

1. vaja: PROJEKT SESTAVE BETONSKE MEŠANICE



1. NAVODILO:

Izdelajte projekt sestave betonske mešanice za zahtevano kvaliteto betona C 25/30 (po PBAB-ju je to trdnostni razred MB), če je možno uporabiti drobljeni agregat z maksimalnim zrnem $D_{\max} = 63 \text{ mm}$ in portland cement CEM II/B-M (L-P) 42.5 N (PBAB: trdnostni razred 45). Volumen zaostalih por bo predvidoma znašal 3 % celotnega volumna mešanice. Mešanici je dodan aditiv (1.0 % glede na maso cementa, $\rho_{\text{ad}} = 1.1 \text{ kg/dm}^3$)

2. UPORABLJENI MATERIALI:

• cement 42.5 osnovni, oznaka **CEM II/B-M (L-P) 42.5 N**

- je portlandski mešani cement z najmanj dvema mineralnima dodatkom (M-minerals), trdnostnega razreda 42.5 MPa in običajnih zgodnjih trdnosti (N-normal)
- gostota: $\rho_c = 3.06 \text{ kg/dm}^3$
- sestava: portlandski klinker (> 65%), mešani dodatek - naravni pucolan (P) in apnenec (L) (< 35%), dodatki - polnila (< 5%), regulator vezanja - sadra
- uporaba: široka uporaba v gradbeništvu in pri individualni gradnji

Druge vrste cementov:

○ cement 42.5 specialni, oznaka **CEM II/A-M (LL-S) 42.5 R**

- je portlandski mešani cement z dvema dodatkom, apnencem (LL) in žlindro (S), trdnostnega razreda 42.5 MPa in z visoko zgodnjo trdnostjo (R-rapid)
- sestava: portlandski klinker (> 80%), mešani dodatek - apnenec in žlindra (12-20%), < 5% dodatkov - polnil, regulator vezanja - sadra
- uporaba: za najzahtevnejše gradnje, pri katerih se zahtevajo visoke zgodnje trdnosti (npr. zmrzlinso odporni aerirani betoni, brizgani in samozgoščevalni betoni, armirani in nearmirani ter prednapeti betoni, prefabricirani betonski izdelki)
- zakaj dodatek žlindre? Zaradi prihranka energije, ki se porablja pri žganju portlandcementnega klinkerja. Aktivno sodeluje v procesu hidratacije cementa

○ cement I 42.5 N, oznaka **CEM I 42.5 N**

- je portlandski cement trdnostnega razreda 42.5 MPa, običajnih zgodnjih trdnosti

- sestava: portlandski klinker (> 95%), regulator vezanja - sadra

- uporaba: za vsa področja v gradbeništvu

○ cement 52.5, oznaka **CEM I 52.5 R**

- je portlandski cement trdnostnega razreda 52.5 MPa z visoko zgodnjo trdnostjo

- sestava: portlandski klinker (> 95%), dodatki (< 5%), regulator vezanja - sadra

- uporaba: namenjen je za najzahtevnejše gradnje, pri katerih se zahteva najvišje začetne in končne trdnosti

○ salodur, oznaka **CEM V/A (S-P) 32.5 N LH**

- je mešani cement z dodatkom žilindre in drugega mineralnega dodatka, trdnostnega razreda 32.5 MPa, z nizko toplotno hidratacijo (LH-low heat)

○ sulfatnoodporni cement, oznaka **CEM I/42.5 N SR**

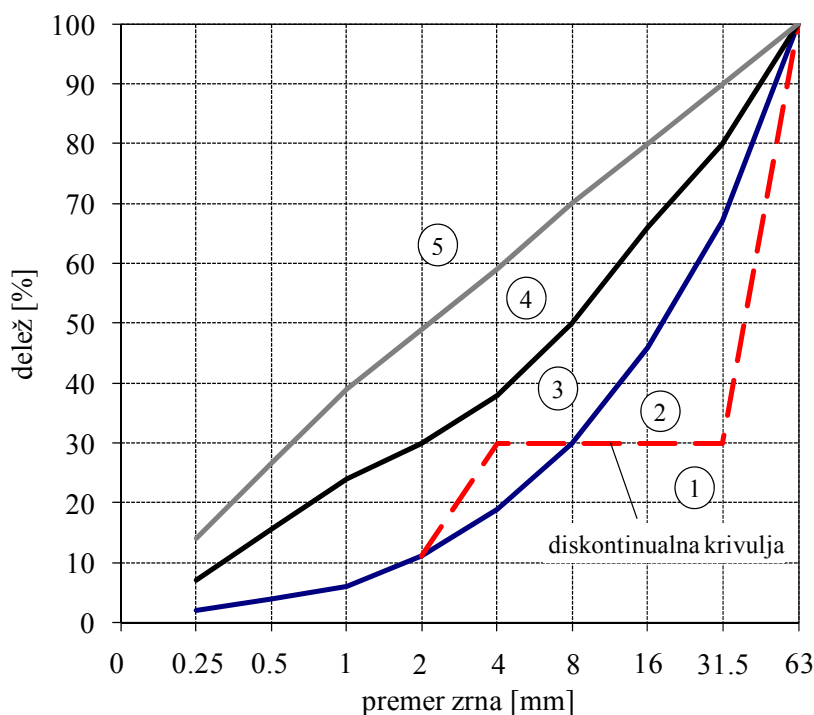
- je portlandski cement trdnostnega razreda 42.5 MPa, običajnih zgodnjih trdnosti, s povišano odpornostjo proti agresiji sulfatnih ionov (SR-sulphat resistant)

• drobljeni agregat

- gostota: $\rho_a = 2.8 \text{ kg/dm}^3$

- razvrščen v pet frakcij na podlagi kontinualne presejne krivulje agregata:

frakcija	delež [%]	absorpcija [%]	vlažnost [%]
0/1 mm	15	1	7.5
1/4 mm	15	0.6	6
4/8 mm	10	0.5	2.5
8/16 mm	15	0.4	1
16/31.5 mm	20	0.4	0.2
31.5/63 mm	25	0.3	0.1



③ optimalno področje

② ④ sprejemljivi področji

① ⑤ neustrezni področji

diskontinualna krivulja:

- izredna kompaktnost betona
- težko vgradljivi betoni
- nevarnost segregacije
- izločanje in koriščenje samo ene frakcije v ekonomskem smislu ni smotno

- **zamesna voda iz vodovoda**

- gostota: $\rho_v = 1.0 \text{ kg/dm}^3$

- **dodatki**

- plastifikatorji: izboljšajo vgradnjo in obdelovalnost betonske mešanice (< 5% glede na maso cementa)
- aeranti: v strukturi betona povzročajo nastanek zračnih mehurčkov, velikosti 0.01-0.03 mm. Takšna struktura poveča zmrzlinsko odpornost.
- zgoščevalci: po reakciji s klinkerjevimi minerali dajo produkte, ki zapolnijo kapilarne pore (0.05-1.3 μm , količina teh por je odvisna od stopnje hidratacije) v cementnem kamnu. Poveča se stopnja vodonepropustnosti otrdelega betona.
- pospeševalci
- zavlačevalci
- antifrizi

3. POTREBNA KOLIČINA VODE (m_v):

Uporabimo Fereovo empirično enačbo (vir: Mihailo Muravljov: "Osnovi teorije i tehnologije betona"):

$$m_v = \frac{k_0}{\sqrt[5]{D_{\max}}}$$

m_v ... specifična masa vode v [kg/m^3]
 $D_{\max}$... največji premer zrna v [mm]
 k_0 ... koeficient, odvisen od konsistence betonske mešanice

Vrednosti za koeficient k_0 :

konsistenca	rečni pesek	rečni pesek in drobljeni agregat	drobljeni agregat
zemeljsko vlažna	≤ 330	≤ 350	≤ 400
slabo plastična	330 – 350	350 – 375	400 – 430
plastična	350 – 370	375 – 405	430 – 460
tekoča	≥ 370	≥ 405	≥ 460

zemeljsko vlažna konsistenca - spodnji sloji temeljev

slabo plastična konsistenca - slabo (podporni zidovi, temelji) in srednje armirane konstrukcije (plošče, grede, stebri velikega in srednjega prečnega prereza)

plastična konsistenca - močno armirane konstrukcije (tanke plošče in stebri, silosi, grede)

tekoča konsistenca - črpani betoni

Obravnavana betonska mešanica je slabo plastične konsistence:

$$m_v =$$

4. POTREBNA KOLIČINA CEMENTA (m_c):

- Fereova empirična enačba (vir: Mihailo Muravljov: “Osnovi teorije i tehnologije betona”):

$$f_{k,28} = \frac{k}{\left(1 + \omega \frac{\gamma_{sc}}{\gamma_{sv}}\right)^2}$$

γ_{sc} ... specifična masa cementa

γ_{sv} ... specifična masa vode

$f_{k,28}$... povprečna tlačna trdnost kocke z robom 20 cm pri starosti 28 dni:

$$f_{k,28} = MB_{proj.} + 8 \text{ MPa}$$

(EC2: C25/30, 25 MPa – karakt. tlačna trdnost valja 15/30 cm,

30 MPa – karakt. tlačna trdnost kocke z robom 15 cm,

PBAB: MB 35, 35 MPa – karakt. tl. trdnost kocke z robom 20 cm)

ω ... vodocementni faktor: $\omega = \frac{m_v}{m_c}$

k ... faktor, odvisen od trdnosti cementa

Vrednosti za faktor k :	trdnostni razred cementa	k [MPa]
	25	180
	35	250
	45	320
	55	390

- enačbi Skramtajaeva (vir: Mihailo Muravljov: “Osnovi teorije i tehnologije betona”):

$$\frac{m_v}{m_c} \geq 0.4 \rightarrow f_{k,28} = A_1 f_{pc} \left(\frac{m_c}{m_v} - 0.5 \right)$$

f_{pc} ... trdnostni razred uporabljenega cementa v [MPa],

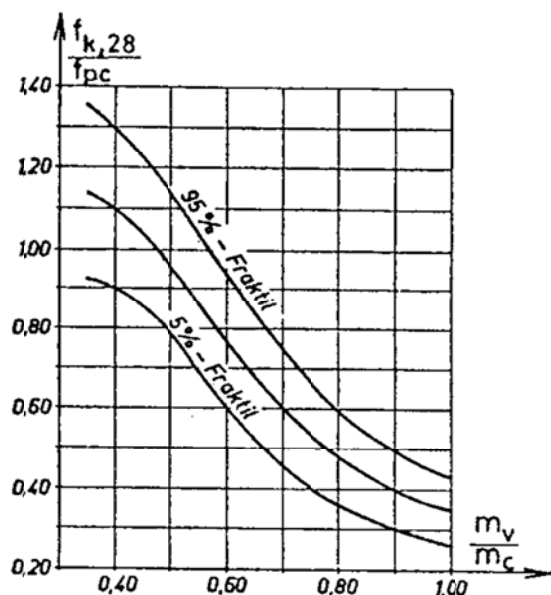
A_1, A_2 ... parametra, odvisna od kvalitete cem. in agregata

Vrednosti parametrov A_1 in A_2 :

$$\frac{m_v}{m_c} < 0.4 \rightarrow f_{k,28} = A_2 f_{pc} \left(\frac{m_c}{m_v} + 0.5 \right)$$

kvaliteta cementa in agregata	A_1	A_2
visoka	0.65	0.43
srednja	0.6	0.4
nizka	0.55	0.37

- Valcov diagram (vir: Mihailo Muravljov: “Osnovi teorije i tehnologije betona”):



$$\frac{f_{k,28}}{f_{pc}} =$$

odčitek iz diagrama:

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

Potrebna količina cementa za obravnavano betonsko mešanico:

$$m_c = \frac{1}{3} (m_{c, \text{Fere}} + m_{c, \text{Skramtajev}} + m_{c, \text{Valc}}) =$$

Količina cementa v praksi niha od 300 do 400 kg na m³ svežega betona, oziroma do 450 kg/m³ v primerih, kjer so zahtevane visoke trdnosti betona ter hiter prirast zgodnje trdnosti. Priporočila za najmanjšo količino cementa v [kg/m³] v primeru uporabe agregata z maksimalnim premerom zrna 31.5 mm so:

kvaliteta betona	cement 35	cement 45
MB 15 (C 12/15)	260	235
MB 20 (C 16/20)	300	270
MB 25 (C 20/25)	350	315

5. POTREBNA KOLIČINA AGREGATA (m_a):

Potrebno količino agregata na enoto volumna vgrajene sveže betonske mešanice izračunamo iz pogoja, da je vsota volumnov vseh sestavnih mešanice betona enaka 1:

$$\frac{m_a}{\rho_a} + \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_v}{\rho_v} + \frac{m_{ad}}{\rho_{ad}} + v_p = 1$$

m_a, ρ_a ... masa in gostota agregata

m_c, ρ_c ... masa in gostota cementa

m_v, ρ_v ... masa in gostota vode

m_{ad}, ρ_{ad} ... masa in gostota aditiva

v_p ... volumen zaostalih por v betonski mešanici (običajno 1-3%, pri aeriranih betonih je vrednost večja)

Potrebna količina agregata za obravnavano betonsko mešanico:

$$m_a = \rho_a \left(1 - \frac{m_c}{\rho_c} - \frac{m_v}{\rho_v} - \frac{m_{ad}}{\rho_{ad}} - v_p \right) =$$

6. RECEPTURA BETONA:

material	masa za 1 m ³		volumen za 1 m ³
	[kg]	gostota [kg/m ³]	[m ³]
cement			
dodana zamesna voda			
agregat			
dodatki			
zračne pore			
skupno			1.0

Korekcija količine vode zaradi absorpcije in vlažnosti agregata:

frakcija	delež [%]	masa [kg]	absorpcija		vlažnost	
			[%]	[kg]	[%]	[kg]
0/1 mm	15		1		7.5	
1/4 mm	15		0.6		6	
4/8 mm	10		0.5		2.5	
8/16 mm	15		0.4		1	
16/31.5 mm	20		0.4		0.2	
31.5/63 mm	25		0.3		0.1	
sprememba mase vode						

Korigirana masa vode: $m_v =$