



# SVJEŽI BETON

Asistent:

dr.sc. Ivan Kraus, mag.ing.aedif.

ikraus@gfos.hr

SVEUČILIŠTE  
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER  
UNIVERSITY OF OSIJEK



- Beton je umjetni građevni materijal dobiven miješanjem cementa, krupnog i sitnog agregata s vodom, sa ili bez kemijskih i mineralnih dodataka, koji očvršćuje hidratacijom cementa.
- Definicije i zahtjevi na svježi beton:
  - brza homogenizacija u miješalici
  - pokretljivost u transportu i pri ugradbi (bez unutrašnjih lomova mase), lagano zaobilaženje zapreka, kao armature, izbočina u oplati i ugrađenih elemenata,
  - stabilnost u pogledu homogenosti za vrijeme transporta, ubacivanja u oplatu i zbijanja, uključivo stabilnost na izdvajanje vode,

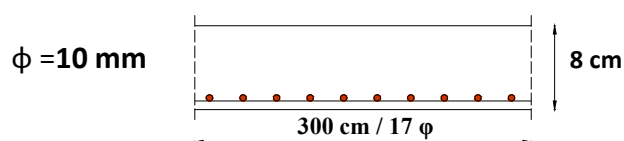
- što manja adhezija na kliznu oplatu odnosno cijev pumpe za transport betona,
- što bolja adhezija na podlogu,
- što bolja kompatibilnost,
- plastičnost za završnu obradu.
- Pojmovi kojima se definiraju i mjere svojstva svježeg betona su:
  - obradljivost,
  - konzistencija,
  - izdvajanje vode,
  - segregacija,
  - vrijeme vezanja betona,
  - homogenost betonske mješavine
  - temperatura
  - sadržaj pora u svježem betonu.

## ZAHTJEVI KOJE TREBA ZADOVOLJITI PRI PRORAČUNU

- Zahtjev tlačne čvrstoće za projektirani razred betona. Izbor razreda tlačne čvrstoće ovisi o tipu betonske konstrukcije i razredu izloženosti konstrukcije okolišu.
- Zahtjev trajnosti betona koji ovisi o razredu izloženosti betona okolišu, prema (TPBK) najmanje 50 godina.
- Zahtjev obradivosti svježeg betona. Izražava se jednim od 4 razreda konzistencije svježeg betona.

## RAČUNSKI PRIMJER PRORAČUNA SASTAVA BETONSKE MJEŠAVINE (1....6.)

**ZADATAK:** Proračunajte sastav betona razreda tlačne čvrstoće C30/37 za betoniranje parkirališne ploče dimenzija 8 cm × 300 cm × 550 cm. Beton će se izraditi u mješalici volumena 0,5 m<sup>3</sup>. Beton će se izraditi s drobljenim agregatom. Udio pojedinih frakcija agregata proračunajte pomoću krivulje B.



## 1. ZAHTJEV TLAČNE ČVRSTOĆE

Zadano: C30/37

$f_{ck, \text{ valj}}$     $f_{ck, \text{ koc}}$

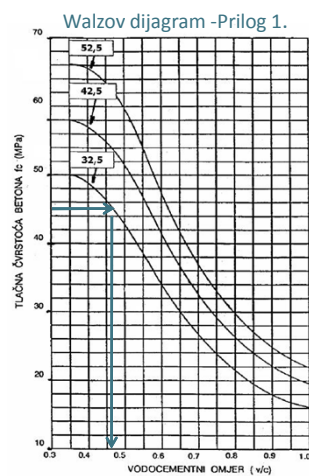
$f_{ck, \text{ valj}}$  – karakteristična tlačna čvrstoća valjka  
150 mm x 300 mm nakon 28 dana

$f_{ck, \text{ koc}}$  – karakteristična tlačna čvrstoća kocke brida  
150 mm nakon 28 dana

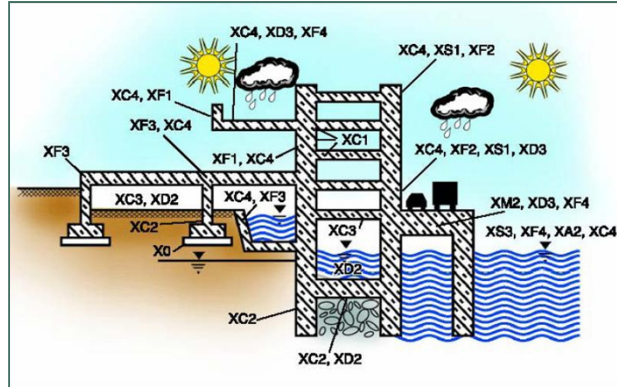
Zahtjev:  $f_{cm} > f_{ck} + (6 \text{ do } 12)$

$f_{cm} > 37 + 8 = 45 \text{ N/mm}^2$

Očitani vodocementni omjer:  
 $v/c = 0,46$  za odabrani razred  
čvrstoće cementa 32,5.



## 2. ZAHTJEV TRAJNOSTI



Razred	Opis okoliša	Informativni primjeri moguće pojave klasa izloženosti
<b>1 Nema rizika korozije</b>		
X0	Bez rizika djelovanja.	Elementi bez armature u neagresivnom okolišu (npr. nearmirani temelji koji nisu izloženi smrzavanju i odmrzavanju, nearmirani unutarnji elementi) Za beton s armaturom ili ugrađenim metalom: vrlo suho.
<b>2 Korozija uzrokovana karbonatizacijom*</b>		
Kada je beton s armaturom ili drugim ugrađenim metalom izložen zraku i vlazi, izloženost treba svrstati u razrede kako slijedi:		
XC1	Suho ili trajno vlažno	Elementi u prostorijama obične vlažnosti zraka (uključujući kuhinje, kupaone, praonice rublja u stambenim zgradama); elementi stalno uronjeni u vodu
XC2	Vlažno, rijetko suho	Djelovi spremnika za vodu; dijelovi temelja
XC3	Umjerenja vlažnost	Djelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup (npr. zgrade otvorenih oblika, tipa-šedi); prostorije s atmosferom visoke vlažnosti (npr. javne kuhinje, kupališta, praonice, vlažni prostori zatvorenih bazena za kupanje, ...)
XC4	Ciklički vlažno i suho	Vanjski betonski elementi izravno izloženi kiši; elementi u području kvašenja vodom (slatkovodna jezera i/ili rijeke)
<b>3 Korozija uzrokovana kloridima koji nisu iz mora</b>		
Kada je beton, koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni materijal, u dodiru s vodom koja sadrži kloride, uključujući soli za odmrzavanje, koji nisu iz mora, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:		
XD1	Umjerenja vlažnost	Područja prskanja vode s prometnih površina; privatne garaže
XD2	Vlažno, rijetko suho	Bazeni za pivanje i kupališta; elementi izloženi industrijskim vodama koje sadrže kloride
XD3	Ciklički vlažno i suho	Elementi izloženi prskanju vode s prometnih površina na koja se nanose sredstva za odleđivanje; parkirališne ploče bez zaštitnog sloja <sup>1)</sup>
<b>4 Korozija uzrokovana kloridima iz morske vode</b>		
Kada je beton koji sadrži armaturu ili drugi ugrađeni metal u dodiru s kloridima iz morske vode ili solima iz mora nošenim zrakom, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:		
XS1	Izložen solima iz zraka, ali ne u izravnom dodiru s morskom vodom	Vanjski elementi u blizini obale
XS2	Stalno uronjeno	Stalno uronjeni elementi u lukama
XS3	U zonama plime i oseke i prskanja vode	Zidovi lukobrana i molova

5 Korozija uzrokovana smrzavanjem i odmrzavanjem sa ili bez sredstva za odmrzavanje		
Kada je beton izložen značajnom djelovanju smrzavanja i odmrzavanja u vlažnom stanju, klase izloženosti treba klasificirati kako slijedi:		
XF1	Umjereni zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Vanjski elementi
XF2	Umjereni zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morska voda	Područja prskanja vode s prometnih površina, sa sredstvom za odleđivanje (ali drugačije od onog za XF4); područje prskanja morskom vodom
XF3	Jako zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Otvoreni spremnici za vodu, elementi u području kvašenja vodom (slatkovodna jezera i/ili rijeke)
XF4	Jako zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje ili morskom vodom	Prometne površine tretirane sredstvima za odmrzavanje; pretežno vodoravni elementi izloženi prskanju vode s prometnih površina na koja se nanose sredstva za odleđivanje; parkirališne ploče bez zaštitnog sloja <sup>3)</sup> ; elementi u području morske plime; mjesta na kojima može doći do struganja u postrojenjima za tretiranje voda iz kanalizacije
6 Kemijska korozija <sup>4)</sup>		
Kada je beton izložen kemijskom djelovanju koje se javlja iz prirodnog tla i podzemne vode kako je dano u tablici 2-2, klase izloženosti treba klasificirati kako dolje slijedi. Klasifikacija morske vode ovisi o geografskoj lokaciji, pa treba primijeniti klasifikacije važeće na mjestu korištenja betona.		
XA1	Slabo kemijski agresivna okolina	Spremnici u postrojenjima za tretiranje voda iz kanalizacije, spremnici tekućih umjetnih gnojiva
XA2	Umjereni kemijski agresivni okoliš	Betonski elementi u dodiru s morskom vodom; elementi u agresivnom tlu
XA3	Jako kemijski agresivni okoliš	Kemijski agresivne vode u postrojenjima za tretiranje otpadnih voda; spremnici za silazu i korita (žlebovi) za hranjenje životinja; rashladni tornjevi s dimnjacima za odvođenje dimnih plinova
7 Beton izložen habanju		
XM1	Umjereni habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu vozila s pneumatskim gumama na kotačima
XM2	Znatno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatskim ili tvrdim gumama na kotačima
XM3	Ekstremno habanje	Elementi industrijskih konstrukcija izloženi prometu viličara s pneumatskim gumama ili čeličnim kotačima; hidrauličke konstrukcije u vrtložnim (uzburkanim) vodama (npr. bazeni za destilaciju); površine izložene prometu gusjeničara

- Očitano iz Priloga 3:  
Parkirališna ploča → odabrano: XF4  
Opis okoliša: jako zasićenje vodom, sa sredstvom za odmrzavanje.  
Potrebno dodati AERANT u količini od 0,5 % na masu cementa.
- Iz Priloga 4. se očitaju i sljedeće vrijednosti:

Razred izloženosti	Maksimalni v/c omjer	Min. razred čvrstoće	Min.količina cementa (kg/m <sup>3</sup> )	Min.količina zraka (%)
XF4	0,45	C30/37	340	4

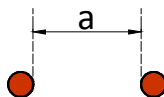
- Debljina zaštitnog sloja betona za zaštitu armature s obzirom na razred izloženosti (Prilog 8.)

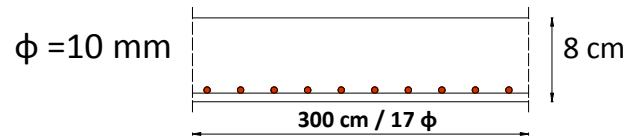
RAZRED IZLOŽENOSTI	NAJMANJA DEBLJINA ZAŠTITNOG SLOJA BETONA $C_{min.}$ (mm)	DOPUŠTENA ODSUPANJA $\Delta c$ (mm)
XC1	20	10
XC2	35	
XC3	35	
XC4	40	
XD1	55	15
XD2		
XD3		
XS1		
XS2		
XS3		

- Agregat - odabir  $D_{max}$

$$D_{max} = d_m + (d_m - d_{m-1}) \times \frac{x_{m+1} - x_m}{x_m - x_{m-1}}$$

1.  $D_{max} \leq 1/4$  min. širine presjeka (1/3 debljine ploče)
2.  $D_{max} \leq 1,25 \times a$   
a...minimalni horizontalni razmak šipki armature





$$1. D_{\max} \leq \frac{1}{3} \times d = \frac{1}{3} \times 80 = 26,67 \text{ mm}$$

$$2. D_{\max} \leq 1,25 \times a = 1,25 \times \left( \frac{3000}{16} - 10 \right) = 221,88 \text{ mm}$$

Odabrano:  $D_{\max} = 16 \text{ mm}$

- Numerički granulometrijski sastav agregata (zadan ili dobiven prethodnim proračunom)

Frakcija	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16
0-4	8	12	26	36	68	98	100	100
4-8	-	-	-	-	3	12	93	100
8-16	-	-	-	-	-	2	14	95

Zadana krivulja B, i  $D_{\max} = 16 \text{ mm}$

$$B = \sqrt{\frac{d}{d_m}}$$

B16	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16
%	8,7	12,5	17,7	25	35,4	50	70,7	100

▪ Sustavi jednadžbi:

$$98X_1 + 12X_2 + 2X_3 = 50$$

$$100X_1 + 93X_2 + 14X_3 = 70,7$$

$$100X_1 + 100X_2 + 95X_3 = 100$$

▪ Rješenja:

$$X_1 = 0,47 \approx 47\%$$

$$X_2 = 0,18 \approx 18\%$$

$$X_3 = 0,35 \approx 35\%$$

▪ Kumulativni granulometrijski sastav agregata

Frakcija	%	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16
0-4	47	3,8	5,6	12,2	16,9	31,9	46,1	47	47
4-8	18	-	-	-	-	0,5	2,2	16,7	18
8-16	35	-	-	-	-	-	0,7	4,9	33,3
SUMA	100	3,8	5,6	12,2	16,9	32,4	49,0	68,6	98,3

- Nacrtati krivulje prosijavanja (numerički granulometrijski sastav, krivulju B i sumarnu krivulju iz kumulativnog sastava).



### 3. ZAHTJEV OBRADLJIVOSTI

- Odabir konzistencije slijeganjem (Prilog 5.)

Tip konstrukcije	Transportna sredstva	Konzistencija – slijeganje (mm)
Slabo armirani ili nearmirani temelji	Trake, specijalne posude	10-50
Armirani temelji, zidovi, ploče nosači i stupovi	Pumpa, posuda na kranu	60-120
Jako armirane ploče nosači i stupovi	Pumpa, posuda na kranu	80-160
Kolničke ploče, industrijski podovi	Trake, kamioni	10-50
Betoniranje pod vodom	Pumpe cijevi	120-180
Masivni hidrotehnički beton	Trake, kamioni, silobusi	10-50
Zalijevanje sidara, podlijevanje ploča	Posude	130-200

- Očitani zahtjev obradljivosti iz Priloga 6:

Razred	Slijeganje (mm)	Dopuštena odstupanja (mm)
S <sub>1</sub>	Od 10 do 40	±10
S <sub>2</sub>	Od 50 do 90	±20
S <sub>3</sub>	Od 100 do 150	±30
S <sub>4</sub>	Od 160 do 210	±30
S <sub>5</sub>	> 220	

- Očitamo koliko je potrebno litara vode za 1m<sup>3</sup> svježeg betona iz Priloga 9. u ovisnosti o maksimalnom zrnu, tipu agregata i zadanoj graničnoj krivulji i konzistenciji slijeganjem:

Granična linija	Drobljeni agregat			Riječni agregat		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
A 63	120	145	160	95	125	140
A 32	130	155	175	105	135	150
A 16	140	170	190	120	155	175
A 8	155	190	210	150	185	205
B 63	135	160	180	115	145	165
B 32	140	175	195	130	165	185
B 16	150	185	205	140	180	200
B 8	175	205	225	170	200	220
C 63	145	180	200	135	175	190
C 32	165	200	220	160	195	215
C 16	185	215	235	175	205	225
C 8	200	230	250	185	215	235

- Količina mikropora uvučenog ili zahvaćenog zraka u odnosu na najveću frakciju agregata (Prilog 7.)

Najveća frakcija agregata (mm)	Količina pora (%)	
	Uvučeni zrak (aerirani beton)	Zahvaćeni zrak (ne aerirani beton)
32-64	2-3	0,4
16-32	3-5	1,5
8-16	5-7	2,5
4-8	7-10	2-3

Odabrano iz zahtjeva 1., 2. i 3.:

- Iz zahtjeva čvrstoće:  $v/c = 0,46$
  - Iz zahtjeva trajnosti:  $v/c = 0,45$
- } Odabrati manji  $v/c$
- Iz zahtjeva trajnosti: minimalna količina cementa  $340 \text{ kg/m}^3$
  - $D_{\max} = 16 \text{ mm}$
  - Beton mora biti otporan na smrzavanje pa dodajemo aeranta  $0,5\%$  od mase cementa ( $m_{\text{cem}}$ )
  - Količina pora  $6\%$  (aerirani beton-uvučeni zrak)

- Konzistencija slijeganjem –  $10\text{-}50 \text{ mm}$
- Razred konzistencije: S1
- B16, drobljeni agregat, S1 → iz zahtjeva obradljivosti: masa vode za  $1\text{m}^3$  betona –  $150 \text{ l}$
- Drobljeni agregat:  $\rho = 2,75 \text{ kg/dm}^3$
- Cement:  $\rho = 2,90 - 3,15 \text{ kg/dm}^3$  (ovisno o vrsti cementa)
- Voda:  $\rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3$
- Aerant:  $\rho = 1,0 - 1,1 \text{ kg/dm}^3$

#### 4. PRORAČUN SASTAVA BETONA

Komponenta	Masa (kg)	Gustoća (kg/dm <sup>3</sup> )	Volumen (dm <sup>3</sup> )
Cement (min. 340 kg)	(333,33) 340	→ 3,07	→ 110,7
Voda	150	→ 1,0	→ 150,0
v/c = 0,45	-	-	-
Zrak 6%	-	-	60
Aerant 0,5%	1,7	→ 1,1	→ 1,55
Agregat	1863,8	← 2,75	← 677,75
Ukupno	2355,5	2,36	1000

$$1 \quad \frac{v}{c} = 0,45 \rightarrow \frac{150}{m_{cem}} = 0,45 \rightarrow m_{cem} = 333,33 \text{ kg}$$

$$2 \quad \rho_{cem} = \frac{m_{cem}}{V_{cem}} \rightarrow V_{cem} = \frac{m_{cem}}{\rho_{cem}} \rightarrow V_{cem} = \frac{340}{3,07} = 110,7 \text{ dm}^3$$

23

$$3 \quad \rho_{vode} = \frac{m_{vode}}{V_{vode}} \rightarrow V_{vode} = \frac{m_{vode}}{\rho_{vode}} \rightarrow V_{vode} = \frac{150}{1,0} = 150 \text{ dm}^3$$

$$4 \quad V_{zraka} = 6\% \times V_{ukupni} = \frac{6}{100} \times 1000 = 60 \text{ dm}^3$$

$$5 \quad \rho_{aer} = \frac{m_{aer}}{V_{aer}} \rightarrow V_{aer} = \frac{m_{aer}}{\rho_{aer}} \rightarrow V_{aer} = \frac{1,7}{1,1} = 1,55 \text{ dm}^3$$

$$6 \quad V_{ukupno} = V_{agregata} + V_{cementa} + V_{vode} + V_{aeranta} + V_{zraka}$$

$$V_{agregata} = V_{ukupno} - (V_{cementa} + V_{vode} + V_{aeranta} + V_{zraka})$$

$$V_{agregata} = 1000 - (340 + 150 + 1,55 + 60)$$

$$V_{agregata} = 677,75 \text{ dm}^3$$

$$7 \quad m_{agregata} = V_{agregata} \times \rho_{agregata}$$

$$m_{agregata} = 677,75 \times 2,75 = 1863,8 \text{ kg}$$

24

8  $m_{ukupno} = \sum m_i = 340 + 150 + 1,7 + 1863,8 = 2355,5 \text{ kg}$

9  $\rho_{betona} = \frac{m_{ukupno}}{V_{ukupno}} = \frac{2355,5}{1000} = 2,36 \text{ kg / dm}^3$

- Zadani volumen mješalice:  $0,5 \text{ m}^3$

Komponenta	Masa za 1000 dm <sup>3</sup> betona (kg)	Masa za 0,5 m <sup>3</sup> betona (kg)
Cement	340	170
Voda	150	75
v/c=0,45	-	-
Zrak 6%	-	-
Aerant 0,5%	1,7	0,85
Agregat	1863,8	931,9
Ukupno	2355,5	1177,5

## 5. KOREKCIJA MASE AGREGATA ZA APSORPCIJU I VLAŽNOST

$m_a = 931,9 \text{ kg}$

Frakcija	Masa zps		- ApSORPCIJA		+ VlažNOST		Korigirana masa agregata
	%	kg	%	kg	%	kg	
0-4	47	437,99	1,4	6,13	4,5	19,7	451,56
4-8	18	167,74	1,2	2,01	3,0	5,03	170,76
8-16	35	326,17	1,1	3,59	2,1	6,85	329,43
Ukupno	100	931,90		11,73		31,58	951,75

Korigirana voda  $\rightarrow 75 + 11,73 - 31,58 = 55,15 \text{ litara}$

## 6. UKUPNE KOLIČINE

- Volumen ploče:  $0,08 \times 3,0 \times 5,5 = 1,32 \text{ m}^3$
- Broj potrebnih miješanja:  $1,32 / 0,5 = 2,64 \approx 3$  puta
- Cement:  $170 \times 3 = 510 \text{ kg}$
- Voda:  $55,15 \times 3 = 165,45 \text{ l}$
- Aerant:  $0,85 \times 3 = 2,55 \text{ l}$
- Agregat
  - frakcija 0-4:  $451,56 \times 3 = 1354,68 \text{ kg}$
  - frakcija 4-8:  $170,76 \times 3 = 512,28 \text{ kg}$
  - frakcija 8-16:  $329,43 \times 3 = 988,29 \text{ kg}$

## UTJECAJ TEMPERATURE SASTOJAKA NA TEMPERATURU MJEŠAVINE BETONA

$$T_b = \frac{c_a(m_a \cdot T_a + m_c \cdot T_c) + c_v \cdot m_v \cdot T_v}{c_a(m_a + m_c) + c_v \cdot m_v} \quad (^\circ\text{C})$$

$T_b$  - temperatura svježe betonske mješavine

$m_a$ ,  $m_c$  i  $m_v$  - mase agregata, cementa i vode

$T_a$ ,  $T_c$  i  $T_v$  - temperatura agregata, cementa i vode

$c_a$ -specifični toplinski kapacitet

agregata i cementa = 0,84 do 0,90 kJ/(kg°C)

$c_v$ -specifični toplinski kapacitet vode = 4,20 kJ/(kg°C)