VŠB - Technical University of Ostrava
Faculty of Civil Engineering

Návrh složení cementového betonu.

Laboratoř stavebních hmot

Schéma návrhu složení betonu

1. fáze: **Definování požadavků – zadání výpočtu**
1.1. **Projektant** – druh stavby a typ konstrukce, expoziční třída, pevnostní třída betonu, uložení výztuže (stanovení maximálního zrna kameniva), 1.2. **Technolog** – konzistence (způsob dopravy a hutnění), rychlost tuhnutí a tvrdnutí, vodotěsnost, případně objemová hmotnost (lehký nebo těžký beton), 1.3. **Provozní podmínky** – doba betonáže (např. v zimě), vzdálenost dopravy transportbetonu.
2. fáze: **Výběr složek betonu podle druhu betonu**: hutný, mezerovitý, lehký, těžký, silniční, pohledový, architektonický, barevný, čerpaný, stříkaný, s rozptýlenou výztuží, vodostavební, masivní.
2.1. Kamenivo: druh, maximální zrno, počet frakcí. 2.2. Cement: směsnost, pevnostní třída, zvláštní požadavky. 2.3. Přísady: ano – ne, druh a dávka. Druhy přísad: plastifikátor, superplastifikátor, urychlovač tuhnutí a tvrdnutí, zpomalovač tuhnutí, stabilizační, provzdušňovací a případně další. 2.4. Příměsi: ano – ne, druh– popílek, křemičité látky, ostatní. 2.5. Rozptýlená výztuž: ano – ne, druh: drátky, skelná nebo polypropylenová vlákna.
3. fáze: **Návrh složení betonu podle vybraného algoritmu**
Výpočet: množství kameniva a podíly frakcí, množství cementu, vody, přísad a příměsí.
4. fáze: **Experimentální ověření složení betonu**
4.1. Výpočet dávky na zkušební záměs, tj. 11 dm^3 čerstvého betonu. 4.2. Stanovení konzistence čerstvého betonu. 4.3. Úprava složení na požadovanou konzistenci. 4.4. Úprava složení na potřebnou pevnost při zachování konzistence. 4.5. Zhotovení zkušebních krychlí a normální tvrdnutí 28 dní. 4.6. Přepočet složení betonu podle skutečné objemové hmotnosti čerstvého betonu.

Pevnostní třídy betonu v tlaku

Pevnostní třída v tlaku	$f_{ck,\ cyl}$ (válec) N/mm^2	$f_{ck,\ cube}$ (krychle) N/mm^2	
C -/5	-	5	
C -/7,5	-	7,5	
C 8/10	8	10	
C 12/15	12	15	
C 16/20	16	20	
C 20/25	20	25	
C 25/30	25	30	
C 30/37	30	37	
C 35/45	35	45	
C 40/50	40	50	
C 45/55	45	55	
C 50/60	50	60	
C 55/67	55	67	vysokopevnostní beton
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	

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 [e)]	Min. množství cem. [kg/m³]	Indikativní min. třída betonu dle ČSN EN 1992 [f)]	Max. průsak vody dle ČSN EN 12 390-8 [mm] [b)]	Odolnost betonu vůči zmrazování a rozmraz. dle ČSN 73 1326 [kg/m²]	Jiné požadavky
XO	**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 [d)]	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 [a)]	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 mrazu-vzdorností
XF3 [a)]	značně nasycen vodou, bez rozmrazovacích prostředků	0,50	C25/30	320	C25/30	35	A/100/1250 C/75/1250	
XF4 [a)]	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 [c)]	320	C30/37	35	---	SVC dle ČSN 72 2103
XA3	vysoce agresivní chemické prostředí (viz tabulka dále)	0,45	C30/37 [c)]	360	C35/45	20	---	

Poznámky:

a) Minimální obsah vzduchu v čerstvém betonu je 4 % při zkoušce dle ČSN EN 12350-7. Beton nemusí být provzdušněn na předepsanou hodnotu (může být částečně provzdušněn, anebo vůbec), pokud jsou provedena příslušná opatření (např. příměs křemičitého úletu současně s vodním součinitelem nižším než 0,4) a vyhoví přitom kritériu odolnosti. Pokud beton bez provzdušnění nesplní při PZ kritéria odolnosti a vodonepropustnosti, je nutno beton provzdušnit (částečně provzdušnit).

b) Platí pro konstrukce objektů v přímém styku s vodou. Hodnoty platí, nepožaduje-li specifikátor jiné. Zkouší se dle ČSN EN 12390-8 při KZ i PZ dle přílohy A normy, nezkouší se u provzdušněného betonu, při PZ dle přílohy A normy musí být hodnoty průsaku o 20 % nižší.

c) Pevnosti v tlaku odpovídající C30/37 a C35/45 lze předepsat v případě použití SVC a směsných cementů až po 90 dnech tvrdnutí betonu.

d) Pokud se vyskytuje pouze vliv XD3 a vliv XF je vyloučen, lze použít minimální třídu betonu C25/30, pokud je beton provzdušněn dle požadavku pro XF2 až XF4.

e) Minimální pevnostní třída platí pro betony obyčejné a těžké. Pro betony lehké (LC) platí hodnota minimální válcové pevnosti, minimální krychelná pevnost je pak dána tabulkou 8 normy.

f) Hodnoty tohoto sloupce tabulky se vztahují výhradně na beton konstrukcí navržených podle norem ČSN EN 1992. Specifikátor by měl v tomto případě zohlednit i požadavky na trvanlivost definované dalšími specifickými předpisy.

Stupně vlivu prostředí XS - Koroze způsobená chloridy z mořské vody neuvádíme.

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 nejblíže vyšší stupeň, pokud zvláštní studie pro tento specifický případ neprokáže, že to není nutné.

Chemická charakteristika	Referenční zkušební metoda	XA1	XA2	XA3
Podzemní voda				
SO_4^{2-} 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_2 mg/litr agresivní	ČSN EN 13577	≥ 15 a ≤ 40	> 40 a ≤ 100	> 100 až do nasycení
NH_4^+ mg/litr	ISO 7150-1	≥ 15 a ≤ 30	> 30 a ≤ 60	> 60 a ≤ 100
Mg^{2+} mg/litr	ISO 7980	≥ 300 a ≤ 1 000	> 1 000 a ≤ 3 000	> 3 000 až do nasycení
Zemina				
SO_4^{2-} mg/kg [d] celkem	EN 196-2 [e]	≥ 2 000 a ≤ 3 000 [f]	> 3 000 [f] a ≤ 12 000	> 12 000 a ≤ 24 000
Kyselost ml/kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann-Gully	v praxi se nepoužívá	

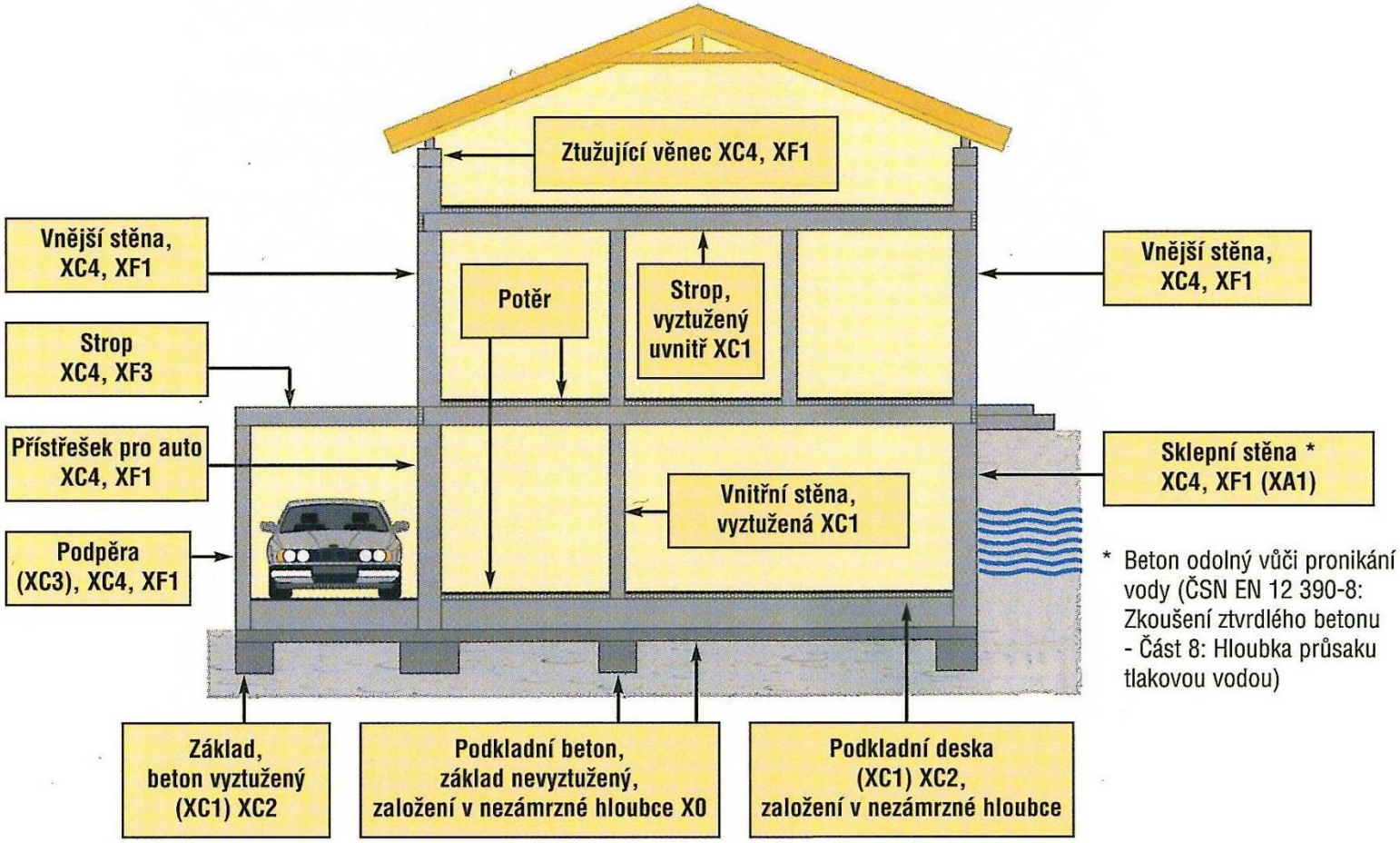
[d] Jílovité zeminy s propustností menší než 10^{-5} m/s se přiřadí do nižšího stupně.
[e] Zkušební metoda předepisuje vyluhování SO_4^{2-} kyselinou chlorovodíkovou. Jestliže jsou k dispozici zkušenosti v místě užití betonu, lze alternativně použít vyluhování vodou.
[f] Mezní hodnota 3 000 mg/kg v případě nebezpečí hromadění síranových iontů v etonu při střídavém vysoušení a zvlhčování nebo v důsledku kapilárního sání.

Stupně vlivu prostředí - namáhání pohyblivým mechanickým zatížením (obrusem)

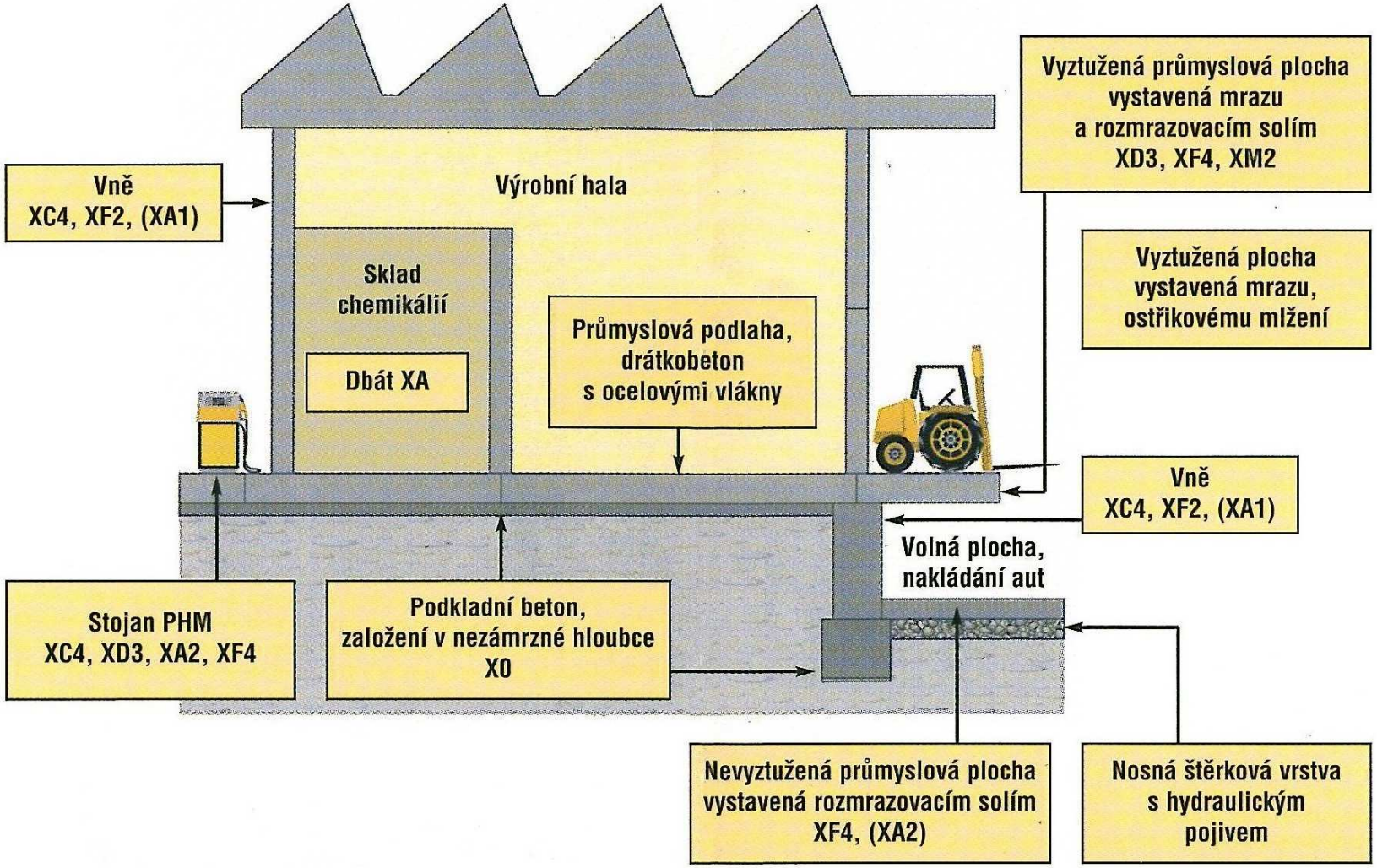
Stupeň vlivu prostředí	XM1	XM2		XM3
Max. vodní součinitel	0,55	0,55	0,45	0,45
Min. pevnostní třída	C30/37 a)	C30/37 a)	C34/45 a)	C35/45 a)
Min. obsah cementu [kg/m^3]	300	300	320	320
Jiné požadavky		speciální zpracování povrchu b)		úpravy povrchu odolnými materiály c) d)

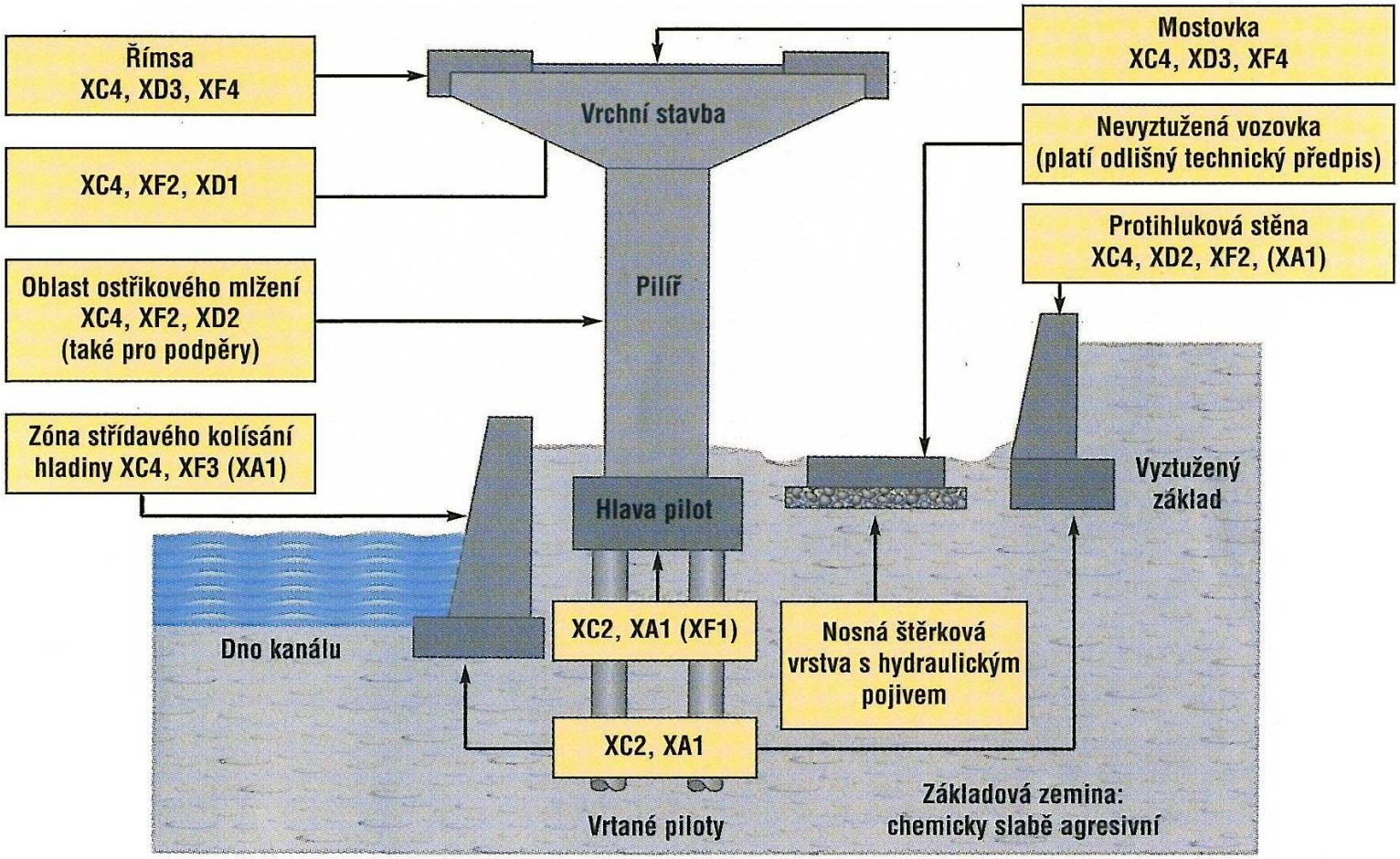
a) Při použití provzdušněného betonu je pevnostní třída o jeden stupeň nižší.
b) Například vakuováním nebo hlazením rotační hladičkou.
c) Například vsypy do betonu pro zušlechtění povrchu betonu a zvýšení jeho odolnosti proti obrusu.
d) Beton vrstev chránicích vodohospodářské konstrukce proti účinkům obrušování a otloukání unášenými splaveninami nesmí obsahovat kamenivo drcené z uhličitanových hornin. Otlukovost kameniva podle ČSN EN 1097-2 nesmí překročit hodnotu 30. Viz čl. 8.9.1 ČSN ENV 13670-1.

Informativní příklady stupňů vlivu prostředí ČSN EN 206-1



Možné informativní příklady použití.


Vyztužená průmyslová plocha vystavená mrazu a rozmrazovacím solím XD3, XF4, XM2
Vně XC4, XF2, (XA1)
Výrobní hala
Sklad chemikálií
Dbát XA
Průmyslová podlaha, drátkobeton s ocelovými vlákny
Vyztužená plocha vystavená mrazu, ostřikovému mlžení
Vně XC4, XF2, (XA1)
Volná plocha, nakládání aut
Stojan PHM XC4, XD3, XA2, XF4
Podkladní beton, založení v nezámrzné hloubce X0
Nevyztužená průmyslová plocha vystavená rozmrazovacím solím XF4, (XA2)
Nosná štěrková vrstva s hydraulickým pojivem


Římsa
XC4, XD3, XF4
XC4, XF2, XD1
Oblast ostřikového mlžení
XC4, XF2, XD2
(také pro podpěry)
Zóna střídavého kolísání
hladiny XC4, XF3 (XA1)
Vrchní stavba
Pilíř
Hlava pilot
Mostovka
XC4, XD3, XF4
Nevyztužená vozovka
(platí odlišný technický předpis)
Protihluková stěna
XC4, XD2, XF2, (XA1)
Vyztužený
základ
Dno kanálu
XC2, XA1 (XF1)
Nosná štěrková
vrstva s hydraulickým
pojivem
XC2, XA1
Vrtané piloty
Základová zemina:
chemicky slabě agresivní

Parametry dle konstrukčních požadavků

Volba největšího zrna kameniva $\mathbf{D_{max}}$

- < ¼ nejmenšího rozměru konstrukce

  $\Rightarrow$ **350 . ¼ = 87,5 mm**

- < o 5mm než nejmenší vzdálenost mezi pruty

  $\Rightarrow$ **25 - 5 = 20 mm**

- < než 1,3 násobek krycí vrstvy výztuže

  $\Rightarrow$ **30 . 1,3 = 39 mm**

- maximální frakce kameniva je 8/16

Výpočty množství kameniva

Výpočet procentuálního podílu **hrubého** kameniva dle Fullerovy křivky zrnitosti.

$$y_i = 100 \cdot \sqrt{\frac{d}{D}}$$

$$y_4 = 100 \cdot \sqrt{\frac{4}{16}} = 50\% \Rightarrow$$ 0/4 …. 50,0% dle sítového rozboru

$$y_8 = 100 \cdot \sqrt{\frac{8}{16}} = 70{,}7\% \Rightarrow$$ 4/8 …. 20,7%

$$y_{16} = 100 \cdot \sqrt{\frac{16}{16}} = 100\% \Rightarrow$$ 8/16 …. 29,3%

D - maximální navrhované zrno [mm]

d - maximální zrno ve vypočítávané frakci [mm]

Metoda dle Bolomeye

- Metoda vychází z výpočtu potřebného množství vody, která je potřebná k hydrataci cementu a na smáčení zrn kameniva podle potřebné konzistence

BOLOMEYOVA ROVNICE:

$$f_{ck,cube} + 5 = a_k * R_c * (\frac{1}{w} - 0{,}5)$$

Výpočet poměru hmotnosti cementu $\mathbf{m_c}$ k množství vody $\mathbf{m_v}$ z **Bolomeyovy rovnice:**

$$f_{ck,cube} + 5 = a_k * R_c * (\frac{1}{w} - 0{,}5)$$

$$f_{ck,cube} + 5 = a_k * R_c * (\frac{m_c}{m_v} - 0{,}5) \Rightarrow m_c = (\frac{f_{ck,\,cube} + 5}{a_k * R_c} + 0{,}5) * m_v$$

$f_{ck,cube}$ – charakteristická pevnost betonu v tlaku [MPa]

a_k – koeficient kvality kameniva [-]

R_c – pevnostní třída cementu [MPa]

w – vodní součinitel $\mathbf{w = m_v/m_c}$ [-]

Výpočet množství vody $\mathbf{m_v}$ potřebné pro smáčení kameniva a hydrataci cementu :

$$m_v = 0{,}23 m_c + 0{,}30 m_p + m_k \Sigma m_{vvi}$$

$$m_{vvi} = \frac{p_i * n}{100} * \sqrt[3]{d_i * d_{i+1}}$$

- Na ovlhčení jemného podílů kameniva a cementu do **0,25 mm** se počítá 0,23 $kg.kg^{-1}$
- Na ovlhčení příměsí (popílky, strusky apod.) se počítá 0,30 $kg.kg^{-1}$

m_{vvi} – množství vody potřebné na ovlhčení kameniva [$kg.m^{-3}$]
p_i – hmotnostní podíl frakce i [%]
d_i – velikost dolního síta frakce [mm]

n – koeficient závislý na tvaru zrn a způsobu zpracování betonové směsi [-]

Součinitel **n**

Kamenivo	**těžené**	**drcené**
Konzisten: zavlhlá	0,08	0,085-0,096
měkká	0,085-0,095	0,100-0,110
tekutá	0,100-0,110	0,120-0,130

Granulometrie kameniva a ovlhčení

Velikost zrn [mm]	**p_i [%]**	**$(d_1.d_2)^{1/3}$**	$m_{vvi} = \frac{p_i.n}{100}.\sqrt[3]{d_i.d_{i+1}}$
< 0,25			
0,25-0,5			
0,5-1			
1-2			
2-4			
4-8			
8-16			
	Σ=100%		$\Sigma\, m_{vv}$ =… [$kg.kg^{-1}$]

Výpočet množství kameniva $\mathbf{m_k}$ z rovnice **absolutních objemů:**

$$\frac{m_c}{\rho_c}+\frac{m_v}{\rho_v}+\frac{m_p}{\rho_p}+\frac{m_k}{\rho_k}=1-\frac{Vz}{100}\Rightarrow m_k$$

m_c - množství cementu [kg.m^{-3}]

ρ_c - objemová hmotnost cementu, ve výpočtech používáno 3100 kg.m^{-3},

m_v - množství vody [kg.m^{-3}]

ρ_v - objemová hmotnost vody, ve výpočtech používáno 1000 kg.m^{-3},

m_k - množství kameniva [kg.m^{-3}]

ρ_k - objemová hmotnost kameniva [kg.m^{-3}]

m_p - množství příměsi [kg.m^{-3}]

ρ_p - objemová hmotnost příměsi [kg.m^{-3}]

V_z - množství vzduchu v betonu (5%) [%]

- Z Bolomeyovy rovnice a výpočtu množství vody přepočítáme poměry složek betonu na skutečná množství (**m_c**, **m_v** a **m_k** v [kg.m^{-3}]).

Navržená betonová směs na 1 m^{-3}

kamenivo:	**0 – 4**	**...**	**? kg.m^{-3}**
	4 – 8	**...**	**? kg.m^{-3}**
	8 – 16	**...**	**? kg.m^{-3}**
cement CEM ?		**…**	**? kg.m^{-3}**
voda……		**…**	**? kg.m^{-3}**
plastifikátor……		**…**	**? kg.m^{-3}**

Přepočet složek betonu pro laboratorní míchání

- Používaná zkušební tělesa:

- Krychle **150 x 150 x 150** mm **4** ks
- Trámec **100 x 100 x 400** mm **1** ks
- Válec Ø **150 x 300** mm **1** ks

- Vypočítejte potřebný objem a připočítejte 10-ti % rezervu.

- Celkový objem betonu činní ….. litrů (m^3).

Kontrola parametrů

- Vodní součinitel **w** (poměr množství vody/cementu)

$$w = \frac{m_v}{m_c} \leq w_{max}$$ (dle ČSN EN 206-1)

- Množství cementu $\mathbf{m_c \geq m_{c,min}}$ (dle ČSN EN 206-1)

- Množství tuhých částic **do 0,25 mm** (cement, příměsi a jemné podíly kameniva)

$\mathbf{m_c + m_p + m_{k<0,25}} <$ pro

$D_{max} = 16 < 530\ kg/m^{-3}$

$D_{max} = 32 < 460\ kg/m^{-3}$

$D_{max} = 63 < 430\ kg/m^{-3}$

- Přebytek cementového tmele

$$\nu = \frac{V_{CT}}{M} \Rightarrow \nu \in (1{,}05 - 1{,}4)$$

(přebytek cementového tmele musí být větší o 5% než skutečná potřeba)

$$V_{ct} = \nu * M \Rightarrow \nu * (1 - \frac{\rho_s}{\rho_k}) \Rightarrow \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{w * m_v}{\rho_v} + \frac{p_{0,25} * m_k}{100 * \rho_k}$$

- V_{ct} – objem cementového tmele potřebný pro vyplnění mezer [$m^3.m^{-3}$]
- υ – součinitel přebytku cementového tmele [-]
- M – mezerovitost kameniva [%]

Další metody návrhu betonu

- Návrh betonu podle **empirického množství vody**

- Návrh betonu dle **Kennedyho**

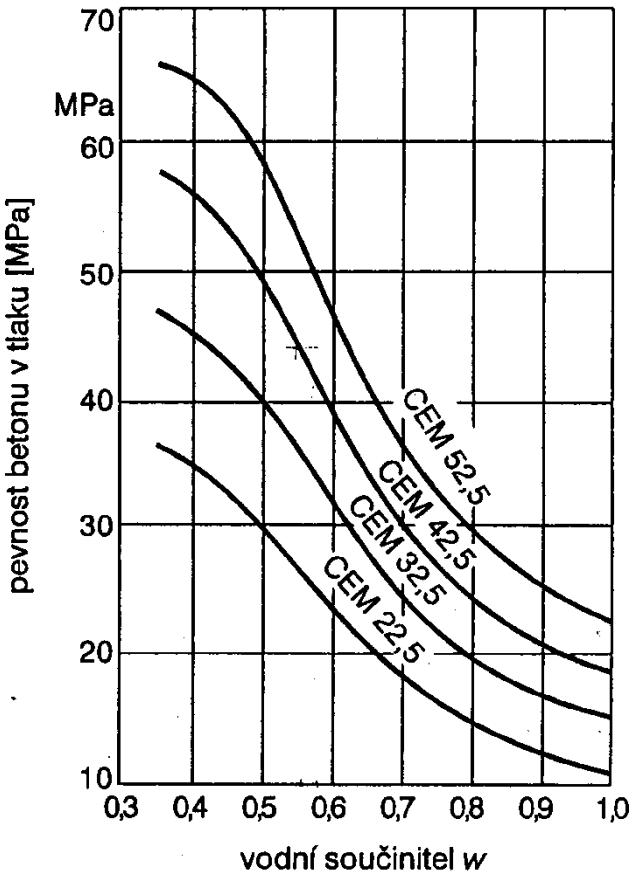
Empirické množství vody

- Tato metoda vychází z praktických zkušeností a určuje podle pevnosti betonu a druhu cementu **vodní součinitel.**

- Podle křivky zrnitosti kameniva **množství vody.**

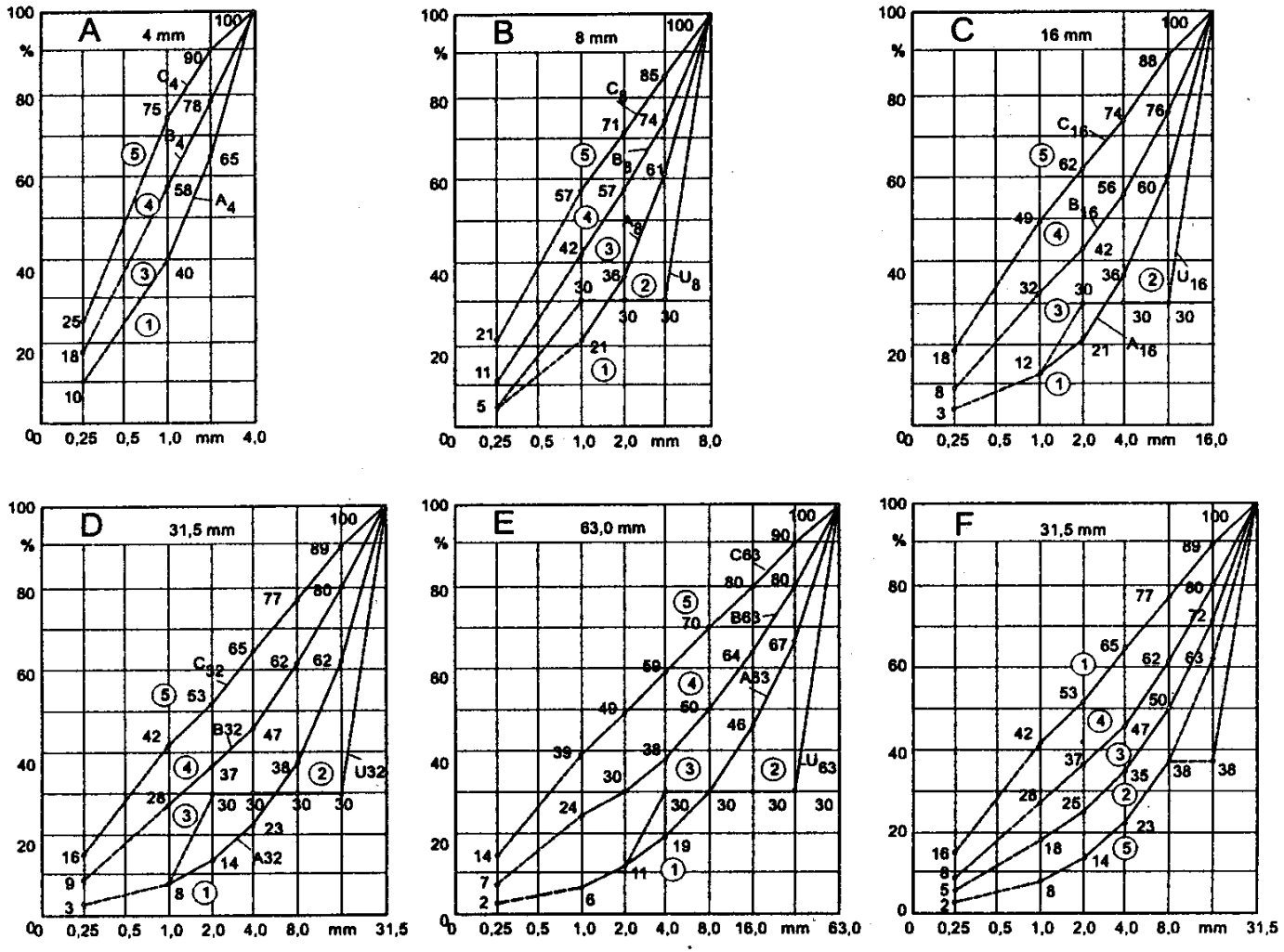
Zjednodušený postup

- z normogramu se odečte vodní součinitel **w** pro požadovanou pevnost a zvolenou pevnostní třídu cementu.



Čáry zrnitosti kameniva

(svislá osa = propad sítem v % hmotnosti, vodorovná osa = velikost síta v mm).



- z tabulky zjistíme potřebné množství vody $\mathbf{m_v}$ pro zvolenou konzistenci a granulometrii kameniva

Tabulka 1. Potřeba vody na 1m^3 betonu v závislosti na konzistenci a granulometrii kameniva

zrnitost	A_8	B_8	C_8	A_{16}	B_{16}	C_{16}	A_{32}	B_{32}	C_{32}	A_{63}	B_{63}	C_{63}
konzistence												
C O	160	178	197	139	160	183	133	152	171	123	139	163
C 1	166	184	205	145	166	189	137	158	177	127	145	169
C 2	176	194	217	155	176	200	145	167	188	135	155	180
C 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

Korektury potřeby vody

- Použitím drtě od 8 mm se zvyšuje množství vody o 5% a u drtě 4 až 8 mm se zvyšuje množství vody až o 10%.

- Zvýšením tuhých částic (cement, příměsi a jemné podíly kameniva do 0,25 mm) přes 350 $kg.m^{-3}$ se přidává voda na každých 10 kg o 1 $kg.m^{-3}$.

- Provzdušněním čerstvého betonu na 1% obj. pórů, které převyšuje 1,5 % obj. redukuje se množství vody asi o 5 $kg.m^{-3}$.

- plastifikační přísady snižují množství vody nejméně o 5 % hmotnosti.

- Množství kameniva $\mathbf{m_k}$ se vypočítá z rovnice absolutních objemů

$$\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_v}{\rho_v} + \frac{m_k}{\rho_k} = 1 - \frac{Vz}{100}$$

m_c - množství cementu,
ρ_c - objemová hmotnost cementu, ve výpočtech používáno 3100 kg/m^3,
m_v - množství vody,
ρ_v - objemová hmotnost vody, ve výpočtech používáno 1000 kg/m^3,
m_k - množství kameniva,
ρ_k - objemová hmotnost kameniva,
m_p - množství příměsi,
ρ_p - objemová hmotnost příměsi,
V_z - množství vzduchu v betonu (5%)

Kontrolní výpočty jsou shodné s návrhem podle Bolomeye!!

Návrh betonu dle Kennedyho

- Tato metoda zohledňuje kvalitu kameniva $\mathbf{a_k}$, která je vyjádřena tvarem zrn, druhem horniny, charakterem povrchu zrn a technologickou úpravou kameniva.

- Pro těžené kamenivo, které je kvalitnější, hodnota kvality kameniva je $a_k = 0{,}6$ a pro drcené kamenivo hodnota kvality kameniva je $a_k = 0{,}5$.

Zjednodušený postup

- vypočítá se vodní součinitel **w** podle Bolomeyovy rovnice:

$$f_{ck,cube} + 5 = a_k . R_c . \left(\frac{1}{w} - 0{,}5 \right)$$

- Bolomeyova rovnice se upraví:

$$w = \frac{1}{\frac{f_{ck,cube} + 5}{a_k . R_c} + 0{,}5}$$

- stanoví se tloušťka obálky cementového tmele δ dle vodního součinitele **w**:

- $\delta = 10 \,.\, 10^{-6}$ m pro w nad 0,53,
- $\delta = 15 \,.\, 10^{-6}$ m pro $w \in (0{,}45;\ 0{,}53)$,
- $\delta = 30 \,.\, 10^{-6}$ m pro $w \in (0{,}35;\ 0{,}45)$,

- vypočítá se zrnitost dle Fullera:

$$y = \sqrt{\frac{d}{D_{\max}}}.100$$

- vypočítá se měrný povrch kameniva $\mathbf{s_k}$ pro zrna větší jak 0,25 mm:

$$s_k = 90.\frac{\psi_k}{\rho_k}.\Sigma\frac{p_i}{d_i} \qquad [m^2.kg^{-1}]$$

- množství kameniva $\mathbf{m_k}$ se rovná sypné hmotnosti kameniva v zhutněném stavu **ρs**.

$$\mathbf{m_k} = \rho s \quad [kg.m^{-3}]$$

- vypočítá se objem cementového tmele $\mathbf{V_{CT}}$:

$$V_{CT} = M + s_k.m_k.\delta = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_k}\right) + s_k.m_k.\delta$$

- hmotnost cementu $\mathbf{m_c}$ se vypočítá z objemu cementového tmele:

$$V_{CT} = \left(\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{w.m_c}{\rho_v} + \frac{p_p.m_c}{100.\rho_p} \right) + \frac{p_{0,25}.m_k}{100.\rho_k}$$

- z hmotnosti cementu se vypočítá množství vody:

$$m_v = w.m_c$$

- zjistí se objem vypočítaného složení:

$$\Sigma V_i = \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{w.m_c}{\rho_v} + \frac{m_k}{\rho_k} + \frac{V_z}{100}$$

- vypočítá se koeficient $\mathbf{k_k}$, kterým se vynásobí jednotlivé složky betonu:

$$k_k = \frac{1}{\Sigma V_i}$$

- Posledním krokem jsou kontroly (množství cementu, vodní součinitel, atd.)

Děkuji za pozornost