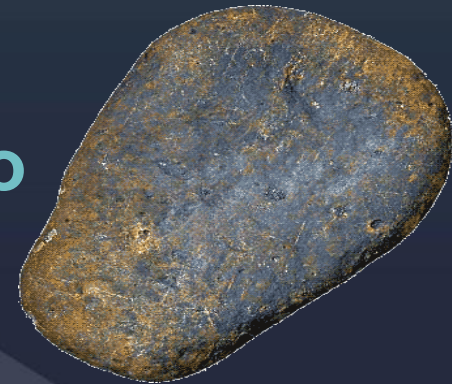
kamenivo	objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	chemické složení
<b>PŘÍRODNÍ TĚŽKÉ</b>		
Baryt (BaSO <sub>4</sub> )	4000 - 4300	obsah BaSO <sub>4</sub> ≥ 85 %
Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	4650 - 4800	obsah Fe 60 - 70 %
Hematit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4700 - 4900	obsah Fe 60 - 70 %
Ilmenit (FeTiO <sub>3</sub> )	4550 - 4650	obsah Fe 35 - 40 %
<b>UMĚLÉ TĚŽKÉ</b>		
Ferosilicium	5800 - 6200	obsah Fe 80 - 85 %
železné granule (Fe)*	6800 - 7500	obsah Fe 90 - 95 %
ocelový písek (Fe)*	7500	obsah Fe cca 95 %
Ferofosfor	6000 - 6200	obsah Fe 65 - 70 %



# Maximální zrno kameniva

- max.  $1/3$  až  $1/2$  nejmenšího rozměru konstrukce (vodorovná deska max.  $1/2$ , sloupy max.  $1/4$ )
- $1/3$  průměru potrubí u transportu bet.
- max. **1,3** násobek krycí vrstvy výztuže
- nejmenší vzdálenost prutů výztuže - 5 mm

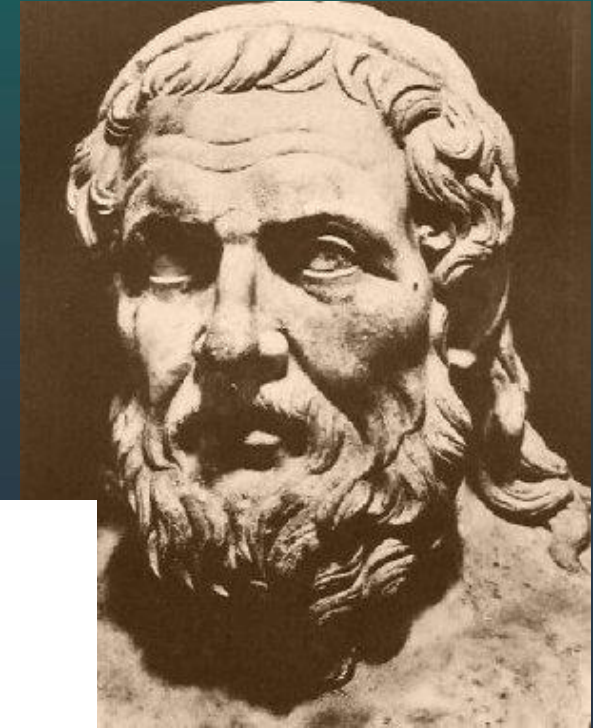
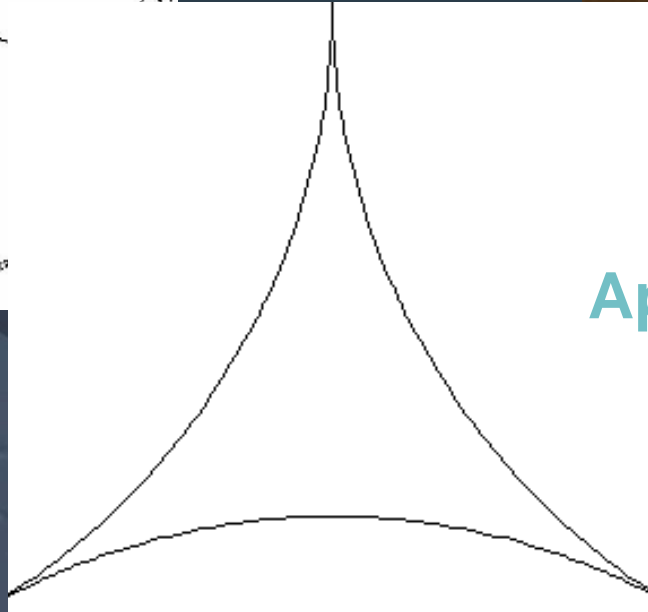
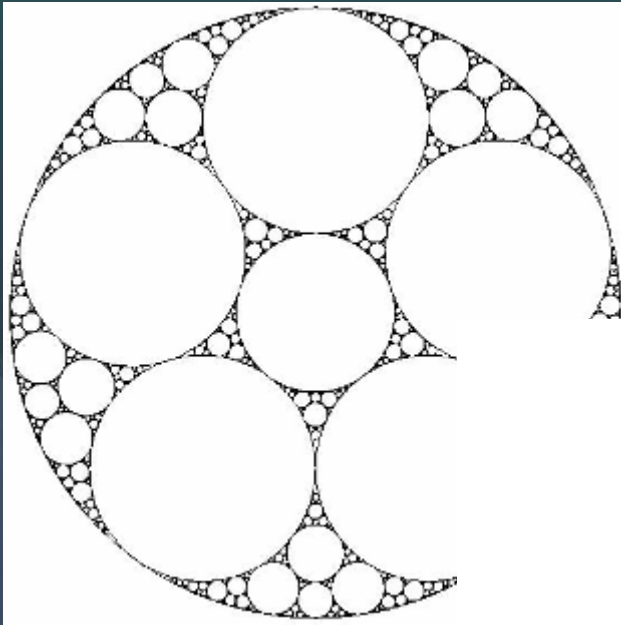
Snahou je použít co největší zrno





# Zrnitost

- Ideální vyplnění prostoru



Apollonius z Pergy  
(262-190 př.n.l.)



# Ideální zrnitost

- Fullerova křivka

$$y_i = 100 \sqrt{\frac{d_i}{D_{\max}}}$$

– Bolomey, EMPA, Kenedy, Hummel, Valet

- mezerovitost kameniva **M** - minimální objem cementového tmele, který musí zaplnit dutiny mezi zrny kameniva

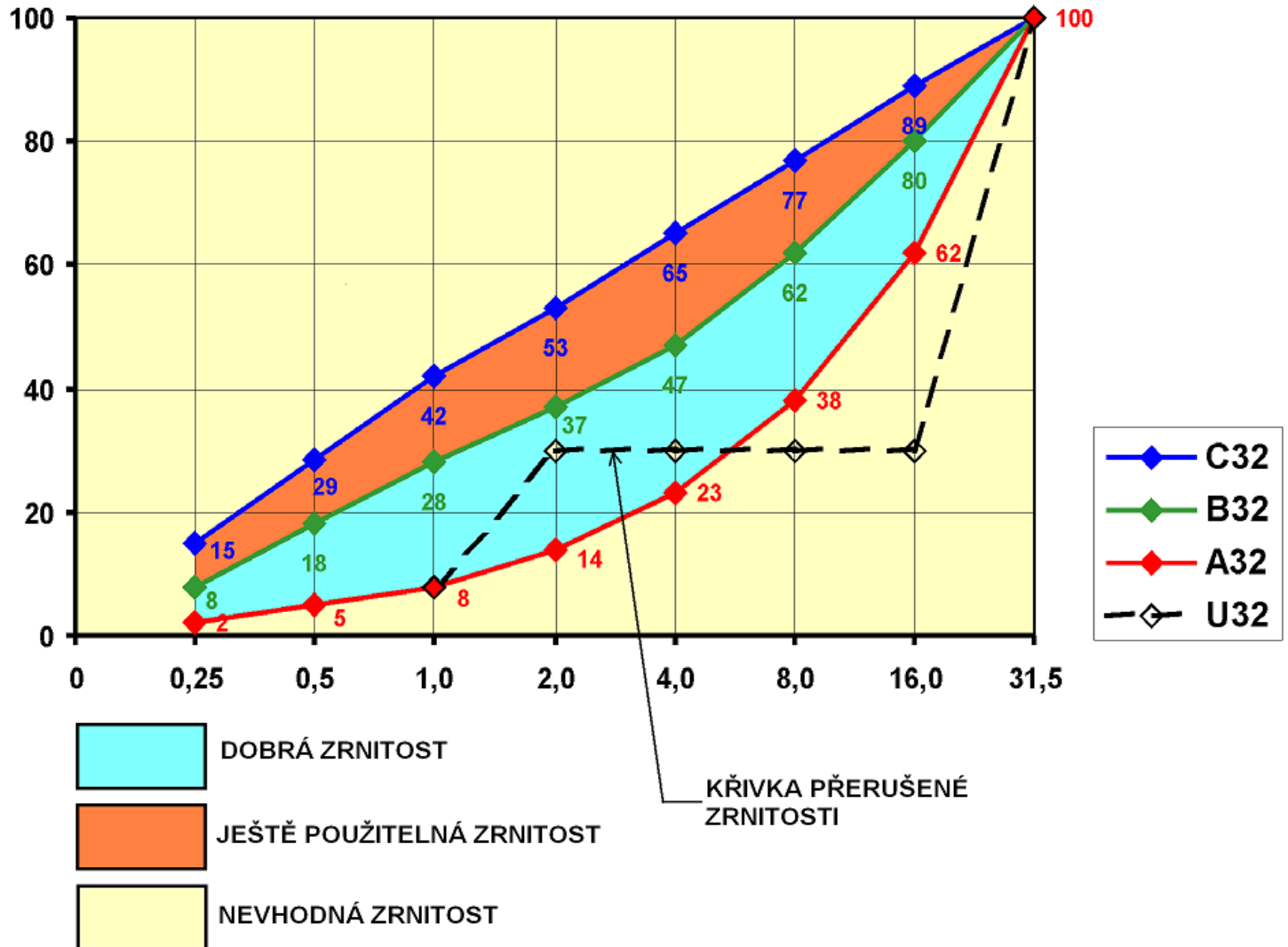
$$M = 1 - \rho_s / \rho_k$$

- minimálně dvě frakce, lépe tři

$$D : H = 1 : (1,5 - 2)$$



# Ideální křivka zrnitosti (pro max. zrno 32)







# Další fyzikální vlastnosti

- jemné („odplavitelné“) částice ( $< 0,063$  m)  $< 3\%$
- cizorodé látky
- nasákavost
- mrazuvzdornost
- odolnost vůči drcení (test Los Angeles)
- odolnost proti otěru (mikro-Deval)
- pevnost





# Obsah organických látek

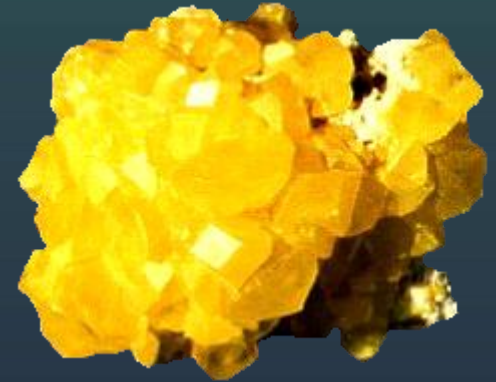
- **humusovité látky** (zbytky po tlení rostlin)
  - kolorimetrická zkouška (NaOH, KOH)
    - světle žlutá až žlutohnědá
    - porovnání s etalonem
- **bobtnající látky** (dřevo, uhlí) < 0,5% drobné  
< 0,1% hrubé.
- **obsah uhlíku** < 0,5%
- **organické látky, ovlivňující tvrdnutí betonu** (cukry, rozpustné soli)
  - nesmí snižovat pevnost o více než 15 %





# Obsah síry v kamenivu

- celkový obsah síry v přepočtu na  $\text{SO}_3$  – max. 1%



- **sulfidy** (sirníky  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{PbS}$ )
  - zdroj síranů
- **sulfáty** (sírany  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{PbSO}_4$ )
  - příčina síranové koroze (ettringit)



# Důkaz sulfidů a sulfátů

- **sulfidy** – pokapání kameniva HCl



zápach



zbarvení



- **sulfáty** – kamenivo se povaří v HCl, přefiltruje a přidá se BaCl



zákal, sraženina



# Sloučeniny korodující ocel

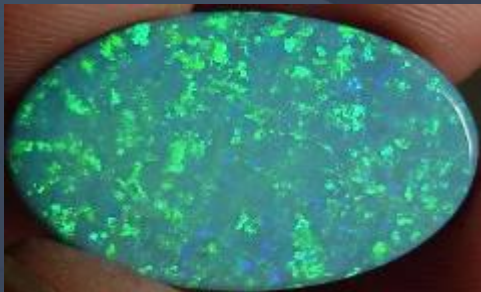
- **chloridy**, dusičnany a ostatní halogenidy kromě fluoru
  - železobeton max. 0,04 % Cl<sup>-</sup>
  - předpjatý beton - max. 0,02 % Cl<sup>-</sup>
  - prostý beton - max. 0,1 % Cl<sup>-</sup>





# Reaktivní křemen

- mohou ho obsahovat kameniva z dolomitického vápence a křemene
- způsobuje **výrazné objemové změny kameniva** → porušení betonu
  - dedolomitizace
  - **alkalicko-křemičitá reakce**





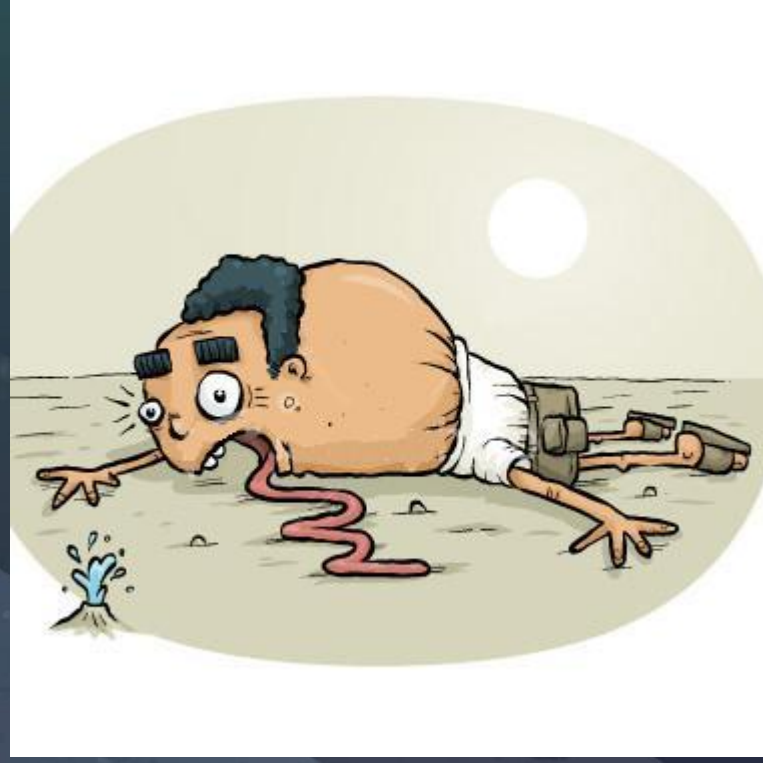
# Alkalicko-křemičitá reakce - ASR

- dlouhodobé objemové změny
- reakce  $\text{SiO}_2$  s hydroxidy alk. kovu ( $\text{NaOH}$ ) za přít. vlhkosti - vzniká hustý alkalicko-křemičitý gel





# Voda



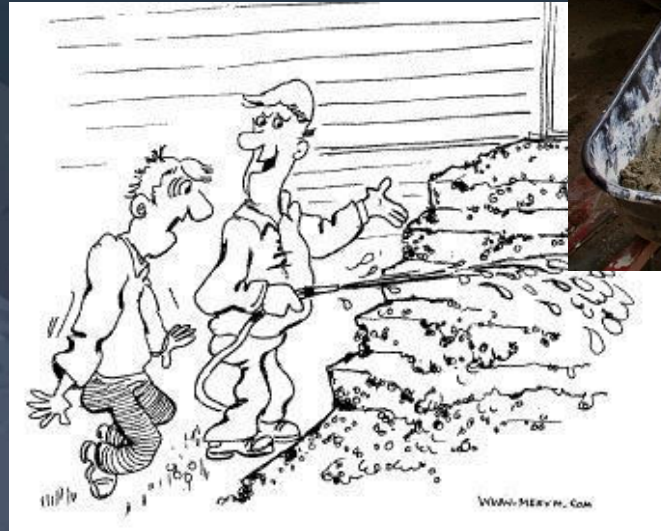




# Voda

- záměsová
  - hydratační – tuhnutí a tvrdnutí
  - reologická – zpracovatelnost

- ošetřovací

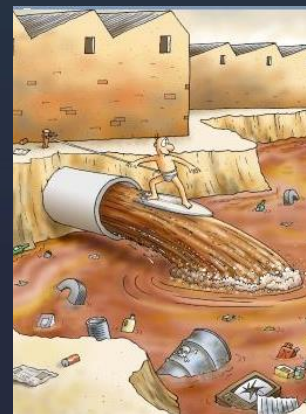




# Záměsová voda

## Klasifikace vod (ČSN EN 1008)

- **Pitná voda**
  - vhodná pro použití do betonu bez zkoušení
- **Voda získaná při recyklaci v betonárně**  
(z autodomíchavačů a z výplachu míchacího jádra)
  - běžně vhodná pro použití do betonu
  - nutno ověřit
  - nepoužívá se pro betony vysokých tříd a provzdušněné
- **Podzemní voda**
  - nutno ověřit
- **Povrchová voda a odpadní průmyslová voda**
  - nutno ověřit
- **Mořská nebo brakická voda**
  - může se používat do betonu bez výztuže
- **Splašková voda**
  - není vhodná pro použití do betonu





# Hodnocení záměsové vody

vlastnost	požadavek	ověření
oleje a tuky	ne více než viditelné stopy	vizuálně, po 2 minutách
čistící prostředky	jakákoli pěna zmizí do 2 min.	protřepáním 80 ml vody
barva	bleděžlutá nebo světlejší	vizuálně ve válci
rozptýlené látky	usazenina $\leq 4$ ml	80 ml vody odstavené po 30 minut
zápach	bez zápachu nebo jako pitná voda	čichem, zda zápach je jiný než pro pitnou vodu;
kyselost	pH $\geq 4$	indikátorovým papírkem, pH metrem
humusovité látky	barva jako světle žlutá nebo světlejší po přidání NaOH	5 ml vody a 5 ml 3% NaOH protřepat, 1 hodinu stát a vizuálně posoudit



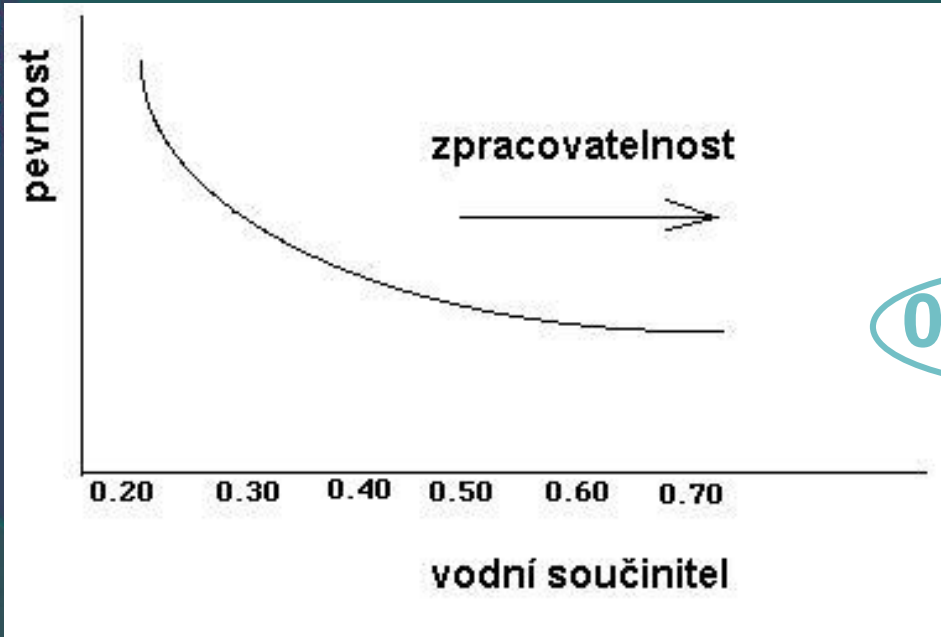
# Chemické vlastnosti záměs. vody

vlastnost	požadavek	ověření
obsah chloridů (Cl <sup>-</sup> ) ■ předpjatý beton nebo injektážní malta ■ beton s výztuží ■ beton bez výztuže	500 mg/litr 1000 mg/litr 4500 mg/litr	pokud vyhovuje ČSN EN 206-1, lze použít pro vyztužený i předpjatý beton
obsah síranů (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	< 2000 mg/litr	
obsah alkálií (Na <sup>+</sup> a K <sup>+</sup> )	< 1500 mg/litr	ekvivalent NaOH
škodlivé znečištění ■ cukry ■ fosfáty (jako P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) ■ dusičnany (jako NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) ■ olovo (jako Pb <sup>2+</sup> ) ■ zinek (jako Zn <sup>2+</sup> )	100 mg/litr 100 mg/litr 500 mg/litr 100 mg/litr 100 mg/litr	





# Vodní součinitel



$$v/c = 0,35 - 0,8$$

hydrataci minimálně

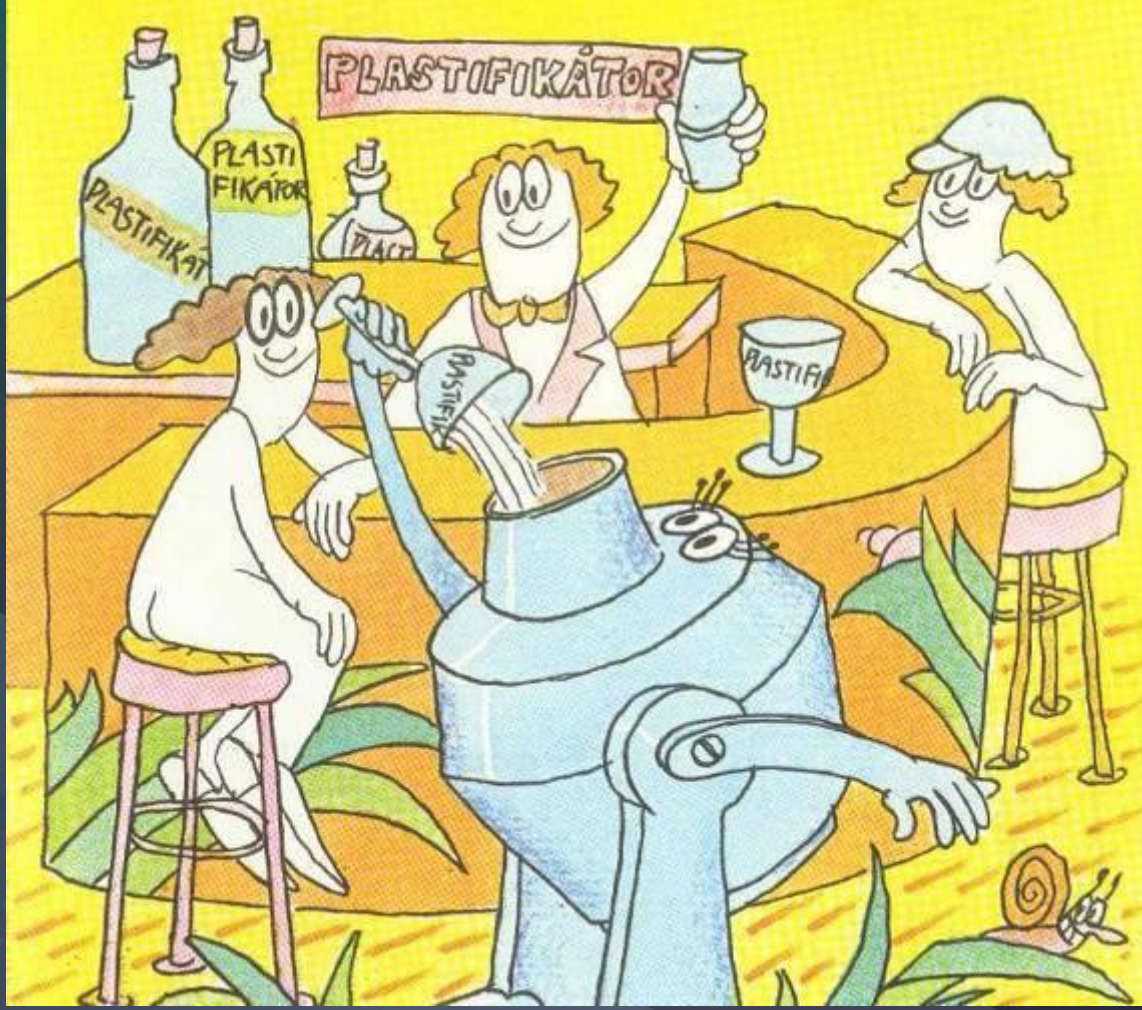
0,23 l / 1 kg cementu

**NIKDY nepřidávejte vodu do hotového betonu!**





# Přísady





# 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 vyr.
- převážně tekuté



# Rozdělení přísad

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

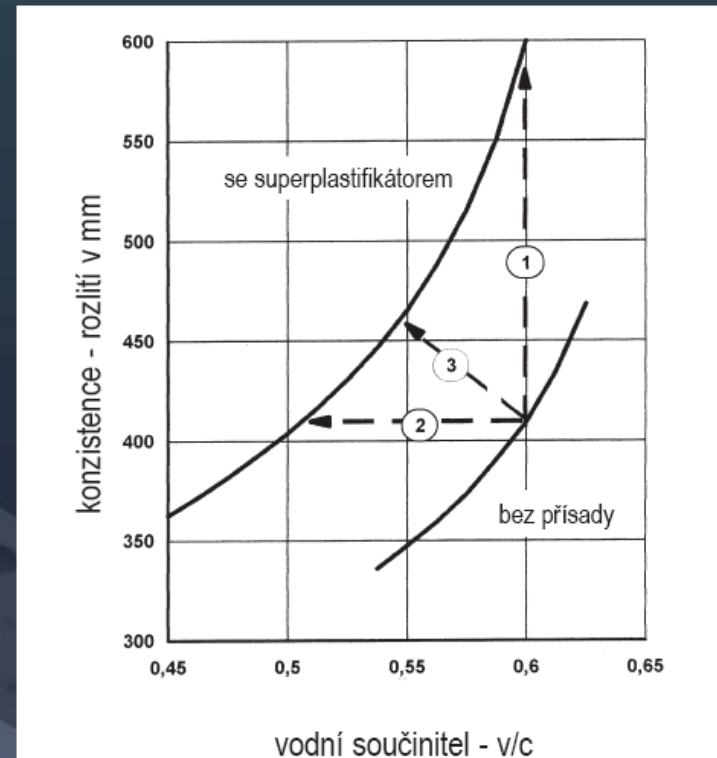




# Plastifikátory a superplastifikátory

- redukují 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





# Plastifikátory

- lignosulfonáty (odpad při výrobě papíru)



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



# Superplastifikátory

- sůl polymethylenpolynaftalensulfonové kyseliny – **SNF**
- kondenzát sulfonovaného melaminu a formaldehydu – **SMF**



- polykarboxyláty – **PCL** (samozhutnitelné betony)



# 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
- chemické přísady  
nebo mikrodutinky





# Přísady zpomalující tuhnutí

- prodlužují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického stavu do stavu tuhé látky

## Použití

- se používá na zpomalení počátku tuhnutí betonů a malt.
- Pro omezení prudkého vývinu hydratačního tepla.
- Pro betonáže masivních konstrukcí.
- Pro delší dobu zpracování betonu.

## Působení

ovlivňuje v cementu reakci  $C_3A$ . Tím se normální hydratace cementu zpomalí. Sníží vývoj hydratačního tepla v betonu. Množství alkálií přísadou vnesené do betonu vyjádřené jako  $Na_2O$  ekvivalent nepřesahuje 12 % hmotnosti.

# Přísady urychlující tuhnutí a tvrdnutí

- urychlovače tuhnutí
  - zkracují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického do tuhého stavu
- urychlovače tvrdnutí
  - urychlují vývoj počátečních pevností betonu
  - mohou a nemusí urychlovat tuhnutí betonu
- v chladném období, rychlé utěsnění



# Další přísady

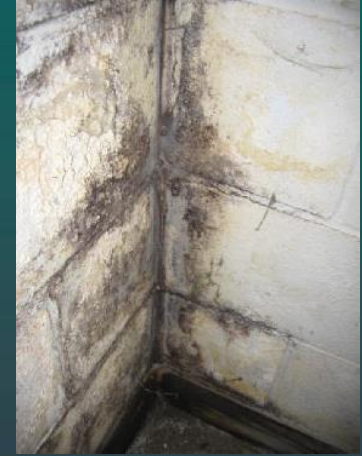
- **Stabilizující** – proti odměsení volné vody (bleeding) sedimentací tuhých částic
- **Inhibitory koroze** - pasivní povrch oceli proti korozívnímu prostředí
- **Adhezní** - zlepšují přídržnost betonu k již zatvrdlému betonu, k maltě nebo k jiným podkladům
- **Injektážní (expanzní)** - zlepšují tekutost injektážní malty a její bobtnání





# Další přísady

- **Biocidní (fungicidní)** - omezují šíření, množení a aktivitu mikroorganismů
- **Plynotvorné** - reagují chemicky tak, že při tom vzniká plyn, který nakypřuje beton
- **Pěnotvorné** - během míchání se do betonu dostává velké množství dostatečně pevných a stabilních vzduchových bublin a tak umožňují výrobu pěnobetonu
- **Odpěňovací** – redukuje vzduchové póry během výroby a při ukládání – pohledový b.







# Přísady

- 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  $3 \text{ l/m}^3$  betonu, pak se musí toto množství vody vzít v úvahu pro výpočet vodního součinitele



# 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



# Příměsi

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

\* Latentní hydraulická je schopnost látky tvrdnout reakcí s  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ve vodním prostředí za normální teploty.

\*\* Pucolánové látky (s vysokým obsahem aktivního  $\text{SiO}_2$ ) reagují v alkalickém prostředí (v roztoku nebo přítomností budičů hydraulicity)

**Katedra materiálového inženýrství  
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze



**Stavební hmoty**



# Návrh skladby betonu

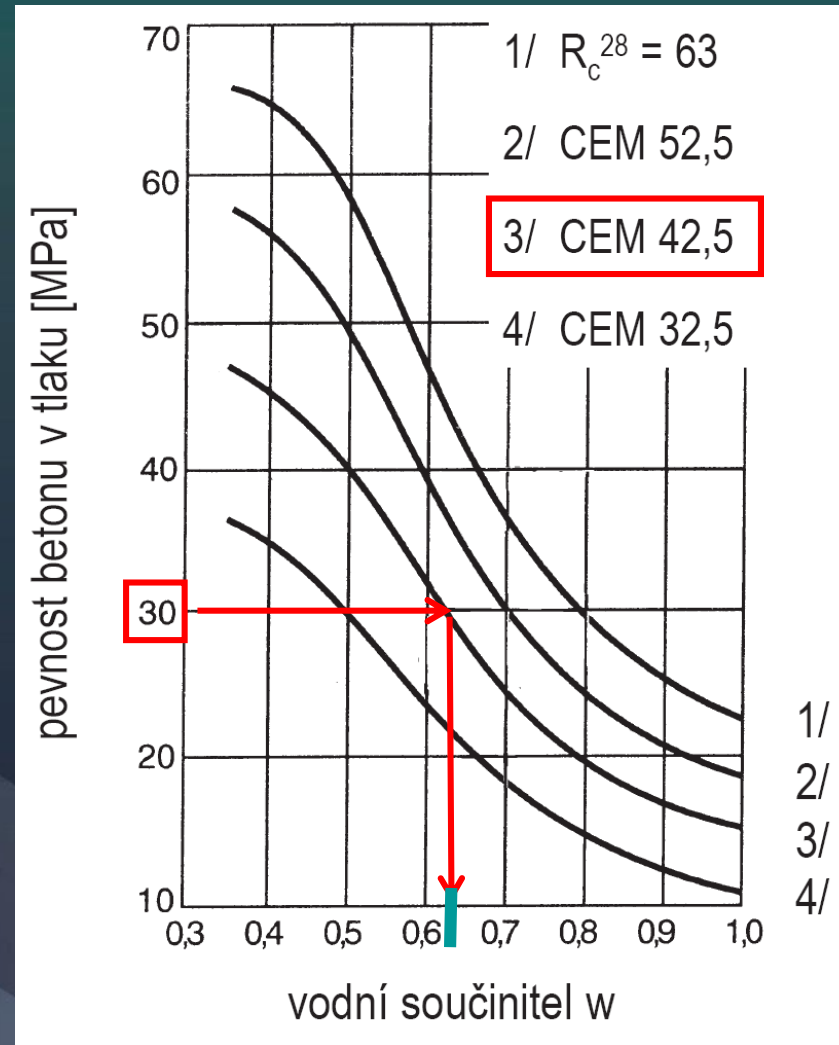
1. **definování požadavků** (vliv prostředí, druh konstrukce, namáhání)
2. **volba složek** (druh cementu, zrnitost kameniva, příměsi), **návrh složení**
3. **experimentální ověření návrhu**
  - stanovení konzistence
  - úprava složení na požadovanou konzistenci
  - zkouška pevnosti
  - úprava složení na pevnost při zachování konzistence
  - stanovení definitivního složení



# Návrh skladby betonu

Podle empirického množství vody

1. odečtení vodního součinitele  $w$  pro požadovanou pevnost a vybraný cement





# Návrh skladby betonu

2. určení potřebného množství vody na  $1\text{m}^3$  pro zvolenou konzistenci a zrnitost
3. výpočet  $m_c$  z množství vody a vodního součinitele

$$m_c = \frac{m_v}{w}$$

konzistence	křivka zrnitosti											
	$wA_8$	$B_8$	$C_8$	$A_{16}$	$B_{16}$	$C_{16}$	$A_{32}$	$B_{32}$	$C_{32}$	$A_{63}$	$B_{63}$	$C_{63}$
C 0	160	178	197	139	160	183	133	152	171	123	139	163
S 1	166	184	205	145	166	189	137	158	177	127	145	169
S 2	176	194	217	155	176	200	145	167	188	135	155	180
S 3	192	212	135	170	192	217	159	181	207	148	170	197
S 4	204	227	250	181	204	232	171	197	223	159	181	211



# Návrh skladby betonu

4. určení dalších složek z rovnice absolutních objemů :

$$\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_v}{\rho_v} + \frac{m_k}{\rho_k} + \left( \frac{m_p}{\rho_p} \right) = 1 - \frac{V_z}{100}$$

**cement** ( $\rho_c = 3100 \text{ kg.m}^{-3}$ )

**voda** ( $\rho_v = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ )

**kamenivo** ( $\rho_k = 2650 \text{ kg.m}^{-3}$ )

**příměsi** ( $\rho_p = 2100 \text{ kg.m}^{-3}$ )

objem vzduchu  
(%)