

3 NÁVRH SLOŽENÍ BETONU

3.1 Beton

3.1.1 Úvod

Beton je materiálem ze směsi cementu, hrubého a drobného kameniva a vody, s přísadami nebo příměsemi nebo bez nich, který získá své fyzikálně-mechanické vlastnosti hydratací cementu.

3.1.2 Legislativní předpisy

Základním legislativním předpisem pro návrh, výrobu a mezní hodnoty složení betonu je norma **ČSN EN 206+A2**. Tato norma je zaměřená výhradně na beton a jeho vstupní suroviny. Platí zejména pro beton použitý pro konstrukce betonované na staveništi, montované konstrukce a pro prefabrikované konstrukční dílce pozemních a inženýrských staveb. Beton může být vyráběn na staveništi, dodáván jako transportbeton nebo vyráběn ve výrobně betonových výrobků. **Na počátku roku 2016 byla vydána tzv. zbytková norma ČSN P 73 2404 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda – Doplnující informace, která přispěla ke sjednocení požadavků na vlastnosti betonu s tzv. Technickými kvalitativními podmínkami vydanými Ministerstvem dopravy, odborem pozemních komunikací.** Týká se to zejména požadavků na složení a vlastnosti betonu pro významné dopravní stavby.

3.1.3 Základní definice

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 (možnost manipulace).

Základní složky betonu

- **Cement** - Jemně rozemletý anorganický materiál, který po smíchání s vodou vytváří kaši, která tuhne a tvrdne hydraulickou reakcí, a která si po ztvrdnutí zachovává pevnost a stálost i pod vodou.
- **Kamenivo** - Zrnitý anorganický materiál, vhodný do betonu. Kamenivo může být přírodní, umělé nebo recyklované z materiálů, který byl dříve použit v konstrukci. Kamenivo zaujímá 75 – 80 % objemu betonu a jeho hlavní funkcí je vytvoření pevné kostry v betonu s minimální mezerovitostí. Pokud je v betonu použito recyklované kamenivo, je třeba zohlednit jeho vysokou nasákavost a nepoužitelnost pro některé druhy betonů uvedené v ČSN EN 206+A2.
- **Voda** - Technologicky vodu rozdělujeme na záměsovou (dávkovanou při mísení čerstvého betonu a na ošetřovací (voda dodávaná po zatuhnutí betonu po několik dnů pro udržení betonu ve vlhkém stavu.
- **Přísady** - Materiál, který upravuje vlastnosti čerstvého nebo ztvrdlého betonu, přidávaný během míchání betonu v malém množství vzhledem k poměru ke hmotnosti cementu.
- **Příměsi** - Práškový materiál, který se přidává do betonu za účelem zlepšení určitých vlastností nebo k docílení speciálních vlastností betonu. Norma pojednává o dvou druzích anorganických příměsí:
 - a) téměř inertní příměs (druh I)
 - b) pucolány nebo latentní hydraulické příměsi (druh II)

Vodní součinitel

(w - water / cement ratio)

Poměr účinného obsahu vody k hmotnosti cementu v čerstvém betonu.

$$w = m_v / m_c$$

3.1

Působení prostředí (ČSN EN 206+A2)

Takové chemické a fyzikální působení, kterému je vystaven beton, jehož účinky na beton nebo na výztuž nebo na zabudované kovové vložky nejsou uvažovány jako zatížení konstrukce.

3.1.4 Stupně vlivu prostředí (ČSN EN 206+A2 a ČSN P 73 2404)

Působení prostředí je klasifikováno dle tzv. stupňů vlivů prostředí (expozičních tříd). Stupně vlivu prostředí se stanoví v závislosti na předpisech v místě použití betonu. Charakterizují prostředí využívání betonové konstrukce, označují se vždy písmenem X, dalším písmenem určující působení, kterému je beton vystaven a číslem udávající intenzitu tohoto působení.

X0 - Bez nebezpečí koroze nebo narušení

Pro beton bez výztuže nebo zabudovaných kovových vložek:

- všechny vlivy s výjimkou střídavého působení mrazu a rozmrazování, obrusu nebo chemicky agresivního prostředí (např. beton uvnitř budov s velmi nízkou vlhkostí vzduchu)

Pro beton s výztuží nebo se zabudovanými kovovými vložkami:

- velmi suché

XC - Koroze vlivem karbonatace

Pokud beton obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky je vystaven ovzduší a vlhkosti, pak se stupeň vlivu prostředí určuje následovně:

- XC1 - Suché nebo stále mokré
- XC2 - Mokrý, občas suchý
- XC3 - Středně mokrý, vlhký
- XC4 - Střídavě mokrý a suchý

XD - Koroze vlivem chloridů, ne však z mořské vody

Pokud beton s výztuží nebo s jinými zabudovanými kovovými vložkami, přichází do styku s vodou obsahující chloridy, včetně rozmrazovacích solí, ze zdrojů jiných než z mořské vody, musí být vliv prostředí odstupňován následovně:

- XD1 - Středně mokrý, vlhký
- XD2 - Mokrý, občas suchý
- XD3 - Střídavě mokrý a suchý

XS - Koroze vlivem chloridů z mořské vody

Pokud beton s výztuží nebo s jinými zabudovanými kovovými vložkami, přichází do styku s chloridy z mořské vody nebo slaným vzduchem z mořské vody, musí být vliv prostředí odstupňován následovně:

- XS1 - Vystaven slanému vzduchu, ale ne v přímém styku s mořskou vodou
- XS2 - Trvale ponořen ve vodě
- XS3 - Smáčený a ostříkovaný přílivem

XF - Působení mrazu a rozmrazování (mrazové cykly) s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich

Pokud je mokrý beton vystaven významnému působení střídavého mrazu a rozmrazování (mrazovým cyklům), musí být vliv prostředí odstupňován následovně:

- XF1 - Mírně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků
- XF2 - Mírně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky
- XF3 - Značně nasycen vodou bez rozmrazovacích
- XF4 - Značně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou

XA - Chemické působení

Pokud je beton vystaven chemickému působení rostlé zeminy a podzemní vody, musí být vliv prostředí odstupňován, jak je uvedeno dále. Klasifikace mořské vody závisí na geografické poloze a předpisech platných v místě použití betonu.

- XA1 - Slabě agresivní chemické prostředí
- XA2 - Středně agresivní chemické prostředí
- XA3 - Vysoce agresivní chemické prostředí

XM - Koroze vlivem mechanického působení (obrus)

Pokud je beton vystaven pohyblivému mechanickému zatížení musí být vliv prostředí odstupňován následovně:

- XM1 - Mírné nebo střední namáhání obrusem
- XM2 - Silné namáhání obrusem
- XM3 - Velmi silné namáhání obrusem

3.2 Požadavky na kamenivo do betonu

3.2.1 Zrnitost kameniva

Zrnitost kameniva vyjadřuje skladbu různě velikých zrn o různém tvaru. Cílem je dosažení nejhutnější skladby s minimálním objemem dutin - mezer. Velikost zrn a jejich podílové zastoupení se stanovuje sítovým rozbohem. Sítovým rozbohem se rozumí prosévání kameniva sadou normalizovaných sít. Množina zrn zachycená na sítě se nazývá frakcí. Normová, základní sada sít se čtvercovými otvory je následující:

0,063 – 0,125 – 0,25 – 0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 32 – 63 – 125 [mm]

Zrnitost se vyjadřuje pomocí čáry zrnitosti. Pro výběr plynulé čáry zrnitosti jsou uváděny tzv. ideální čáry zrnitosti, pomocí kterých jsme schopni určit podíly kameniva na sítích tak, aby výsledná mezerovitost kameniva byla co nejmenší. Tyto parametry určují nejnižší dávky cementu, dobrou zpracovatelnost a vysokou pevnost betonu. Je uváděno několik "ideálních křivek" zrnitosti, které vychází ze skladby koulí a jsou upraveny empirickými koeficienty. Výpočet čáry zrnitosti vyžaduje znalost maximálního zrna kameniva (D_{\max}). Buď jsou zastoupena všechna zrna od d_{\min} až po D_{\max} – plynulá zrnitost kameniva nebo mohou být zastoupeny pouze jemná a hrubá frakce kameniva bez střední složky - přetržitá zrnitost kameniva.

Zrnitost se vyjadřuje **čárou zrnitosti**, která má tyto tvary:

$$y = \left(\frac{d}{D_{\max}} \right)^n \cdot 100 \quad [\%] \quad 3.2$$

y - propad sítím o velikosti otvoru d [mm]

n - exponent (dle Fullera n = 0,5; dle Hummela pro těžené kamenivo n = 0,4 a pro drcené n = 0,3).

Čára zrnitosti EMPA I

$$y = 50 \cdot \left(\frac{d}{D_{\max}} + \sqrt{\frac{d}{D_{\max}}} \right) \quad [\%] \quad 3.3$$

Čára zrnitosti EMPA II

$$y = 20 \left(\frac{d}{D_{\max}} + 4 \sqrt{\frac{d}{D_{\max}}} \right) \quad [\%] \quad 3.4$$

3.2.2 Moduly kameniva

Křivky zrnitosti popisujeme pomocí modulů, které vyjadřují jemnost kameniva. Směs kameniva se stejným modulem vytváří předpoklady pro dosažení stejné pevnosti betonu, ale především takové kamenivo potřebuje stejné množství vody na ovlhčení svého povrchu. Tyto moduly rovněž slouží k výpočtu poměrů mísení dvou i více kameniv rozdílné zrnitosti. Pro stanovení modulu zrnitosti je nutné provést síťový rozbor na normové sadě sítí.

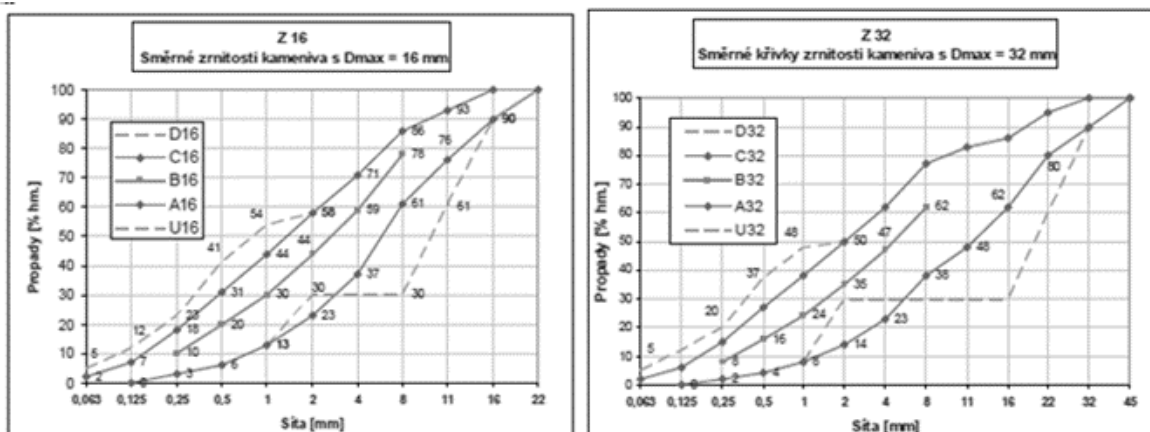
k modul - číslo zrnitosti (Abrams) - k číslo zrnitosti je součet procentních zůstatků směsi kameniva stanovených na základní sadě sítí dělený 100.

$$k = \frac{\sum(100 - y_i)}{100} \quad [-] \quad 3.5$$

y_i = propad sítím o velikosti i [% hm.], zůstatek na sítě v % je = $100 - y_i$

3.2.3 Pásma zrnitosti

Dodržování ideálních křivek zrnitosti kameniva v praxi však není reálné. Normou jsou proto stanoveny hodnoty podsítné (propad pod nejmenším sítím frakce) a nadsítné (zůstatek na největším sítu frakce). Tyto hodnoty jsou stanoveny pomocí takzvaných pásem zrnitosti. Příklady jednotlivých pásem zrnitosti jsou uvedeny na následujícím obrázku.



Směrné křivky jsou označeny písmeny Ai, Bi, Ci, Di a Ui, kde index i je hodnota [mm] maximální jmenovité horní meze zrnitosti kameniva (D_{max}). Uvedené křivky vymezují následující oblasti:

- Ai až Bi: nejvhodnější oblast pro velkou část betonů;
u čerpateľných, vodonepropustných a pohledových betonů je vhodná zrnitost v blízkosti křivky Bi;
- Bi až Ci: vyhovující zrnitost;
- Di: při použití účinných plastifikačních přísad a/nebo při malém obsahu cementu a příměsí lze mezní křivku Ci nahradit mezní křivkou Di;
- Ui: v případě použití přetřžené zrnitosti se křivka Ai nahrazuje mezní křivkou Ui.

Obrázek 3.1: Příklady pásem zrnitosti kameniva.

3.3 Návrh složení betonu

Vlastnosti složek a jejich podíly v betonu rozhodují o jeho vlastnostech. Požadované vlastnosti vyplývají z druhu pozemní nebo inženýrské stavby (vliv stupně vlivu prostředí a namáhání), z typu konstrukce (charakterizuje uspořádání konstrukčních prvků), ze stavebního postupu (jak bude konstrukce prováděna) a ze způsobu vyztužení. Ekonomickým kritériem kvality složení betonu je **minimální spotřeba cementu**, který je nejdražší a energeticky nejnáročnější složkou betonu.

3.3.1 Definice požadavků na beton

- Technologické požadavky
- Stupeň vlivu prostředí
- Třída pevnosti betonu
- Zvláštní požadavky

Uvedené údaje jsou nezbytná vstupní data návrhu složení betonu a představují první fázi. V druhé fázi návrhu složení se provádí volba složek betonu. Cílem je kvalitní beton odpovídající požadavkům nejen projektanta stavby, ale příslušným technickým normám (ČSN EN 206+A2, ČSN P 73 2404).

3.3.2 Volba složek betonu

- Kamenivo
- Cement
- Přísady
- Příměsi
- Rozptýlená výztuž

3.3.3 Návrh složení betonu

- Pevnostní třída
- Vodní součinitel w
- Množství cementu
- Množství vody
- Množství kameniva
- Množství příměsí a přísad
- Stanovení celkového složení na 1 m³ betonu

3.3.4 Experimentální ověření návrhu

- Výpočet dávky na zkušební záměs
- Stanovení konzistence ČB
- Zhotovení zkušebních těles
- Ověření vlastností ztvrdlého betonu po 28-ti dnech normového zrání
- Případná úprava složení betonu na požadované vlastnosti
- Určení definitivního složení betonu

3.3.5 Rovnice absolutních objemů

Základním vztahem pro výpočet složení betonu je **rovnice absolutních objemů**. Rovnice má následující znění:

$$\frac{m_C}{\rho_C} + \frac{m_V}{\rho_V} + \frac{m_K}{\rho_K} + \frac{m_P}{\rho_P} = 1 - \frac{V_Z}{100} \quad 3.6$$

V rovnici lze substituovat $m_V = w \cdot m_C$ 3.7

Pro technické předběžné výpočty používáme objemové hmotnosti složek ρ_i : cementu, $\rho_C = 3100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, vody $\rho_V = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a kameniva $\rho_K = 2650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Hmotnosti složek betonu jsou označeny písmenem **m** s indexy: **C** - cement, **V** - voda, **K** - kamenivo, **P** - příměsi v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ betonu.

Protokol NÁVRH SLOŽENÍ BETONU	B1
Vyučující:	

ZADÁNÍ ÚLOHY A POŽADAVKY NA SLOŽENÍ BETONU

Navrhněte složení betonu dle požadavků normy **ČSN EN 206+A2**, **ČSN P 73 2404** a dle souvisejících předpisů.

Pevnostní třída betonu a stupeň vlivu prostředí: C

Požadavky vyplývající z normy ČSN P 73 2404, tabulka F.1.2:

Minimální pevnostní třída: C

Minimální množství cementu: $m_c = \dots\dots\dots$ kg

Maximální vodní součinitel: $w = \dots\dots\dots$

Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou: max. mm

Odolnost proti zmrazování a rozmrazování: max. g/m²

Ostatní požadavky a parametry:

Požadovaná konzistence: Stupeň sednutí kužele S3 dle ČSN EN 12350-2

Předpokládaná míra provzdušnění v čerstvém betonu: 2%

Modul kameniva k: 3,98

Požadovaná výsledná křivka kameniva dle Fullera

Použitý cement: CEM

Použité kamenivo: DTK 0-4 mm

HDK 4-8 mm

HDK 8-16 mm

Plastifikační přísada:

Voda: pitná, pitná z vodovodního řadu

VÝPOČET SMĚSI KAMENIVA

Spočtete zůstatky na sítích ze síťového rozboru kameniva uvedeného v tabulce číslo 3.2
 Výsledky dosadíte do tabulky číslo 3.3.

Tabulka 3.2: Sítový rozbor kameniva - dílčí zbytky na sítích v %.

Kontrolní síta [mm]	Zbytky na sítě [%]		
	DTK 0-4 mm [%]	HDK 4-8 mm [%]	HDK 8-16 mm [%]
16	0,0	0,0	0,0
8	0,0	7,5	85,3
4	5,3	62,9	9,0
2	18,2	22,2	3,7
1	14,2	4,4	0,0
0,5	29,4	1,5	0,0
0,25	23,5	0,5	0,0
0,125	8,6	0,4	0,5
0,063	0,6	0,4	0,5
0	0,2	0,2	1,0
Kontrola / Suma	100,0	100,0	100,0

Výsledná křivka kameniva navržena dle FULLERa

$$y = \left(\frac{d}{D_{\max}} \right)^{0,5} \cdot 100 \quad [\%]$$

Parametry výsledné směsi kameniva:

DTK 0-4 mm %

HDK 4-8 mm %

HDK 8-16 mm %

VÝPOČET MNOŽSTVÍ VODY

Množství vody odvodíte z tabulky směrných hodnot průměrného množství vody v závislosti na čáře zrnitosti a konzistenci.

Modul zrnitosti kameniva $k =$

Navržené množství vody $m_v =$ kg

VÝPOČET MNOŽSTVÍ CEMENTU

Množství cementu vypočtete ze stanoveného maximálního vodního součinitele uvedeného v ČSN EN 206+A2, ze vzorce pro stanovení vodního součinitele w a z navrženého množství záměsové vody.

Vodní součinitel $w = m_v / m_c$

$m_c =$

.....

$m_c =$ kg

VÝPOČET MNOŽSTVÍ KAMENIVA

Rovnice absolutních objemů:

.....

$m_k =$

$m_k =$ kg

Dělení vypočteného množství kameniva dle Fullera

DTK 0-4 mm % = kg

HDK 4-8 mm % = kg

HDK 8-16 mm % = kg

SLOŽENÍ BETONU

Beton **C**

Množství kameniva m_k : DTK 0-4 mm kg

HDK 4-8 mm kg

HDK 8-16 mm kg

Množství cementu m_c : kg

Množství přísady $m_{přísady}$: kg

Množství vody m_v : kg

Návrhová objemová hmotnost čerstvého betonu: $D =$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Závěr:

.....
.....
.....

Zkoušky provedl/a a protokol zpracoval/a: