

Projektovanje sastava betona

Predavanje, 06.12.2016.



Pripremili:
Van.prof.dr.Merima Šahinagić-Isović
Viši ass.mr.Marko Čećez

SADRŽAJ



- Opće postavke
- Izbor komponentnih materijala
 - Agregat
 - Cement
 - Voda
 - Aditivi
- Sastav betona B.I
- Sastav betona B.II
 - Projektovanje sastava betona
 - Eksperimentalna provjera svojstava betona



Opće postavke

⇒ Klase betona prema PBAB-u:

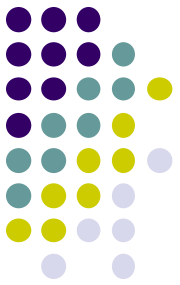
- ⇒ marka betona (MB)
- ⇒ ili marka betona i neka druga svojstva (vodonepropustljivost, otpornost na dejstvo mraza, otpornost prema habanju itd.)

Oznaka klase betona	A (ili 1)	B (ili 2)	C (ili 3)
Zahtjevano svojstvo betona	MB 35	MB 35 V-6	MB 35 V-6 M-150

⇒ Vrste betona:

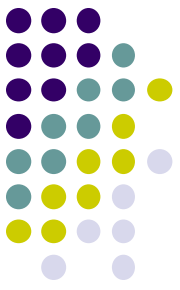
- ⇒ beton jedne klase, ali drugog sastava (npr. receptura agregata trofrakcijska ili četverofrakcijska)
- ⇒ A(1)/1 (ili 2), B(2)/1 (ili 2), C(3)/1 (ili 2)

Opće postavke



- ⇒ Kategorije betona prema PBAB-u:
 - ⇒ Betoni kategorije B.I (MB 10,15, 20 i 25):
 - ⇒ mogu bez predhodnih ispitivanja
 - ⇒ propisane minimalne količine cementa
 - ⇒ ugrađuju se samo na gradilištima na kojima se spravlja
 - ⇒ Betoni kategorije B.II (MB 30 i više, transportovani betoni i betoni sa posebnim svojstvima)
 - ⇒ predhodna ispitivanja (svježeg i očvrslog betona)
 - ⇒ faza projektovanja
 - ⇒ eksperimentalna provjera uz eventualne korekcije sastava (u laboratoriji i u fabrici betona)
 - ⇒ konačno utvrđivanje sastava
- ⇒ Projekat betonske mješavine
- ⇒ Projekat betona

Izbor komponentnih materijala

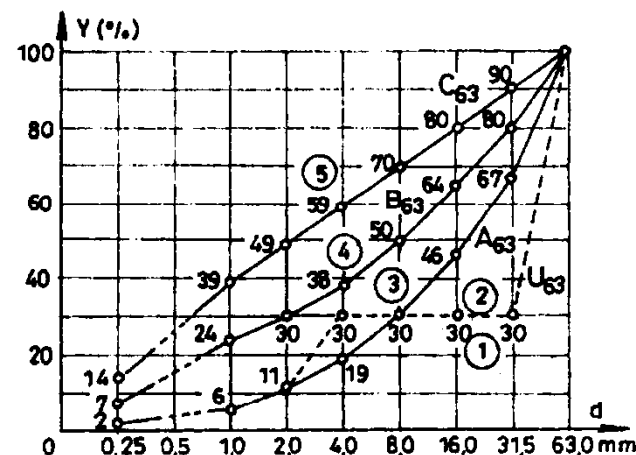
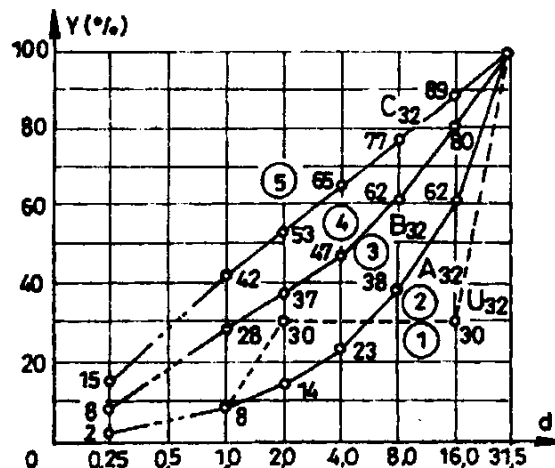
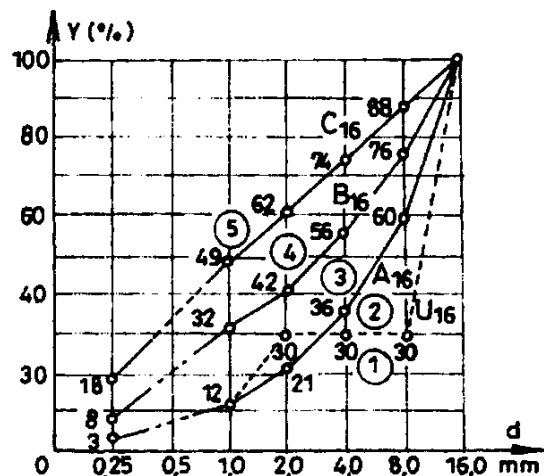
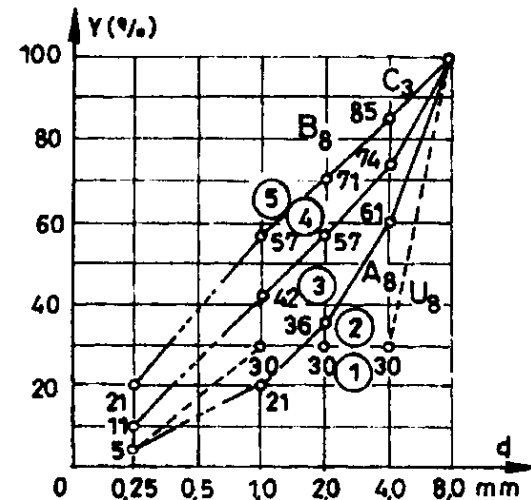


- Agregat (JUS B.B3.100 i JUS B.B2.010)
 - ⇒ Separisani (frakcionisani) agregat
 - ⇒ Granulometrijski sastav agregata
 - ⇒ utvrđuje se ispitivanjem
 - ⇒ bez predhodnih ispitivanja: BI (JUS U.M1.057, max. frakcija 16/32mm), BII i BI uz obavezna predhodna ispitivanja (JUS U.M1.057)
 - ⇒ Stvarna granulometrijska kriva u području:
 - ⇒ 1, 5: sastav agregata se smatra **nepogodnim** i takav agregat se **ne smije upotrijebiti** ni za proizvodnju betona BI, ni za proizvodnju betona BII
 - ⇒ 4, 2, 3: sastav agregata je takav da se on **može** upotrijebiti za proizvodnju betona **BI** i **BII**, samo ako se **predhodnim ispitivanjima** dokaže njegova podobnost za proizvodnju betona
 - ⇒ 3: sastav agregat se smatra **pogodnim** i takav agregat se može **bez predhodnih ispitivanja** betona upotrijebiti za proizvodnju betona **BI**
 - ⇒ 4,2: sastav agregata je takav da se on može upotrijebiti za proizvodnju betona **BI** samo ako se **predhodnim ispitivanjima** dokaže njegova podobnost za proizvodnju betona
 - ⇒ Agregat diskontinualnog granulometrijskog sastava treba da je što je moguće bliže krivoj U

Referentne granulometrijske krive



- Kontinualna granulometrijska kompozicija:
 - ⇒ područje (3), povoljna granulometrijska kompozicija
 - ⇒ područje (4), prihvatljiva granulometrijska kompozicija
 - ⇒ područje (5), zahtjeva povećanu količinu vode
 - ⇒ područje (1) i (2), nedovoljno ugradljivi
- Diskontinualna granulometrijska kompozicija(U)



Izbor komponentnih materijala



● Agregat

⇒ Najkrupnije zrno agregata:

⇒ vrsta i karakteristike konstrukcije (elementa)

⇒ dimenzije konstrukcije (elementa),

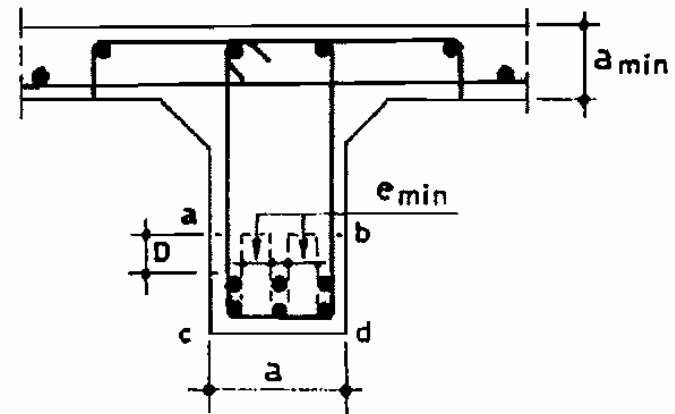
⇒ nearmirana ili armirana ili prenapregnuta konstrukcija

⇒ nominalno najkrupnije zrno agregata treba da zadovolji uslove:

$$D \leq a_{\min} / 3$$

$$D \leq b_{\min} / 4$$

$$D \leq 1,25 \cdot e_{\min}$$



Izbor komponentnih materijala



● Agregat:

⇒ Najkrupnije zrno agregata:

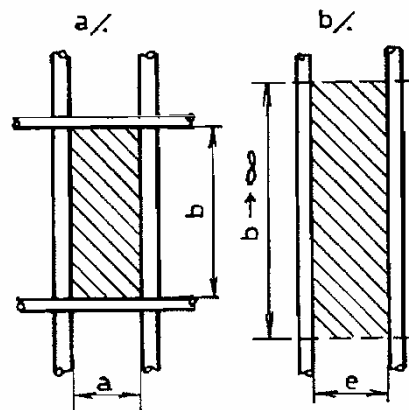
⇒ Efekat rešetke:

⇒ $E_r < 1,4$ za prirodni agregat

⇒ $E_r < 1,2$ za drobljen agregat

⇒ Efekat zida

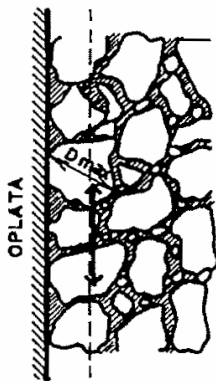
⇒ $0,8 < E_z < 1,0$; $E_z \approx 0,9$



$$E_r = \frac{D_{\max}}{\rho}$$

$$\rho = \frac{\text{površina}}{\text{obim}} = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$$

$$b \rightarrow \infty \quad \rho = 0,5e$$



$$E_z = \frac{\text{maksimalno zrno agregata}}{\text{srednji radijus oplata}} = \frac{D_{\max}}{R}$$

$$R = \frac{V}{S} = \frac{\text{zapremina koja se ispunjava betonom}}{\text{ukupna površina zidova i armature}}$$

Izbor komponentnih materijala



- Cement (JUS B.C1.009, JUS B.C1.011, JUS B.C1.013 i JUS B.C1.014)
 - (1) čvrstoća (klasa) cementa
 - (2) toplotna hidratacija
 - (3) hemijska otpornost

- ⇒ Vrsta cementa:
 - a) Najveći broj objekata
 - ⇒ portlant cementi sa dodacima (pucolana, zgure i pucolana)
 - b) Objekti velikih masa (brane, masivni zidovi i sl.)
 - ⇒ cementi niske toplotne hidratacije i nižih klasa (klase 25 i 35)
 - c) Objekti izloženi djelovanju agresivnih tečnosti ili gasova
 - ⇒ cementi otporni na hemijske agense (cementi sa većim procentom dodatka zgure ili/i pucolana, aluminatni cementi, sulfatno otporni i dr.)

- ⇒ Količina cementa:
 - a) minimalno 250kg/m^3 za AB konstrukcije
 - b) minimalno 300kg/m^3 za AB konstrukcije izložene atmosferskim uticajima
 - c) minimalno 350kg/m^3 za AB konstrukcije izložene djelovanju agresivne sredine

Izbor komponentnih materijala



- **Cement**

⇒ Količina cementa funkcija granulometrijskog sastava agregata:

⇒ za betone koji neće biti izloženi hemijskim agensima: $\min M_c = \frac{550}{\sqrt[5]{D}}$

⇒ za betone koji će biti izloženi hemijskoj agresiji: $\min M_c = \frac{700}{\sqrt[5]{D}}$

⇒ Količina cementa u praksi 300-400kg/m³, kada se traže velike čvrstoće betona i brz prirast čvrstoće u toku vremena do 450kg/m³

⇒ Na izbor količine utiču:

⇒ zahtjevane fizičko-mehaničke karakteristike betona

⇒ uslovi eksploatacije konstrukcije

⇒ veličina najkrupnijeg zrna agregata, granulometrijski sastav agregata

⇒ sredstava za transport i ugrađivanje betona

⇒ temperatura sredine pri ugrađivanju i pri njezi betona i dr.

Izbor komponentnih materijala



- Voda (JUS U.M1.058)
 - ⇒ Voda je podesna za spravljanje betona ako je:
 - ⇒ vodonikov pokazatelj (pH) u granicama 4,5-9,5pH
 - ⇒ sadržaj sulfatnih jona < 2700 mg/l vode
 - ⇒ količina hloridnih jona do 300 mg/l
 - ⇒ indeks organskih sastojaka do 200 mg/l
 - ⇒ ukupna količina rastvorenih soli nije veća od 5000 mg/l
 - ⇒ Obična voda za piće:
 - ⇒ bez dokaza o njenoj podobnosti za spravljanje
 - ⇒ Morska voda:
 - ⇒ samo za betone nearmiranih konstrukcija



Izbor komponentnih materijala

- Dodaci betonu (JUS U.M1.035 i JUS U.M1.037)
- Plastifikatori i superplastifikatori:
 - ⇒ smanjuju količinu vode od 10 do 30%
 - ⇒ smanjuju kapilarnu poroznost cementnog kamena
 - ⇒ povećavaju vodonepropusnost, otpornost na dejstvo mraza, otpornost na hemijske agense
- Aeranti:
 - ⇒ betoni otporni na dejstvo mraza i dejstvo mraza i soli
 - ⇒ kombinovano dejstvo aeranata i plastifikatora (superplastifikatora)
 - ⇒ količine uvučenog zraka prema PBAB87:

Najveća frakcija agregata (mm)	Sadržaj pora (%)
32/63	2-3
16/32	3-5
8/16	5-7
4/8	7-10

Izbor komponentnih materijala



- Dodaci betonu (JUS U.M1.035 i JUS U.M1.037)
- Zaptivači:
 - ⇒ viši nivo vodonepropusnosti, niža poroznost, veća trajnost betona u uslovima djelovanja hemijskih agenasa
 - ⇒ kombinovano dejstvo zaptivača i plastifikatora (superplastifikatora)
- Akceleratori:
 - ⇒ postizanje visokih čvrstoća u kratkom roku: betoniranje u zimskim uslovima, torketiranje, hitne interevencije
- Retarderi:
 - ⇒ betoniranje u ljetnim uslovima, transportni, pumpani betoni, betoniranje velikih površina uz duže prekide, betoniranje masivnih konstrukcija itd.
- Antifrizi:
 - ⇒ betoniranje u zimskim uslovima



Sastav betona B.I

- ⇒ BI: može bez predhodnih ispitivanja betona (MB10,15,20,25)
- ⇒ usvojimo agregat (po vrsti, D, granulometrijskom sastavu) i cement (po vrsti)
- ⇒ usvajamo min. količinu cementa po PBAB-u m_c :
 - ⇒ cement klase 35, max.16/31,5mm samo ne tečna konzistencija:

MB	Najmanja količina cementa (kg/m ³)
10	220
15	260
20	300
25	350

- ⇒ cement klase 45 smanjiti za 10%
- ⇒ cement klase 25 povećati za 10%
- ⇒ povećati za:
 - 10%, pri najvećoj frakciji 8/16mm
 - 20%, pri najvećoj frakciji 4/8mm
 - 10%, ako se umjesto plastične traži tečna konzistencija

Sastav betona B.I

⇒ Količina vode m_v :

⇒ nezavisno od m_c , na bazi potrebne konzistencije betonske mješavine



Konzistencija		Količina vode (kg/m ³) za slučaj agregata sa zrnom D (mm)					
Vebe (s)	Slijeganje (cm)	Šljunak			Drobljen kamen		
		10	20	40	10	20	40
>28	0	145	130	120	155	145	130
28-24	0	150	135	125	160	150	135
24-20	0	160	145	130	170	160	145
20-16	0	165	150	135	175	165	150
16-12	0-1	175	160	145	185	175	160
12-10	1-1,5	185	170	155	195	185	170
10-8	2-2,5	190	175	160	200	190	175
7-6	3-4	195	180	165	205	195	180
5	5	200	185	170	210	200	185
3	7	205	190	175	215	205	190
2	8	210	195	180	220	210	195
<2	10-12	215	200	185	225	215	200

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

Konzistencija	Riječni pijesak i šljunak	Riječni pijesak i drobljen kamen	Drobljen kamen (krupan i sitan agregat)
Kruta	≤330	≤350	≤400
Slabo plastična	330-350	350-375	400-430
Plastična	350-370	375-405	430-460
Tečna	≥370	≥405	≥460

Sastav betona B.I



⇒ Količina agregata m_a :

$$\frac{m_a}{\gamma_{sa}} + \frac{m_c}{\gamma_{sc}} + \frac{m_v}{\gamma_{sv}} + \nu_p = 1$$

⇒ Projektna zapreminska masa svježeg betona:

$$\gamma_{b,sv} = m_a + m_c + m_v$$

⇒ Vlažan agregat:

⇒ ukupna količina vode je zbir vode koju agregat već sadrži i vode koja se posebno dozira

⇒ Specifična masa “idealnog” agregata:

$$\gamma_{sa} = \sum_{k=1}^z a_k \cdot \gamma_{sa,k}$$

Sastav betona B.II



- ⇒ Određuje se na osnovu predhodnih ispitivanja svježeg i očvrslog betona
 - ⇒ kriterijumi za izbor sastava betona prema postupcima tehničke statistike (statistički podaci), npr.sastav betona na osnovu zahtjevane čvrstoće pri pritisku (MB):

$f_{k,28} \geq MB_{pr} + t_1 S_n \Rightarrow f_{k,28}$ - srednja vrijednost čvrstoće betona pri pritisku (kocka 20cm, 28 dana)

$f_{k,28} \geq f_{k,min} + t_2 S_n \Rightarrow MB_{pr}$ - projektovana (zahtjevana) marka betona

⇒ $f_{k,min}$ - minimalna očekivana čvrstoća ($f_{k,min}=MB_{proj}-4MPa$)

⇒ S_n - procjenjena vrijednost standardne devijacije (min.30 rezultata ispitivanja)

⇒ $t_1=1,28$ - parametar koji definiše karakterističnu vrijednost čvrstoće betona pri pritisku kao vrijednost koja odgovara fraktilu od 10%

⇒ $t_2=2,05$ (ili 2,33) – parametar preko kojeg se dopušta da 2% (ili 1%) rezultata ispitivanja bude ispod vrijednosti $f_{k,min}$

- ⇒ Rezultati predhodnih ispitivanja zahtjevanih svojstava (kada se ne raspolaže statističkim podacima):

Srednja čvrstoća pri pritisku betonskih kocki sa ivicama dužine 20 cm pri starosti od 28 dana	$f_{k,28} \geq MB_{pr} + 8 \text{ MPa}$
Vodonepropustljivost	$V \geq V_{pr} + 2 \text{ bara}$
Habanje	$H \leq H_{pr}$
Otpornost na mraz	$M \geq M_{pr} + 50 \text{ ciklusa}$
Otpornost na mraz i dejstvo soli	$MS \geq MS_{pr} + 5 \text{ ciklusa}$
Otpornost na hemijske agense (koroziiju)	$OK \geq OK_{pr}$

Projektovanje sastava betona



⇒ Izbor komponenata betona

- ⇒ Izbor vrste agregata, D i frakcija za sastavljanje mješavine agregata
- ⇒ Komponovanje granulometrijske krive agregata (na bazi usvojenog broja frakcija)
- ⇒ Usvajanje vrste i klase cementa
- ⇒ Usvajanje vode za spravljanje betona
- ⇒ Eventulana upotreba određenih dodataka

⇒ Proračun sastava betona (računsko određivanje količina komponenti materijala u jedinici zapremine svježeg ugrađenog betona)

- ⇒ I korak: količina vode m_v
- ⇒ II korak: količina cementa m_c
- ⇒ III korak: količina agregata m_a
- ⇒ IV korak: zapreminska masa svježeg ugrađenog betona $\gamma_{b,sv}$

$$\gamma_{b,sv} = m_a + m_v + m_c + m_{ad} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\omega = \frac{m_v}{m_c}; \quad \alpha = \frac{m_a}{m_c}; \quad \beta = \frac{m_{ad}}{m_c}$$

$$\gamma_{b,sv} = m_c (1 + \omega + \alpha + \beta)$$

Projektovanje sastava betona



- ⇒ Proračunu količina m_a , m_c , m_v i m_{ad} predhodi izbor konzistencije u funkciji karakteristika elemenata:
- ⇒ konstrukcija koja se betonira
 - ⇒ raspoloživa sredstva za transport betona
 - ⇒ predviđeni postupak ugrađivanja (kompaktiranja) betona:

Način izvođenja i vrsta konstrukcije	Slijeganje (cm)	Konzistencija
1. Donji slojevi temelja, podova, kolovoza i aerodromskih pista	0-1	Kruta
2. Gornji slojevi podova, kolovoza i aerodromskih pista, nearmirane i slabo armirane kostrukcije (potporni zidovi, temelji i sl.)	1-3	Slabo plastična
3. Srednje armirane konstrukcije (ploče, grede, stubovi velikog i srednjeg presjeka)	3-6	
4. Jako armirane kostrukcije (tanka platna i stubovi, bunkereri, silosi, grede i tanke ploče): - Horizontalni elementi - vertikalni elementi	6-8 8-10	Plastična
5. Konstrukcije koje se izvode u klizajućoj oplati: - Zbijanjem pomoću vibratora - Zbijanjem putem probadanja	6-8 8-10	
6. Pumpani beton (uz dovoljnu količinu sitnog agregata – do 50%)	10-14	Tečna

Projektovanje sastava betona



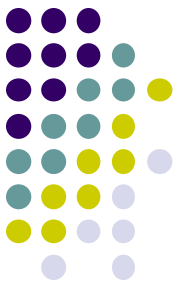
⇒ količina vode m_v u funkciji konzistencije:

Konzistencija izražena preko mjere slijeganja	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm	14 cm
m_v (kg/m ³) za D=31,5mm	150	158	165	171	176	180	183
Napomene:	Prikazane količine vode važe za prirodni (riječni) agregat; ako se primjenjuje drobljeni agregat, date količine treba povećati za 10 kg/m ³						
	Za slučaj D=16 mm prikazane količine vode treba povećati za 15 kg/m ³ , a za slučaj D=63 mm date količine treba smanjiti za 15 kg/m ³						
	Ako se primjenjuje cement sa dodatkom pucolana, prikazane količine vode treba povećati za 15-20 kg/m ³						

⇒ količina vode m_v u funkciji sadržaja uvučenog vazduha:

Konzistencija	Neaerirani beton		Aerirani beton	
	D = 16 mm	D = 31,5 mm	D = 16 mm	D = 31,5 mm
Kruta	193	169	169	149
Slabo plastična	198	178	178	154
Plastična	218	193	193	169
Tečna	228	203	203	178
Količina uvučenog vazduha (%)	2,5	1,5	7,0	5,0

Projektovanje sastava betona



- ⇒ količina vode m_v u funkciji primjenjenog aditiva:
 - ⇒ Plastifikatori (smanjenje do 10%)
 - ⇒ Superplastifikatori (smanjenje do 20%)
 - ⇒ Aeranti (smanjenje od 10 do 20kg/m³)

- ⇒ za podešavanje konzistencije koriste se slijedeća pravila:
 - ⇒ promjeni količine vode za $\pm 1\%$ odgovara promjena slijeganja $\pm 1\text{cm}$
 - ⇒ promjeni temperature za $\pm 3^\circ\text{C}$ odgovara promjena slijeganja za $\pm 1\text{cm}$
 - ⇒ promjeni količine uvučenog vazduha za $\pm 1\%$ odgovara promjena slijeganja za $\pm 3\text{cm}$
 - ⇒ promjeni količine sitnog agregata za $\pm 1\%$ odgovara promjena slijeganja za $\pm 1\text{cm}$

Projektovanje sastava betona



⇒ količina cementa m_c odnosno m_v/m_c

⇒ $\omega = m_v/m_c - f_{k,28}$ (osnovi zakoni čvrstoće betona)

⇒ Prma Valcu:

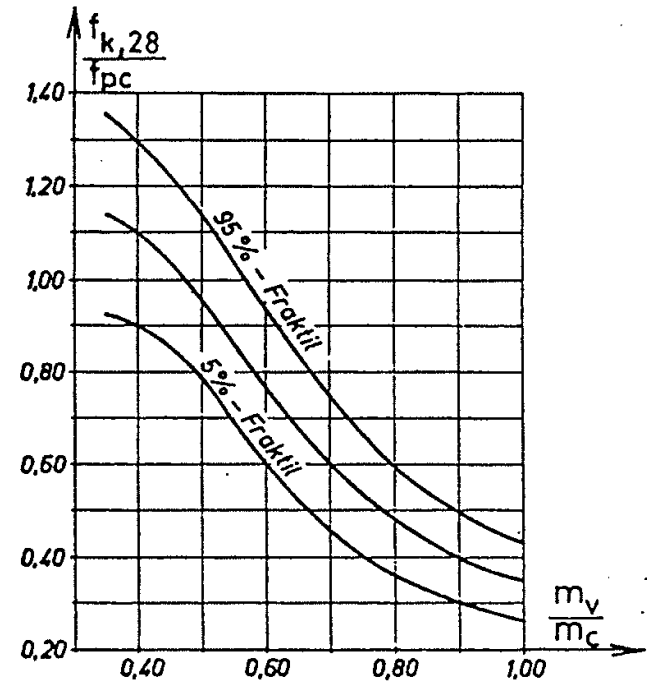
$$f_{k,28} = MB_{pr} + t_1 S_n$$

$$f_{k,28} = MB_{pr} + 8MPa$$

$$m_c = m_v \cdot \left(\frac{m_c}{m_v} \right)$$

⇒ Drugi način:

- ⇒ usvoji se niža količina cementa (300-350kg/m³), pa se na bazi zahtjevane vrijednosti $f_{k,28}$ odredi odnos m_v/m_c , odnosno potrebna količina vode m_v
- ⇒ “popravka” konzistencije (primjenom aditiva)





Projektovanje sastava betona

⇒ količina agregata m_a određuje se iz **jednačine apsolutne zapremine**:

$$\frac{m_a}{\gamma_{sa}} + \frac{m_c}{\gamma_{sc}} + \frac{m_v}{\gamma_{sv}} + \frac{m_{ad}}{\gamma_{sad}} + v_p = 1 \quad \kappa H = 1 - v_p$$

$$m_a = \gamma_{sa} \left(\kappa H - \frac{m_c}{\gamma_{sc}} - \frac{m_v}{\gamma_{sv}} - \frac{m_{ad}}{\gamma_{sad}} \right)$$

⇒ Ukupna količinu cementa i zrna agregata sitnijih od 0,25mm za BK.II prema PBAB-u:

Najveća frakcija agregata (mm)	Najmanja ukupna količina cementa i čestica manjih od 0,25 mm (kg/m ³)
4 – 8	500
8 – 16	425
16 – 32	350
32 – 63	300



Eksperimentalna provjera svojstava betona

- ⇒ Količine komponentalnih materijala moraju se verifikovati eksperimentalnim ispitivanjima (u fabrikama betona i laboratorijama)
 - ⇒ provjera svojstava svježeg betona
 - ⇒ provjera svojstava očvrslog betona
- ⇒ Projektovana konzistencija (manja količina betonske mješavine):
 - ⇒ korekcija vode: $m_v \pm \Delta m_v$
 - ⇒ korekcija cementa: $\pm \Delta m_c$

$$\omega = \frac{m_v \pm \Delta m_v}{m_c \pm \Delta m_c} \quad \pm \Delta m_c = \frac{m_v \pm \Delta m_v}{\omega} - m_c$$

- ⇒ Drugi postupak:

- ⇒ nekoliko mješavina sa m_v bliskoj računskoj vrijednosti
- ⇒ konzistencija ili fizičko-mehanička svojstva betona
- ⇒ stvarne količine komponentnih materijala:

$$\bar{m}_c = \frac{\gamma_{b,sv}}{1 + \omega + \alpha + \beta} \quad \begin{aligned} \bar{m}_v &= \omega \cdot \bar{m}_c \\ \bar{m}_a &= \alpha \cdot \bar{m}_c \\ \bar{m}_{ad} &= \beta \cdot \bar{m}_c \end{aligned}$$



Eksperimentalna provjera svojstava betona

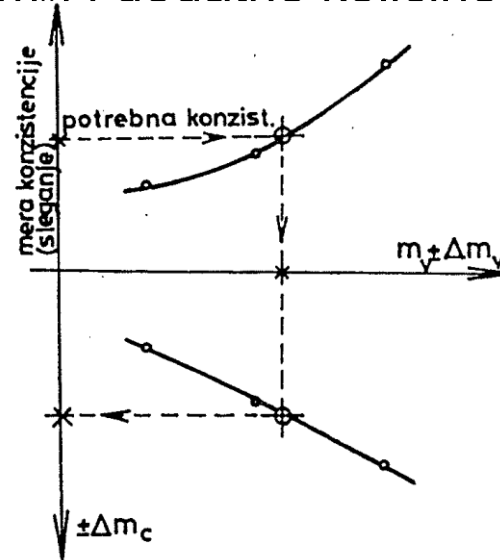
⇒ Određivanje potrebne količine vode (m_v) i dodatne količine cementa:

$$\bar{m}_c = \frac{\gamma_{b,sv}}{1 + \omega + \alpha + \beta}$$

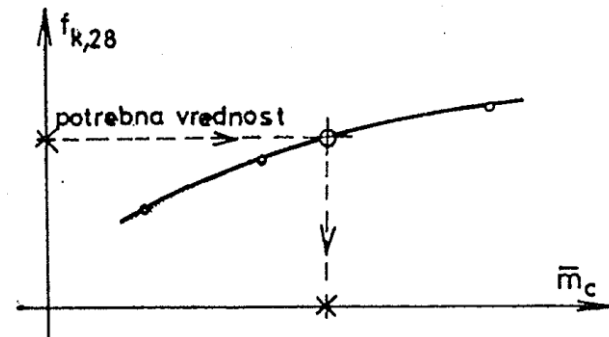
$$\bar{m}_v = \omega \cdot \bar{m}_c$$

$$\bar{m}_a = \alpha \cdot \bar{m}_c$$

$$\bar{m}_{ad} = \beta \cdot \bar{m}_c$$



⇒ Definisavanje količine cementa (m_c) na bazi eksperimentalnih ispitivanja:



Slijedeće predavanje:



**PROIZVODNJA, TRANSPORT,
UGRADNJA I NJEGOVANJE
BETONA**