

BETONI

Sadržaj

- *Uvod*
- *Materijali za izradu betona*
- *Svojstva svežeg betona*
- *Fizičko – mehanička svojstva očvrslog betona*
- *Reološka svojstva očvrslog betona*
- *Ispitivanja betona metodama bez razaranja*
- *Opšte osnove tehnologije betona*
- *Laki betoni*
- *Teški betoni*
- *Azbestno – cementni proizvodi*

BETONI – UVED

- ***BETON JE VEŠTAČKI KAMENI MATERIJAL, DOBIJEN OČVRŠĆAVANJEM MEŠAVINE NEKOG VEZIVNOG MATERIJALA I AGREGATA.***
- ***ZA RAZLIKU OD MALTERA, ZA KOJE SE KORISTI SAMO SITAN AGREGAT, KOD BETONA NEMA OGRANIČENJA U POGLEDU GORNJE GRANICE KRUPNOĆE ZRNA AGREGATA.***
- ***KAU VEZIVNI MATERIJALI KORISTE SE RAZNA MINERALNA VEZIVA (KREČ, GIPS, CEMENT), KAU I ORGANSKA VEZIVA (ASFALT, POLIMERI), TE SE MOŽE GOVORITI O KREČ-BETONU, GIPS-BETONU, CEMENT-BETONU, ASFALT-BETONU, POLIMER-BETONU.***

BETONI – UVOD

- *ŠTO SE AGREGATA TIČE, KORISTE SE AGREGATI VRLO RAZLIČITOG POREKLA, PRIRODNI I VEŠTAČKI: PRIRODNI ŠLJUNAK I PESAK, DROBLJEN KRUPAN I SITAN AGREGAT, ZGURE, EKSPANDIRANA GLINA, STRUGOTINA OD DRVETA I DR.*
- *MI ĆEMO SE U DALJEM OGRANIČITI SAMO NA BETONE KOD KOJIH JE VEZIVO CEMENT, KOJE BI FORMALNO POSMATRANO, TREBALO ZVATI “CEMENT-BETONI”. MEĐUTIM, U PRAKSI JE UOBIČAJENO DA SE BETONI NA BAZI CEMENTA ZOVU SAMO “BETONI”, PA ĆEMO SE I MI U DALJEM PRIDRŽAVATI TAKVOG STAVA.*

BETONI – UVOD

- *KAO NEOPHODNA KOMPONENTA ZA BETONE KOD KOJIH SE KAO VEZIVA KORISTE MINERALNA (NEORGANSKA) VEZIVA, DAKLE I CEMENT, JAVLJA SE I VODA.*
- *PORED AGREGATA, CEMENTA I VODE, U MEŠAVINI BETONA MOŽE DA BUDE PRISUTNA JOŠ JEDNA KOMPONENTA: HEMIJSKI I/ILI MINERALNI DODATAK (ADITIV).*
- *MEŠAVINA KOMPONENTNIH MATERIJALA ZA SPRAVLJANJE BETONA, SVE DOK NE OČVRSNE, NAZIVA SE “SVEŽ BETON” ILI “BETONSKA SMEŠA”.*

BETONI - UVOD

■ *OSNOVNA PODELA BETONA NAJČEŠĆE SE VRŠI NA BAZI KRITERIJUMA KOJI SE ZASNIVA NA VREDNOSTIMA ZAPREMINSKE MASE - γ :*

- *Laki betoni: $\gamma \leq 1900 \text{ kg/m}^3$,*
- *Obični betoni: $1900 \leq \gamma \leq 2500 \text{ kg/m}^3$,*
- *Teški betoni: $\gamma \geq 2500 \text{ kg/m}^3$.*

BETONI

Materijali za izradu betona



BETONI

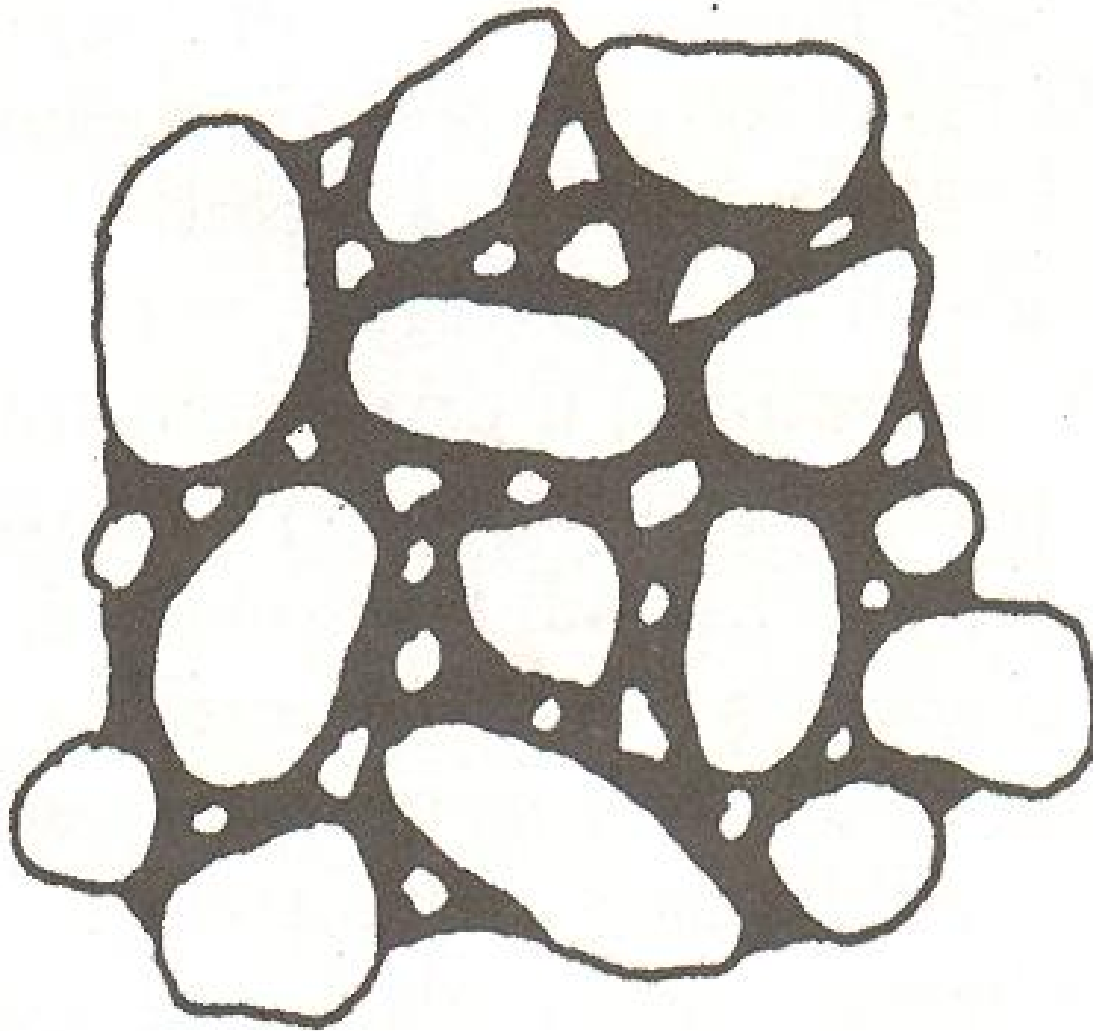
Materijali za izradu betona

AGEGAT KAO KOMPONENTA BETONA

- *Učestvuje sa 70 – 80 % u masi betona*
- *Ravnopravno se koriste:*
 - *Prirodni (rečni) šljunak i pesak (jeftiniji, povoljniji oblik zrna – ugradljivost i obradljivost)*
 - *Drobljeni krupan i sitan agregat (bolje povezivanje zrna – oštroivičnost, veća athezija sa cementnim kamenom)*
- *Štetni sastojci u agregatu: škriljci, lapori, serpentine, liskun, ugallj*
 - *Liskuna sme da ima najviše: 1%, odnosno 2% , za beton koji će biti stalno u vodi*
- *Reaktivni, alkalno – silikatni sastojci (amorfna silicija):*
 - *U krupnom agregatu < 5%*
 - *U sitnom agregatu < 0,5%*
- *Do alkalno – silikatne reakcije neće doći ukoliko je:*
 - *Sadržaj alkalija u cementu ($Na_2O + 0,658 K_2O < 0,6\%$ po masi)*

BETONI

Materijali za izradu betona



*AGEGAT KAO
KOMPONENTA
BETONA*

BETONI

Materijali za izradu betona

AGEGAT KAO KOMPONENTA BETONA

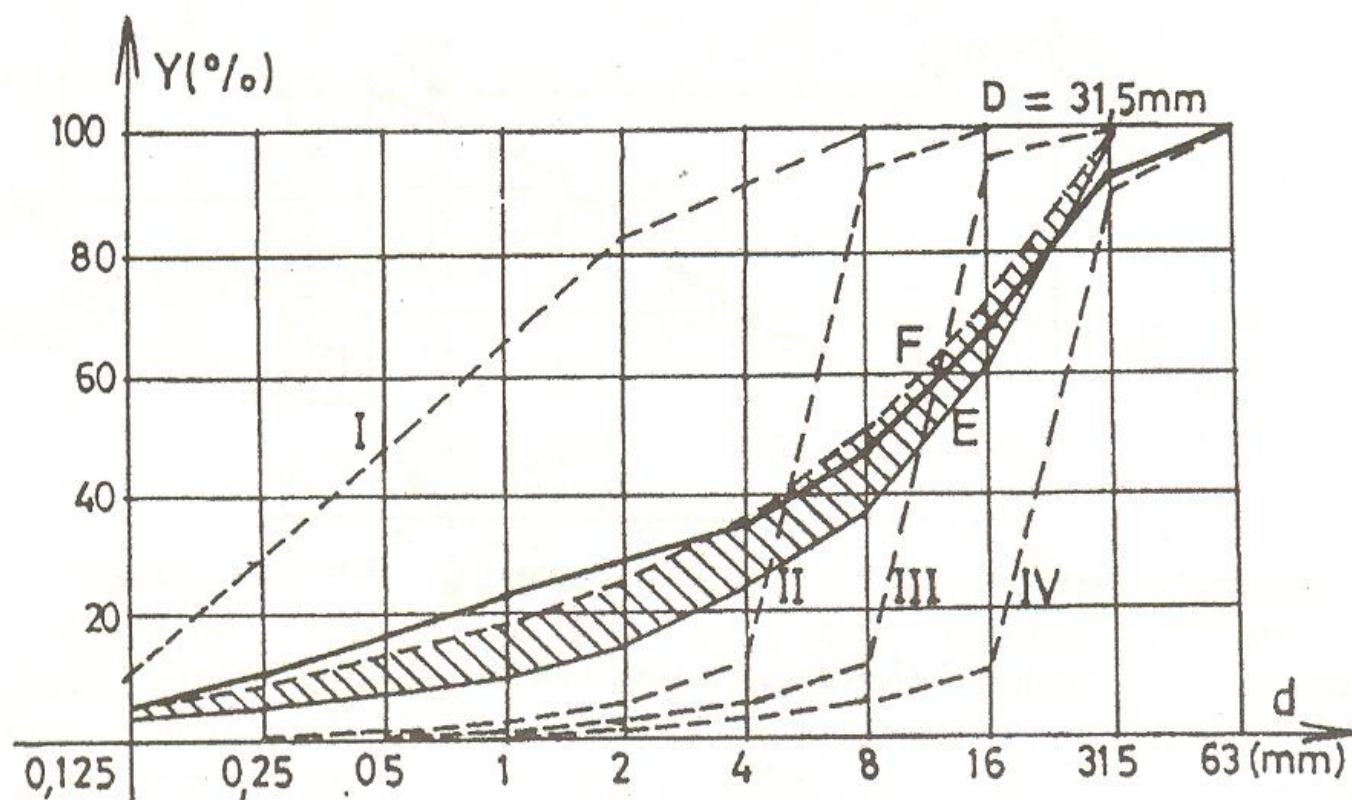


53 mm

BETONI

Materijali za izradu betona

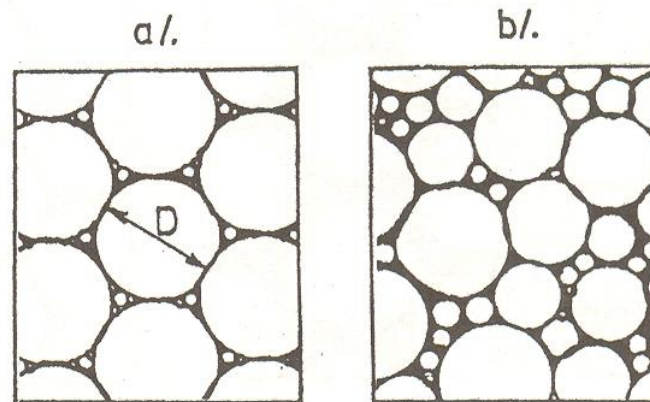
AGEGAT KAO KOMPONENTA BETONA



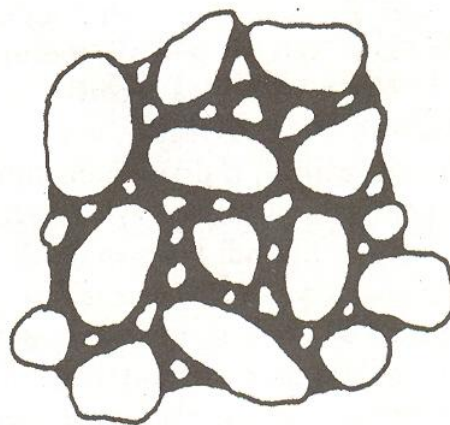
Slika 1.8 Granulometrijska kriva agregata sastavljenog od četiri frakcije.

BETONI

Materijali za izradu betona



Slika 1.4 Strukture betona sa višefrakcijskim idealno loptastim agregatom.



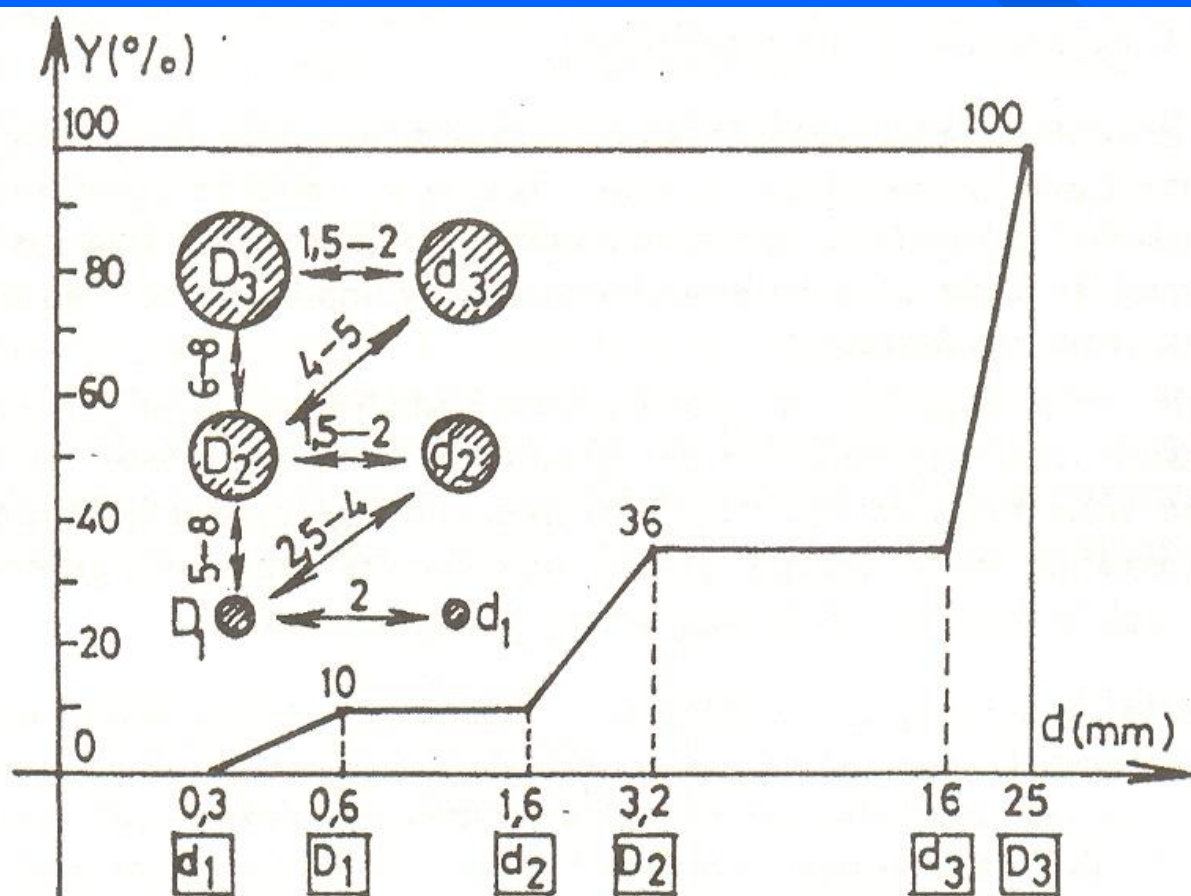
Slika 1.5 "Pakovanje" zrna realnog agregata.

**AGEGAT KAO
KOMPONENTA
BETONA**

BETONI

Materijali za izradu betona

AGEGAT KAO KOMPONENTA BETONA

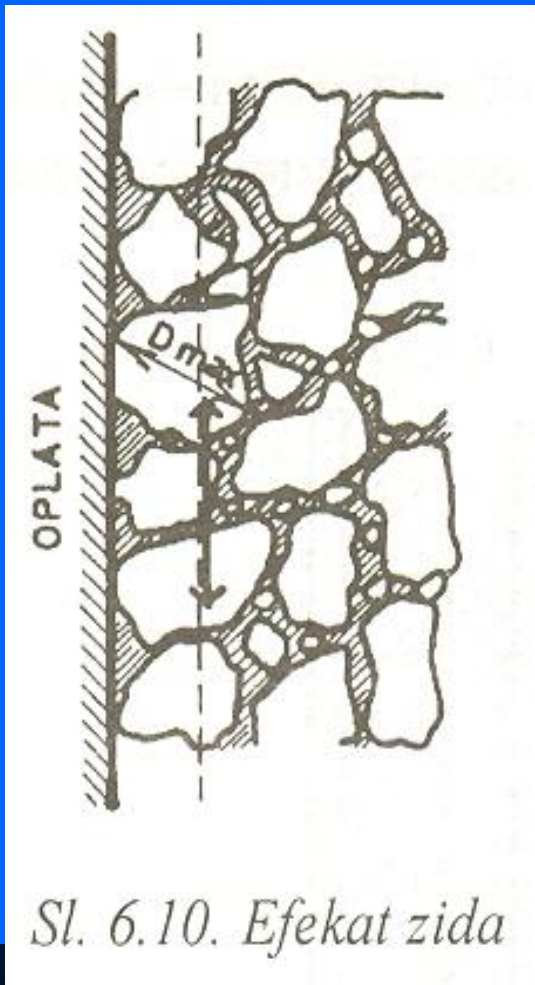


Slika 1.10 Valetova diskontinualna granulometrijska kompozicija agregata.

BETONI

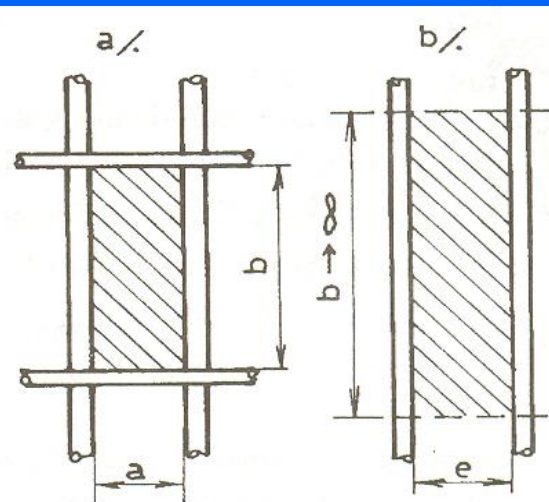
Materijali za izadu betona

AGEGAT KAO KOMPONENTA BETONA



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

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



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

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

$$E_z = 0,8 - 1,0 \quad (E_z = 0,9)$$

$$\Rightarrow D_{\max} \leq 0,9 R$$

$$E_r \leq 1,4 \text{ za rečni agregat}$$

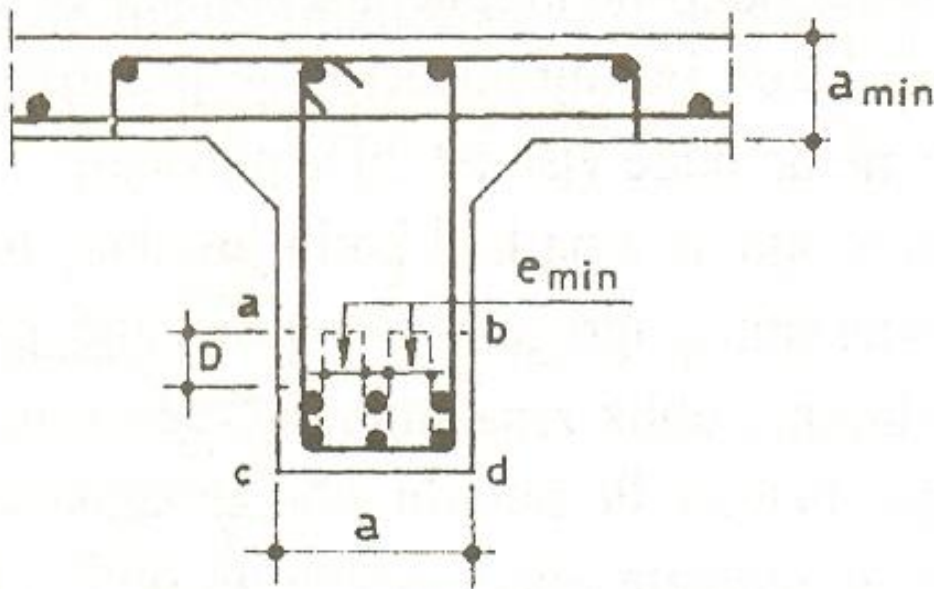
$$E_r \leq 1,2 \text{ za drobljeni agregat}$$

$$\Rightarrow D_{\max} \leq 1,4 \rho \quad (D_{\max} \leq 1,2 \rho)$$

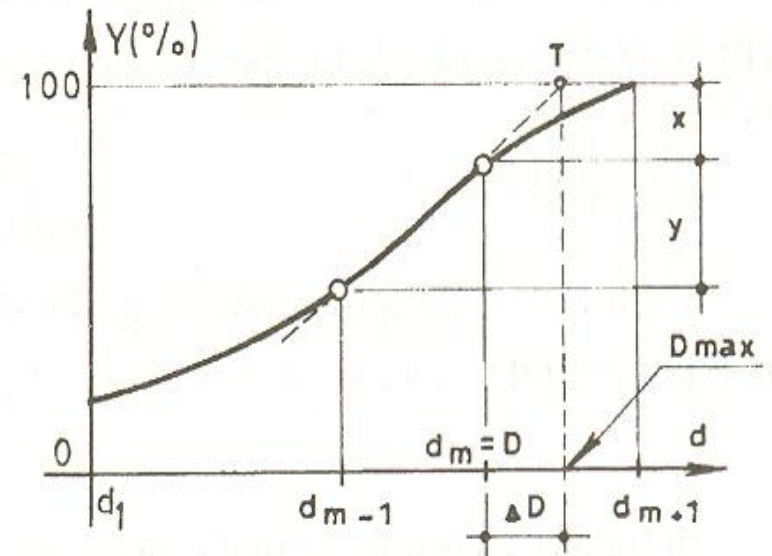
BETONI

Materijali za izradu betona

AGEGAT KAO KOMPONENTA BETONA



Sl. 6.7. Elementi za definisanje zrna veličine D



Sl. 6.8. Određivanje zrna veličine D_{max}

$$D \leq a_{min} / 3; D \leq a / 4; D \leq 1,25 e_{min}$$

$$D_{max} = D + \Delta D = d_m + (d_m - d_{m-1}) x / y$$

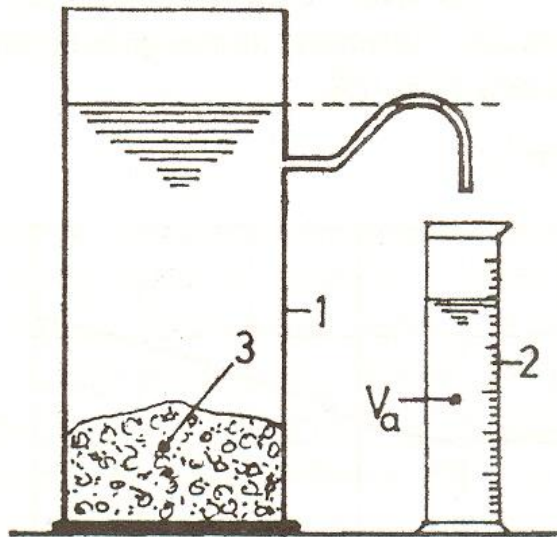
BETONI

Materijali za izradu betona

AGEGAT KAO KOMPONENTA BETONA

Vlažnost agregata i njeno određivanje

- S obzirom na značaj vodocementnog faktora u proizvodnji betona, vlažnost agregata mora biti uzeta u obzir prilikom doziranja. Kako uobičajeni postupak određivanja vlažnosti – putem sušenja do konstantne mase dugo traje, potrebno je primeniti mnogo brži postupak – putem sifonskog suda.



Slika 1.12 Postupak određivanja površinske vlažnosti agregata.

- Postupak podrazumeva određivanje mase vlažnog agregata M_{av} vagom, a zatim njegove zapremine V_{av} pomoću sifonskog suda i menzure (v. sliku).

(γ_{za} je prethodno određeno za čitavu isporuku agregata).

$$H_a = \frac{V_{av} - \frac{M_{av}}{\gamma_{za}}}{\frac{M_{av}}{\gamma_v} - V_{av}} \cdot 100 \quad [\%]$$

BETONI

Materijali za izradu betona

CEMENT KAO KOMPONENTA BETONA

- *Učestvuje u betonu sa svega 10 – 20 % po masi, ali ima vrlo veliki uticaj na svojstva betona.*
- *Izbor cementa treba vršiti na osnovu njegovih sledećih svojstava:*
 - *Čvrstoća i brzina rasta čvrstoće (klasa cementa)*
 - *Toplota hidratacije*
 - *Hemijska otpornost*
- *Cemente sa dodatkom pucolana ili sa mešanim dodatkom koristiti samo za konstrukcije u vlažnoj sredini*

BETONI

Materijali za izradu betona

CEMENT KAO KOMPONENTA BETONA

■ *Minimalne količine cementa za armiranobetonske konstrukcije:*

- 250 kg/m³, za beton koji nije izložen atmosferilijama,
- 300 kg/m³, za beton koji je izložen atmosferilijama,
- 350 kg/m³, za beton izložen agresivnim uticajima.

■ *Minimalna količina cementa u funkciji nominalno najkrupnijeg zrna agregata:*

- $\min m_c = 550 / \sqrt[5]{D}$ kg/m³, odnosno
- $\min m_c = 700 / \sqrt[5]{D}$ kg/m³, ako se radi o betonu izloženom hemijskoj agresiji

■ *U praksi, količina cementa se najčešće kreće u granicama 300 – 400 kg/m³*

BETONI - Materijali za izradu betona

Cement kao komponenta betona

Tabela 1 - Vrste cementa i njihov sastav (JUS B.C1.011 - 2000)

Sadržaj u procentima mase [% (m/m)]¹⁾

Vrsta cem.	Tip cementa		Glavni sastojci cementa						
			Klinker	Zgura	Pucolani		Veštački pucolani (leteći pepeo)		Kreč- njak
	Naziv	Oznaka	K	S	Priro- dni P	Aktivi- rani Q	Silika tni V	Karbo- natni W	L
CEM I	Portl. cem.	PC	95-100	-	-	-	-	-	-
CEM II	Portl. cem. sa dod. zg.	PC 20S	80-94	6-20	-	-	-	-	-
		PC 35S	65-79	21-35	-	-	-	-	-
	Portl. cem. sa dodat. prir. puc.	PC 20P	80-94	-	6-20	-	-	-	-
		PC 35P	65-79	-	21-35	-	-	-	-
		PC 20Q	80-94	-	-	6-20	-	-	-
		PC 35Q	65-79	-	-	21-35	-	-	-
	Portl. cem. sa dodat. vešt. pucol. (let. pepela)	PC 20V	80-94	-	-	-	6-20	-	-
		PC 35V	65-79	-	-	-	21-35	-	-
		PC 20W	80-94	-	-	-	-	6-20	-
		PC 35W	65-79	-	-	-	-	21-35	-
	Por. cem. sa dod.kreč.	PC 20L	80-94	-	-	-	-	-	6-20
		PC 35L	65-79	-	-	-	-	-	21-35
CEM III	Metalurški cement	PC 20M	80-94	←----- 6-20 -----→					
		PC35M	65-79	←----- 21-35 -----→					
CEM IV	Pucolanski cement	M 35K	35-64	36-65	-	-	-	-	-
		M 20K	20-34	66-80	-	-	-	-	-
		M 5K	5-19	81-95	-	-	-	-	-
CEM V	Kompozitni cement	P 35	65-89	-	←----- 11-35 -----→				-
		P 55	45-64	-	←----- 36-55 -----→				-
CEM V	Kompozitni cement	MP 30	40-64	18-30	←----- 18-30 -----→			-	-
		MP 50	20-38	31-50	←----- 31-50 -----→			-	-

BETONI

Materijali za izradu betona

Cement kao komponenta betona

Tabela 2 - Mehanička svojstva - Zahtevi kvaliteta

Klasa		Najmanja čvrstoća (MPa)		
		Početna čvrstoća		Standardna čvrstoća
		posle 2 dana	posle 7 dana	posle 28 dana
32,5	N	-	14,0	30,0
	R	8,0	- ¹⁾	
42,5	N	8,0	- ¹⁾	40,0
	R	18,0	- ¹⁾	
52,5	N	18,0	- ¹⁾	50,0
	R	28,0	- ¹⁾	

¹⁾ Ne utvrđuje se, ali se ispituje i rezultati se navode u izveštaju

BETONI

Materijali za izradu betona

Cement kao komponenta betona

Tabela 3 - Najvažnija fizička svojstva cementa - uslovi kvaliteta

Svojstvo		Vrsta cementa	Klasa čvrstoće	Zahtevi kvaliteta
Finoća mliva (ostatak na situ)		sve vrste	sve klase	$\leq 10 \%$
Specifična površina		sve vrste	sve klase	$\geq 2400 \text{ cm}^2/\text{g}$
Vreme vezivanja	Početak	sve vrste	32,5 N	$\geq 60 \text{ min}$
			32,5 R	
			42,5 N	$\geq 50 \text{ min}$
			42,5 R	
			52,5 N	$\geq 40 \text{ min}$
			52,5 R	
	Kraj	sve vrste	sve klase	$\leq 10 \text{ sati}$
Postojanost zapremine	Le Shatelier	sve vrste	sve klase	$\leq 10 \text{ mm}$
	Kolačići	sve vrste	sve klase	postojan ¹⁾

¹⁾ Cement je postojane zapremine ako nema pojava radijalnih i mrežastih pukotina, krivljenja, mrvljenja, raspadanja, vitoperenja

BETONI

Materijali za izradu betona

Voda kao komponenta betona

- *Voda kao komponenta učestvuje u betonu sa 5 – 10 % po masi.*
- *Voda za spravljanje betona ne sme da sadrži:*
 - *Sastojke koji utiču na proces hidratacije cementa*
 - *Sastojke uzročnike korozije armature u armiranobetonskim konstrukcijama*
- *Ovi sastojci mogu da budu:*
 - *Rastvoreni u vodi*
 - *U vidu čvrstih, suspendovanih primesa (muljevite, blatne, glinene, drvene, ugljene čestice i dr.)*

BETONI

Materijali za izradu betona

Voda kao komponenta betona

- *Voda je podobna za izradu betona ako je:*
 - *Vodonikov pokazatelj (pH) 4,5 – 9,5*
 - *Sulfatnih jona manje od 2700 mg/l*
 - *Hloridnih jona manje od 300 mg/l*
 - *Indeks organskih sastojaka manji od 200 mg/l*
 - *Ukupno rastvorenih soli manje od 5000 mg/l (ne odnosi se na morsku vodu)*
- *Obična voda za piće: bez posebnih dokaza o podobnosti*
- *Morska voda: Može se upotrebiti za spravljanje betona za nearmirane konstrukcije (izuzev kod primene AC)*

BETONI

Materijali za izradu betona

Aditivi (dodaci) kao komponenta betona Dovde,25.09.07.

- *Aditivi (dodaci) su neobavezna, četvrta komponenta betona, kojom se, dodavanjem betonu prilikom spravljanja u vrlo maloj količini, mogu poboljšati neka svojstva svežeg i/ili očvrslog betona.*
- *U opštem slučaju, najčešće se radi o sledećim vrstama aditiva (dodataka):*
 - *Plastifikatori (superplastifikatori),*
 - *Aeranti (uvlačivači vazduha),*
 - *Akceleratori (ubrzivači vezivanja i/ili očvršćavanja),*
 - *Retarderi (usporivači vezivanja),*
 - *Zaptivači,*
 - *Antifrizi (dodaci za betoniranje na niskim temperaturama).*

BETONI

Materijali za izradu betona

Aditivi (dodaci) kao komponenta betona

■ *Plastifikatori (superplastifikatori):*

- *Fino dispergovani materijali–bentonit, EF–pepeo, pucolani i dr.*
- *Površinski aktivne supstance, koje u svežem betonu deluju kao svojevrsna “maziva” – obavijaju zrnca cementa, stvarajući oko njih tanke opne, usled čega se značajno smanjuje trenje u masi*

■ *Superplastifikatori u obliku površinski aktivnih supstanci danas imaju vrlo široku primenu, pri čemu se njihovim dodavanjem svežem betonu:*

- *Snižava viskozitet, tj. poboljšava ugradljivost i obradljivost, ne menjajući pritom količinu vode u betonu, ili*
- *Omogućava značajno smanjenje količine vode (HRWRA) bez promene viskoziteta (ugradljivosti i obradljivosti) betonske smeše*

BETONI

Materijali za izradu betona

Aditivi (dodaci) kao komponenta betona

■ *Aeranti (uvlačivači vazduha):*

- *U strukturi betona formiraju fine mehuriće (globule) vazduha reda veličine 0,01 – 0,3 mm, ravnomerno raspoređene u masi cement – nog kamena, na međusobnim rastojanjima do 0,25 mm.*
- *Ovakva struktura betona uslovljava povećanje otpornosti očvrslog betona na dejstvo mraza, jer “uvučeni” mehurići prekidaju mrežu finih kapilara u cem. kamenu, čime se, sa jedne strane smanjuje upijanje vode, a sa druge strane dobija prostor (za oko 20% rezervne zapremine pora) za širenje leda, čime se eliminišu unutrašnji naponi, koji dovode do destrukcije očvrslog betona*
- *Optimalni procenat uvučenog vazduha obično iznosi 4–6% u odnosu na ukupnu zapreminu betona, čime se ne smanjuje čvrstoća betona, pošto uvučeni mehurići igraju i ulogu plastifikatora (smanjenje količine vode)*

BETONI

Materijali za izradu betona

Aditivi (dodaci) kao komponenta betona

■ *Akcelertori (ubrzivači vezivanja i/ili očvršćavanja):*

- *Najpoznatiji i najčešće primenjivan ubrzivač je, nsumnjivo, CaCl_2 , koji ne utiče bitno na vezivanje cementa, ali u značajnoj meri ubrzava proces očvršćavanja cementa. U količini od samo 0,2% u odnosu na masu cementa omogućava brzi rast čvrstoće u prvih 7 dana, dok pri dozi od 2% ponekad omogućava da se nakon 7 dana dobiju 28-dnevne čvrstoće*
- *Kako joni hlorida, kao što je već ranije naglašavano, veoma ozbiljno utiču na koroziju čelične armature u betonu, u novije vreme koriste se bezhlorni aditivi ubrzivači, koji takođe doprinose brzom rastu čvrstoće*
- *Razume se da je prevashodna primena ove vrste aditiva prilikom betoniranja pri niskim temperaturama*

BETONI

Materijali za izradu betona

Aditivi (dodaci) kao komponenta betona

■ *Retarderi (usporivači vezivanja):*

- *Retarderi deluju na taj način što oko zrna cementa stvaraju opne koje sprečavaju brzo odvijanje hemijskih reakcija na relaciji cement – voda*
- *Najpoznatiji i najrašireniji usporivač je sadra $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o kojoj je već bilo reči u poglavlju Mineralna (neorganska) veziva*
- *Pored sadre, kao retarderi se koriste i dekstrin, razne vrste šećera (glikoza, saharoza), glicerin, oksidi cinka, olova i dr. Treba napomenuti da se ove materije dodaju u vrlo malim količinama, reda veličine 0,1% i da postoje takvi aditivi koji do određenog procenta deluju kao usporivači, dok pri većim količinama kao ubrzivači vezivanja cementa*
- *Primena retardera dolazi u obzir pri betoniranju na visokim temperaturama, pri transportovanju betona na dužim relacijama, u situacijama koje nalažu izvođenje betoniranja bez prekida i slično*

BETONI

Materijali za izradu betona

Aditivi (dodaci) kao komponenta betona

■ *Zaptivači:*

- *Sastav aditiva zaptivača tako je podešen da se nakon njihove reakcije sa klinker mineralima dobijaju produkti koji zaptivaju kapilarne pore u cementnom kamenu. Na taj način se povećava stepen vodonepropustljivosti očvrslog betona (ako je m_v/m_c faktor dovoljno nizak, nisu potrebni!)*
- *Dobijaju se na bazi masnih kiselona, a upotrebljavaju u obliku emulzija ili smolastih bitumenoznih formulacija*

■ *Antifrizi*

- *Antifrizi su sredstva protiv zamrzavanja svežeg betona – deluju tako što snižavaju tačku smrzavanja vode u njemu*
- *Njihovom upotrebom omogućava se izvođenje betonskih radova i na temperaturama nižim od 0°C (CaCl_2 , natrijum nitrat, NaCl (kuh. so) i dr.*
- *U slučaju nearmiranih konstrukcija primenjuju se u dozama i do 10%*

BETONI

Materijali za izradu betona

Aditivi (dodaci) kao komponenta betona

- *Danas na tržištu postoji vrlo veliki asortiman aditiva i oni uglavom nose različita trgovačka imena*
- *Uz ove aditive idu i prospekti u kojima se daju uslovi primene i doziranja. Ovi uslovi se, međutim, uglavnom odnose na primenu sa čistim PC, a kako se čist PC kod nas primenjuje u vrlo ograničenim količinama, svaki od aditiva treba ispitati sa onim cementom sa kojim će se primenjivati*
- *Kad je reč o aditivima plastifikatorima (superplastifikatorima), ubrzivačima, a posebno aditivima usporivačima, u cilju određivanja njihovih potrebnih doza, osim laboratorijskih ispitivanja, potrebno je vršiti i ispitivanja u realnim uslovima, na realnim temperaturama*

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Sadržaj poglavlja *Dovde, 01.10.07*

■ *Reološka svojstva*

■ *Tenološka svojstva:*

- *Konzistencija*
- *Raslojavanje*
- *Ugradljivost i obradljivost*

■ *Ostala svojstva:*

- *Zapreminska masa*
- *Mehanička otpornost*
- *Procenat uvučenog vazduha*
- *Vreme vezivanja (vreme ugradljivosti i obradljivosti) betona*
- *Horizontalni pritisak na oplatu*

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Reološka svojstva

- *Svojstva očvrslog betona u velikoj meri zavise od stepena zbijenosti svežeg betona, koja se ostvaruje tokom procesa ugrađivanja i završne obrade. ova svojstva, dakle, bitno zavise i od tehnoloških postupaka koji se primenjuju prilikom ugrađivanja i završne obrade betona.*
- *Kvalitetno ugrađivanje i završna obrada, koji se izvode uz primenu određenog postupka zbijanja (kompaktiranja), generalno posmatrano, zavise od reoloških svojstava betonske smeše.*

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Reološka svojstva

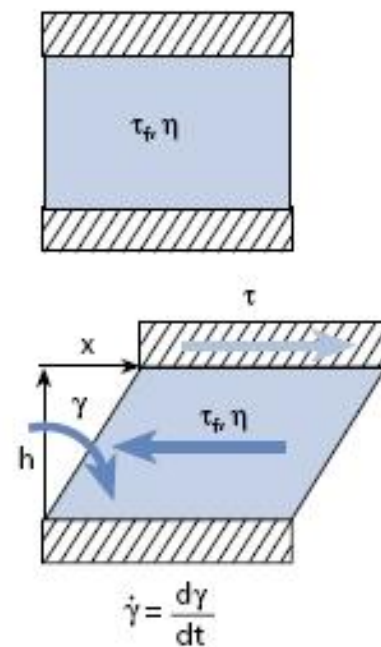
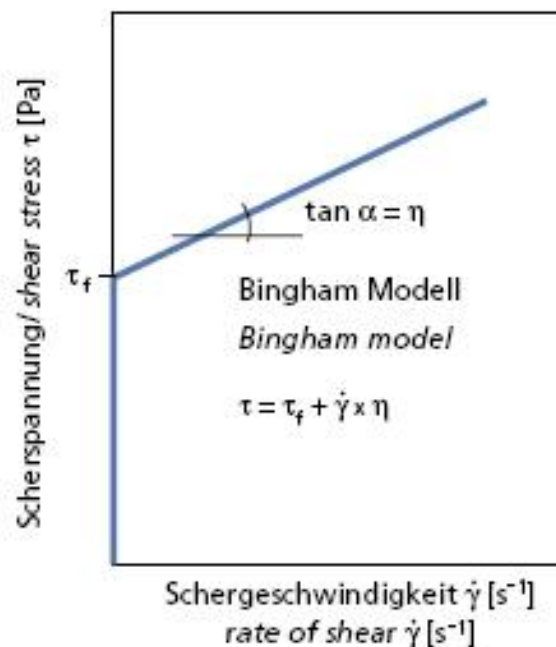
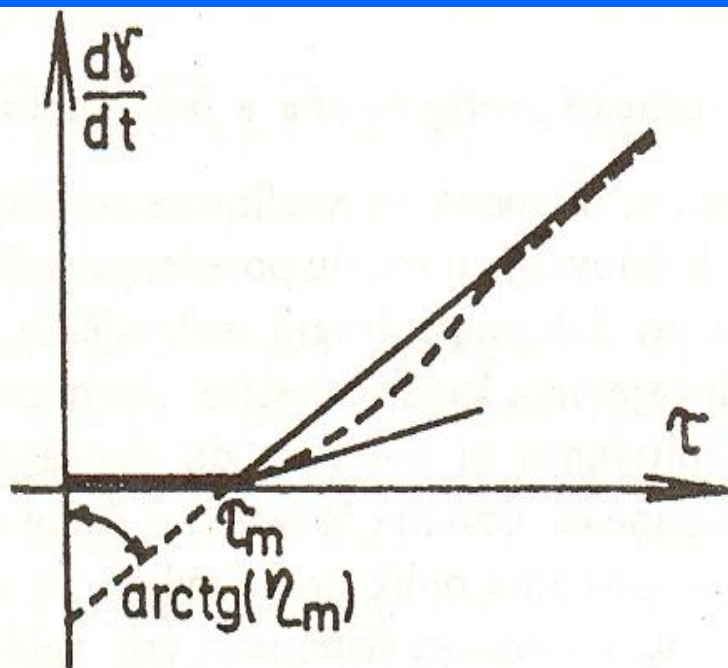
- *Betonska smeša može da se tretira kao jedinstveno fizičko telo, u kome su voda, čestice cementa i zrna agregata međusobno povezani određenim unutrašnjim silama.*
- *Ovakve smeše u reološkom pogledu, pripadaju tzv. “elasto-plastično-viskoznim sistemima”.*
- *Ovakva definicija podrazumeva da pri delovanju rastućeg opterećenja, betonska smeša na početku ima elastične deformacije, a kada opterećenje dostigne određeni nivo i kada se iscrpi njegova “strukturna čvrstoća”, betonska smeša počinje da teče kao i svaka viskozna tečnost.*
- *Svež beton, dakle, pripada kategoriji “strukturiranih tečnosti”, za koje važi ,Bingamov izraz, koji povezuje naprezanje i deformacije.*
- *To znači da se sa dovoljno tačnosti može smatrati da važi relacija, odnosno njena dva grafička prikaza, dati na sledećem slajdu.*

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Reološka svojstva

$$\frac{d\gamma}{dt} = \dot{\gamma} = \frac{1}{\eta_m} (\tau - \tau_m)$$

$$\tau = \tau_m + \eta_m \cdot \frac{d\gamma}{dt}$$



Grafički prikaz Bingamove relacije dat je na skicama gore levo, odnosno gore desno (na skici gore desno: $\tau_f = \tau_m$). Tečenje do koga dolazi kada se dostigne granično smičuće naprezanje τ_m , najčešće ne odgovara pravoj, već isprekidano liniji (gore levo). Pri većim vrednostima τ ova linija se približava pravoj liniji.

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Reološka svojstva

- *Kao što pokazuju oba grafička prikaza sa prethodnog slajda, osnovna karakteristika betonske smeše u reološkom pogledu je pojava tečenja, do koga dolazi tek kada se dostigne granično smičuće naprezanje $\tau_m (= \tau_f)$.*
- *Bingamov izraz pruža mogućnost opisivanja svojstava betonske smeše tokom njenog ugrađivanja, tj. tokom primene određenih mehaničkih postupaka (vibriranja, presovanja i sl.) čiji je cilj da se ostvari zahtevana kompaktnost betona.*
- *Tokom tih mehaničkih dejstava, posebno tokom vibriranja, sile veze između čestica se značajno smanjuju, veličina $\tau_m (= \tau_f)$ teži ka nuli, pa će masa svežeg betona imati svojstva bliska svojstvima teških tečnosti.*

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Reološka svojstva

- *Svojstvo betonske smeše da pri mehaničkom delovanju na nju ima ponašanje blisko tečnosti, a da se po prestanku ovakvih dejstava, tj. u stanju mirovanja, ponovo transformiše u elasto – plastčno – viskozan sistem, predstavlja već od ranije poznato svojstvo tiksotropije.*
- *Iz ovih razloga betonske smeše se najčešće i ugrađuju primenom postupaka vibriranja, pošto se vibriranjem beton privremeno prevodi u stanje blisko teškoj tečnosti.*
- *Na taj način se ostvaruje veoma dobro ugrađivanje:*
 - *Iz mase svežeg betona se istiskuju globule vazduha,*
 - *Beton ispunjava sve prostore ograničene oplatom i*
 - *Ostvaruje se optimalno kompaktiranje.*

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Tehnološka svojstva

Konzistencija

- *Pod pojmom “konzistencija” podrazumeva se skup svojstava svežeg betona koja su od značaja za njegovu ugradljivost i obradljivost.*
- *Sami pojmovi “ugradljivost” i “obradljivost”, pak, označavaju sposobnost svežeg betona da primenom određenog postupka zbijanja (kompaktiranja) homogenom masom u potpunosti ispuni sve prostore ograničene kalupom (oplatom).*

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Tehnološka svojstva

Konzistencija

- *Kako se ocena ugradljivosti i obradljivosti najčešće izvodi na bazi tri pokazatelja: pokretljivosti, krutosti i povezanosti betonske smeše, to su ovi pokazatelji istovremeno i parametri na osnovu kojih se definiše konzistencija*
- *Zbog toga se i govori o:*
 - *krutoj konzistenciji,*
 - *slabo plastičnoj konzistenciji,*
 - *plastičnoj konzistenciji i*
 - *tekućoj konzistenciji*

svežeg betona

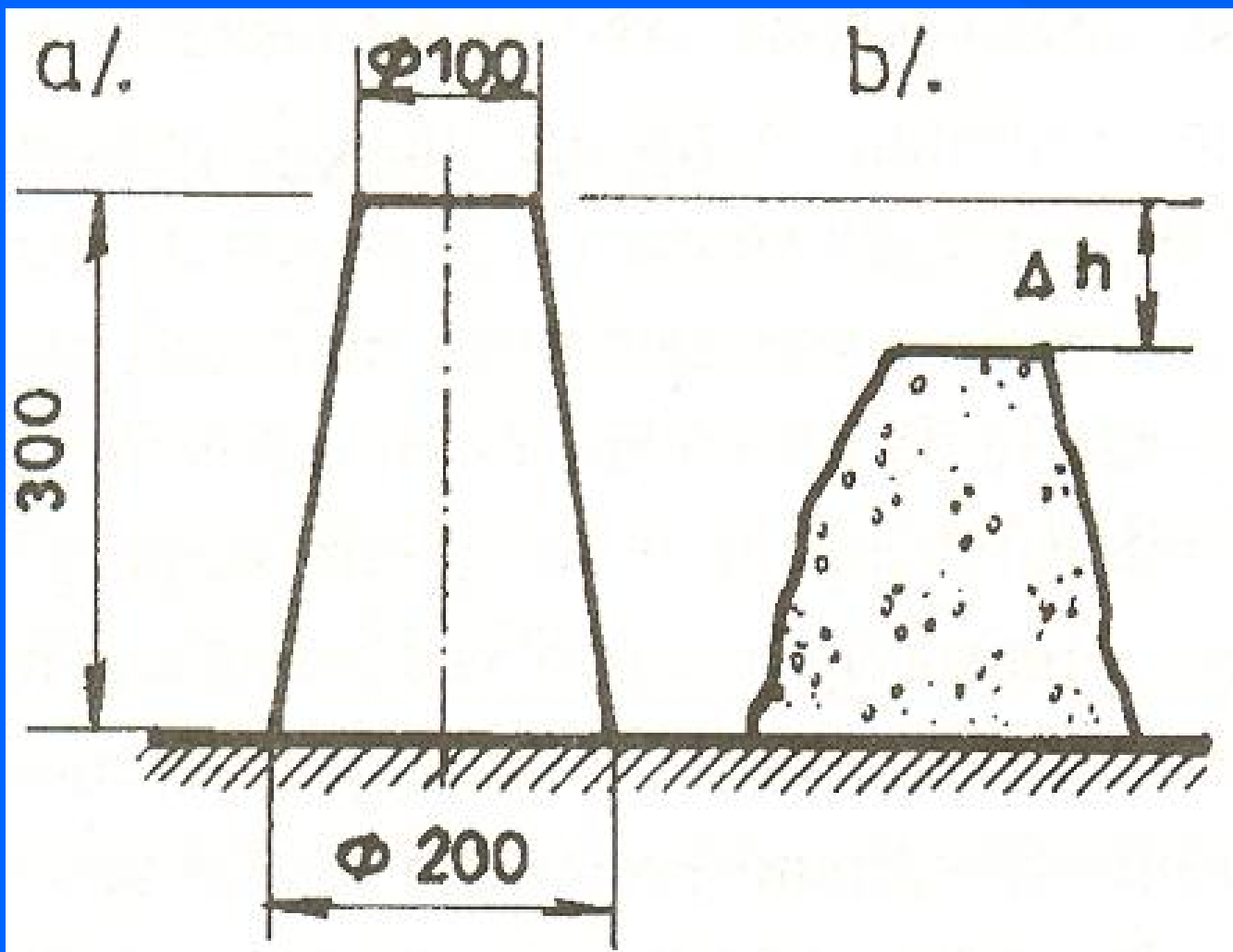
SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Tehnološka svojstva: Ispitivanje konzistencije

- *Prema našim standardima za ispitivanje konzistencije svežeg betona na raspolaganju su sledeće 4 metode:*
 - *Metoda sleganja (Slump – Method)*
 - *Metoda rasprostiranja (Flow – method)*
 - *VEBE – metoda (Vebe – method) i*
 - *Metoda sleganja vibriranjem (Compaction – method)*
- *Napred navedene metode i prema ostalim svetskim i evropskim standardima predstavljaju osnovna 4 postupka za ispitivanje konzistencije, pri čemu je Slump Method širom sveta najčešće zastupljen*
- *Prema evropskom standardu iz 2000. god., pored prve 3 napred navedene metode, u primeni je i “Metoda kompaktnosti” (Compactness Method)*

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

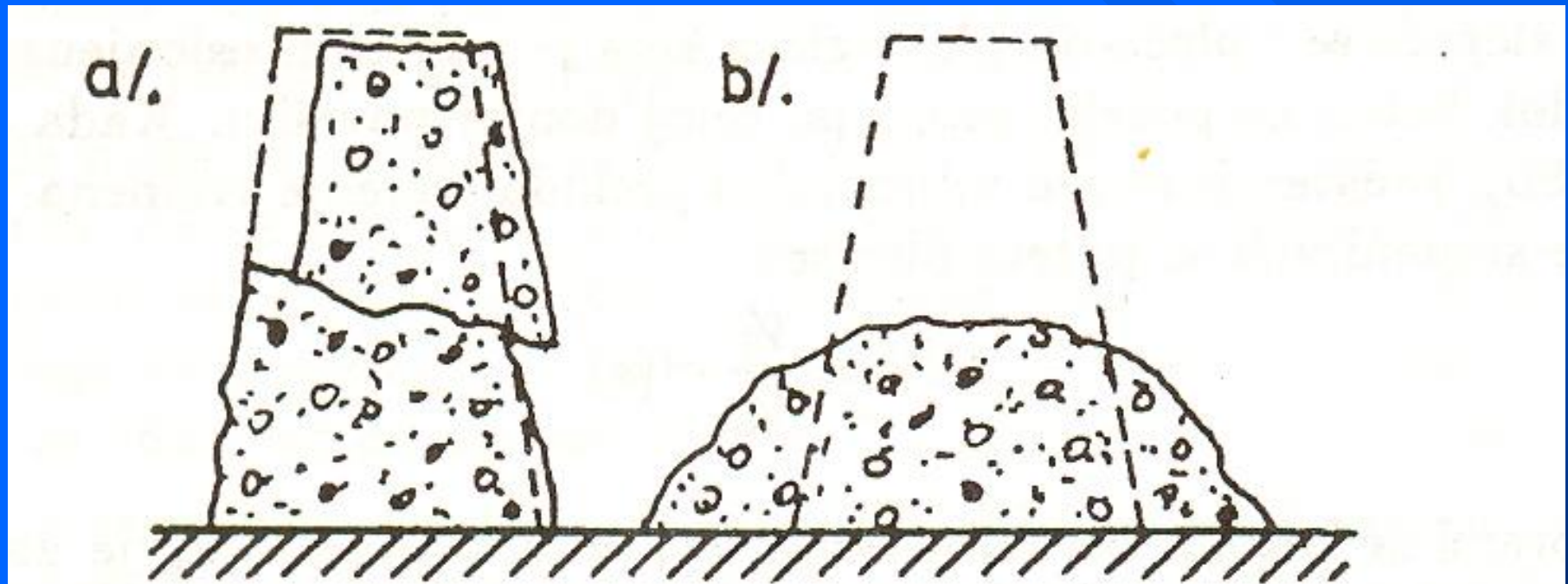
Tehnološka svojstva: Ispitivanje konzistencije



Metoda sleganja (Slump – Method)

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Tehnološka svojstva: Ispitivanje konzistencije

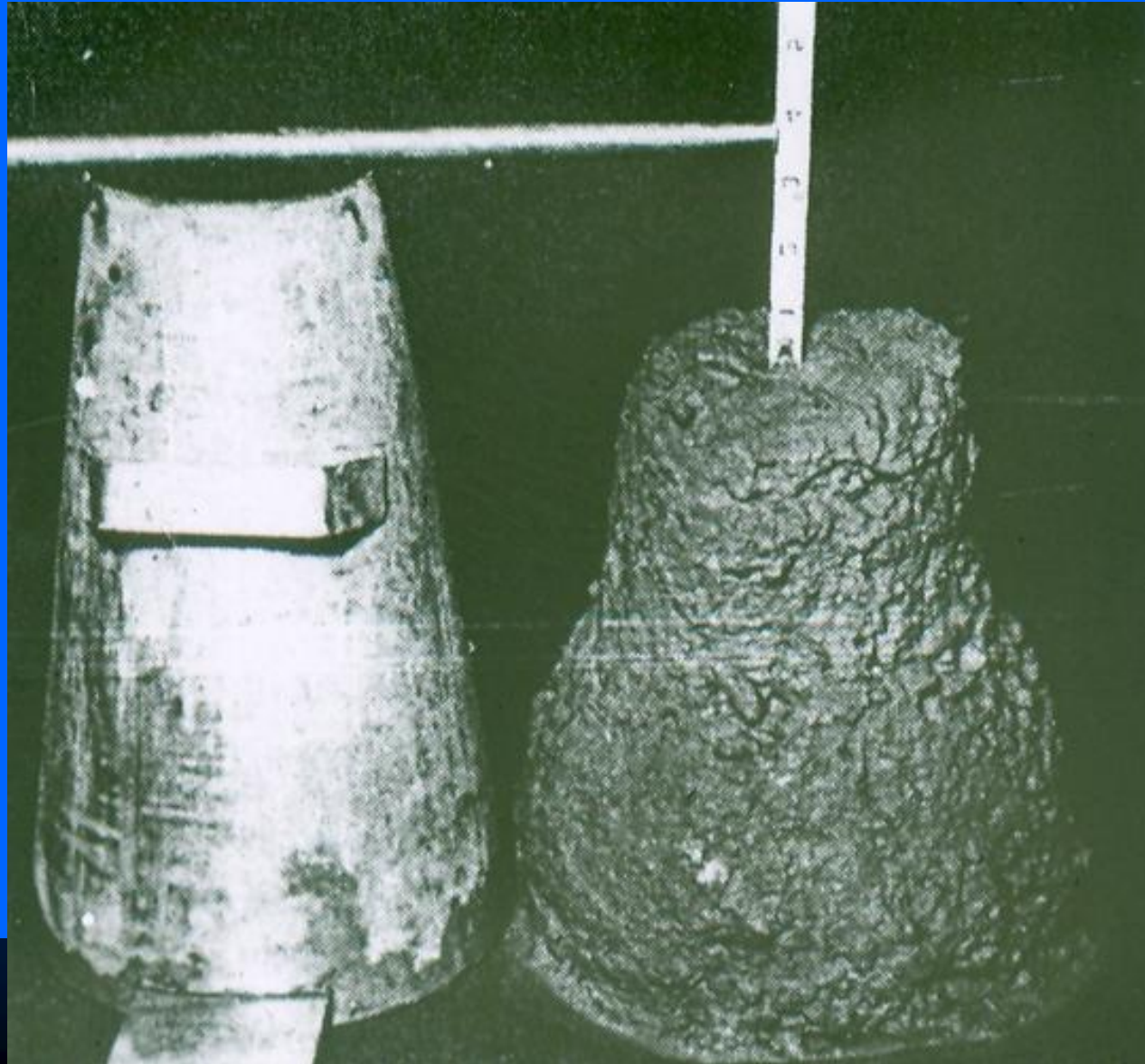


2.17 Smicanje i rušenje konusa kod tzv. "mršavih" betona.

Metoda sleganja

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Tehnološka svojstva: Ispitivanje konzistencije



*Metoda sleganja
(Slump – Method)*

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Tehnološka svojstva: Ispitivanje konzistencije



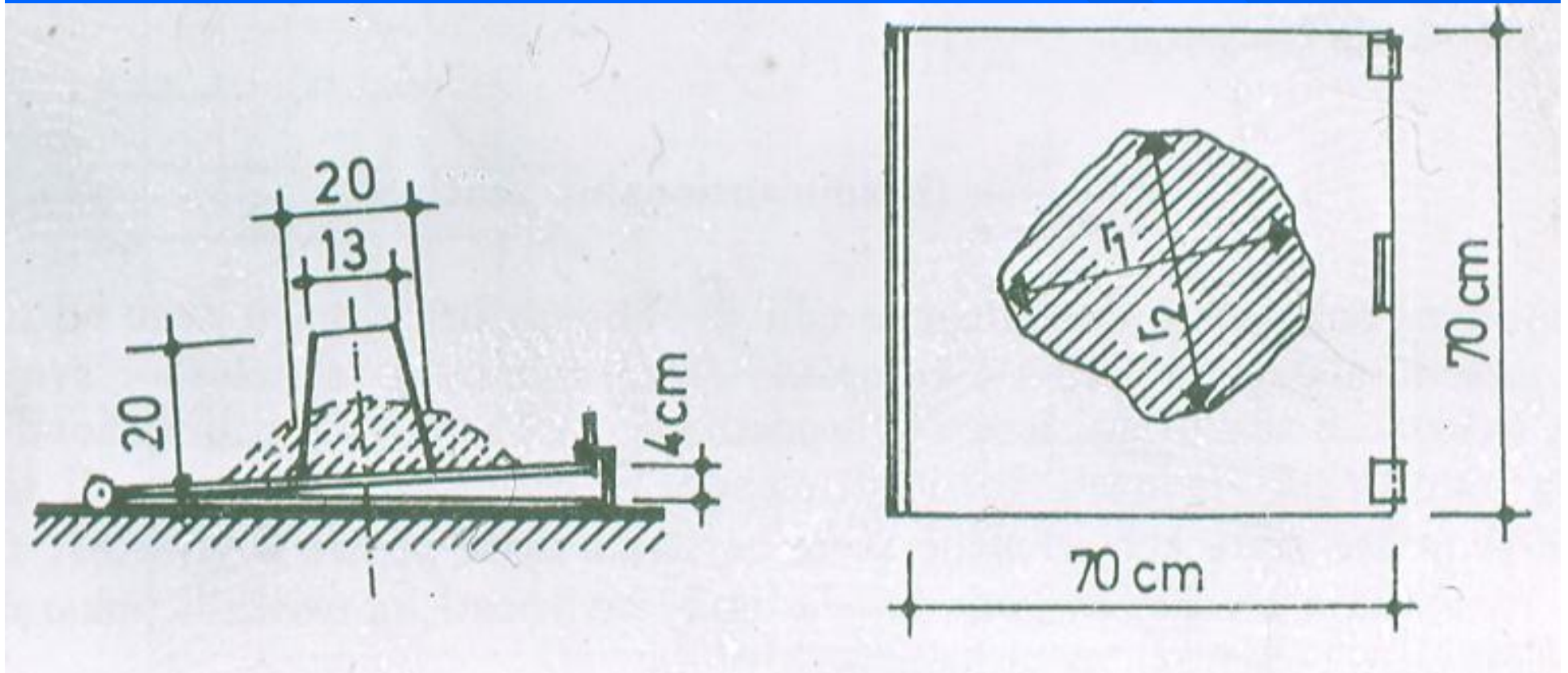
Metoda sleganja



*Uzimanje uzorka svežeg
betona iz automiksera*

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

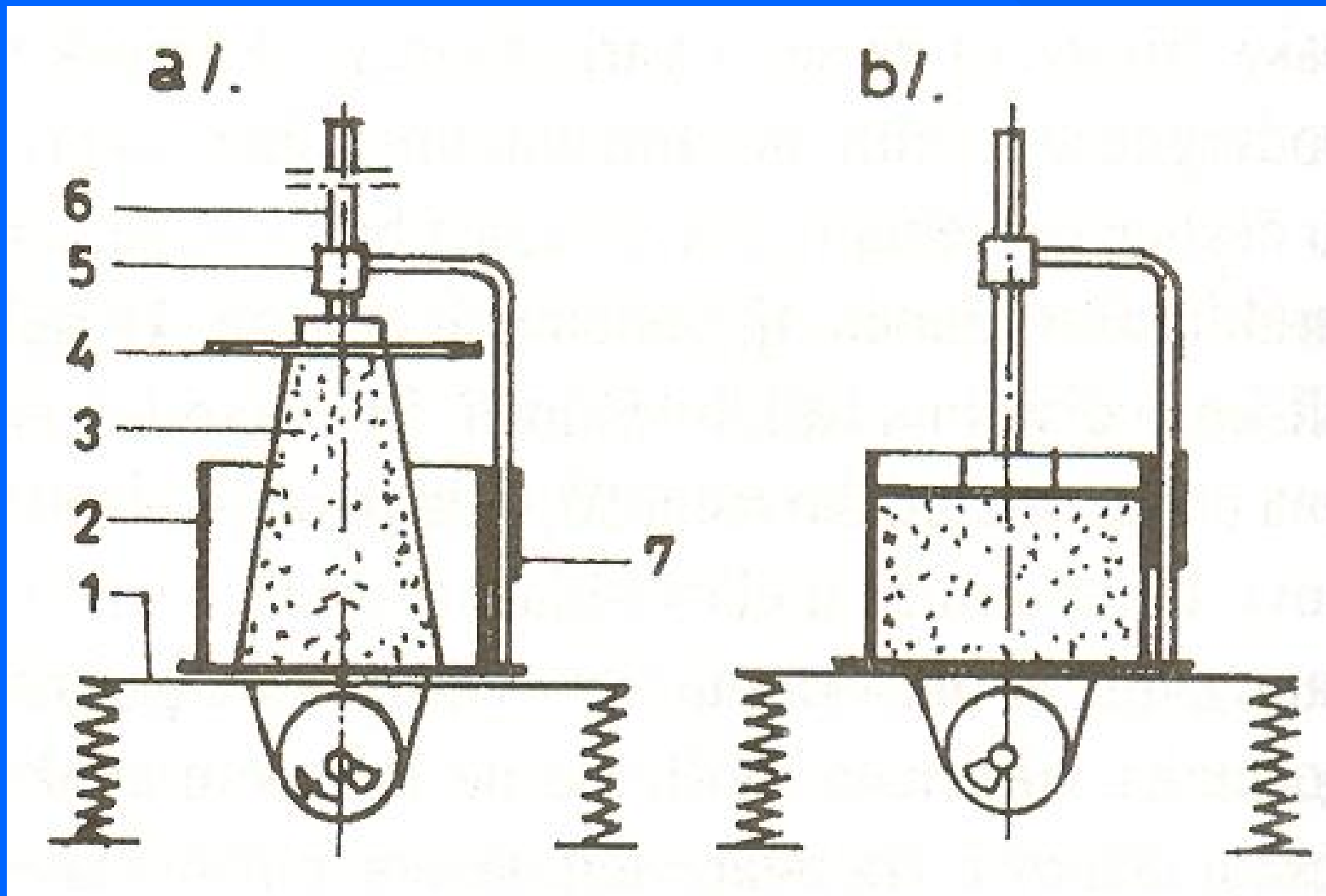
Tehnološka svojstva: Ispitivanje konzistencije



Metoda rasprostiranja (Flow method)

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

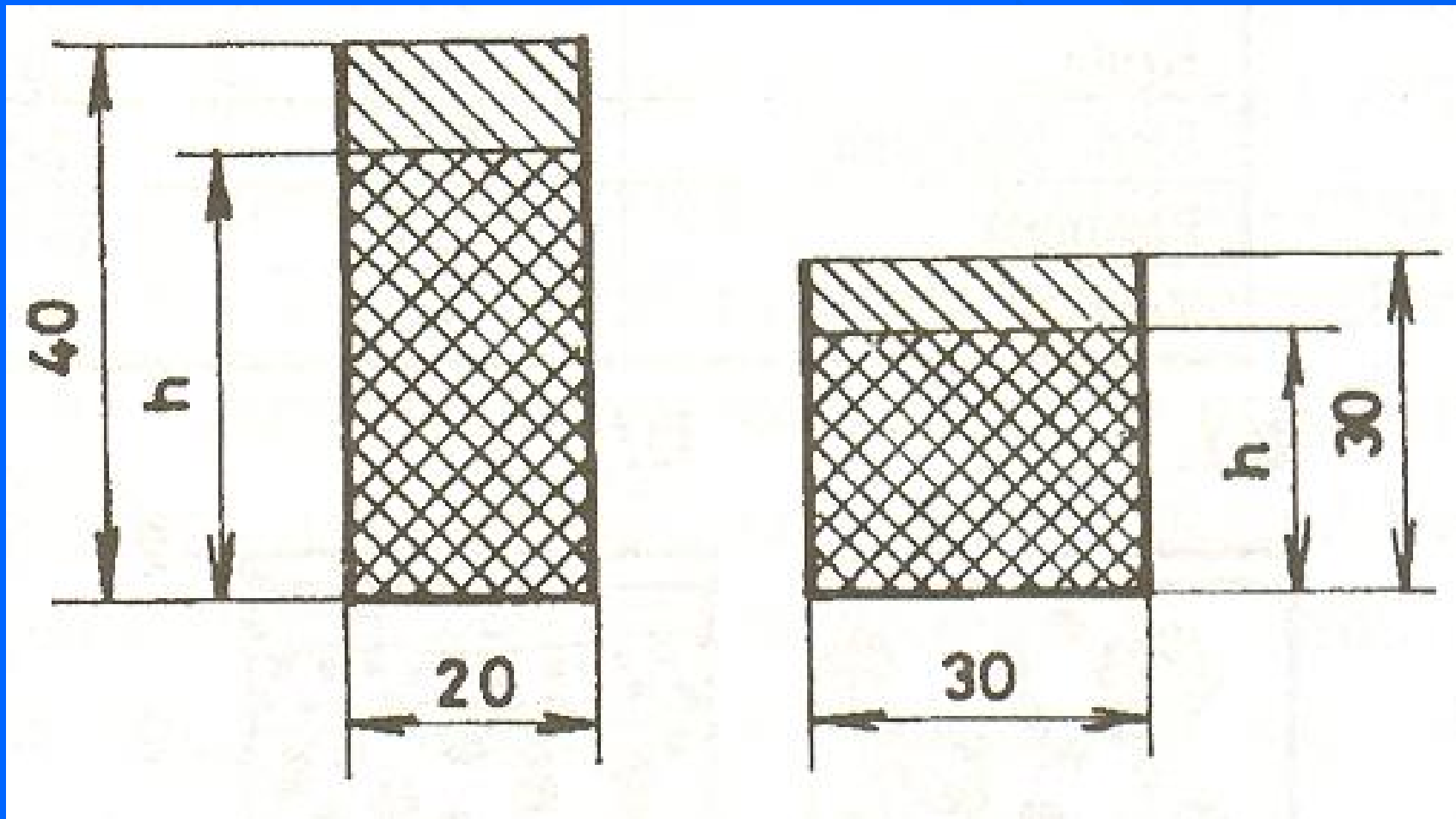
Tehnološka svojstva: Ispitivanje konzistencije



VEBE – metoda (Vebe method)

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Tehnološka svojstva: Ispitivanje konzistencije



Metoda sleganja vibriranjem (Compaction method)

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Tehnološka svojstva: Ispitivanje konzistencije Dovde,
02.10.07.

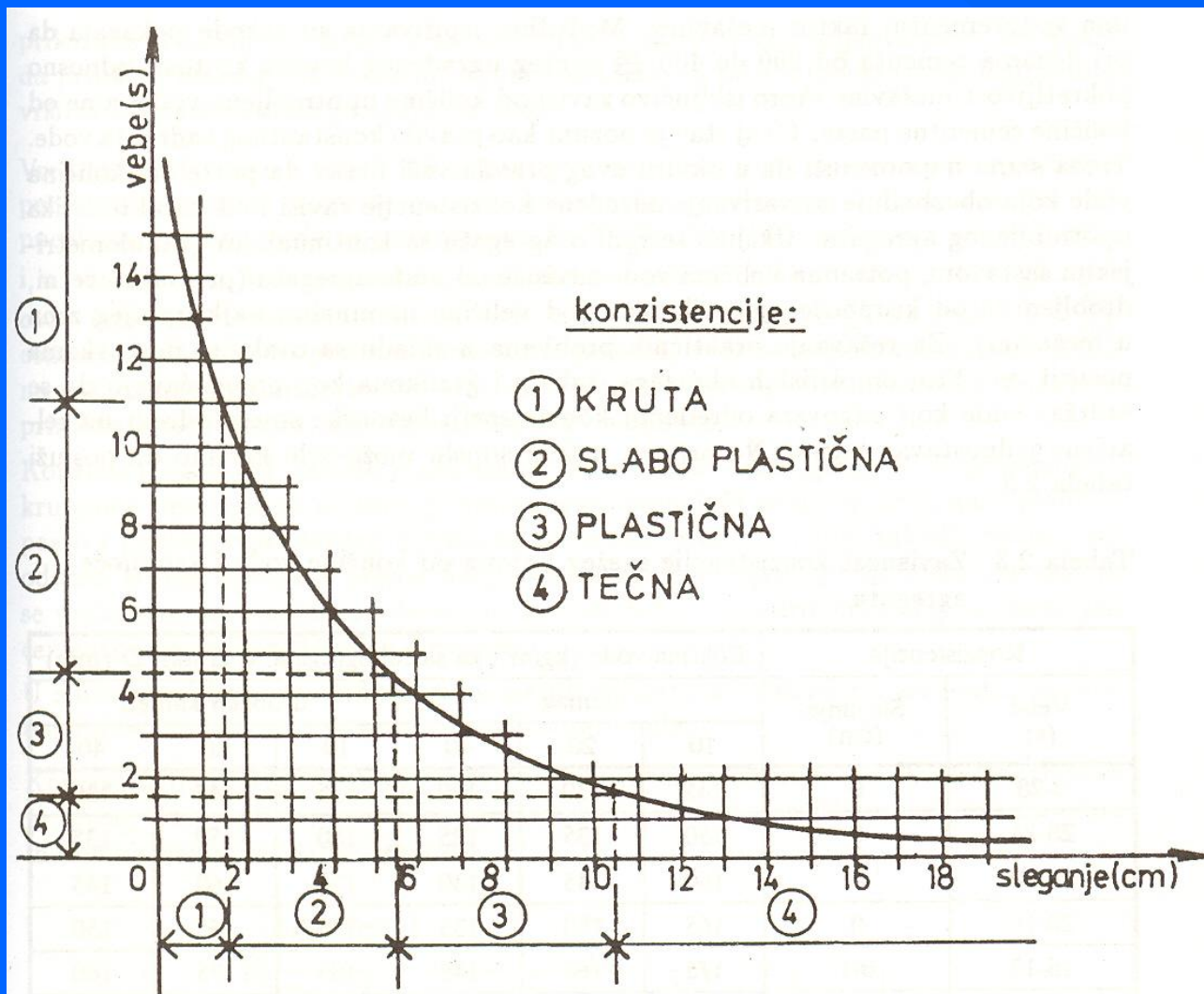
Tablica 6.2. Opisi i mere konzistencije

Opis (granice) konzistencije	Mere konzistencije			
	VEBE (s)	Sleganje (cm)	Rasprostiranje (cm)	Mera zbijanja
Kruta	≥ 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	≤ 1	11 - 18	50 - 65	$\leq 1,03$

Napomena: Ako konzistencija nekog svežeg betona odgovara, prema metodi sleganja na primer, plastičnoj konzistenciji, to ne mora da znači da i prema ostalim metodama taj beton treba takođe da odgovara plastičnoj konzistenciji!

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Tehnološka svojstva: Ispitivanje konzistencije



*Zavisnost pokazatelja konzistencije svežeg betona
po metodi sleganja i po VEBE metodi*

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Faktori uticaja na tehnološka svojstva svežeg betona

- *Tehnološka svojstva svežeg betona, pre svega ugradljivost i obradljivost, zavise od niza uticajnih faktora, ali odlučujuću ulogu ima količina vode.*
- *Za odabranu vrstu i granulometrijski sastav agregata, a pri određenoj temperaturi mešavine, nezavisno od primenjene količine cementa (u uobičajenim granicama, tj. u granicama od $200 - 450 \text{ kg/m}^3$), konzistencija betonske mešavine zavisice samo od primenjene količina vode. Ovaj stav je poznat kao “pravilo konstantnog sadržaja vode”.*
- *Napred navedeni stav drugim rečima znači da: za utvrđenu konzistenciju svežeg betona, za odabranu vrstu agregata (rečni, drobljeni) i usvojeno nominalno najkrupnije zrno agregata – D , količina vode će biti jednaka za sve primenjene uobičajene količine cementa ($200 - 450 \text{ kg/m}^3$), tj. za sve veličine vodocementnih faktore, odnosno za sve “marke betona MB”.*
- *Na sledećem slajdu, ovaj stav je ilustrovan putem tablice potrebnih količina vode za različite mere sleganja Δh , za rečni, odnosno drobljeni agregat, sa tri različite veličine nominalno najkrupnijeg zrna agregata D .*
- *Na nekoliko slajdova koji potom slede, dat je uticaj veličine D , temperature mešavine T i vremena t proteklog od početka mešanja betona.*

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

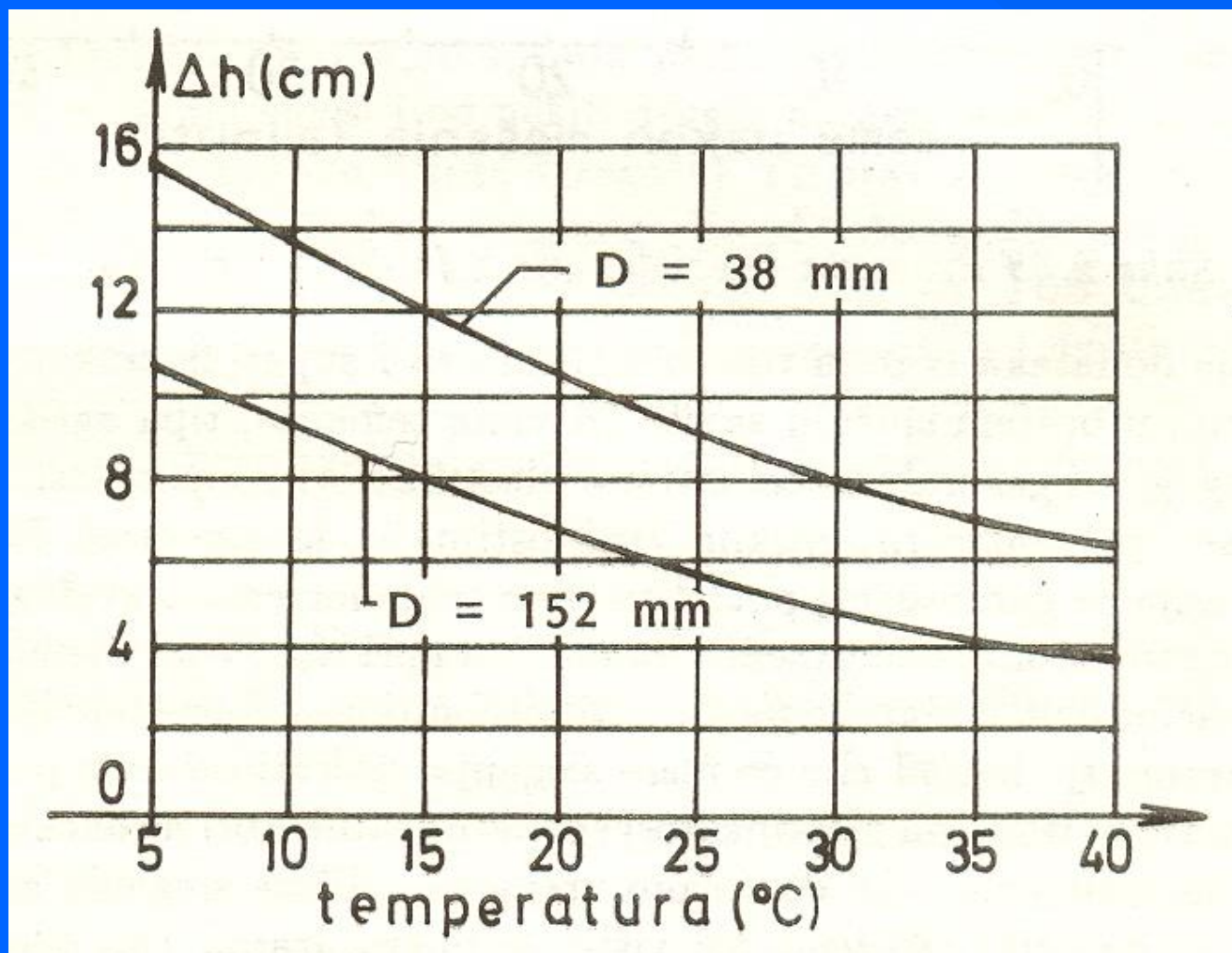
Tehnološka svojstva: Konzistencija – (m_v , D)

Tablica 6.3. Zavisnost mere sleganja svežeg betona od količine vode i krupnoće agregata

Mera sleganja po Abramsu Δh (cm)	Količina vode (kg/m ³) za slučaj agregata sa zrnom D (mm)					
	šljunak			drobljen kamen		
	10	20	40	10	20	40
0	145	130	120	155	145	130
0	150	135	125	160	150	135
0	160	145	130	170	160	145
0	165	150	135	175	165	150
0-1	175	160	145	185	175	160
1 - 1,5	185	170	155	195	185	170
2 - 2,5	190	175	160	200	190	175
3-4	195	180	168	205	195	180
5	200	185	170	210	200	185
7	205	190	175	215	205	190
8	210	195	180	220	210	195
10-12	215	200	185	225	215	200

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

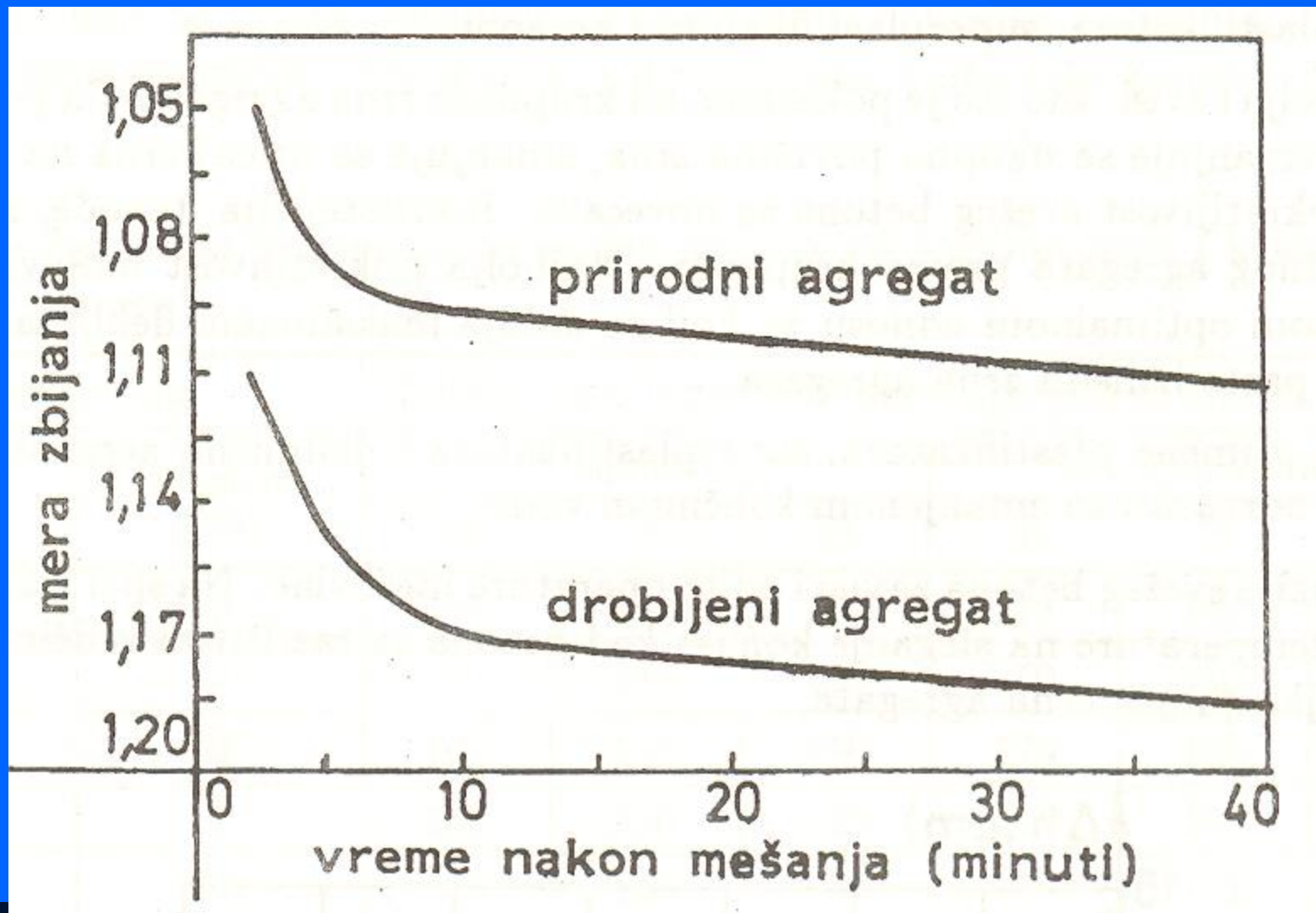
Tehnološka svojstva: Konzistencija – (T, D)



Zavisnost konzistencije svežeg betona od njegove temperature T i veličine nominalno najkrupnijeg zrna agregata D

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

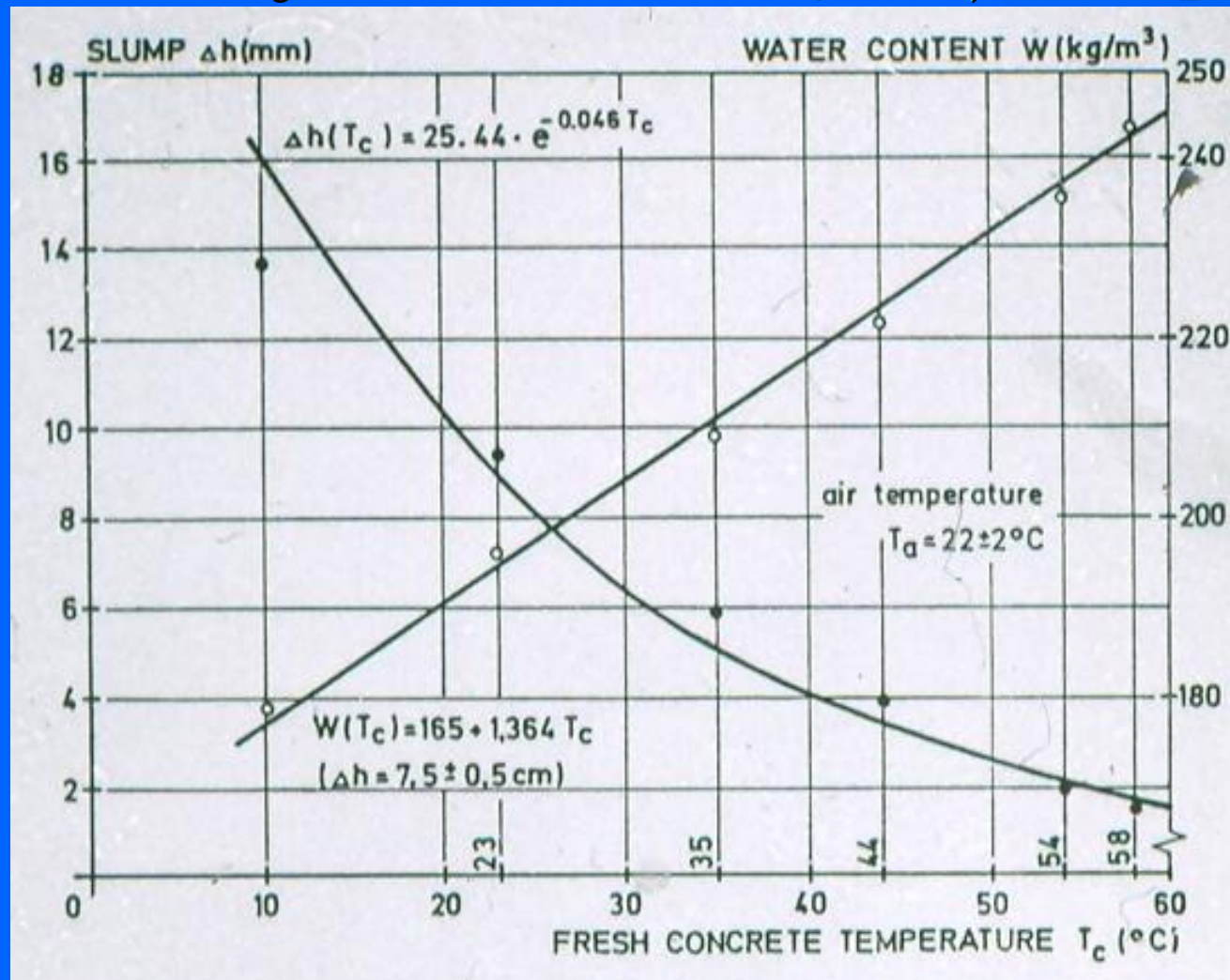
Tehnološka svojstva: Konzistencija – (Vrsta agregata, t)



Promena konzistencije u funkciji proteklog vremena nakon mešanja t

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

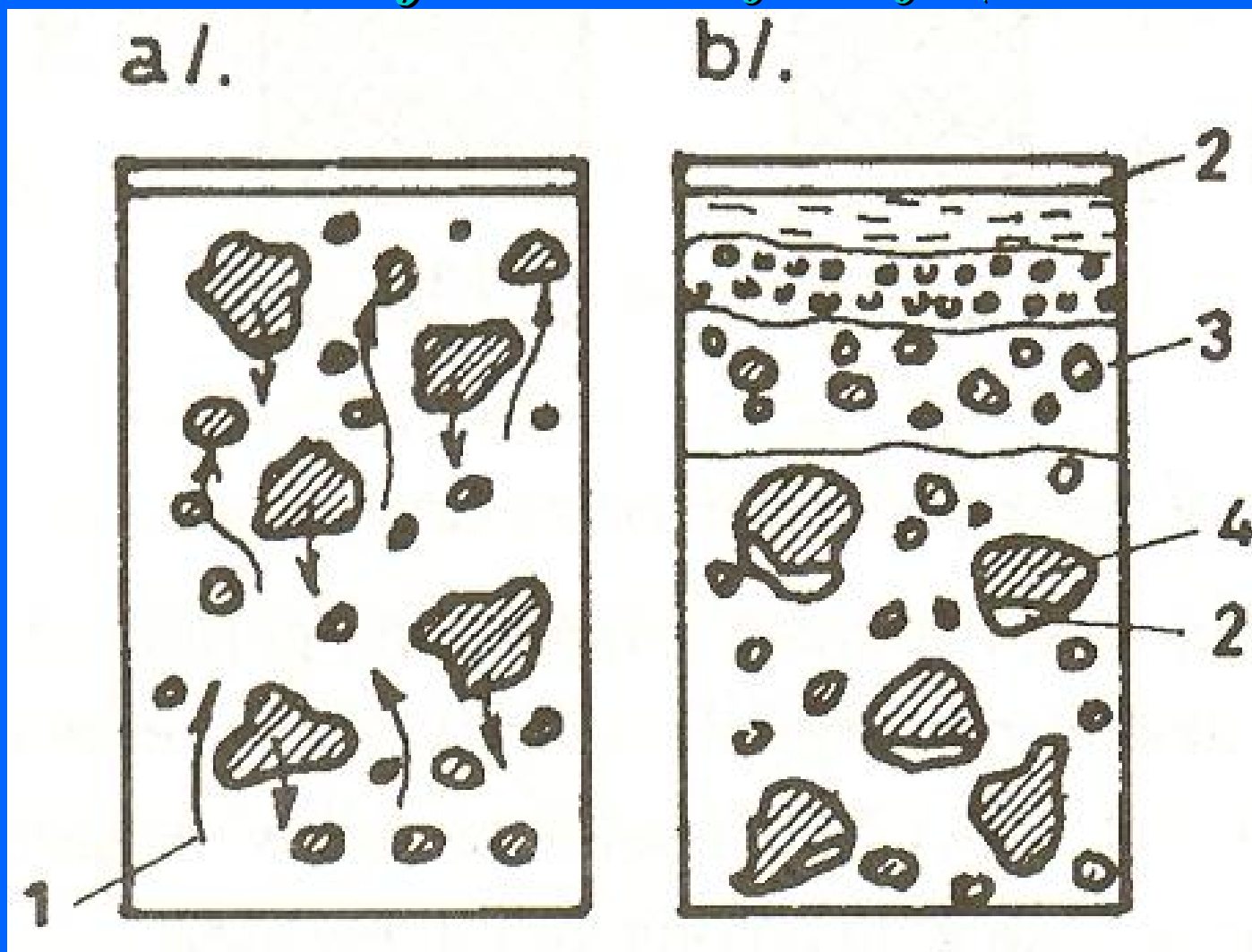
Tehnološka svojstva: Konzistencija, m_v – Temperatura T



Promena veličine sleganja Δh i količine potrebne vode W za 1 m^3 svežeg betona (sa sleganjem $\Delta h = 7.5 \text{ cm}$), u funkciji njegove temperature T_c

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Tehnološka svojstva: Raslojavanje (kohezivnost)

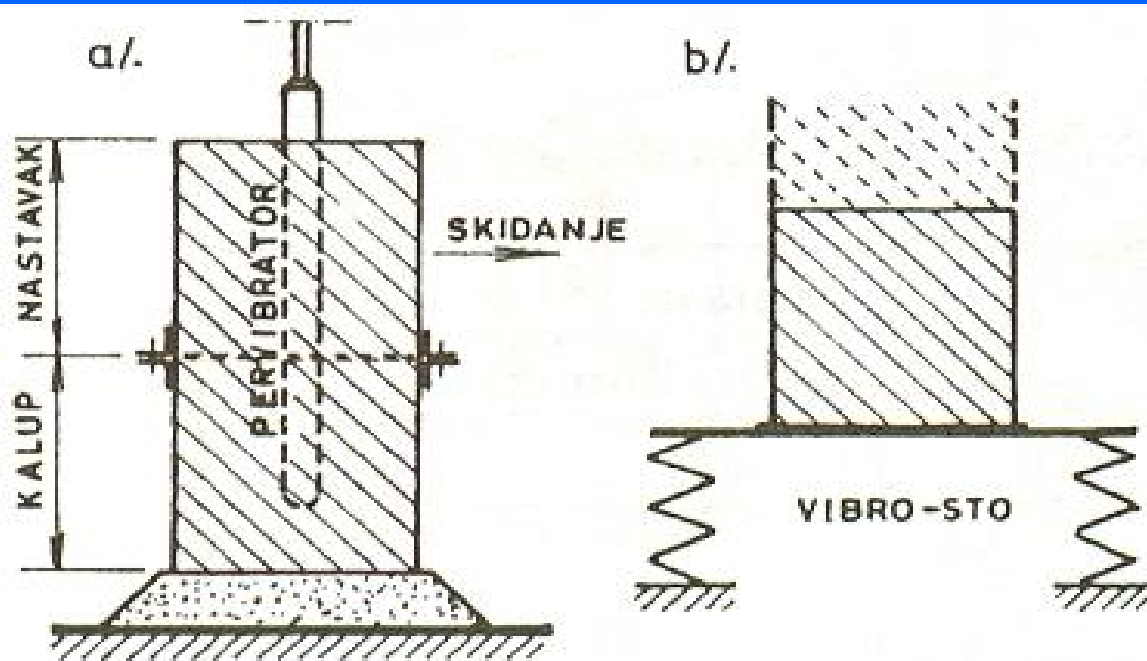


Shematski prikaz procesa raslojavanja nedovoljno koherentne sveže betonske mešavine tokom zbijanja vibriranjem

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Ostala svojstva: Zapreminska masa

Određuje se tokom izrade uzoraka od svežeg betona za ispitivanje svojstava očvrslog betona. Ovi uzorci formiraju se u čeličnim kalupima, najčešće na načine prikazane donjom skicom pod a) i b).



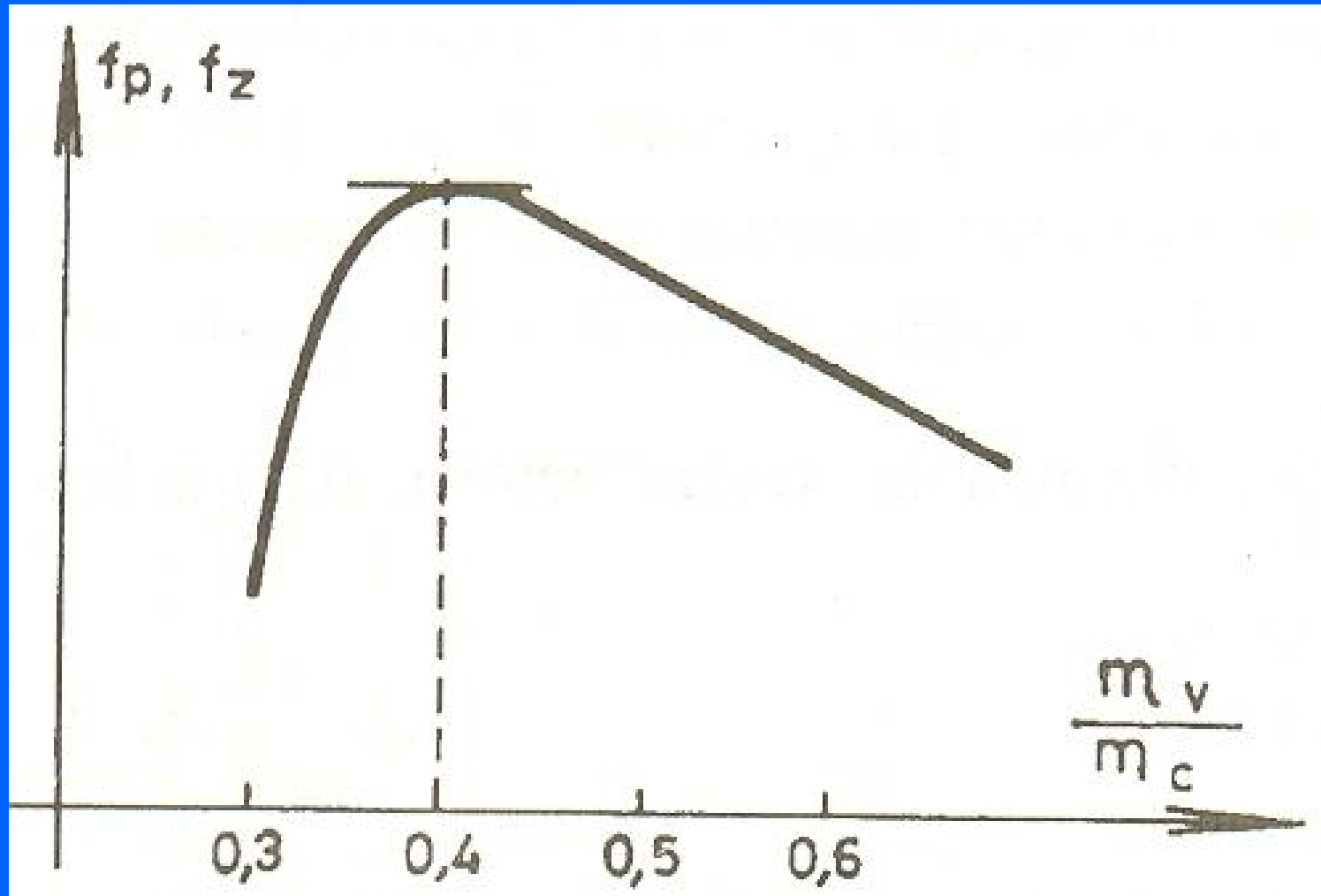
- *Kod zbijanja betona putem pervibratorske igle, koje se u praksi i najčešće koristi (a), kalup sa nastavkom ne sme da leži na tvrdoj podlozi, kako bi se izbegli reflektovani vibracioni talasi i interferencija.*
- *Na skici pod b) dat je postupak zbijanja na vibrostolu, koji se koristi kod prefabrikacije betonskih elemenata.*
- *Određivanje zaprem. mase:*

Sl. 6.17. Ugrađivanje betona u kalupe

$$\gamma_{b,sv} = \frac{M_{b,sv}}{V_k} = \frac{M_{k+b} - M_k}{V_k} \quad [kg/m^3]$$

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Ostala svojstva: Čvrstoća svežih i “mladih” betona

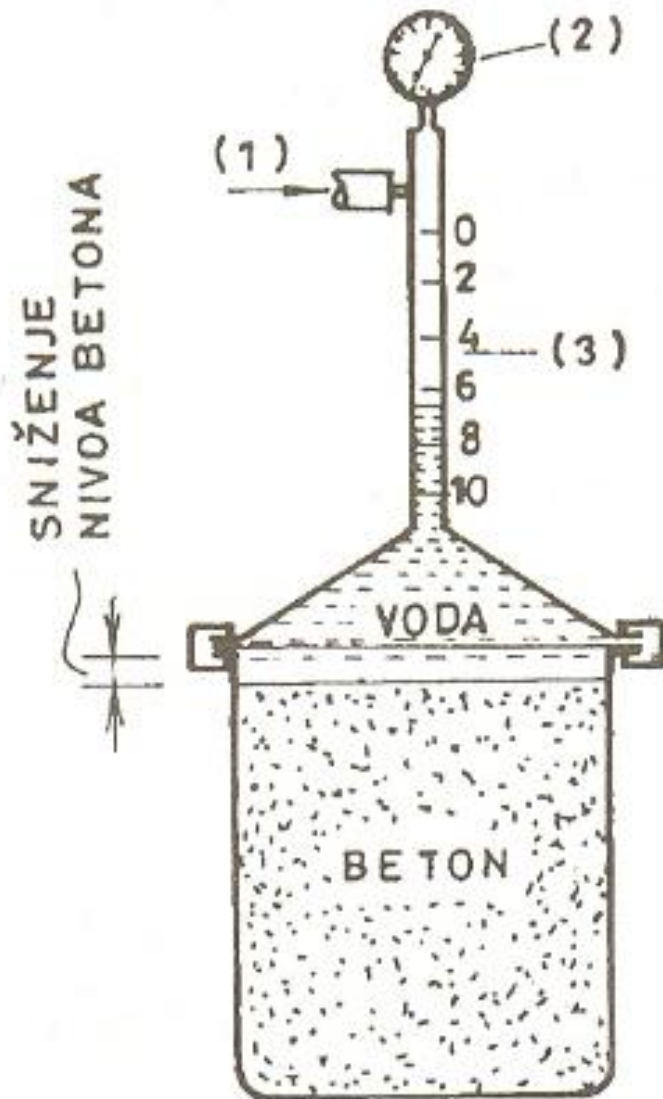


Zavisnost čvrstoće svežih i “mladih” betona od vodocementnog faktora

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Ostala svojstva: Sadržaj zaostalog (uvučenog) vazduha

*Merač količine “zaostalog” li
“uvučenog” vazduha (entreprped air or
entrained air) u svežem betonu*



- *Princip rada aparature na skici zasniva se na registrovanju smanjenja zapremine zbijenog betona (snižavanje nivoa u kalupu) izloženog određenom pritisku*
- *Pritisak se ostvaruje putem jednostavne vazdušne pumpe (1), a meri manometrom (2)*
- *Pod pritiskom vazduha većim od atmosferskog dolazi do smanjenja zapremine betona u kalupu*
- *Aparat je izbaždaren tako da sniženje nivoa vode u cevi odgovara zapremini (u %) vazduha zaostalog u betonu nakon njegovog zbijanja (vibriranja) u kalupu*

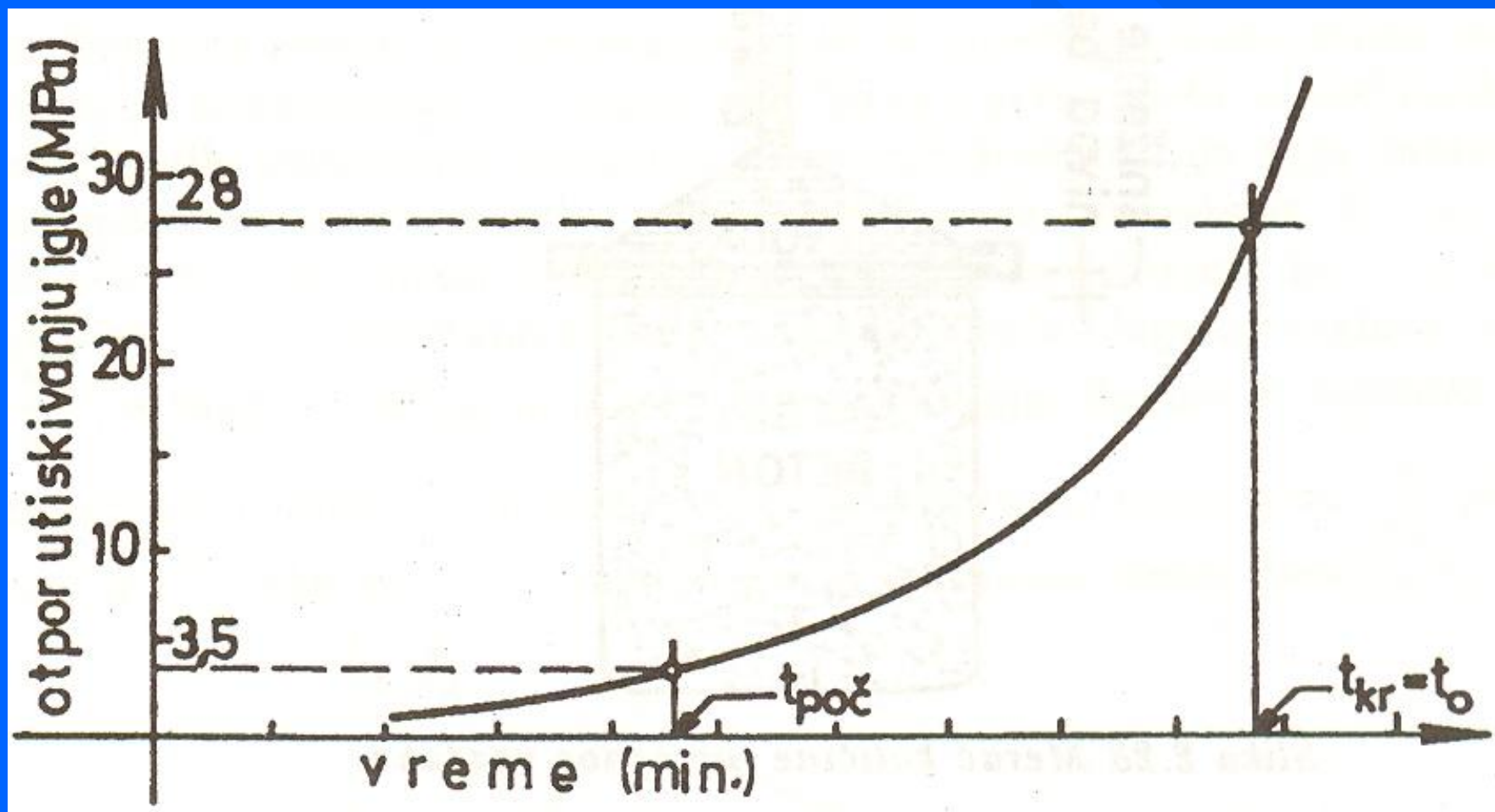
SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

*Vreme vezivanja (ugradljivosti i obradljivosti) betonskih
smeša*



SVOJSTVA SVEZEG BETONA

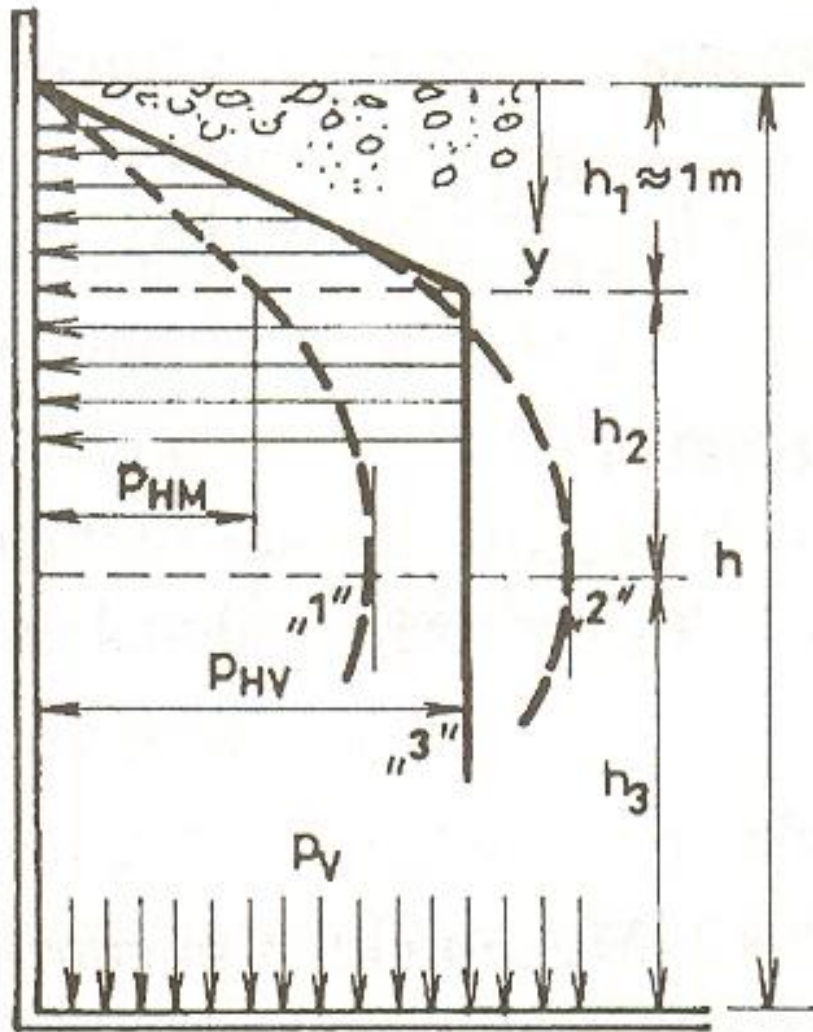
Vreme vezivanja (ugradljivosti i obradljivosti) betonskih smeša



Određivanje “početka vezivanja” i “kraja vezivanja” svežeg betona

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Ostala svojstva: Horizontalni pritisak na oplatu

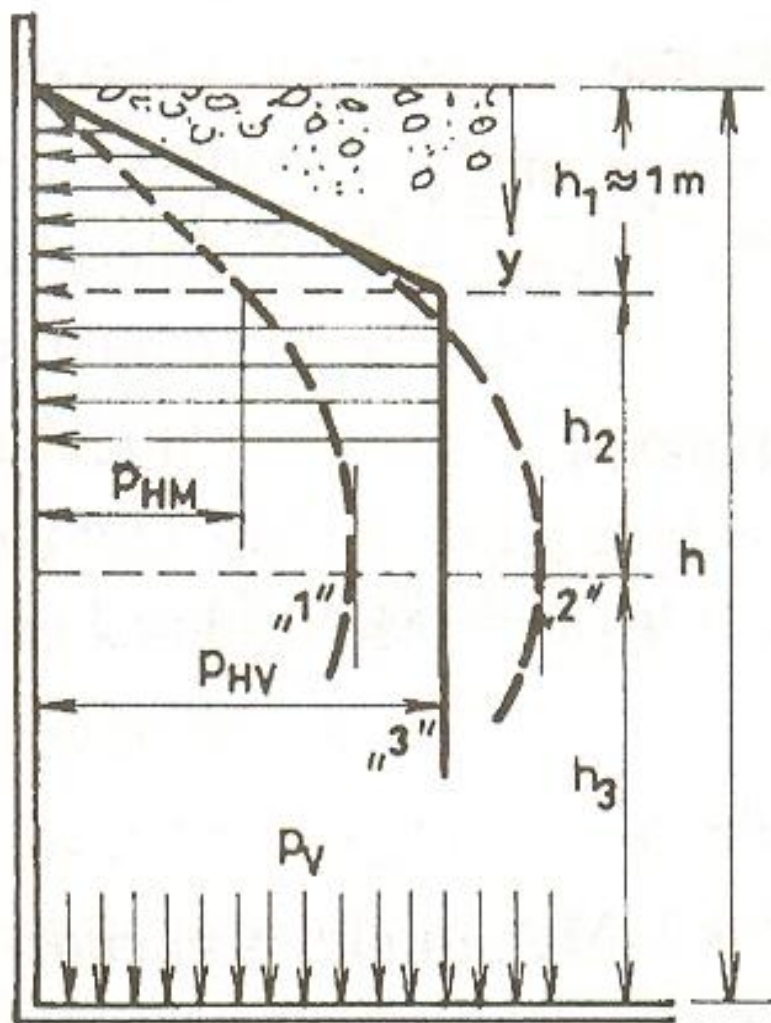


Pritisci svežeg betona na oplatu

- Za razliku od vertikalnog pritiska svežeg betona na oplatu, koji se može sračunati kao: $p_v = 10 \cdot \gamma_{b,sv} \cdot h$ (kN/m²), definisanje horizontalnog pritiska predstavlja znatno složeniji problem
- U zoni visine h_1 u pitanju je potpuno svež beton, u kome se oseća uticaj sredstva za zbijanje
- U zoni h_2 beton je praktično u svežem stanju, ali na početku procesa vezivanja i u njemu se ne oseća uticaj sredstva za zbijanje
- U zoni h_3 uveliko teče proces vezivanja i očvršćavanja betona
- Za visinu h_1 kao dovoljno tačno može se uzeti 1 m (jer je visina sloja za vibriranje max 0,70 m)

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Ostala svojstva: Horizontalni pritisak na oplatu



- Linija "1" na skici odnosi se na pritiske pri zbijanju betona šipkama ili nabijačima, a linija "2" na pritiske pri zbijanju putem vibratora
- Kao dovoljno tačna, usvaja se promena pritisaka po visini data punom linijom. Uz takvu pretpostavku, za visinu $y \leq h_1$ horizontalni pritisak na oplatu dat je kao:

$$P_H = 10 \cdot \gamma_{b,sv} \cdot y \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\rho}{2} \right),$$

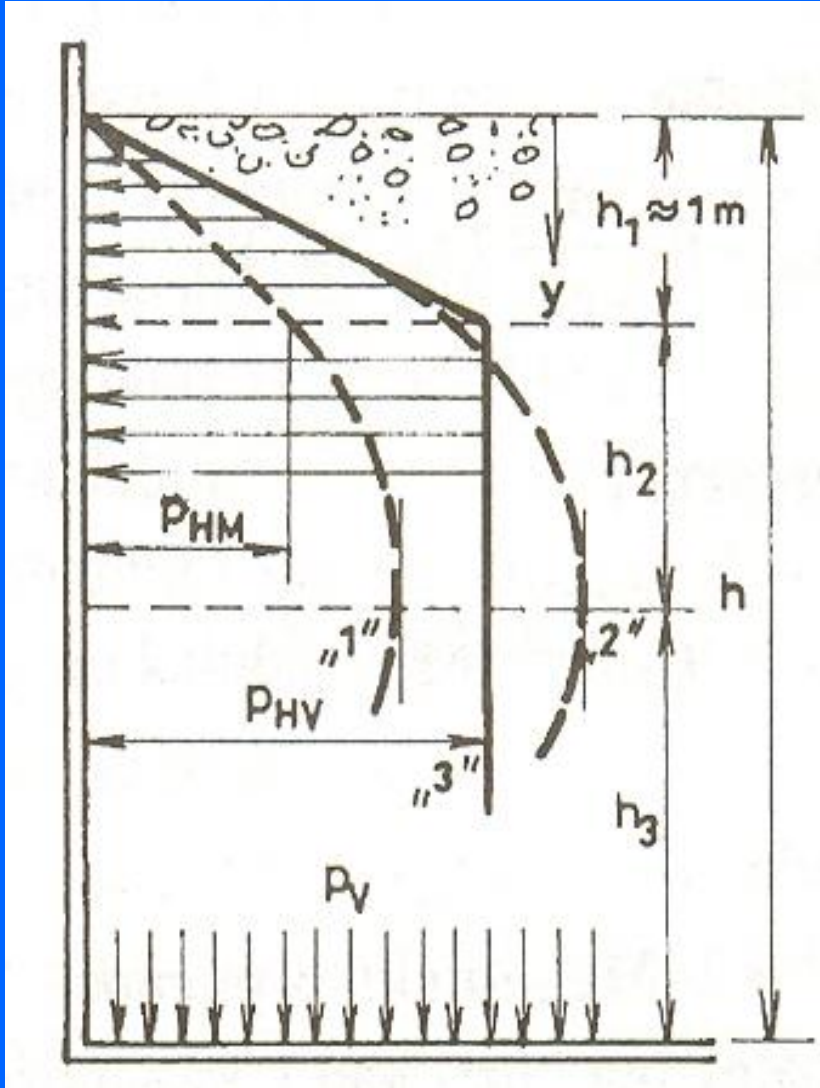
$$P_H = 24y \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\rho}{2} \right) \text{ (kN/m}^2\text{)}.$$

gde je usvojeno da je $\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3 (\cong 24 \text{ kN/m}^3 = 2400 \text{ kg/m}^3)$ i gde je ρ ugao unutrašnjeg trenja u svežem betonu

Pritisci svežeg betona na oplatu

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Ostala svojstva: Horizontalni pritisak na oplatu



■ Za slučaj mirovanja i ručnog zbijanja treba usvojiti $\rho = 17,5^\circ$, pa je za $y = h_1 = 1 \text{ m}$: $p_{HM} \approx 13 \text{ kN/m}^2$

■ Međutim, ako se sveži beton ugrađuje vibriranjem, a to je danas i najčešći slučaj, ugao unutrašnjeg trenja ρ će težiti nuli, pa će se u tom slučaju za $y = h_1 = 1 \text{ m}$ dobiti da je:

$$p_{HV} = 10 \cdot \gamma_{b,sv} \cdot \text{tg } 45^\circ = 10 \cdot 0,24 \approx 24 \text{ kN/m}^2$$

■ U praksi se pritisci p_{HM} i p_{HV} mogu smatrati za maksimalno moguće horizontalne pritiske na oplatu, pa se zato, bez obzira što to nije potpuno tačno, pretpostavlja da pri $y > 1 \text{ m}$ nema promene intenziteta p , tj. da važi puna linija

Pritisci svežeg betona na oplatu

SVOJSTVA SVEŽEG BETONA

Ostala svojstva: Temperatura svežeg betona

- *Temperatura svežeg betona menja se tokom vremena i zavisi od većeg broja uticajnih parametara:*

- *Početne temperature mešavine (na izlasku iz mešalice),*
- *Temperature sredine,*
- *Toplote hidratacije cementa,*
- *Razmene toplote sa okolinom i dr.*

- *Početna temperatura:*

$$T_{b0} = \frac{S_a T_a m_a + S_c T_c m_c + S_v T_v m_v}{S_a m_a + S_c m_c + S_v m_v} \quad (^{\circ}C)$$

*Ovde su: S_a , S_c i S_v – Specifični toplotni kapaciteti agregata, cementa i vode,
 T_a , T_c i T_v – Početne temperature agregata, cementa i vode,
 m_a , m_c i m_v – Mase agregata, cementa i vode, respektivno (kg/m^3)*

- *Kako je: $S_a \approx S_c \approx 0,84 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$, a $S_v = 4,2 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$, izraz (1) postaje:*

$$T_{b0} = \frac{0,2 (T_a m_a + T_c m_c) + T_v m_v}{0,2 (m_a + m_c) + m_v} \quad (^{\circ}C)$$