

funkciji procenta vlažnosti agregata (obično se ovo odnosi samo na 2 najsitnije frakcije).

## 15.2. PROJEKAT BETONSKIH MEŠAVINA ZA 3 VRSTE BETONA KOJE ĆE BITI IZRADJENE U OKVIRU VEŽBI BR: 16 I 17

U cilju upoznavanja sa osnovnim vrstama betona koje se danas proizvode a zatim i sa osnovnim ispitivanjima svojstava svežeg i očvrslog betona, u okviru vežbi br. 16 i br. 17 biće izradjene 3 vrste betona, koje ćemo označiti sa A, B i C.

U ovoj vežbi izvršiće se projektovanje sastava ovih triju betonskih mešavina, pri čemu će biti uradjene dozaže za one količine koje će se raditi na vežbama.

### 15.2.1. Vrste raspoloživih materijala (važi za sva 3 betona)

a) Cement: PC35M(S-L) 32,5R "LAFARGE" BEOGRAD

b) Agregat

- vrsta i poreklo: MORAVAC - PEČKI AGREGAT

- nazivne frakcije: 0-4, 4-8, 8-16, 16-31,5

- sastav frakcija - dat u okviru proračuna na str. 83

- ~~maksimalno~~ zрно agregata:  $D = 31,5$  mm  
KOHINHALNO IZRAĐIVANJE

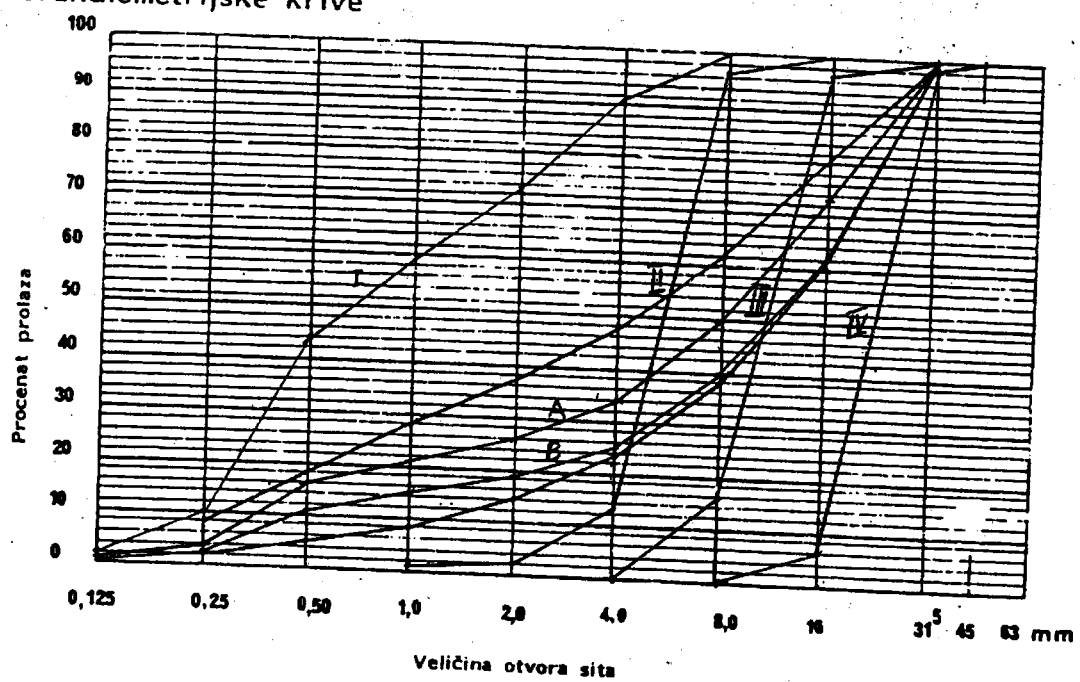
### 15.2.2. Polazni parametri za projektovanje sastava

Beton A: Najčešće primenjivana vrsta betona u visokogradnji, marke MB 30, plastične konzistencije; granulometrijski sastav mešavine agregata blizak Fulerovoj krivoj (v. tablicu 15.1). Računati sa standardnom devijacijom čvrstoće od  $\tilde{\sigma} = \frac{8,0}{8,0}$  MPa.

Betoni B i C: Radi se o dve varijante u suštini jedne iste vrste betona (B - bez plastifikatora i C - sa plastifikatorom). Beton treba da bude visoke kompaktnosti, vodonepropustljiv i trajan, projektovane marke MB 45. Granulometrijski sastav sa većim sadržajem najkrupnije a manjim sadržajem najsitnije frakcije, blizak krivoj "Empa" (v. tablicu 15.1). Računati sa standardnom devijacijom  $\tilde{\sigma} = \frac{8,0}{8,0}$  MPa. Kod betona B (bez plastifikatora) zahtevana svojstva moguće je postići pri slabo plastičnoj konzistenciji. Sa varijantom C, uz dodavanje plastifikatora ili superplastifikatora, ista svojstva moguće je ostvariti uz znatno lakšu ugradljivost - tj. pri plastičnoj, eventualno i tačnoj konzistenciji.

# Granulometrijski sastav mešavina agregata za beton

## Granulometrijske krive



## Projektovanje granulometrijskog sastava agregata

		Otvori sita (mm)									
		0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31,5	45
Ordinate linija sejavaња agregata	I(0/4)	2	10	44	59	73	91	100	100	100	100
	II(4/8)	0	0	0	1	2	13	97	100	100	100
	III(8/16)	0	0	0	0	0	0	16	97	100	100
	IV(16/31,5)	0	0	0	0	0	0	0	6	99	100
Beton A	Učešće frakcija										
	I: 26 %	0,72	3,6	15,84	21,24	26,28	32,76	36	36	36	36
	II: 10 %	0	0	0	0,1	0,2	1,3	9,7	10	10	10
	III: 26 %	0	0	0	0	0	0	4,16	25,22	26	26
	IV: 20 %	0	0	0	0	0	0	0	1,68	27,72	28
	Zbir po frakcijama	0,72	3,6	15,84	21,34	26,48	34,06	49,86	72,9	99,72	100
	Usvojena gr. kriva Y(%)	1	4	16	21	26	34	50	73	100	100
Beton B i C	Učešće frakcija										
	I: 26 %	0,52	2,6	11,44	15,34	18,98	23,66	26	26	26	26
	II: 10 %	0	0	0	0,1	0,2	1,3	9,7	10	10	10
	III: 24 %	0	0	0	0	0	0	3,84	23,28	24	24
	IV: 40 %	0	0	0	0	0	0	0	2,4	39,6	40
	Zbir po frakcijama	0,52	2,6	11,44	15,44	19,18	24,96	39,54	61,68	99,6	100
	Usvojena gr. kriva Y(%)	1	3	11	15	19	25	40	62	100	100

MARCO MESTROVIĆ 31/10/08

BEFORE A:

$$\begin{aligned}
 91a + 13b &= 34 \\
 9a + 84b + 16c &= 16 \\
 3b + 81c + 6d &= 23 \\
 a + b + c + d &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{cccc|cccc}
 91 & 13 & 0 & 0 & 34 & & & \\
 9 & 84 & 16 & 0 & 16 & & & \\
 0 & 3 & 81 & 6 & 23 & & & \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & 
 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccc|cccc}
 91 & 13 & 0 & 0 & 34 & & & \\
 9 & 84 & 16 & 0 & 16 & & & \\
 0 & 3 & 81 & 6 & 23 & & & \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & 
 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccc|cccc}
 91 & 13 & 0 & 0 & 34 & & & \\
 10,28 & 84,64 & 0 & 0 & 12,373 & & & \\
 -6 & -3 & 75 & 0 & 14 & & & \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & 
 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccc|cccc}
 85,421 & 0 & 0 & 0 & 32,1 & & & \\
 10,28 & 84,64 & 0 & 0 & 12,373 & & & \\
 -6 & -3 & 75 & 0 & 14 & & & \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & 
 \end{array}$$

$$a = 0,359 \Rightarrow 36\%$$

$$b = 0,103 \Rightarrow 10\%$$

$$c = 0,226 \Rightarrow 26\%$$

$$d = 0,278 \Rightarrow 28\%$$

BEFORE B

$$91a + 13b = 25$$

$$9a + 84b + 16c = 15$$

$$3b + 81c + 6d = 22$$

$$a + b + c + d = 1$$

$$\begin{array}{cccc|cccc}
 91 & 13 & 0 & 0 & 25 & & & \\
 9 & 84 & 16 & 0 & 15 & & & \\
 0 & 3 & 81 & 6 & 22 & & & \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & 
 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccc|cccc}
 91 & 13 & 0 & 0 & 25 & & & \\
 9 & 84 & 16 & 0 & 15 & & & \\
 -6 & -3 & 75 & 0 & 16 & & & \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & 
 \end{array}$$

$$\begin{array}{cccc|cccc}
 89,42 & 0 & 0 & 0 & 23,23 & & & \\
 10,28 & 84,64 & 0 & 0 & 14,586 & & & \\
 -6 & -3 & 75 & 0 & 16 & & & \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & 
 \end{array}$$

$$a = 0,226 \Rightarrow 26\%$$

$$b = 0,105 \Rightarrow 10\%$$

$$c = 0,288 \Rightarrow 29\%$$

$$d = 0,387 \Rightarrow 39\%$$

Tablica 15.1 - Osnovni parametri sastava

Oznaka betona	Marka betona (MB)	Standardna devijacija (MPa)	Konzistenc. (sleganje) - h cm	Granulometrijski sastav (prolazi kroz sito u %)			
				4 mm	8 mm	16 mm	31,5 mm
A	30	8,0 <del>5,0</del>	plastična 6-10	34-36	50-52	68-70 <del>73</del>	95-100
B	45	8,0 <del>5,0</del>	slabo plast. 2-5	24-26	38-40	60-62	94-100
C	45	8,0 <del>5,0</del>		24-26	38-40	60-62	93-100

## 15.2.3. Sračunavanje potrebne količine vode

$$m_v = \frac{K_0}{\sqrt[5]{D_{max}}} = \frac{K_0}{\sqrt[5]{31,5}} = \frac{K_0}{1,994} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Tablica 15.2 - Vrednosti koeficijenta  $K_0$ 

Konzistencija	rečni pesak i rečni šljunak	rečni pesak i drobljeni kamen	drobljeni agregat (sitan i krupan)
Kruta	< 330	< 350	< 400
Slabo plastična	330 - 350	350 - 375	400 - 430
Plastična	350 - 370	375 - 405	430 - 460
Tekuća	> 370	> 405	> 460

Za zadatu vrstu agregata (tač. B.1), biće:

beton A:  $K_0 = \underline{360}$ ;  $m_v = \underline{180,6}$  kg/m<sup>3</sup>  $\approx \underline{180}$  kg/m<sup>3</sup>

beton B:  $K_0 = \underline{320}$ ;  $m_v = \underline{165,5}$  kg/m<sup>3</sup>  $\approx \underline{165}$  kg/m<sup>3</sup>

Za beton C:

slučaj a) količina vode ista kao za beton B, a kao rezultat dobija se povoljnija konzistencija.

slučaj b) količinu vode smanjiti - probanjem, uz uslov da se zadrži (približno) ista konzistencija kao za beton B. U ovom slučaju, kao rezultat dobija se beton iste ugradljivosti ali većeg stepena kompaktnosti i veće čvrstoće.

Usvojen je slučaj A;  $m_v = \underline{165}$  kg/m<sup>3</sup>;

Konzistencija: TEKUĆA  $\Delta h = \underline{12-14}$  cm

### 15.2.4. Određivanje vodo-cementnog faktora (putem empirijskih obrazaca) i količine cementa

$$\text{Feret: } \omega = \frac{m_v}{m_c} = \frac{\gamma_{s,v}}{\gamma_{s,c}} \left( \sqrt{\frac{K_2}{\beta_k^{28}}} - 1 \right) = \frac{1,0}{3,0} \left( \sqrt{\frac{K_2}{\beta_k^{28}}} - 1 \right)$$

$$\text{Graff: } \omega = \frac{m_v}{m_c} = \sqrt{\frac{N}{A \cdot \beta_k^{28}}} \quad \begin{array}{l} A = 6-7, \text{ za dobre cemente} \\ A = 7-9, \text{ za slabe cemente} \end{array}$$

UMIŠKA  
POTR+10

$\beta_k^{28}$  - projektovana karakteristična čvrstoća:

$$\beta_k^{28} = MB + \tilde{\sigma} \quad (\text{MPa})$$

(Prema PBAB-87, kada  $\tilde{\sigma}$  nije poznato treba uzeti:  $\beta_k^{28} = f_{k,m} \geq MB + 8,0$  - u MPa)

Tablica 15.3 - Vrednosti koefijenta  $K_2$  i  $N$

Klasa cementa	25	<del>35</del> 32,5	<del>45</del> 42,5	<del>55</del> 52,5
$K_2$	179	250	321	393
N	40	50	60	1

Na osnovu sračunatog, odnosno usvojenog vodo-cementnog faktora ( $\omega$ ) i usvojene količine vode ( $m_v$ ) iz tač. B.3, određuje se i potrebna količina cementa ( $m_c$ ), naime:

$$m_c = \frac{m_v}{\omega} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Tablica 15.4 - Vrednosti vodo-cementnog faktora i količina (masa) cementa (klasa cementa 32,5;  $A =$  7)

Oznaka betona	MB	$\tilde{\sigma}$ (MPa)	$\beta_k^{28}$ (MPa)	Vodo-cementni faktor ( $\omega$ )			Količina cementa ( $m_c$ ) (kg/m <sup>3</sup> )
				po Feret-u	po Graff-u	Usvojen	
A	30	<del>8,6</del> 8,0	<del>36,0</del> 38,0	0,662 522	0,506 439	0,58 478	377 → 380
B	45	<del>8,5</del> 8,0	<del>50,0</del> 53,0	0,511 391	0,430 367	0,47 379	435
C	45	5,0	50,0	-	-	-	-

$$\omega \geq 0,4 \quad \frac{1}{\omega} = \frac{f_{k,28}}{A_1 \cdot f_{rc}} + 0,5 \quad A_1 = 0,55 - 0,65 \quad (0,6)$$

$$\omega \leq 0,4 \quad \frac{1}{\omega} = \frac{f_{k,28}}{A_2 \cdot f_{rc}} - 0,5 \quad A_2 = 0,37 - 0,43 \quad (0,4)$$

SKRAMTAJEV

$$M_a = \gamma_{sa} \left( 0,98 - \frac{m_c}{3000} - \frac{m_v}{1000} \right)$$

$$\frac{M_a}{\gamma_{sa}} + \frac{M_c}{\gamma_{gc}} + \frac{M_v}{\gamma_{gv}} + \frac{M_s}{\gamma_s} = 1$$

$\gamma_s = 1 \div 3 (\%)$  (2x) 86

### 15.2.5. Odredjivanje količine agregata

Količina (masa) agregata određuje se na osnovu ~~pretpostavljene zapreminske mase svežeg (ugrađenog) betona~~. **ЈЕДНАЧИНЕ ПО АПСОЛУТНИМ ЗАПРЕМИНАМА**

Iskustvene granice u kojima se kreće zapreminska masa svežeg betona, u slučaju rečnog ili krečnjačkog, drobljenog agregata, maksimalnog zrna  $D = 31,5$  mm, a u zavisnosti od projektovane marke betona MB, date su sledećom tablicom:

Tablica 15.5 - Iskustvene granice zapreminske mase svežeg betona

Marka betona	20	30	40	≥50
Zapreminska masa $\gamma_{b,sv} (\text{kg/m}^3)$	2300-2350	2350-2400	2400-2450	2450-2500

Za veličinu maksimalnog zrna agregata ispod 31,5 mm, usled veće potrebe za vodom (pri istoj konzistenciji), zapreminske mase treba pretpostaviti nešto niže; npr. za  $D = 16$  mm, za 20-25  $\text{kg/m}^3$  niže u odnosu na vrednosti iz tablice 15.5.

Iz poznate relacije (uz zanemarivanje mase aditiva):

$$\gamma_{b,sv} = m_c + m_v + m_a \quad (\text{kg/m}^3)$$

dobija se

$$m_a = \gamma_{b,sv} - (m_c + m_v) \quad (\text{kg/m}^3)$$

Kada je određena ukupna masa agregata  $m_a$ , potrebno je odrediti još i učešće pojedinih frakcija agregata u ukupnoj masi  $m_a$ . Učešće frakcija određuje se najčešće probanjem, na osnovu zadatog granulometrijskog sastava mešavine agregata i rezultata prosejavanja pojedinih frakcija.

Pregled pretpostavljenih zapreminskih masa svežeg betona i ukupnih količina agregata za sva 3 betona dat je u tablici 15.6 a procentualno učešće pojedinih frakcija sa proračunom linija mešavina agregata u okviru tabličnog pregleda ispod dijagrama na str. 83.

Tablica 15.6 - Zapreminske mase svežeg betona i količine agregata

Vrsta (oznaka) betona)	A	B	C
<del>Pretpostavljena</del> (20% u ukupnoj) $\gamma_{b,sv} (\text{kg/m}^3)$	2380	2410	
$m_a = \gamma_{b,sv} - (m_c + m_v)$ (kg/m <sup>3</sup> )	1820	1810	
Uvojeno $m_a (\text{kg/m}^3)$	1820	1810	

### 15.2.6. Količine sastojaka betona po apsolutnim zapreminama

ČI. 23 PBAB-87 predviđa da se u projektu betona količine pojedinih sastojaka: osim po masama, izračunaju i po apsolutnim zapreminama.

U tom cilju potrebno je raspolagati podacima o specifičnim masama sastojaka: cementa, vode i agregata.

U tablici 15.7 dat je pregled svih potrebnih veličina.

Tablica 15.7 - Pregled količina svih sastojaka betona

	cement	voda	agregat	aditiv	ukupno
Specifična masa $\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	3000	1000	2700	1020	
masa (kg/m <sup>3</sup> )	A	380	180	1820	2380
	B	435	165	1810	2410
	C				
apsolutna zapremina (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	A	0,127	0,180	0,670	0,973
	B	0,145	0,165	0,670	0,98
	C				

$$V_a = \frac{m_a}{\rho_s}$$

### 15.2.7. Vlažnost agregata i dozaža za beton

Ako je  $m_a$  masa suvog agregata iz tač. 15.2.5 a  $H_a$  njegova površinska vlažnost u %, tada u mešalicu mora da se dozira količina agregata:  $m_a' = m_a \left(1 + \frac{H_a}{100}\right)$  (kg/m<sup>3</sup>), dakle, količina uvećana za  $m_a \frac{H_a}{100}$ , dok se za istu vrednost mora da umanjati količina vode  $m_v$ , tj.

$$m_v' = m_v - m_a \frac{H_a}{100} \quad (\text{kg/m}^3)$$

*Reaktivna masa vode*

Za betone A, B i C, ovo se može odnositi samo na frakciju 1 (0/4 mm). U tablici 15.8 sračunaće se i upisati za sva 3 betona mase ove frakcije pri nekoliko različitih procenata vlažnosti.

U tablici 15.9 date su dozaže za sva 3 betona, prema utvrđenim količinama (ugradjenog) betona.

Tablica 15.8 - Količine (mase) frakcije 1 pri raznim procentima površinske vlažnosti

Površinska vlažnost $H_a$ (%)	$m_a' = m_a \left(1 + \frac{H_a}{100}\right)$ (kg/m <sup>3</sup> )		
	beton A	beton B	beton C
0	653,2	470,6	
2	668,3	480,01	
4	681,4	489,42	
6	694,5	498,84	
8	707,6	508,25	
10	720,7	517,66	
12	733,8	527,07	
14	746,9	536,48	
16	760,03	545,9	

$0,36 \cdot 1820 = 655,2$

$0,24 \cdot 1810 = 430,4$

Tablica 15.9 - Dozaže za betoni A, B i C

Vrsta i količina betona ( $V_b$ )		A: 0,03 m <sup>3</sup>		B: 0,02 m <sup>3</sup>		C: _____ m <sup>3</sup>	
		pojedinačno	zbirno	pojedinačno	zbirno	pojedinačno	zbirno
masa, agregata po redosledu doziranja frakcija $m_a$ (kg)	IV	15,288	15,288	14,48	14,48		
	III (IV+II)	14,196	29,484	8,688	23,168		
	II (IV+II+I)	5,46	34,944	3,62	26,788		
	I (IV+II+I+...)	19,656	54,6	9,412	36,2		
Masa cementa $m_c$ (kg)		11,4	66	8,7	44,9		
Masa vode $m_v$ (kg)		5,4	71,4	3,3	48,2		
Masa aditiva $m_{ad}$ (kg)		0	71,4	0	48,2		
Kontrola proračuna $\rho_{b,sv} = m_b/V_b = \sum m/V_b$ (kg/m <sup>3</sup> )			$\frac{714}{0,03} = 2380$		$\frac{482}{0,02} = 2410$		

UČESNIK, MASE (kg), ZA 20-987

VEŽBA BR. \_\_\_\_\_ DATUM POHADJANJA \_\_\_\_\_  
 POTPIS KANDIDATA \_\_\_\_\_ OVERA POHADJANJA \_\_\_\_\_  
 DATUM PRIHVATANJA VEŽBE \_\_\_\_\_ OVERA \_\_\_\_\_



Napomena: Kod sve četiri opisane metode, rezultat ispitivanja je prosečna vrednost merenja na 3 uzorka, uzeta od istog betona.

U tablici 16.1. dat je prikaz mera konzistencije sveže betonske mase, saglasno novom Pravilniku za beton i armirani beton.

U okviru ove vežbe i vežbe br. 17 potrebno je ispitati konzistenciju betona A, B i C prema svim gore navedenim metodama, a zatim dobijene rezultate uporediti sa kriterijumima iz tablice 16.1. radi definisanja tipova konzistencije kojim pripadaju pojedine vrste ispitivanih betonskih mešavina. Ovaj pregled rezultata prikazati tabelarno u okviru tablica 16.2 i 17.1.

Tablica 16.1

OPIS (GRANICE) KONZISTENCIJE	Mere konzistencije			
	VEBE (s)	SLEGANJE (cm)	RASPROSTIRANJE (cm)	MERA ZBIJANJA
KRUTA	$\geq 11$	0	-	$\geq 1.25$
SLABO PLASTIČNA	5-10	2-5	$< 40$	1.11-1.24
PLASTIČNA	2-4	6-10	40-50	1.04-1.10
TEKUĆA	$\leq 1$	11-18	50-65	$\leq 1.03$

Tablica 16.2

Beton A

MERA SLEGANJA	MERA RASPROSTIRANJA	VEBEOVI STEPENI ( $V_0 = 5.51$ )	MERA SLEGANJA VIBRIRANJEM
$\Delta h = 4$ cm $\Delta h_2 = 17$ cm Ispitni - SLABO PLASTIČNA II. SVIPI - TEKUĆA	$D_1 = 44$ cm, $D_2 = 44$ cm $\frac{D_1 + D_2}{2} = 44$ cm KPM: DODAT PLASTIFIKATOR PLASTIČNA	$V_1 = 1$ , $t = 4.5$ s $\Delta h =$ cm $\frac{V_1}{V_0} t = 4.5$ s SLABO PLASTIČNA KPM: BEO PLASTIFIKATOR	$\Delta h = 7.5$ cm $h = 40 - \Delta h = 32.5$ cm $40/h = 1.23$ SLABO PLASTIČNA

- kocka ivica 20 cm (ili 15 cm), za ispitivanje čvrstoće pri pritisku,
- cilindar  $d=15$  cm,  $H=30$  cm (ili 15 cm), za ispitivanje čvrstoće pri zatezanju,
- prizma  $10 \cdot 10 \cdot 40$  cm, za ispitivanje modula elastičnosti.

#### 16.4. ODREĐIVANJE ZAPREMINSKE MASE SVEŽEG BETONA

Zapreminska masa svežeg betona, koja se dobija neposredno pri proizvodnji betona ili na gradilištu, neposredno pre ugradjivanja, predstavlja vrlo pouzdan pokazatelj mnogih svojstava očvrslog betona. Što je ova zapreminska masa veća dobija se kompaktniji očvrslji beton, koga po pravilu karakteriše i visok nivo mehaničkih čvrstoća, vodonepropustljivosti, otpornosti na mraz i hemijske uticaje i dr.

Odredjuje se odmah nakon završetka izrade uzoraka, tako što se kalup sa spoljne strane dobro očisti od betona i izmeri masa uzorka, zajedno sa masom kalupa:

$$m_{uk} = m_b + m_k.$$

$$\gamma_{b,sv} = \frac{m_{uk} - m_k}{V_b} = \frac{m_b}{V_b} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$V_b$  - zapremina svežeg betona u kalupu.

Tablica 16.3 - Rezultati ispitivanja zapreminske mase očvrslog betona, za beton A

Oblik uzorka	Dimenzije uzorka (cm)	Oznaka uzorka	$m_k$ (kg)	$m_{uk}$ (kg)	$m_b$ (kg)	$V_b$ (dm <sup>3</sup> )	$\gamma_{b,sv}$ (kg/m <sup>3</sup> )
Kocka	20 × 20 × 20	/	19,1	38,3	19,2	8	2400
Cilindar							
Prizma							
$\bar{\gamma}_{b,sv}$							2400

$$\bar{\gamma}_{b,sv} = \frac{1}{3} \sum \gamma_{b,sv} = \frac{1}{3} \cdot 2400 = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\delta = \frac{\gamma_{b,sv}^{max} - \gamma_{b,sv}^{min}}{\bar{\gamma}_{b,sv}} \cdot 100 = \frac{|2380 - 2400|}{2400} \cdot 100 = 0,83\%$$

VEŽBA BR. \_\_\_\_\_ DATUM POHADJANJA \_\_\_\_\_

POTPIS KANDIDATA \_\_\_\_\_ OVERA POHADJANJA \_\_\_\_\_

DATUM PRIHVATANIA VEŽBE \_\_\_\_\_ OVERA \_\_\_\_\_



MESSENGER 11/10/08 3M/08

BELT A



cm

BELT B



rezultati ispitivanja betona A pri starosti od 7 dana, kao i rezultati ispitivanja sve 3 vrste betona pri starosti od 28 i 90 dana (dobijene sa identičnim mešavinama van časova vežbanja).

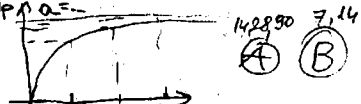
Tablica 18.3 - Rezultati ispitivanja čvrstoća pri pritisku

Vrsta betona	Oznaka betonske kocke	Starost betona (dana)	Stranica kocke (cm)	Masa kocke (kg)	Zapremin. masa $\rho_b$ (kg/m <sup>3</sup> )	Sila loma $F_{gr}$ (kN)	Čvrstoća pri pritisku $\beta_p$ (MPa)		$\frac{t}{\beta_p}$ $\frac{28}{\beta_p}$
							Ispitiv. kocke	Kocka ivica 20 cm	
A	1	7 <sup>14</sup>	15	8,0	2370	740	32,9	31,3	0,76
	2	(28)	15	7,97	2361	970	43,1	40,9	1
		90						45,1	1,10
B	1	(7)	15	8,09	2397	780	34,7	33	0,66
	2	28 <sup>(14)</sup>	15	8,04	2382	1050	46,7	44,4	0,89
		90						50,42	1,01
C		7							
		28							
		90							

### 18.2.2. Ispitivanje čvrstoće pri zatezanju

Ispitivanje čvrstoće betona pri zatezanju je složenije od ispitivanja čvrstoće pri pritisku. Razlozi za ovo leže, pre svega, u tome što je relativno teško prilikom ispitivanja obezbediti homogeno stanje napona zatezanja, a zatim i u relativno niskoj čvrstoći betona pri zatezanju (cca 8-15 puta nižoj od čvrstoće pri pritisku).

$$f_p = a(1 - e^{-bt}) \quad f_{pa} =$$



Čvrstoća betona pri zatezanju najčešće se ispituje na jedan od sledeća 3 načina:

- direktnim aksijalnim zatezanjem (sl. 18.2) - nije po JUS-u
- cepanjem putem linijskog pritiska (sl. 18.3) - JUS U.M1.022
- savijanjem (sl. 18.4) - JUS U.M1.010 ili JUS U.M1.011.

DE 700016  
CA 00E 120  
PRI 14; 28 m

Nakon loma prizme putem savijanja, delovi prizme mogu se upotrebiti i za ispitivanje čvrstoće pri pritisku betona, kao što je rečeno u tač. 17.2.1.

U okviru ove vežbe izvršiće se ispitivanje čvrstoće pri zatezanju betona A pri starosti od 14 dana i to:

- direktnim aksijalnim zatezanjem,
- cepanjem putem linijskog pritiska.

Na času će se dati i rezultati istih ispitivanja pri starosti betona od 7 odnosno 28 dana.

Rezultate ispitivanja potrebno je prikazati u vidu tabelarnog pregleda, u okviru tablice 18.4. Sračunati i koeficijent prirasta čvrstoće vremenom  $\beta_z^t / \beta_z^{28}$ , kao i odnos čvrstoća  $\beta_z / \beta_{zc}$ .

Tabela 18.4 - Rezultati ispitivanja čvrstoće pri zatezanju za beton A

Metoda ispitivanja	Starost pri ispitiv. (dana)	Uzorak (oblik i dimenzije)	Sila kidanja (cepanja) (kN)	Čvrstoća pri zatezanju (MPa)	$\frac{\beta_z}{\beta_{zc}}$	$\frac{\beta_z^t}{\beta_z^{28}}$
Direktno aksijalno zatezanje $\beta_z$	7		$Z_{gr} =$			
	14		$Z_{gr} =$			
	28		$Z_{gr} =$			
Zatezanje cepanjem $\beta_{zc}$	7		$P_{gr} =$			
	(14)	$\phi 15 \times 30$	$P_{gr} = 1304$	2,69		
	28		$P_{gr} =$			

VEŽBA BR. \_\_\_\_\_ DATUM POHADJANJA \_\_\_\_\_

POTPIS KANDIDATA \_\_\_\_\_ OVERA POHADJANJA \_\_\_\_\_

DATUM PRIHVATANJA VEŽBE \_\_\_\_\_ OVERA \_\_\_\_\_

koja se zatim može koristiti za ocenu čvrstoće na svim mernim mestima nedestruktivnog ispitivanja.

U okviru ove vežbe, radi ilustracije primene metode sklerometra i metode ultrazvuka za ocenu čvrstoće pri pritisku betona, potrebno je uraditi sledeće:

Na 3 posebno izradjene betonske kocke od jedne iste vrste betona\*) izvršiti ispitivanje obema metodama i to:

metodom sklerometra, sa po 20 očitavanja na svakoj kocki u preseccima ortogonalne mreže,

metodom ultrazvuka, na po 4 merna mesta u 2 medjusobno upravna pravca na svakoj kocki, upravna na pravac ugradjivanja betona.

Rezultate ispitivanja metodom sklerometra prikazati u okviru tablice 19.1, a rezultate ispitivanja metodom ultrazvuka u okviru tablice 19.2.

Nakon izvršenih merenja visina otkoka i brzina ultrazvuka na sve 3 kocke, izvršiti njihovo ispitivanje na pritisak, prema standardnom postupku. Rezultate ovog ispitivanja prikazati u okviru tablice 19.3.

Tablica 19.1 - Rezultati ispitivanja sklerometrom

Kocka broj	Pojedinačna očitavanja na mernom mestu br. h (mm)								Prosečna vrednost visine otkoka hsr (mm)
	1 2	3 4	5 6	7 8	9 10	11 12	13 14	15 16	
1	24	26	23	27	28	29	26	28	27,44
	26	28	28	26	28	30	26	30	
2	33	36	33	34	33	36	36	34	35
	36	37	39	35	37	37	34	35	
3	39	42	40	42	39	44	42	44	41,38
	39	41	43	39	44	38	44	42	

\*) iste vrste i količine cementa i agregata, a 3 različita  $\frac{m_v}{m_c}$  faktora.

Tablica 19.2 - Rezultati ispitivanja ultrazvukom

UZORAK KOČKA IVICE 15 CM

$V = \frac{15}{t}$

Kočka broj	Pojedinačna očitavanja na mernom mestu br. t ( $\mu\text{sec}$ )								Proščena vrednost očitavanja $t_{sr} (\mu\text{sec})$	Brzina ultrazvuka $V_{sr} (\text{m/sec})$
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	36,9	34,6	36,8	37,3	37	36,9	37,2	37,1	37,1	4043,13
2	33,5	33,4	33,3	33,1	35,2	34,3	34	35,2	34	4411,76
3	31,3	31,6	30,9	31,1	31,2	30,6	31,5	31,3	31,19	4809,23

$\frac{15 \cdot 10^{-2}}{31,19} = 4,80923$

Poredeći dobijene vrednosti visina otkoka  $h_{sr}$ , odnosno brzina ultrazvuka  $V_{sr}$ , respektivno, sa dobijenim vrednostima čvrstoće pri pritisku  $\beta_p$ , odrediti funkcionalne zavisnosti:

- a)  $\beta_p = \beta_p(h)$  u obliku  $\beta_p(h) = ah^2 + bh + c$
- b)  $\beta_p = \beta_p(V)$  u obliku  $\beta_p(V) = a_1 \cdot e^{b_1 \cdot V}$

Tablica 19.3 - Rezultati slobodnog ispitivanja kocki

KOČKA IVICE 15 CM

Kočka broj	Masa kocke $M(\text{kg})$	Zapreminska masa $\gamma_b (\text{kg/m}^3)$	Sila loma $P_{gr} (\text{kN})$	Čvrstoća pri pritisku $\beta_p (\text{MPa})$	
1	7,7	2284,48	730	32,44	30,818
2	7,9	2340,74	810	36	34,2
3	8,1	2400	1080	48	46,6

MCE 15cm      MCE 20cm

$\beta_p = \frac{P_{gr}}{A}$

Na osnovu dobijenih funkcionalnih zavisnosti odrediti na kraju i čvrstoće pri pritisku betona

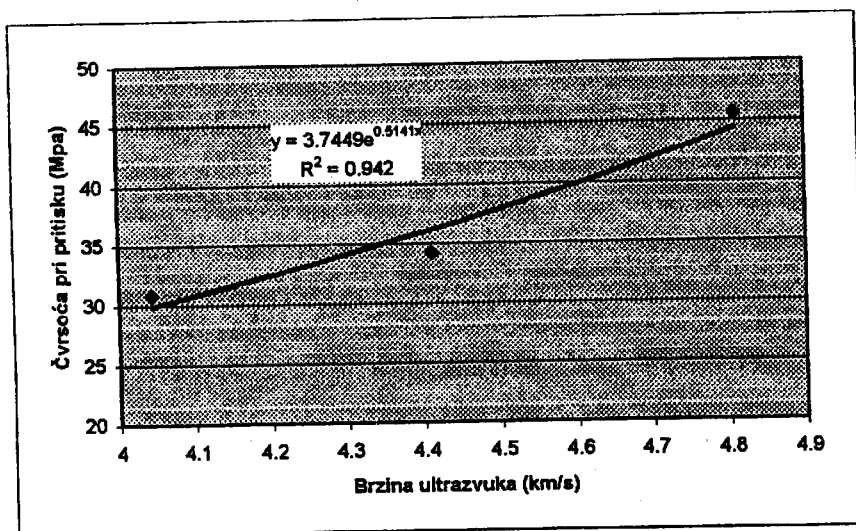
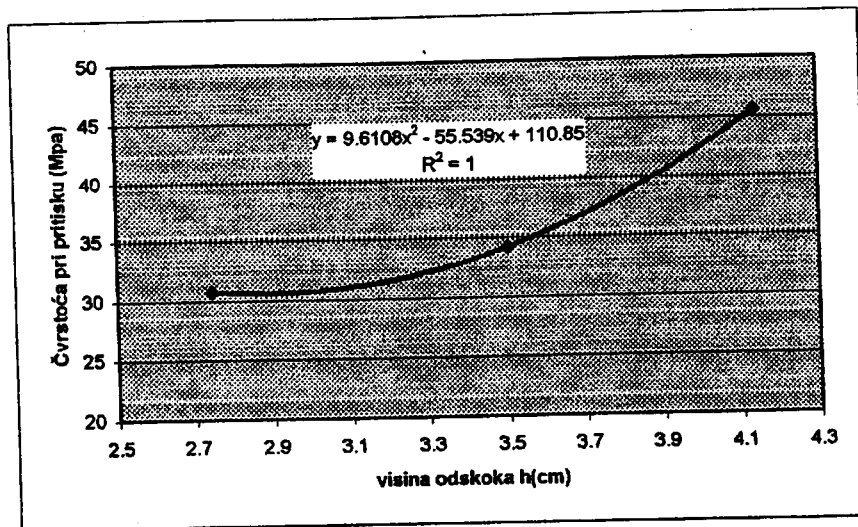
$$\beta_{p,m} = \beta_p(h_m) \quad \text{i} \quad \beta_{p,m} = \beta_p(V_m)$$

gde vrednosti  $h_m$  i  $V_m$  predstavljaju prosečne vrednosti visina otkoka i brzina ultrazvuka triju betonskih kocki.

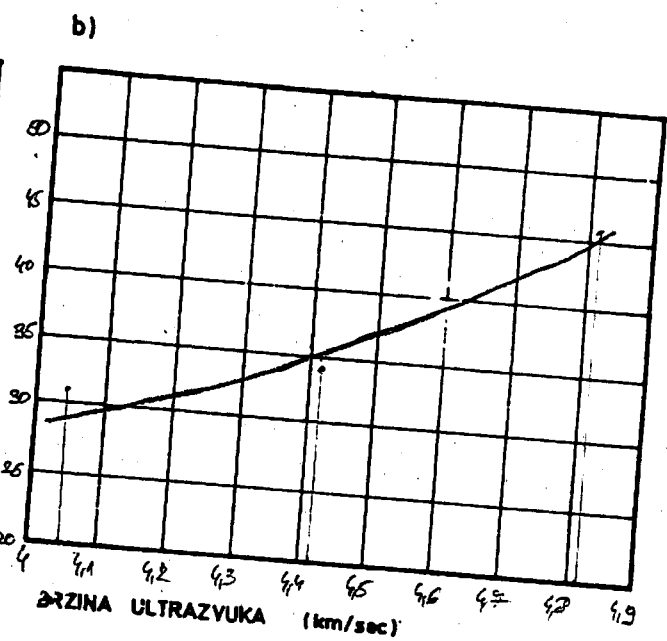
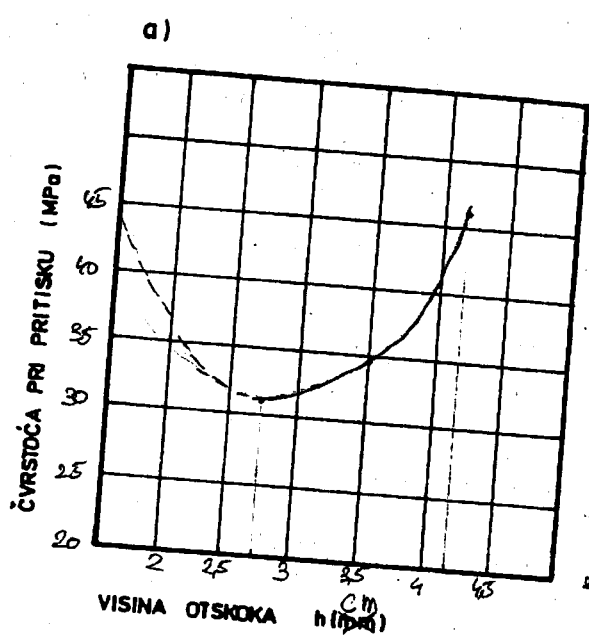
Kod sračunavanja funkcionalnih zavisnosti radi jednostavnosti izraza, brzine ultrazvuka izraziti u km/sec, a visine otkoka u cm, poredeći ih sa čvrstoćama pri pritisku u MPa. Sve potrebne podatke za sračunavanje konstanti  $a$ ,  $b$  i  $c$  odnosno  $a_1$  i  $b_1$ , kao i same konstante upisati u okviru tablice 19.4.



h [cm]	v [ km/s ]	$\beta_p$ [Mpa]
2.744	4.043	30.82
3.5	4.412	34.2
4.138	4.809	45.6



Funkcionalne zavisnosti  $\beta_p = \beta_p(h)$  i  $\beta_p = \beta_p(v)$  prikazati i grafički.



Tablica 19.4. Izmerene veličine i konstante korelacije

*locna 20*

i	h <sub>i</sub> (cm)	v <sub>i</sub> (km/s)	β <sub>p</sub> <sup>i</sup> (MPa)	β <sub>p</sub> (h) = a·i,2+bh+c			β <sub>p</sub> (v) = a <sub>1</sub> ·e <sup>b<sub>1</sub>V</sup>			β <sub>p</sub> (h <sub>m</sub> ) (MPa)	β <sub>p</sub> (v <sub>m</sub> ) (MPa)
				a	b	c	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	r <sup>2</sup>		
1	2,74	4,04	30,818	9,61	-55,54	110,85	3,7449	0,5141	0,994	33,75	36,36
2	3,5	4,41	34,2								
3	4,14	4,8	45,6								
Σ	10,38	13,25									

$h_m = 3,46$  cm;  $v_m = 4,42$  km/s

Napomene: 1)  $r^2 < 1$  - veličina koja karakteriše tačnost aproksimacije: što je bliža broju 1 - tačnost je veća.  
 2) Konstante a, b i c odnosno a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub> i r<sup>2</sup> izračunati korišćenjem odgovarajućih programa na personalnom kompjuteru

a)  $\beta_p(h) = 9,61 h^2 + (-55,54)h + 110,85$ ; b)  $\beta_p(v) = 3,74 e^{0,51 v}$

VEŽBA BR. \_\_\_\_\_ DATUM POHADJANJA \_\_\_\_\_  
 POTPIS KANDIDATA \_\_\_\_\_ OVERA POHADJANJA \_\_\_\_\_  
 DATUM PRIHVATANJA VEŽBE \_\_\_\_\_ OVERA \_\_\_\_\_

## 20.3. ISPITIVANJE I REZULTATI ISPITIVANJA

Postupak određivanja dilatacija iz registrovanih očitavanja instrumenata prikazati u obliku tablice 20.1 za podužni, odnosno tablice 20.2, za poprečni pravac. Koristeći podatke iz tablice 20.1 na str. 126 potrebno je u pogodno odabranoj razmeri nacrtati dijagram  $\sigma - \epsilon$ . Na istoj strani prikazati i postupak sračunavanja modula elastičnosti za podužni i poprečni pravac, a zatim i Poisson-ovog koeficijenta. *PRAMA: 12 x 12 x 36*

$$F_0 = 12 \times 12 = 144 \text{ cm}^2 \quad \text{Podaci mernih instrumenata ( } \rightarrow \mid \leftarrow \text{ ) :}$$

$$l_0 = 100 \text{ mm} \quad \text{- za podužni pravac} = \underline{0,001} \text{ mm}$$

$$l_{op} = \underline{\quad} \text{ mm} \quad \text{- za poprečni pravac} = \underline{\quad} \text{ mm}$$

$$\bar{\epsilon}_{\%} = \frac{\Delta l_{sr}}{l_0} 1000 = \frac{\Delta l_{sr}}{100} 1000 = \underline{\quad} \%$$

VREDNOST POSEBNA  
HILADITI DEO MM

$$\bar{\epsilon}_{pop\%} = \frac{\Delta l_{sr}}{l_{op}} 1000 = \frac{\Delta l_{sr}}{\quad} 1000 = \underline{\quad} \%$$

Tablica 20.1

Sila P (kN)	Napon $\sigma$ (MPa)	Čitanja na mernim instrumentima				R a z l i k e					Dilatacija $\bar{\epsilon}$ (%)
		$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$\Delta l_1$ (mm)	$\Delta l_2$ (mm)	$\Delta l_3$ (mm)	$\Delta l_4$ (mm)	$\Delta l_{sr}$ (mm)	
$A_0$ 7,2	0,5	25	24	25	28	0	0	0	0	0	0
$A_1$ 180	12,5	60	60	63	72	0,035	0,036	0,038	0,044	0,039	0,138
$B_0$ 7,2	0,5	27	26	28	30	0,002	0,002	0,003	0,002	0,0025	0,025
$A_2$ 180	12,5	71	66	70	82	0,046	0,042	0,045	0,054	0,047	0,147
$B_1$ 7,2	0,5	28	26	29	33	0,003	0,002	0,004	0,005	0,003	0,03

$\Delta l_{sr}$  je  
sve osu-  
pti za  
više od  
20% od  
od 1

$E_{uk}$   
 $E_{k}$

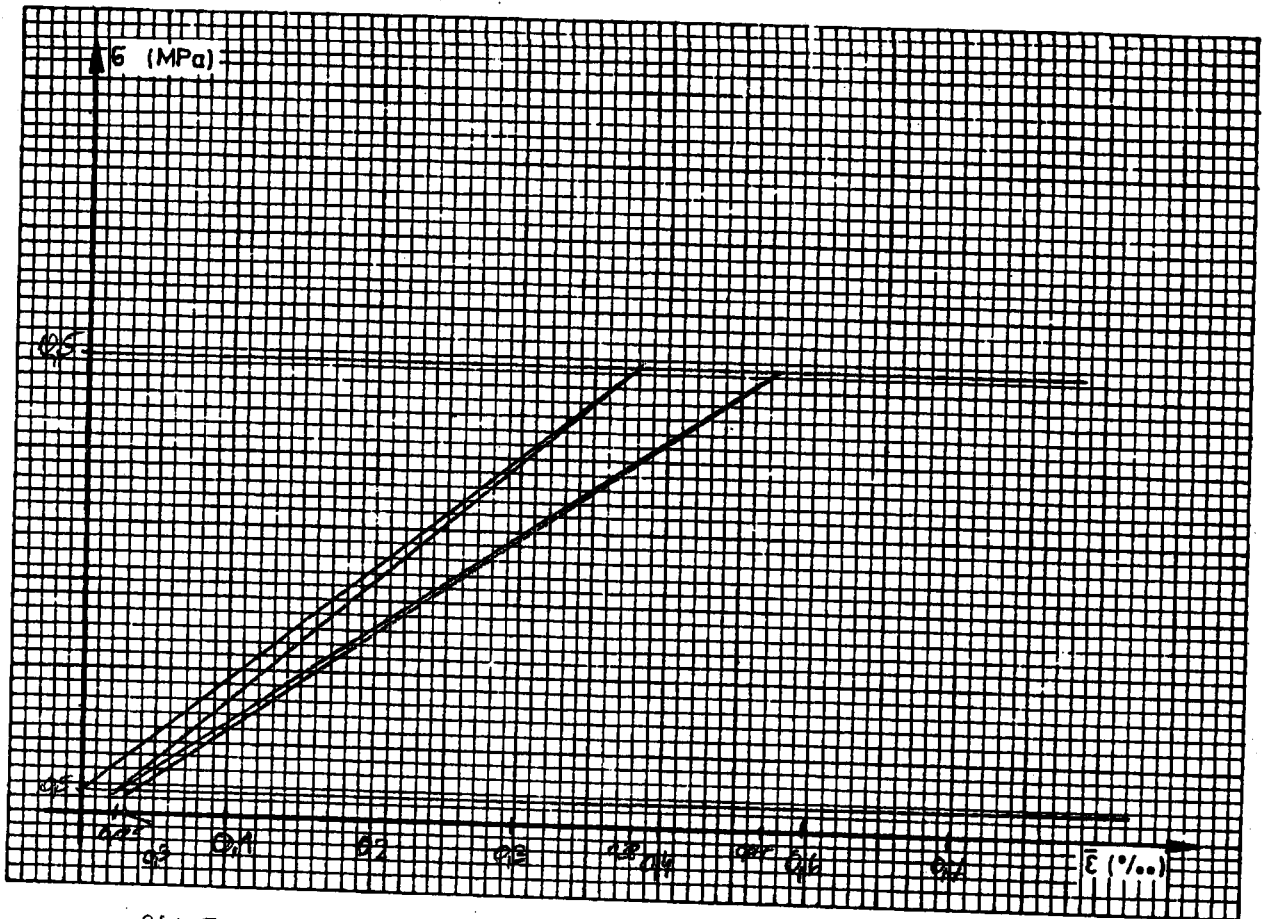
U ovim su  
stavcima  
de 20%

0,0025 od

Tablica 20.2

Sila P (kN)	Napon $\sigma$ (MPa)	Čitanja na mernim instrumentima		R a z l i k e			Dilatacija $\bar{\epsilon}_{pop}$ (%)
		$l_{p1}$	$l_{p2}$	$l_1$ (mm)	$l_2$ (mm)	$l_{sr}$ (mm)	

1 cm = 2 MPa



$$\sigma_m = \frac{37.5}{1} \text{ MPa}, \sigma_{m/3} = \frac{12.5}{1} \text{ MPa}$$

20 cm = 0.1 ‰

$$E = \frac{\sigma_b - \sigma_0}{\epsilon_{b1} - \epsilon_{b1}} = \frac{12.5 - 0.5}{0.44 \cdot 10^{-3}} = \frac{12}{0.44 \cdot 10^{-3}}$$

$$E = \frac{27.272}{1} \text{ MPa} = \frac{27.5}{1} \text{ GPa}$$

~~$$E_{pop} = \frac{\sigma_b - \sigma_0}{\epsilon_{pop}} = \dots$$~~

$$E_{pop} = \frac{136.360}{1} \text{ MPa} = \frac{136.4}{1} \text{ GPa}$$

$$\mu = \frac{E}{E_{pop}} = \frac{27.5}{0.47 \cdot 10^{-3}} = 0.2$$

$$E_{sec} = \frac{\sigma_{m,b}}{\epsilon_{m,b}} = \frac{12.5}{0.44 \cdot 10^{-3}} = 28.53 \text{ GPa}$$

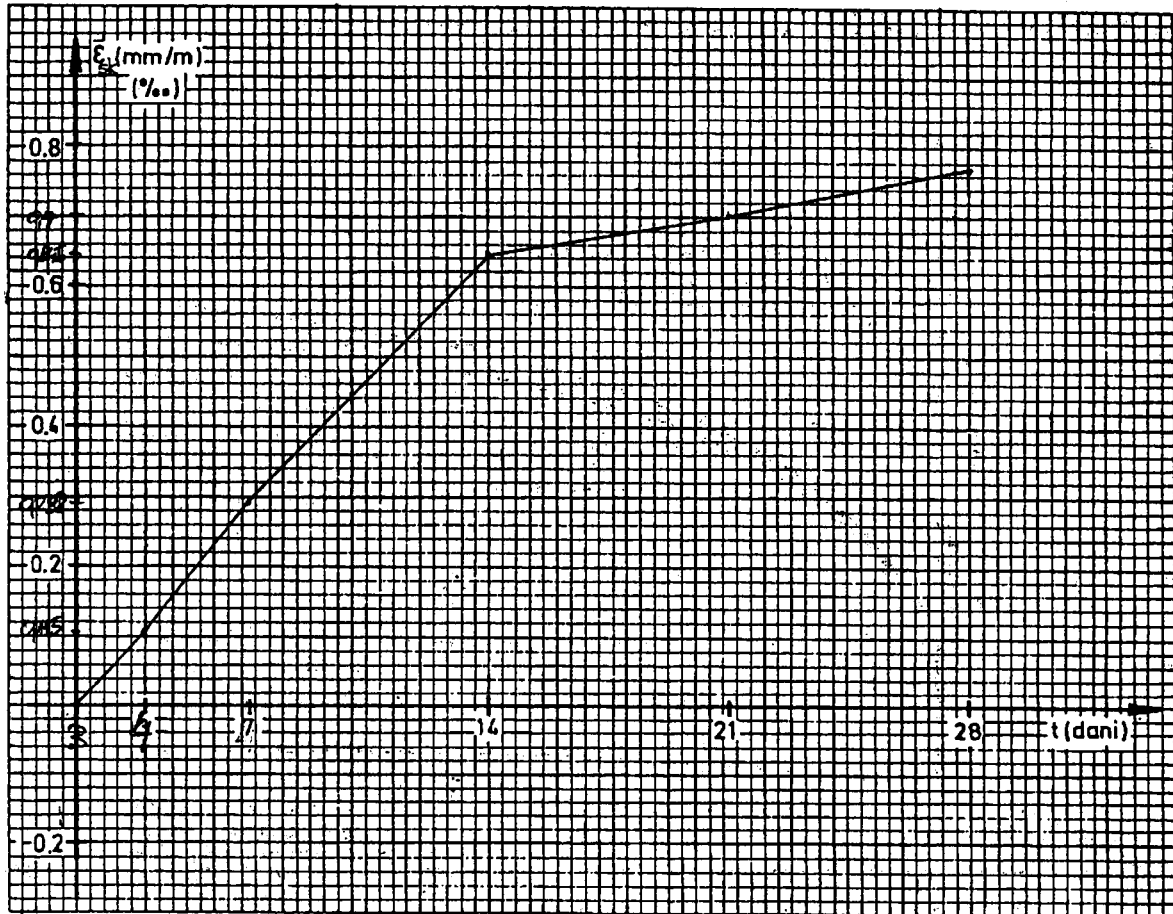
VEŽBA BR. \_\_\_\_\_ DATUM POHADJANJA \_\_\_\_\_

POTPIS KANDIDATA \_\_\_\_\_ OVERA POHADJANJA \_\_\_\_\_

DATUM PRIHVATANJA VEŽBE - \_\_\_\_\_ OVERA \_\_\_\_\_

Tabela 21.1

Starost u danim	Citanja na mernim instrumentima (mm)						R a z l i k e (mm)						Skupljanje $\epsilon_{sk}$ (%)			
	Uzorak 1		Uzorak 2		Uzorak 3		Uzorak 1		Uzorak 2		Uzorak 3		$\epsilon_{sk}$			
	$l_1$	$l_2$	$l_1$	$l_2$	$l_1$	$l_2$	$\Delta l_1$	$\Delta l_2$	$\Delta l_1$	$\Delta l_2$	$\Delta l_1$	$\Delta l_2$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	$\bar{\epsilon}$
3	2,443	2,672	2,374	2,363	2,400	2,525	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2,433	2,661	2,361	2,353	2,391	2,515	0,016	0,011	0,013	0,01	0,009	0,010	0,15	0,15	0,15	0,15
7	2,428	2,641	2,340	2,335	2,363	2,486	0,021	0,031	0,031	0,028	0,027	0,029	0,26	0,31	0,28	0,28
14	2,377	2,620	2,312	2,286	2,311	2,460	0,072	0,052	0,062	0,077	0,059	0,065	0,62	0,53	0,62	0,58
21	2,357	2,616	2,308	2,276	2,332	2,456	0,082	0,056	0,066	0,087	0,068	0,069	0,74	0,58	0,68	0,7
28	2,355	2,610	2,302	2,243	2,329	2,452	0,084	0,062	0,072	0,090	0,071	0,073	0,75	0,81	0,72	0,77



Tablica 21.2.

TABELA: REZULTATI ISPITIVANJA TEČENJA BETONA $t_k =$ dana														
Vreme od spravljanja betona t (dani)			$t_k + 1 \text{ min}$		$t_k + 3$		$t_k + 7$		$t_k + 14$		$t_k + 21$		$t_k + 28$	
Vreme od nanošenja opterećenja t' (dani), za $t \geq t_k$			1 min		3		7		14		21		28	
Oznake instrumenata			L	D	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D
Merenje ukupnih vremenskih deformacija	Čitanje na instrumentima U (t)	mm	1,192	2,200	1,228	2,228	1,273	2,251	1,278	2,283	1,288	1,287	1,290	2,293
	Razlike čitanja U(t) - U(tk)	mm	0	0	0,036	0,029	0,051	0,051	0,006	0,005	0,006	0,007	0,008	0,003
	Ukupne vremenske deformacije	mm	0	0	0,032	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066
	$\epsilon_{uk}^*(t, t_k) = \frac{U(t) - U(t_k)}{l_0}$	$\frac{\text{mm}}{\text{m}}$ (%)	0	0	0,32	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Merenje skupljanja posle nanošenja opterećenja	Čitanje na aparatu za skupljanje S(t)	mm	2,377	2,367	2,357	2,355	2,354	2,353						
			2,620	2,617	2,616	2,610	2,605	2,602						
			2,312	2,310	2,308	2,302	2,302	2,300						
			2,286	2,284	2,276	2,273	2,271	2,271						
			2,341	2,335	2,332	2,329	2,325	2,325						
			2,460	2,458	2,456	2,452	2,451	2,450						
	Razlike čitanja S(t) - S(tk)	mm	0	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02						
			0	0,003	0,004	0,01	0,015	0,018						
			0	0,002	0,004	0,01	0,01	0,012						
			0	0,005	0,01	0,013	0,015	0,015						
Skupljanje posle nanošenja opterećenja $\epsilon_{sk}^*(t, t_k) = \frac{S(t) - S(t_k)}{l_{0, sk}}$	$\frac{\text{mm}}{\text{m}}$ (%)	0	0,006	0,008	0,012	0,016	0,016							
		0	0,002	0,004	0,008	0,008	0,01							
Tečenje betona $\epsilon_{teč}(t, t_k) = \epsilon_{uk}^*(t, t_k) - \epsilon_{sk}^*(t, t_k)$	$\frac{\text{mm}}{\text{m}}$ (%)	0	0,2733	0,575	0,72	0,768	0,797							
Ukupne deformacije betona $\epsilon_{uk} = \epsilon_{sk}(t_k) + \epsilon_{tren}(t_k) + \epsilon_{uk}^*(t, t_k)$	$\frac{\text{mm}}{\text{m}}$ (%)	0,933	1,25	1,59	1,78	1,84	1,88							
Koeficijent tečenja $\varphi(t, t_k) = \frac{\epsilon_{teč}(t, t_k)}{\epsilon_{tren}(t_k)}$		0	0,939	2,017	2,526	2,685	2,796							

