

Predmet:
BETONI POSEBNIH NAMJENA

Tema:
UVOD

doc.dr.sc. Ivanka Netinger Grubeša, dipl.ing.građ.
email: nivanka@gfos.hr

SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK

Cement

SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK

Cement je polimorfno anorgansko hidraulično vezivo.

Polimorfno znači da je sastavljeno od više minerala različitog sastava i kristaliničnosti koji različito utječu na svojstva gotovog proizvoda.

Anorgansko je jer se sastoji od anorganskih oksida kalcija, silicija, aluminijsa i željeza koji su povezani u različitim molarnim omjerima u C_3S , C_2S , C_3A i C_4AF .

Hidraulično je, jer otvrdnjava djelovanjem vode, reakcijama hidratacije, a nastala kruta masa ne omekša ni pod vodom.

Vezivo je jer pod utjecajem određenih kemijskih reakcija otvrdne i veže, odnosno povezuje agregat i pijesak u čvrsti beton.

Zanimljivosti o cementu....

- Godišnja potrošnja se kreće između 500 i 2000 kg po stanovniku zemlje.
- Industrija s velikim utroškom sirovine
- Veliki utrošak toplinske energije po jedinici proizvoda
- Sposobnost apsorpiranja velikih količina različitih otpadnih materijala iz drugih industrija.

Kineska industrija cementa:

- Kina je najveći proizvođač cementa u svijetu, ukupno cca 56% svjetske potrošnje.
- Godišnja proizvodnja cementa od 1.8 milijarde tona cementa.
- Godišnja potrošnja po stanovniku iznosi 1 300 kg.
- Trenutno najveće potrošače cementa predstavljaju infrastrukturni objekti.
- Kina ima > 5 000 tvornica cementa, od kojih većina ima zastarjelu tehnologiju.
- Smatra se da se svega 750 milijuna tona od ukupne količine proizvodi primjenom najsuvremenijih tehnologija.
- Najveći proizvođač cementa je CONCH.

Podjela prema namjeni:

- cementi opće namjene
- cementi posebne namjene

Cementi opće namjene prema normi HRN EN 197-1:2012 su:

- CEM I – čisti portland cement
- CEM II – PC s miješanim dodacima
- CEM III – PC sa šljakom visoke peći
- CEM IV – pucolanski cement
- CEM V – miješani cement

Cementi posebne namjene prema nizu normi HRN EN:

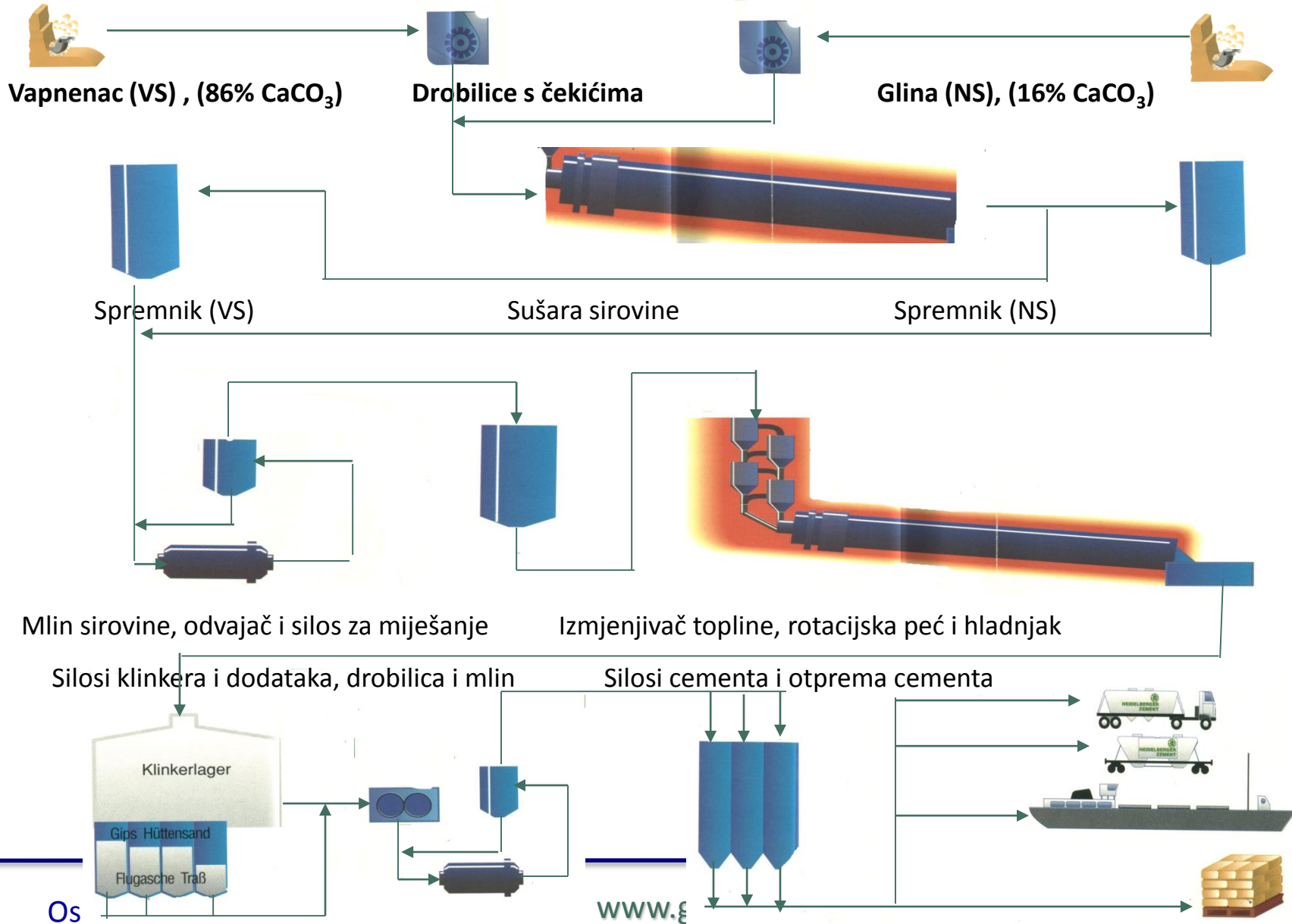
- cement opće namjene niske topline hidratacije
- metalurški cement niske rane čvrstoće
- posebni cement vrlo niske topline hidratacije
- sulfatnootporni cement
- bijeli cement
- aluminatni cement

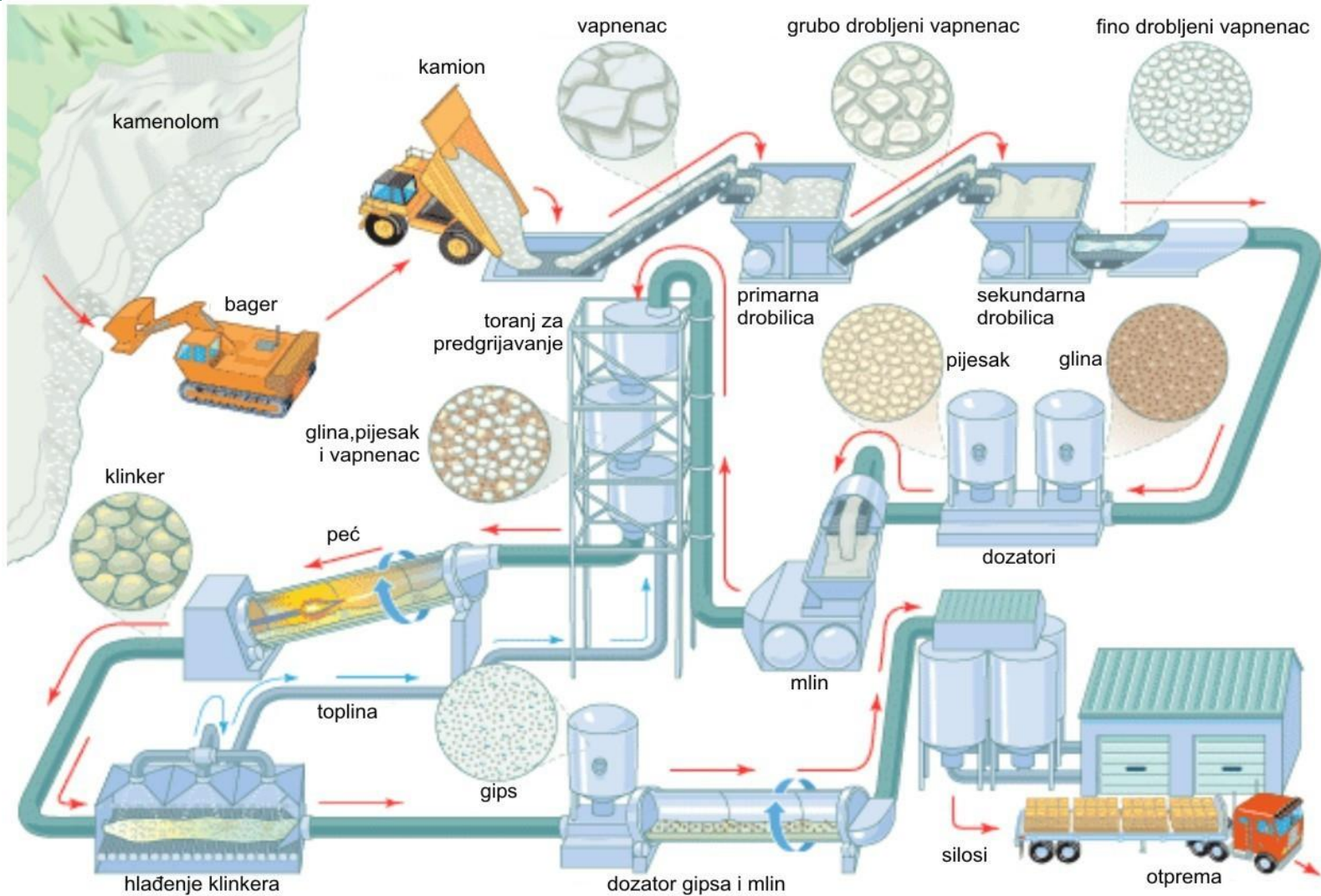
Podjela prema kemijskom sastavu:

- silikatni
- aluminatni

PROIZVODNJA PORTLAND-CEMENTA

- 1 Dobivanje sirovina**
- 2 Drobljenje sirovina**
- 3 Sušenje sirovina**
- 4 Mljevenje sirovina**
- 5 Fino miješanje sirovina**
- 6 Pečenje sirovinskog brašna**
- 7 Hlađenje i uskladištenje PC klinkera**
- 8 Mljevenje klinkera i dodataka**
- 9 Skladištenje i otprema cementa**
- 10 Kontrola kakvoće proizvedenog cementa**





Moderni postupak proizvodnje cementa

DOBIVANJE SIROVINE



Utovar i otprema laporovitog vapnenca

DOBIVANJE SIROVINE



Uzimanje gline sa deponije

Omjeri oksida:

Hidraulični modul (HM)=1,7 do 2,2

$$HM = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Silikatni modul (SM)= 1,7 do 3,5

$$SM = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Aluminatni modul (AM)=1,5 do 2,4

$$AM = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

Stupanj zasićenja (SZ)= 85 do 102

$$SZ = \frac{100 \cdot CaO}{2,8 \cdot SiO_2 + 1,2 \cdot Al_2O_3 + 0,65 \cdot Fe_2O_3}$$

PEČENJE SIROVINA



Rotacijska peć

MLJEVENJE KLINKERA I DODATAKA



Mlin s kuglama



Unutrašnjost mlina s kuglama



Izgled klinkera prije i poslije mljevenja



Automatizirano upravljanje procesima

SKLADIŠTENJE CEMENTA



Silosi za skladištenje cementa



Skladištenje cementa u vrećama

OTPREMA CEMENTA



Otprema cementa cisternom



Otprema cementa
kamionom

MINERALOŠKI SASTAV PORTLAND-CEMENTA

Glavni sastojci:

- trikalcijev-silikat, C_3S , alit
- dikalcijev-silikat, C_2S , belit
- trikalcijev-aluminat, C_3A
- tetra kalcijevaluminat-ferit, C_4AF , feritna faza

Sporedni sastojci:

- kalcijev oksid, CaO
- magnezijev oksid, MgO
- alkalijski oksidi, Na_2O , i K_2O

KEMIJSKI PROCESI NASTAJANJA MINERALA PC-KLINKERA

$3 \text{ CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow 3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$, skraćeno C_3S , alit
trikalcijev-silikat

$2 \text{ CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$, skraćeno C_2S , belit
dikalcijev-silikat

$3 \text{ CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, skraćeno C_3A ,
trikalcijev-aluminat

$4 \text{ CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
tetrakalcijev aluminat-ferit,
skraćeno C_4AF

KEMIJSKI I MINERALOŠKI SASTAV PC KLINKERA

Oksidi	Maseni udio %	Kratica	Minerali	Maseni udio %	Kratica
CaO	64,7	C	$3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	45,7	C_3S
SiO ₂	21,0	S	$2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	28,0	C_2S
Al ₂ O ₃	4,9	A	$3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	8,9	C_3A
Fe ₂ O ₃	2,4	F	$4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	7,3	C_4AF
CaO slo.	2,0	C			
MgO	1,1	M			
SO ₃	2,6	Ŝ			
K ₂ O	0,4	K			
Na ₂ O	0,2	N			
Gubitak žarenjem	1,4	GŽ			

BOGUEOVE FORMULE

$$C_3S = 4,07 \cdot CaO - (7,60 \cdot SiO_2 + 6,72 \cdot Al_2O_3 + 1,43 \cdot Fe_2O_3 + 2,85 \cdot SO_3)$$

$$C_2S = 2,87 \cdot SiO_2 - 0,754 \cdot C_3S$$

$$C_3A = 2,63 \cdot Al_2O_3 - 1,69 \cdot Fe_2O_3$$

$$C_3A(\text{cement}) = C_3A(\text{klinker}) \times \text{udio klinkera u cementu}$$

$$C_4AF = 3,04 \cdot Fe_2O_3$$

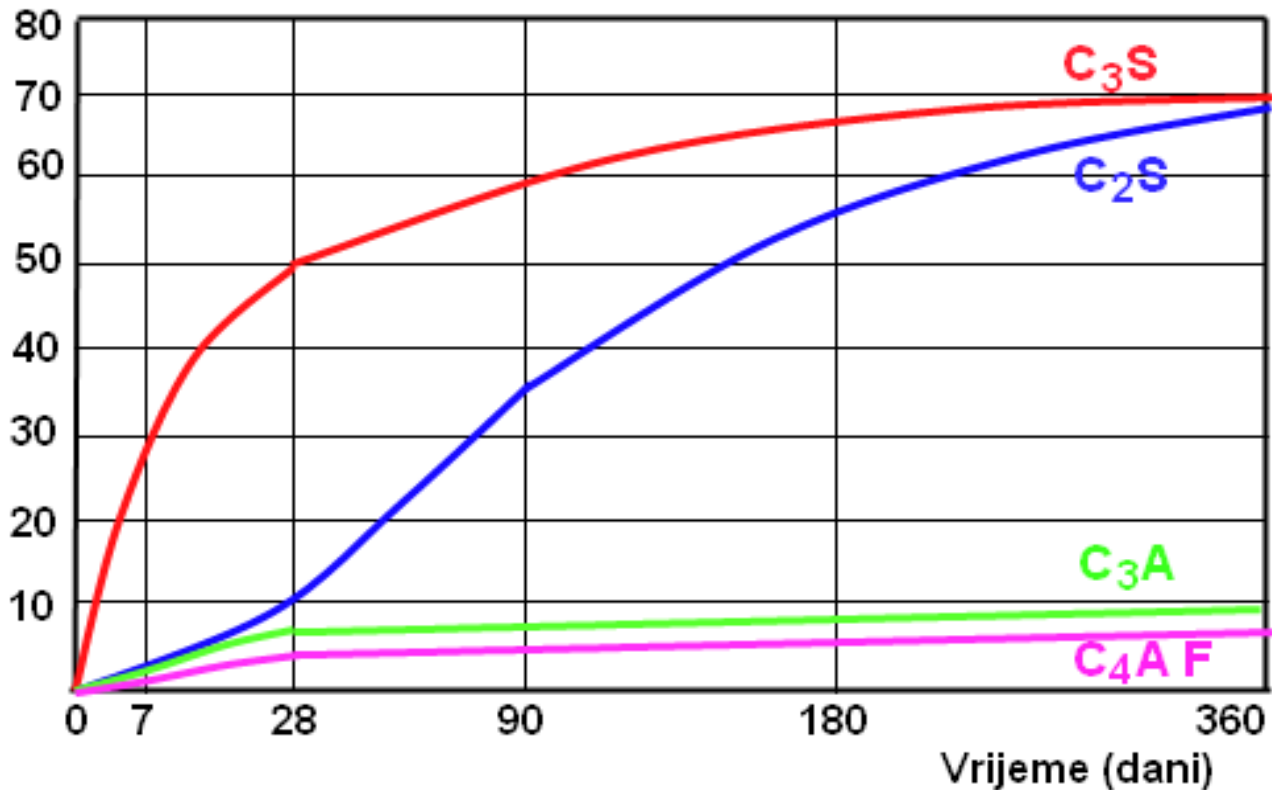
$C_3S \rightarrow$ najbrži prirast rane čvrstoće i topline hidratacije

$C_2S \rightarrow$ utječe na kasniji prirast čvrstoće

$C_3A \rightarrow$ sulfatno-otporni cement (<3,5%)

RAZVOJ ČVRSTOĆA POJEDINIH MINERALA PC-KLINKERA

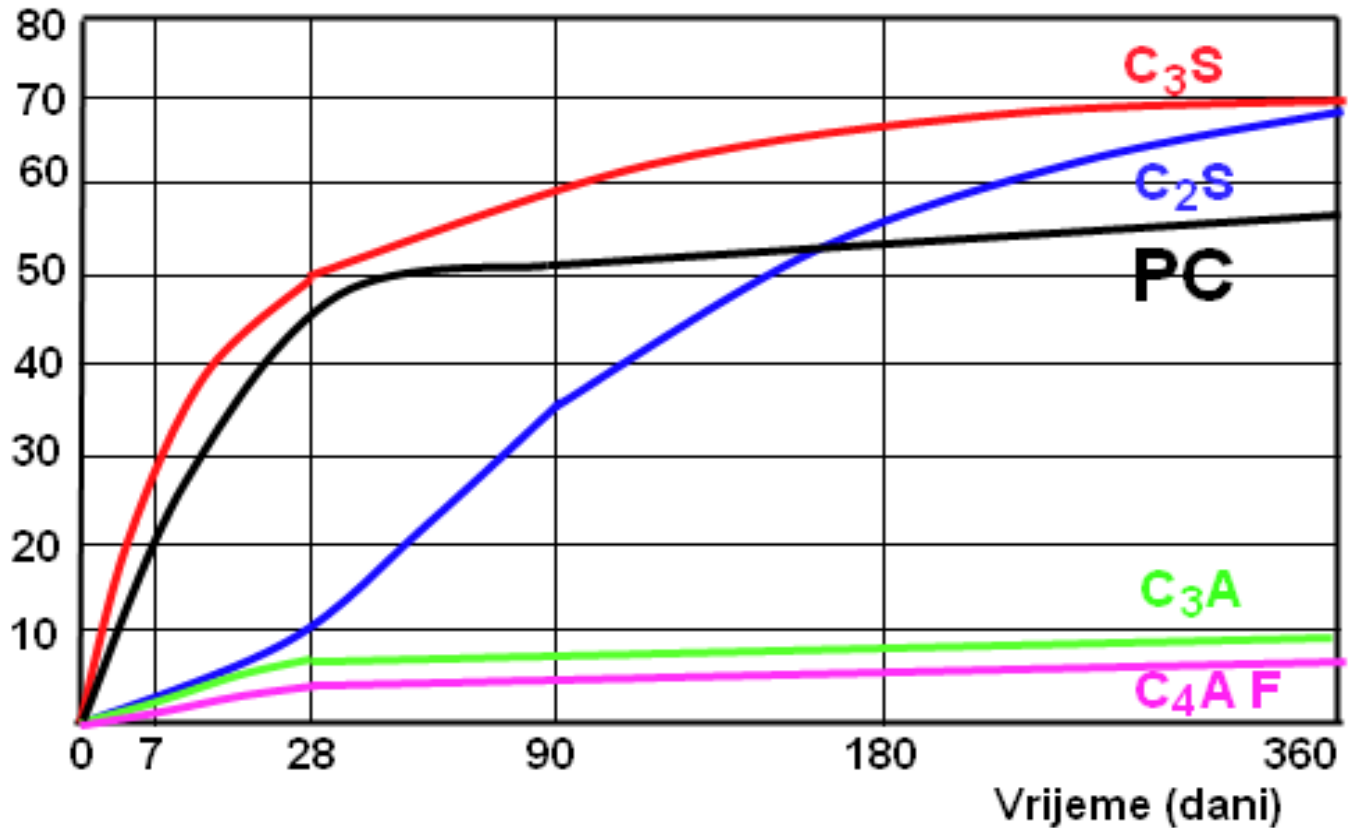
Tlačna čvrstoća MPa



Razvoj čvrstoća pojedinih minerala PC-klinkera

RAZVOJ ČVRSTOĆA PORTLAND-CEMENTA

Tlačna čvrstoća MPa



Utjecaj minerala klinkera na razvoj čvrstoće cementa

HIDRATACIJA PORTLAND-CEMENTA

HIDRATACIJA C₃A

a) u odsutnosti sulfata

Trikalcijev-aluminat + voda → kalcijevi-aluminat-hidrati + toplina

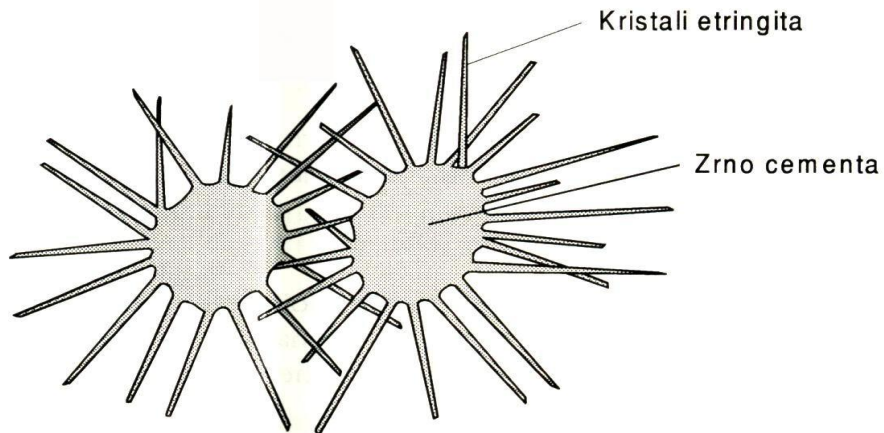


b) uz dodatak sulfata

Trikalcijev-aluminat + gips + voda → etringit + toplina (870 kJ/kg)



GRAĐA KRISTALA ETRINGITA



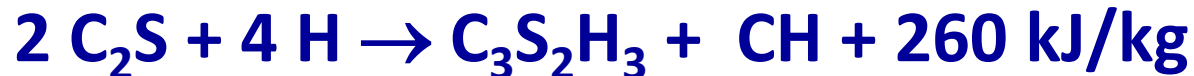
Igličasta građa kristala etringita

HIDRATACIJA ALITA, C_3S I BELITA, C_2S

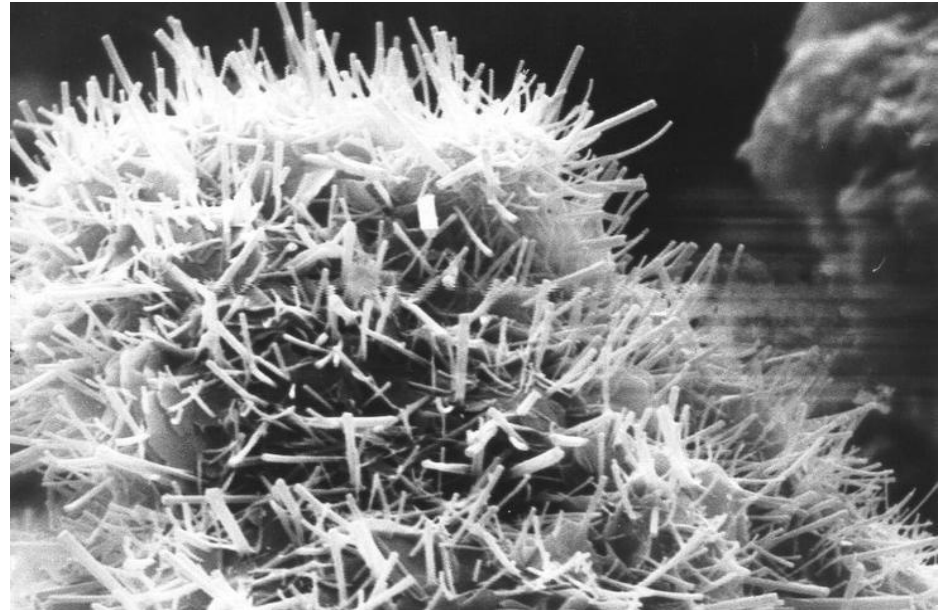
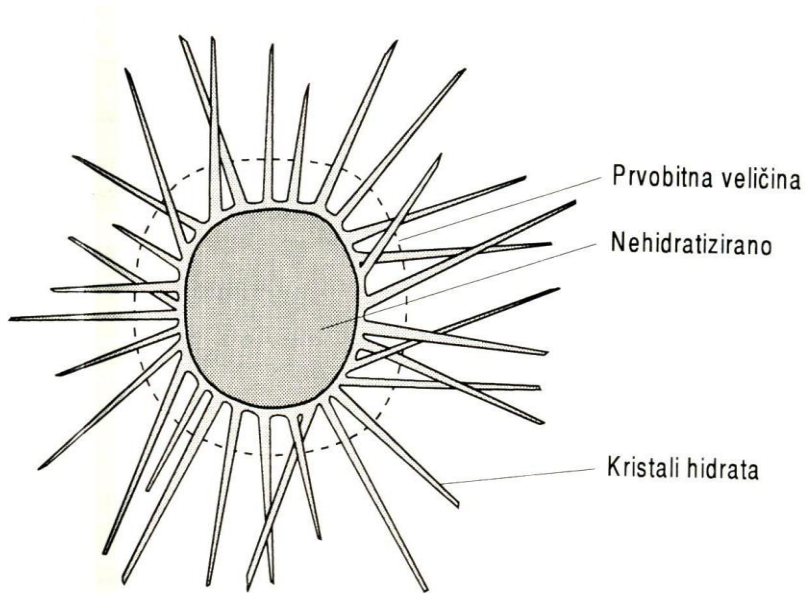
Trikalcijev-silikat + voda → kalcijev-silikat hidrat + kalcijev hidroksid + toplina



Dikalcijev-silikat + voda → kalcijev-silikat hidrat + kalcijev hidroksid + toplina



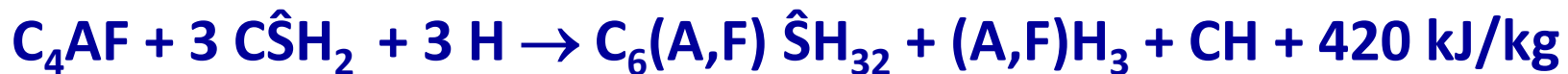
IGLIČASTA GRAĐA KALCIJEVOG SILIKAT HIDRATA, CSH



Igličasta građa kalcijevog silikat hidrata

HIDRATACIJA FERITNE FAZE, C_4AF

Feritna faza + gips + voda \rightarrow etringit + željezni-aluminijev hidroksid + kalcijev hidroksid + toplina



Feritna faza + etringit + kalcijev hidroksid + voda \rightarrow granat + željezni-aluminijev hidroksid



OBUJAMSKI UDJELI PRODUKATA HIDRATACIJE

- **etringita** 15 do 20 vol.%
- **kalcijev silikat-hidrat C-S-H** 50 do 60 vol.%
- **kalcijev hidroksida** 20 do 25 vol.%
- **pore** 5 do 6 vol.%

PRORAČUN TOPLINE HIDRATACIJE

$$Q_0 \text{ za } C_3A = 870 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_0 \text{ za } C_3S = 500 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_0 \text{ za } C_2S = 260 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_0 \text{ za } C_4AF = 420 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = \Sigma Q_0 \cdot X/100 \text{ kJ/kg}$$

Q_0 – toplina hidratacije pojedinog minerala cementa

Q – toplina hidratacije cementa

X – maseni % udjela pojedinog minerala u cementu

Cement je niske topline hidratacije ukoliko je ukupna toplina hidratacije mjerena:

- metodom rastvaranja $Q_{7 \text{ dana}} < 270 \text{ kJ/kg}$
- metodom termos boce $Q_{41\text{h}} < 270 \text{ kJ/kg}$

$$Q = \sum Q_0 \cdot X/100 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{7\text{dana}} \approx 75\% \cdot Q$$

PRORAČUN TEMPERATURE SVJEŽE CEMENTNE PASTE

$$T_{cp} = \frac{m_c \cdot T_c \cdot c_c + m_v \cdot T_v \cdot c_v}{m_c \cdot c_c + m_v \cdot c_v}$$

T_{cp} – temperatura cementne paste (°C)

T_c – temperatura cementa (°C)

T_v – temperatura vode (°C)

m_c – masa cementa (g)

m_v – masa vode (g)

c_c – specifični toplinski kapacitet cementa, $c_c = 0,88 \text{ J/g}^\circ\text{C}$

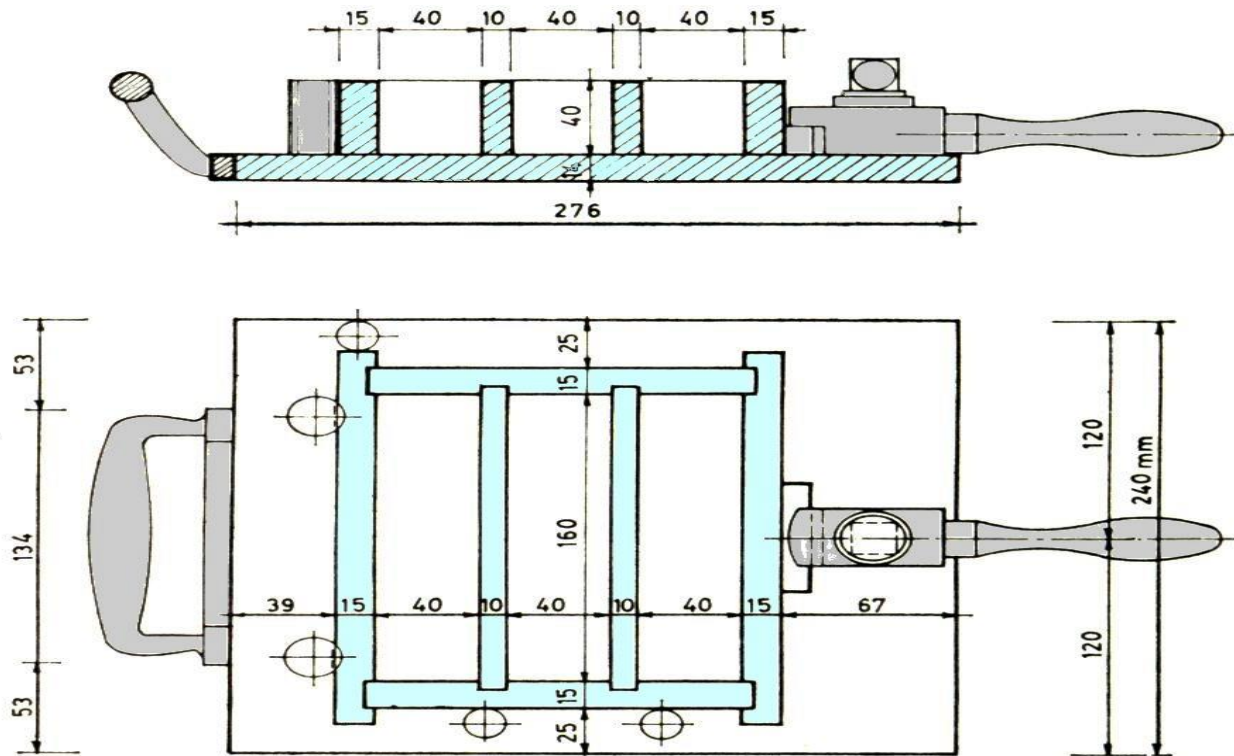
c_v – specifični toplinski kapacitet vode, $c_v = 4,20 \text{ J/g}^\circ\text{C}$

ISPITIVANJE FIZIKALNO I FIZIKALNO-MEHANIČKIH SVOJSTAVA CEMENTA

U fizikalno i fizikalno-mehanička svojstva cementa ubrajamo:

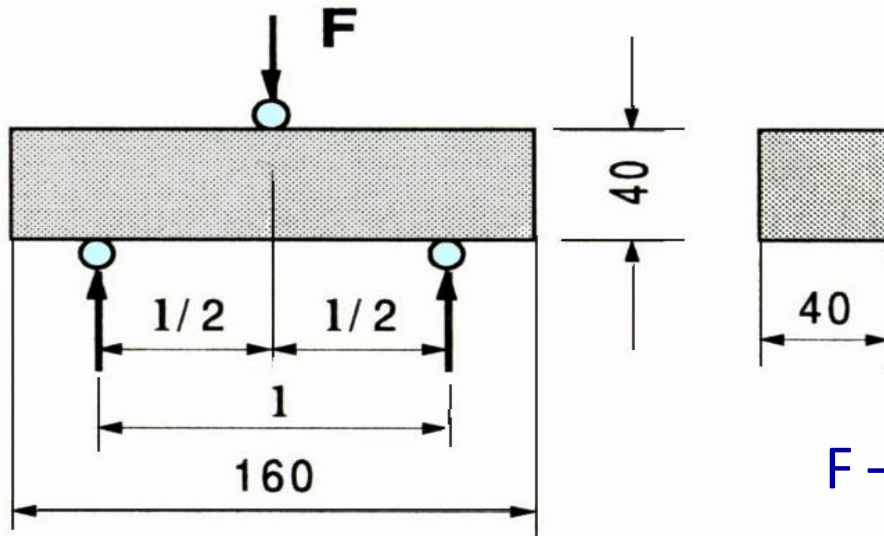
- tlačnu čvrstoću
- kemijsku analizu cementa
- vrijeme vezanja i postojanost obujma
- kvantitativno određivanje sastojaka
- pucolansku aktivnost
- finoću mljevenja
- gustoću cementa

PRIPREMA PRIZMICA CEMENTNOG MORTA



Trostruki kalup za pripremu prizmica cementnog morta
(40x 40 x160 mm)

ISPITIVANJE ČVRSTOĆE NA SAVIJANJE



$$R_{ms} = \frac{1,5 \cdot F \cdot l}{b^3} \text{ (N / mm}^2 \text{)}$$

Ispitivanje čvrstoće na savijanje

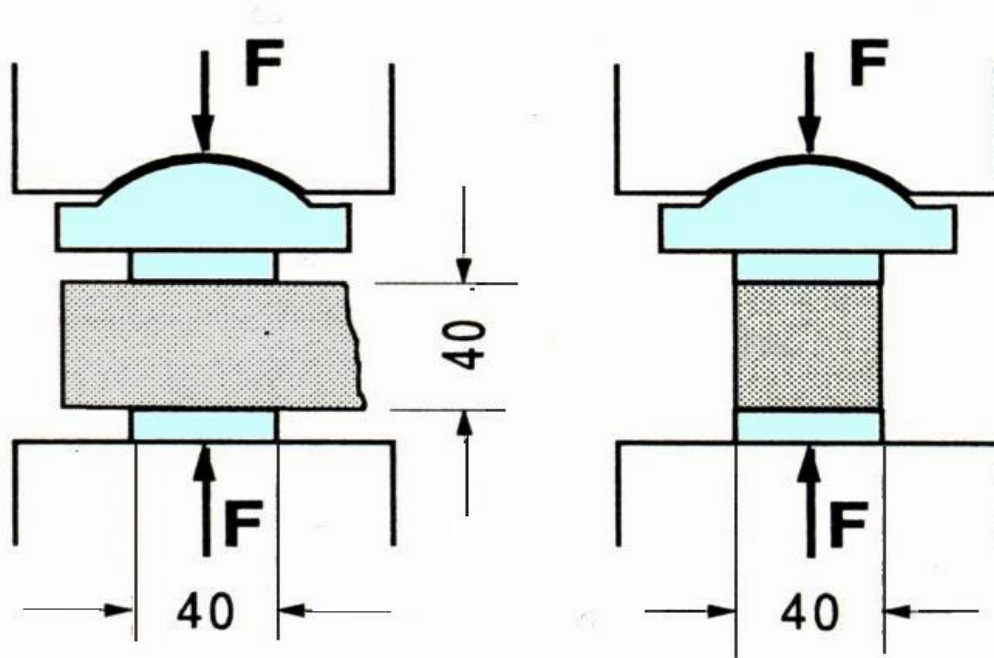
F – opterećenje na sredini prizme pri lomu (N)

l – razmak između podupirača (mm)

b – stranica prizme (40 mm)

Ovo ispitivanje se prema današnjim normama ne provodi.

ISPITIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE



$$R_{mtt} = \frac{F}{A} \text{ (N / mm}^2 \text{)}$$

F – opterećenje pri lomu (N)

A – ploština na koju djeluje sila
(40mm · 40 mm = 1600
mm²)

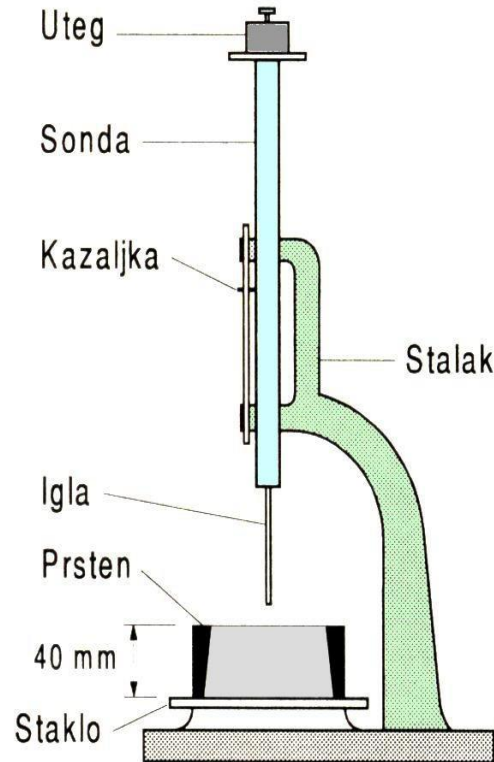
Ispitivanje tlačne čvrstoće

ODREĐIVANJE VREMENA VEZANJA I POSTOJANOSTI OBUJMA CEMENTA

- Vrijeme vezanja određuje se promatranjem prodiranja igle u cementnu pastu normirane konzistencije dok se ne postigne specificirana vrijednost.
- Postojanost obujma određuje se promatranjem širenja obujma cementne paste normirane konzistencije mjerenjem razmaka između dvije igle.
- Cementna pasta normirane konzistencije je ona cementna pasta koja ima specificirani otpor na prodiranje normiranog valjka. Masa vode za takvu pastu određuje se pokusima.

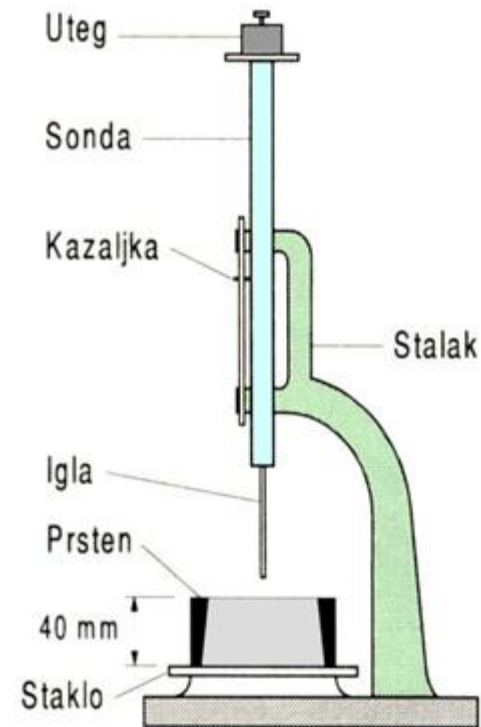
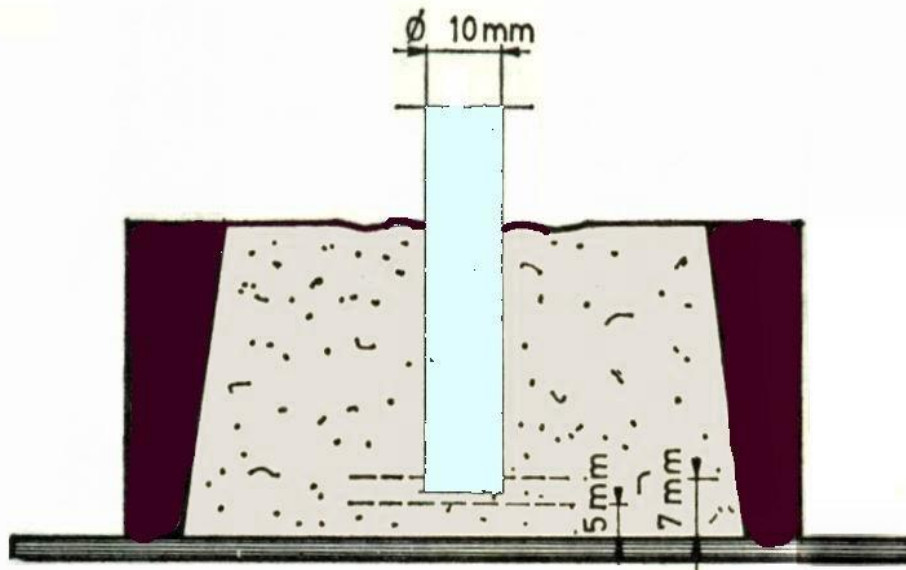
VICATOV UREĐAJ

Louis Joseph Vicat



Vicatov uređaj za ispitivanje normirane konzistencije, početka i kraja vezanja cementne paste

ODREĐIVANJE NORMIRANE KONZISTENCIJE CEM. PASTE



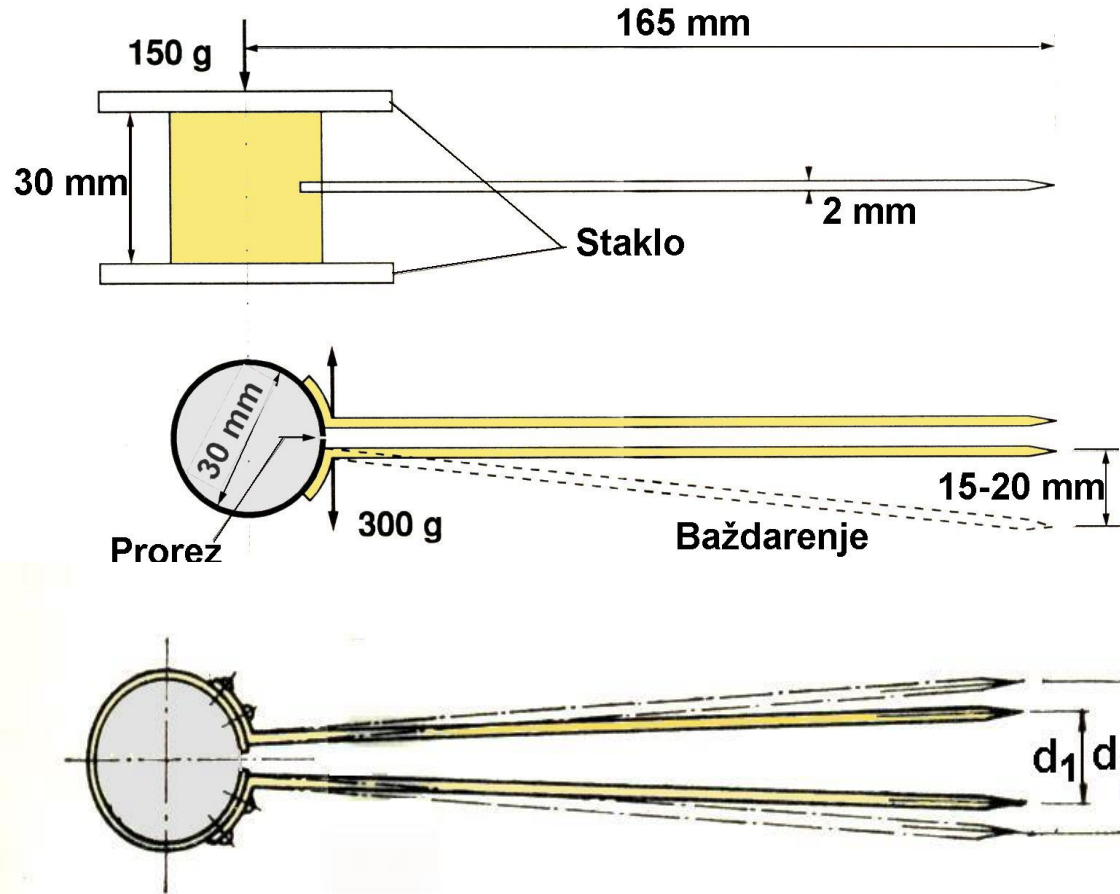
Određivanje normirane konzistencije cementne paste

ODREĐIVANJE POČETKA I KRAJA VEZANJA



Određivanje početka i kraja vezanja cementne paste

ISPITIVANJE POSTOJANOSTI OBUJMA CEMENTNE PASTE



$$d_2 - d_1 < 10 \text{ mm}$$



Le Chatelierovi prstenovi

ODREĐIVANJE FINOĆE MLJEVENJA METODOM PROSIJAVANJA

$$R_1 = \frac{m_0}{m} \cdot 100 (\text{mas. \%}) \quad R = \frac{R_1 + R_2}{2} (\text{mas. \%})$$

R_1 – ostatak na situ (mas.%)

R_2 – ostatak na situ (mas.%)

m_0 – masa ostatka cementa na situ veličine otvora 0,09 mm

m – početna masa uzorka cementa (10 g)

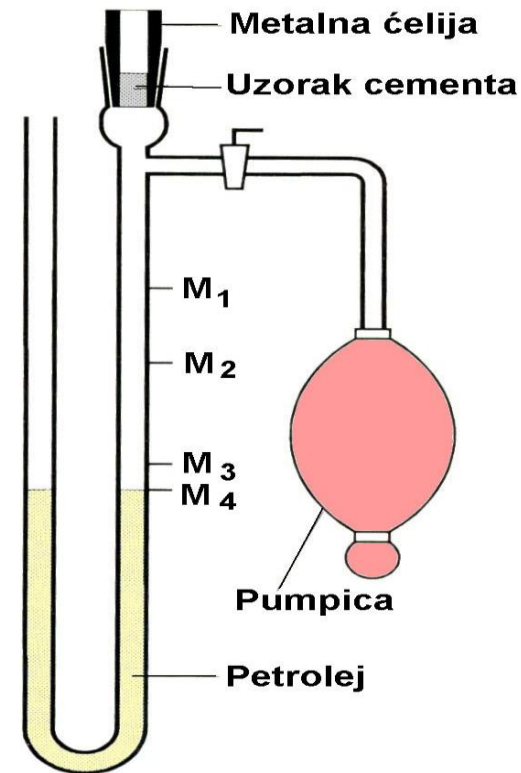


ODREĐIVANJE FINOĆE MLJEVENJA METODOM PROPUSNOSTI ZRAKA PO BLAINU

Finoća cementa određuje se kao specifična ploština promatranjem vremena potrebnog da određeni obujam zraka prođe kroz zbijeni cementni sloj specificiranih dimenzija i poroznosti.



Blainov uređaj



SPECIFIČNA PLOŠTINA CEMENTA

$$S = \frac{\rho_0}{\rho} \cdot \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{t_0}} \cdot S_0 \text{ (cm}^2 \text{ / g)}$$

S – specifična ploština uzorka cementa

S_0 – specifična ploština kontrolnog uzorka

ρ - gustoća uzorka cementa

ρ_0 – gustoća kontrolnog uzorka

t – mjereno vrijeme cementa koji se ispituje

t_0 – prosjek triju vremena mjerenih na kontrolnom uzorku

VRSTE I RAZREDI CEMENTA PREMA HRN EN 197-1:2012

- **27 vrsta cementa opće namjene kojima je dopušteno dodavati 9 različitih vrsta dodataka i mješavinu dodataka**
- **3 razreda cementa: 32,5, 42,5, 52,5 prema 28-dnevnim tlačnim čvrstoćama**
- **2 moguća prirasta rane čvrstoće:
N, normalan i R, visok**

OZNAKE ZA 9 DOPUŠTENIH DODATAKA

- zrnata šljaka visoke peći S
- elektrofilterski SiO_2 prah D
- prirodni pucolan P
- prirodni pucolan toplinski obrađen Q
- leteći pepeo pucolanskih svojstava V
- leteći pepeo hidrauličnih svojstava W
- škriljevac pečen na $800\text{ }^\circ\text{C}$ T
- vapnenac s najviše 0,20 % ugljika LL
- vapnenac s najviše 0,50 % ugljika L
- mješavina navedenih dodataka M

OZNAKE ZA VRSTE CEMENTA

CEM I- čisti portland cement CEM I – k

k– je jedan od tri specificirana razreda cementa, 32,5, 42,5 ili 52,5

CEM II – PC s miješanim dodacima

PC s dodatkom šljake CEM II/A-S k

.... CEM II/B-S k

PC s dodatkom SiO_2 praha CEM II/A-D k

.....CEM II/B-D k

PC s dodatkom pucolana CEM II/A-P k

.... CEM II/B-P k

.... CEM II/A-Q k

.... CEM II/B-Q k

PC s dodatkom letećeg pepela	.... CEM II/A-V k
	.... CEM II/B-V k
	.... CEM II/A-W k
	.... CEM II/B-W k
PC s dodatkom pečenog škriljevca	.... CEM II/A-T k
	.... CEM II/B-T k
PC s dodatkom vapnenca, 0,5 % C	.... CEM II/A-L k
	.... CEM II/B-L k
PC s dodatkom vapnenca, 0,2 % C	.... CEM II/A-LL k
	.... CEM II/B-LL k
PC s miješanim dodacima	.... CEM II/A-M k
	.... CEM II/B-M k

A=6-20% dodatka; B=21-35% dodatka

CEM III – PC sa šljakom visoke peći

metalurški cement sa 35 do 65 % šljake .. CEM III/A – k

metalurški cement sa 66 do 80 % šljake .. CEM III/B – k

metalurški cement sa 81 do 95 % šljake .. CEM III/C – k

CEM IV – pucolanski cement

pucolanski cement s 11 do 35 % pucolana .CEM IV/A –k

pucolanski cement s 36 do 55 % pucolana .CEM IV/B –k

CEM V – miješani cement

miješani cement s 16-35 % šljake i 18-30 % pepela pucolanskih
svojstava CEM V/A (S-V) - k

miješani cement s 36-50 % šljake i 31-50 % pepela pucolanskih
svojstava CEM V/B (S-V) - k



Podjela portlandskog cementa sa miješanim dodacima – cementi opće namjene

Glavna vrsta	Podjela podvrsta	Sastav (maseni udio u %)											
		Glavni sastojci										Sporedni dodatni sastojci	
		Klinker	Granulirana zgura visoke peći	SiO ₂ Prašina	Pucolan		Leteći pepeo		Pečeni škrljevac	Vapnenac			
					prirodni	prirodni kalcinirani	silicijski	kalcijski		L	LL		
K	S	D	P	Q	V	W	T	L	LL				
CEM II	Portlandski cement s dodatkom zgure	CEM II/A-S	80-94	6-20									0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35									0-5
	Portlandski cement s dodatkom prašine	CEM II/A-D	90-94		6-10								0-5
	Portlandski cement s dodatkom pucolana	CEM II/A-P	80-94			6-20							0-5
		CEM II/B-P	65-79			21-35							0-5
		CEM II/A-Q	80-94				6-20						0-5
		CEM II/B-Q	65-79				21-35						0-5
	Portlandski cement s dodatkom letećeg pepela	CEM II/A-V	80-94					6-20					0-5
		CEM II/B-V	65-79					21-35					0-5
		CEM II/A-W	80-94						6-20				0-5
		CEM II/B-W	65-79						21-35				0-5
	Portlandski cement s dodatkom pečenog škrljevca	CEM II/A-T	80-94							6-20			0-5
		CEM II/B-T	65-79							21-35			0-5
	Portlandski cement s dodatkom vapnenca	CEM II/A-L	80-94								6-20		0-5
		CEM II/B-L	65-79								21-35		0-5
		CEM II/A-LL	80-94									6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79									21-35	0-5
	Miješani portlandski cement	CEM II/A-M	80-94	6-20									0-5
		CEM II/B-M	65-79	21-35									0-5

Podjela ostalih portlandskih cementa – cementi opće namjene

Glavna vrsta	Podjela podvrsta		Sastav (maseni udio u %)											
			Glavni sastojci									Sporedni dodatni sastojci		
			Klinker	Granulirana zgrura visoke peći	SiO ₂ Prašina	Pucolan		Leteći pepeo		Pečeni škrljjevac	Vapnenac			
						prirodni	prirodni kalcinirani	silicijski	kalcijjski					
K	S	D	P	Q	V	W	T	L	LL					
CEM I I	Portlandski cement	CEM I	95-100											0-5
CEM III	Metalurški cement	CEM III/A	35-64	36-65										0-5
		CEM III/B	20-34	66-80										0-5
		CEM III/C	5-19	81-95										0-5
CEM IV	Pucolanski cement	CEM IV/A	65-89	11-35								0-5		
		CEM IV/B	45-64	36-55										
CEM V	Miješani cement	CEM V/A	40-64	18-30	18-30							0-5		
		CEM V/B	20-38	31-50	31-50							0-5		

Posebni cement vrlo niske topline hidratacije

Glavna Vrsta	Nazivi šest proizvoda (vrste posebnih cementa vrlo niske topline hidratacije)		Sastav (maseni udio u %)								
			Glavni sastojci						Sporedni dodatni sastojci		
			Klinker	Granulirana zgrura	SiO ₂ Prašina	Pucolan		Leteći pepeo			
						prirodni	prirodni kalcinirani	silicijski			kalcijski
K	S	D ^b	P	Q	V	W					
VLH III	Metalurški cement	VLH III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	0-5	
		VLH III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	0-5	
VLH IV	Pucolanski cement	VLH IV/A	65-89	-	11-35				0-5		
		VLH IV/B	45-64	-	36-55						
VLH V	Miješani cement	VLH V/A	40-64	18-30	-	18-30		-	0-5		
		VLH V/B	20-38	31-50	-	31-50		-	0-5		

UVJETI USKLAĐENOSTI ZA POSTIGNUTU TLAČNU ČVRSTOĆU

a) na skupu rezultata

$$X_{sr} - k_A \cdot s \geq L \text{ i } X_{sr} + k_A \cdot s \leq U$$

- x_{sr} – aritmetička sredina svih rezultata
- k_A – konstanta prihvatljivosti
- s – standardna devijacija
- L – donja propisana tlačna čvrstoća
- U – gornja propisana tlačna čvrstoća

RAZREDI CEMENTA I NORMIRANA ČVRSTOĆA – cement opće namjene

Razred cementa	Tlačna čvrstoća (N/mm ²)			Početno vrijeme vezanja (min)	Ispravnost obujma (mm)
	Rana čvrstoća		Normirana čvrstoća		
	2 dana	7 dana	28 dana		
32,5 N	-	≥ 16	≥ 32,5 i	≥ 60	≤ 10
32,5 R	≥ 10	-	≤ 52,5		
42,5 N	≥ 10	-	≥ 42,5 i		
42,5 R	≥ 20	-	≤ 62,5	≥ 45	
52,5 N	≥ 20	-	≥ 52,5		
52,5 R	≥ 30	-			

OVISNOST KONSTANTE PRIHVATLJIVOSTI (k_A) O BROJU ISPITIVANJA (n) I POSTOTKU ODSTUPANJA (P_a) OD L I U

Konstanta prihvatljivosti k_A		
n	$P_a = 5 \% \text{ za L}$	$P_a = 10 \% \text{ za U}$
20-21	2,40	1,93
22-23	2,35	1,89
24-25	2,31	1,85
26-27	2,27	1,82
...
60-69	2,02	1,61
...
300-399	1,80	1,42
>400	1,78	1,40

UVJETI USKLAĐENOSTI ZA POSTIGNUTU TLAČNU ČVRSTOĆU

b) prema broju podbačaja:

$$c_D \leq c_A$$

- c_D - ukupan broj rezultata koji su podbacili u odnosu na propisanu vrijednost
- c_A - broj dopuštenih podbačaja

Broj rezultata ispitivanja	c_A
20-39	0
40-54	1
55-69	2
70-84	3
85-99	4
100-109	5
110-123	6
124-136	7

Pojedinačne granične vrijednosti za cement opće namjene

Čvrstoća	Pojedinačna granična vrijednost					
	Razred čvrstoće					
	32,5N	32,5R	42,5N	42,5R	52,5N	52,5R
2. dan	-	8,0	8,0	18,0	18,0	28,0
7. dan	14,0	-	-	-	-	-
28. dan	30,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,0

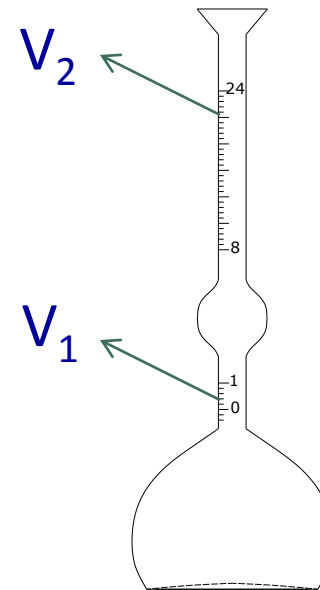
ODREĐIVANJE GUSTOĆE CEMENTA

LA-CHATELIER-ova tikvica

- ispunj se terpentinom do V_1
- doda se uzorak cementa (65 g)
- izmjeri se nivo V_2
- razlika između volumena V_1 i V_2
- je volumen uzorka cementa V_c

GUSTOĆA CEMENTA $\sim 2,9-3,15 \text{ g/cm}^3$

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_2 - V_1} = \frac{m_c}{V_c} \text{ (g / cm}^3\text{)}$$



KONTROLA KVALITETE - SVRHA POJEDINIH ISPITIVANJA

Vrste ispitivanja:	Važno za:
Finoća mliva	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ocjenu brzine prirasta čvrstoće ▪ Potrebu za vodom ▪ Procjenu skupljanja
Gustoća Standardna konzistencija Vrijeme vezanja	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Izvođenje betonskih radova
Postojanost volumena	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Postojanost betona
Tlačna čvrstoća	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ocjenu klase cementa

DOZVOLJENA ODSTUPANJA SVOJSTAVA

Svojstvo	Dozvoljeno odstupanje
Donja granica čvrstoće (L) 28 dana	-2,5 N/mm ²
2 dana	-2,0 N/mm ²
(7) dana	odstupanje nije propisano
Gornja granica čvrstoće (U)	-15 min
Vrijeme vezanja	+1 mm
Postojanost obujma	odstupanje nije propisano
Gubitak žarenjem	0,5 mas. %
Maseni udio sulfata	0,01 mas. %
Maseni udio klorida	odstupanje nije propisano
Netopiv ostatak	odstupanje nije propisano
Pucolanska aktivnost	odstupanje nije propisano

GUBITAK ČVRSTOĆE BETONA ZBOG ODLEŽANOG CEMENTA

Duljina odležavanja (mjeseci)	Gubitak čvrstoće (%)
3	15 – 20
6	20 – 30
12	30 – 40
24	40 – 50
54	50 – 60

GUBITAK ČVRSTOĆE BETONA ZBOG ODLEŽANOG CEMENTA

Duljina odležavanja (mjeseci)	Gubitak čvrstoće (%)
3	15 – 20
6	20 – 30
12	30 – 40
24	40 – 50
54	50 – 60



Lokacije tvornica cementa u Hrvatskoj

NEXE

- **CEM I 52,5 N**
- **CEM II/B – M (P-S) 32,5 N**
- **CEM II/A – M (S-V) 42,5 N**
- **NAMAL MC 5 – zidarski cement**

CEMEX

- CEM I 42,5 R
- CEM II/A – S 42,5 N
- CEM II/A – S 42,5 R
- CEM II/A –M (S – LL) 42,5 N
- CEM III/B 32,5 N SR - LH

HOLCIM

- CEM I 42,5 R
- CEM II/A – LL 42,5 R
- CEM II/B – M (S –V) 42,5 N

- CEM II/B – M (V-LL) 32,5 R
- CEM I 52,5 N Bijeli
- CEM III/B 32,5N SR-LH



CELUCEM

CAC 40

**CAC je kalcijev aluminatni cement čvrstoće 40
N/mm² , pri starosti od 24 h.**

IZBOR CEMENTA

Vrsta cementa i maseni udio odabire se uzimajući u obzir podatke primjene betona:

- krajnju uporabu betona
- uvjete njegovanja (npr. toplinska obrada)
- dimenzije građevine (razvoj topline hidratacije)
- uvjete okoliša kojima će građevina biti izložena
- potencijalnu reaktivnost agregata prema alkalijama iz sastojaka

Agregat

SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK

Agregat je zrnati mineralni materijal pogodan za uporabu u betonu, koji se sastoji od skupa istovrsnih čestica različite veličine.

Dijeli se prema:

- **podrijetlu:** prirodni, proizveden, recikliran, i umjetni
- **veliĉini zrna:** krupni i sitni
- **prema gustoći:** obične gustoće, lagan i teŝak



- **Prirodni agregat** se dobiva iz prirodnih mineralnih izvora, prirodnim drobljenjem bez mehaničke obrade.
- **Proizvedeni agregat** se dobiva mehaničkom obradom prirodnih mineralnih sirovina.
- **Reciklirani agregat** se dobiva drobljenjem građevnog materijala koji je korišten u građevinarstvu.
- **Umjetni agregat** je agregat dobiven umjetnim putem iz prirodnih i umjetnih materijala.

Kao umjetni agregat se upotrebljavaju:

- kristalna, zrnata šljaka visoke peći
- ekspanzirana pečena glina
- leteći pepeo termoelektrana
- ekspanzirani perlit, vermikulit
- ekspanzirani polimerni materijali...



šljaka visoke peći



agregat od
letećeg pepela



ekspanzirana glina



perlit



vermikulit



Izgled betona sa umjetnim agregatom

- **Sitni agregat:** veličina zrna od 0 do 4 mm
- **Krupni agregat:** veličina zrna od 4 do 125 mm
- **Običan agregat,** gustoće $> 2000 \text{ kg/m}^3$ i $< 3000 \text{ kg/m}^3$
- **Lagan agregat,** gustoće $< 2000 \text{ kg/m}^3$
- **Teški agregat,** gustoće $> 3000 \text{ kg/m}^3$



PROIZVODNJA KAMENOG AGREGATA

- drobljenje kamena u drobilicama
- odvajanje pojedinih frakcija agregata prosijavanjem na sitima
- skladištenje i otprema frakcija agregata
- kontrola kakvoće proizvedenog agregata



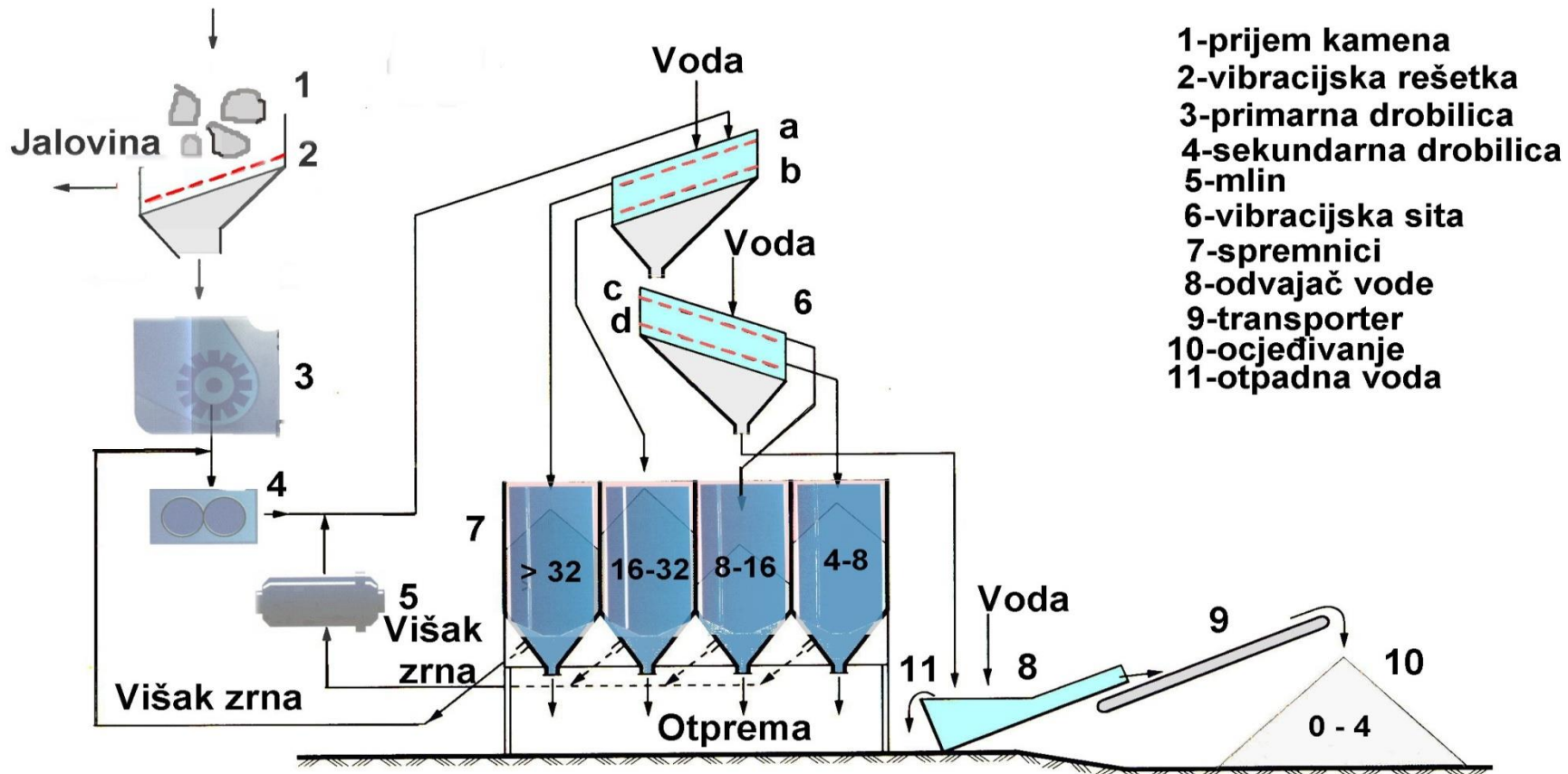
Drobljenje stjenske mase



**PROIZVODNJA AGREGATA
RUČNO**



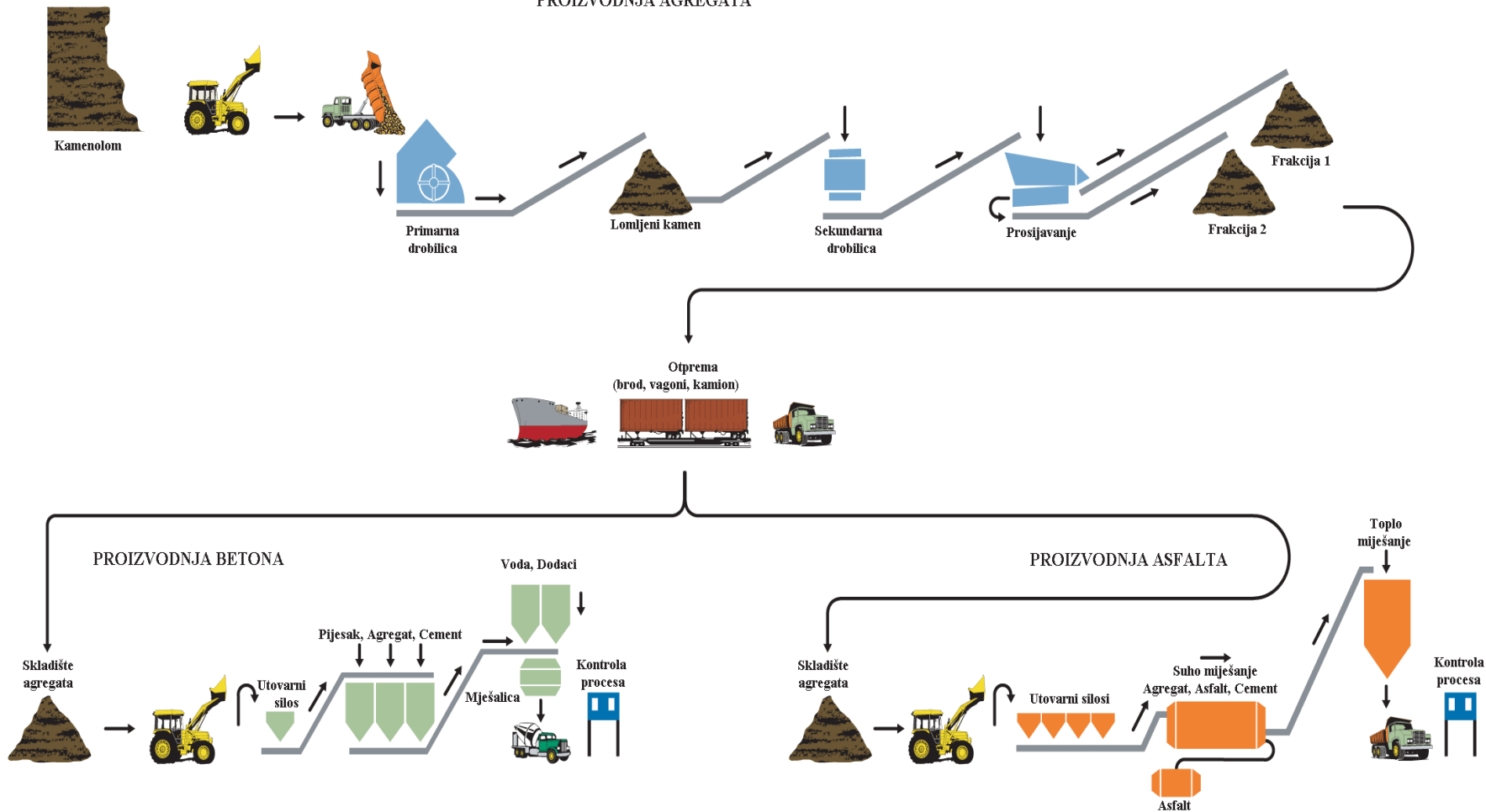
PROIZVODNJA AGREGATA



Proizvodnja pojedinih frakcija agregata

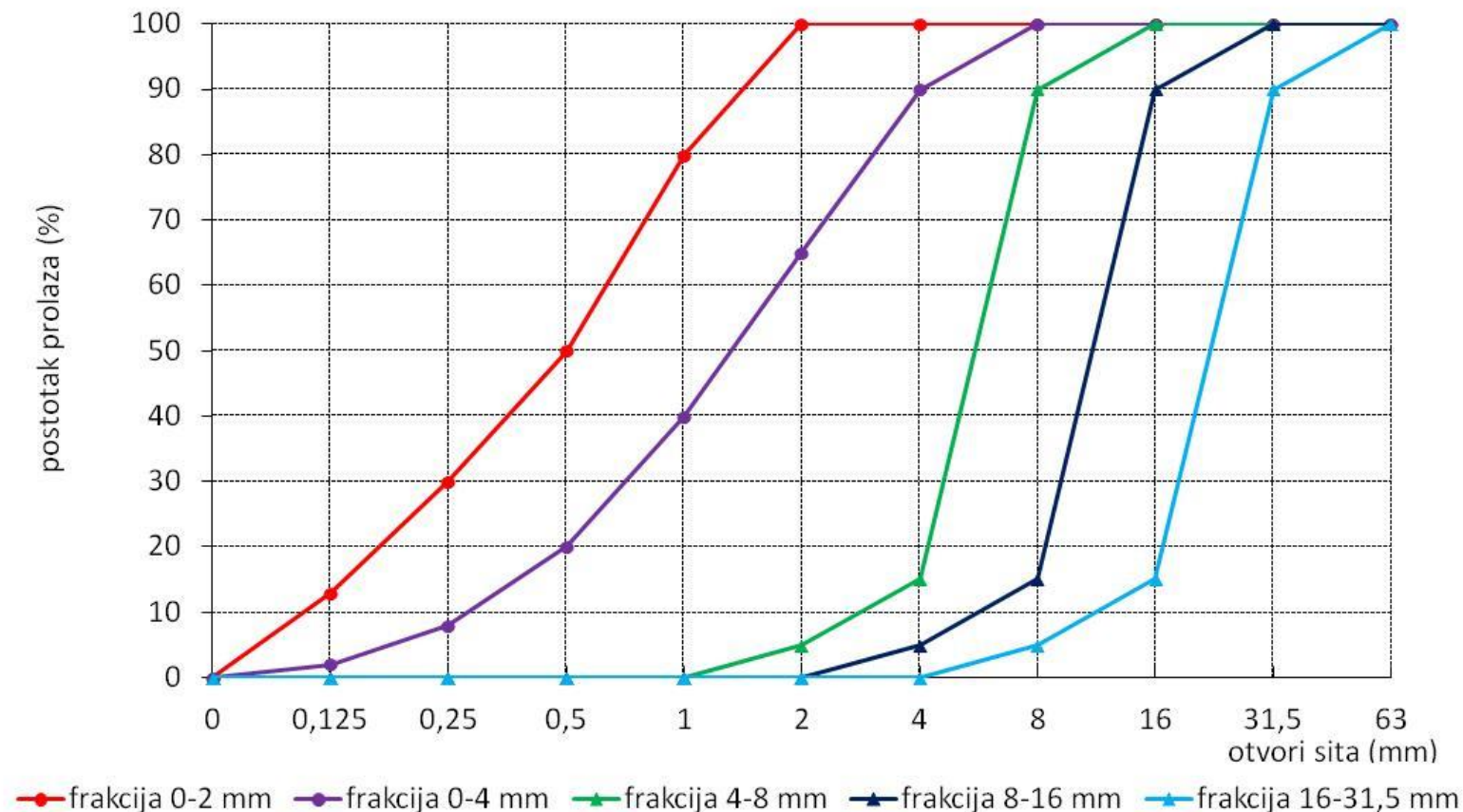
UPORABA AGREGATA

PROIZVODNJA AGREGATA

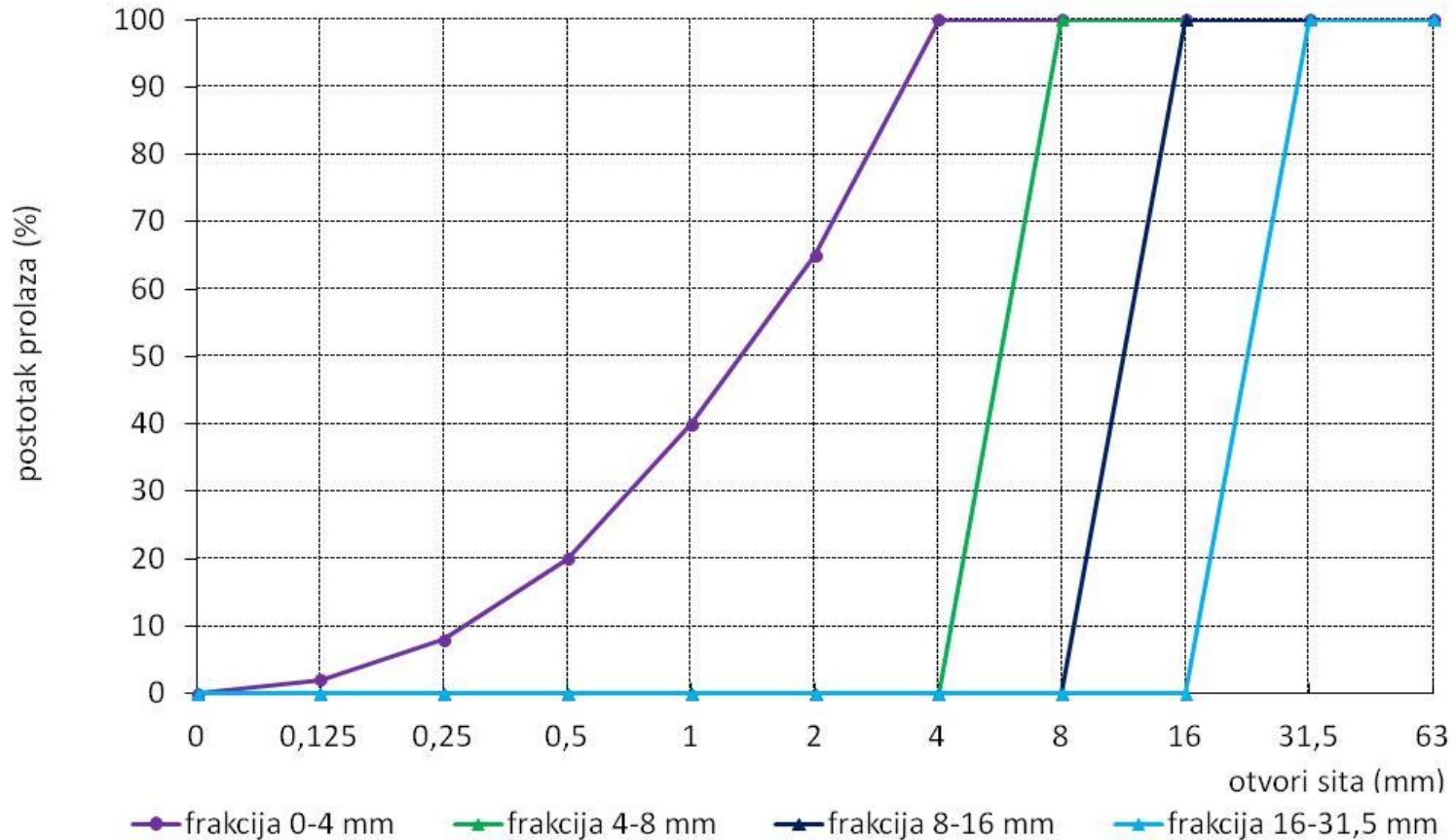


Uporaba agregata za proizvodnju betona i asfalta

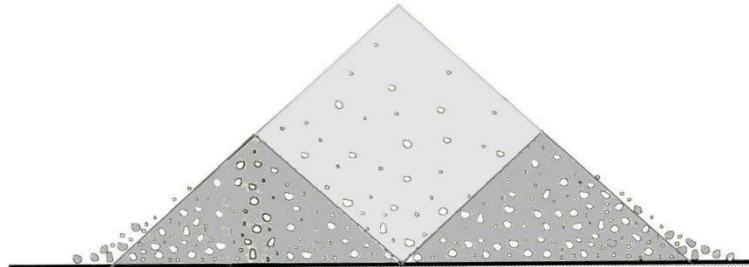
INDUSTRIJSKI RAZDVOJEN AGREGAT



IDEALNO RAZDVOJEN AGREGAT

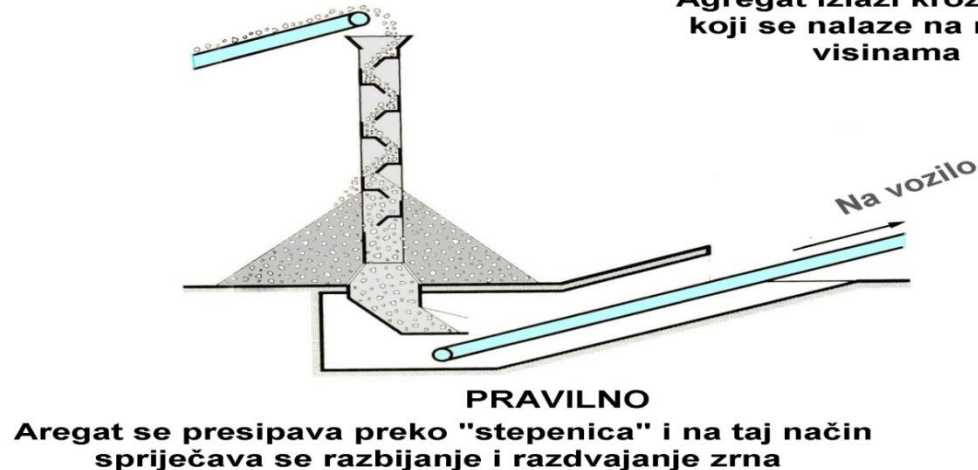
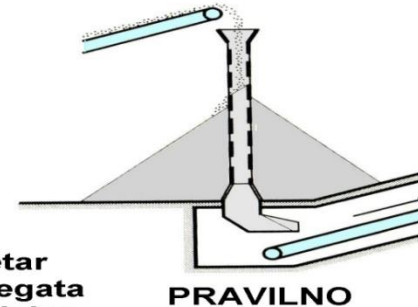


RAZDVAJANJE ZRNA AGREGATA (SEGREGACIJA)



Razdvajanje zrna agregata

SKLADIŠTENJE AGREGATA



Pravilno i nepravilno skladištenje agregata

IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU AGREGATA

- podatke o agregatu za beton, uključivo i identifikacijsku oznaku
- podatke o proizvođaču
- ime, sjedište, evidencijski broj i oznaku ovlaštenja ovlaštene pravne osobe koja je provela ispitivanja
- datum uzimanja uzoraka
- podatke o razdoblju u kojem je ispitivanje provedeno
- rezultate ispitivanja
- broj izvještaja o ispitivanju

SVOJSTVA AGREGATA SUKLADNO HRN EN 12620:2013

5	Physical requirements.....	7.1	General.....	30
5.1	General.....	7.2	Magnesium sulfate soundness of coarse aggregates.....	30
5.2	Resistance to fragmentation.....	7.3	Freeze – thaw resistance.....	31
5.3	Resistance to wear.....	7.3.1	Water absorption as a screening test for freeze-thaw resistance.....	31
5.4	Particle density and water absorption.....	7.3.2	Resistance to freezing and thawing.....	32
5.4.1	Particle density.....	7.3.3	Resistance to freezing and thawing in the presence of salt (extreme conditions).....	32
5.4.2	Water absorption.....	7.4	Volume stability - drying shrinkage.....	33
5.5	Bulk density.....	7.5	Alkali-silica reactivity.....	33
5.6	Resistance to polishing for application in surface courses.....	8	Evaluation of conformity.....	33
5.7	Resistance to surface abrasion.....	9	Designation.....	33
5.8	Resistance to abrasion from studded tyres for application in surface courses.....	9.1	Designation and description.....	33
6	Chemical requirements.....	9.2	Additional information for the description of an aggregate.....	34
6.1	General.....	10	Marking and labelling.....	34
6.2	Petrographic description.....	Annex A (normative)	Source materials considered in the development of EN 12620 and their status in respect of the scope of the standard.....	35
6.3	Classification of the constituents of coarse recycled aggregates.....	Annex B (informative)	Guidance on the description of coarseness/fineness of fine aggregates.....	38
6.4	Sulfur containing compounds.....	Annex C (informative)	Guidance on the effects of some chemical constituents of aggregates on the durability of concrete in which they are incorporated.....	39
6.4.1	Acid-soluble sulfate.....	C.1	Chlorides.....	39
6.4.2	Total sulfur.....	C.1.1	Chlorides in natural aggregates.....	39
6.4.3	Water soluble sulfate content of recycled aggregates.....	C.1.2	Chlorides in recycled aggregates.....	39
6.5	Chlorides.....	C.2	Sulfates.....	39
6.6	Carbonate content for concrete pavement surface courses of fine, and all-in aggregates.....	C.3	Alkali-silica reaction.....	40
6.7	Other constituents.....	C.3.1	Alkali-silica reaction with natural aggregates.....	40
6.7.1	Constituents which alter the rate of setting and hardening of concrete.....	C.3.2	Alkali-silica reaction with recycled aggregates (including manufactured glass).....	40
6.7.2	Constituents which affect the volume stability of air-cooled blast furnace slag.....	C.4	Constituents affecting the surface finish of concrete.....	40
7	Durability.....	C.5	Constituents affecting the setting and hardening of concrete.....	41
		C.6	Constituents of air-cooled blastfurnace slag.....	41

VELIČINA ZRNA AGREGATA

Veličina zrna agregata opisuje se:

- granicom najmanjeg otvora sita (**d**)
- granicom najvećeg otvora sita (**D**), prikazano kao **d/D**.

Agregat je određen kao:

G_C (coarse) – krupni

G_F (fine) – sitni agregat

G_A (all-in) – miješani (nefrakcionirani) agregat

Zahtijevani maseni postoci prolaza za krupni agregat:

- minimalni mas.% prolaza za **D** mora biti **90% ili 85%**
- maksimalni mas.% prolaza za **d** mora biti **10%, 15%, 20% ili 35%**
- za miješani agregat **d** je uvijek **nula**

OZNAČIVANJE FRAKCIJA KRUPNOG AGREGATA VELIČINE ZRNA 20 mm



PROPISANI RAZREDI AGREGATA

Vrsta agregata	Veličina čestica	Maseni % prolaza		Razred (G)
		D	d	
Krupan	$D/d \leq 2$ ili $D \leq 11,2$ mm	85 do 99	0 do 20	G_C 85/20
		80 do 99	0 do 20	G_C 80/20
	$D/d > 2$ i $D > 11,2$ mm	90 do 99	0 do 15	G_C 90/15
Sitan	$D \leq 4$ mm i $d = 0$	85 do 99	-	G_F 85
Prirodni	$D = 8$ mm i $d = 0$	90 do 99	-	G_{NG} 90
Miješani	$D \leq 45$ mm i $d = 0$	90 do 99	-	G_A 90
		85 do 99	-	G_A 85

GRANULOMETRIJSKI SASTAV AGREGATA

Granulometrijski sastav agregata predstavlja maseni% pojedinih frakcija.

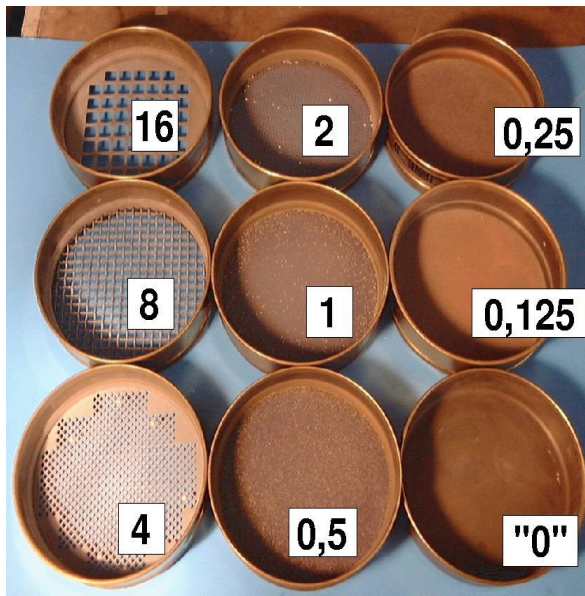


Sita (mm): 125 63 31,5 16 8 4 2 1
0,5 0,25 0,125 0,063



Normirana serija sita

ODREĐIVANJE MASENIH UDJELA POJEDINIH FRAKCIJA

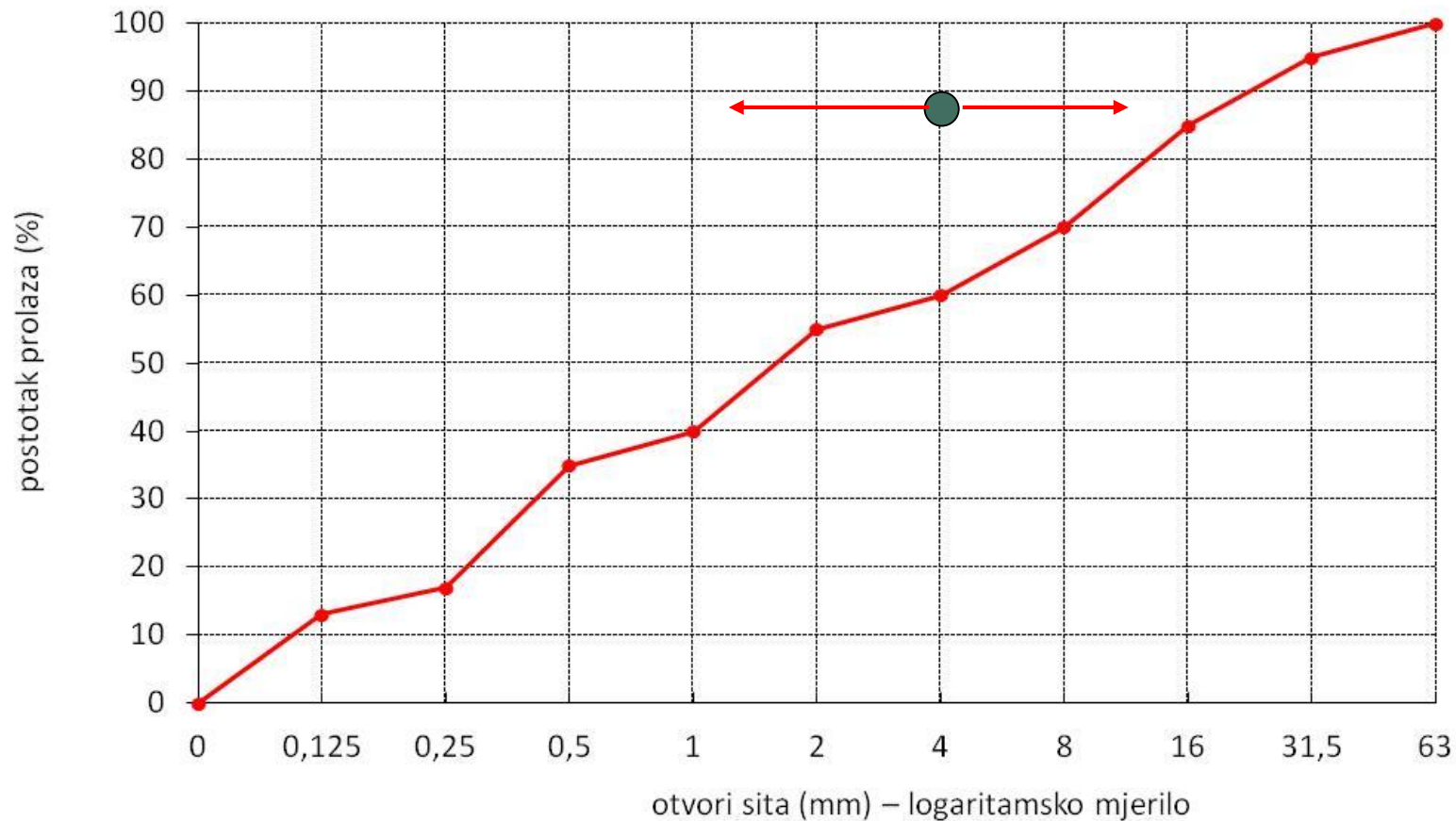


Veličine otvora sita

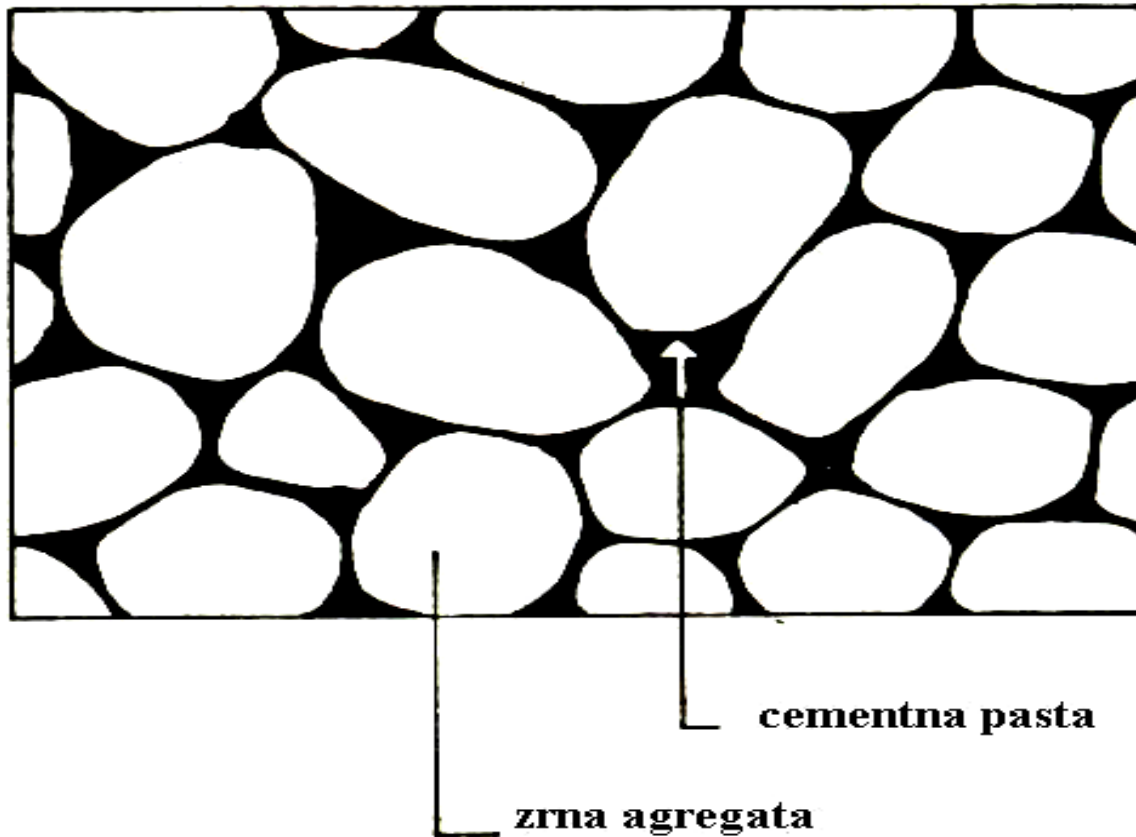


Ostaci na sitima

GRANULOMETRIJSKA KRIVULJA – MIJEŠANI AGREGAT

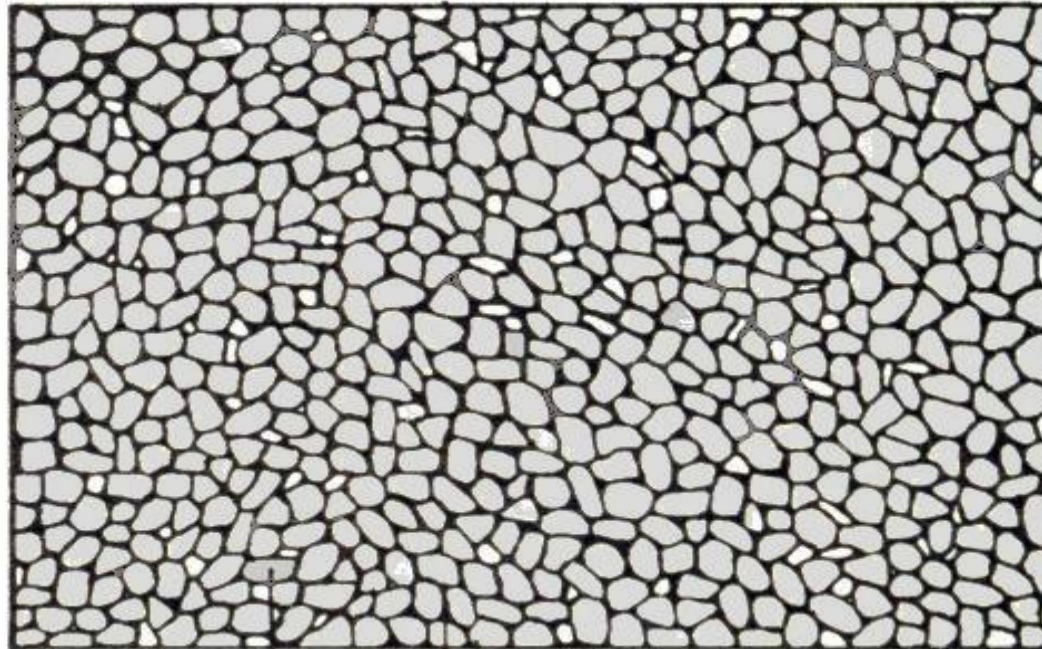


USTROJ BETONA S KRUPNOZRNIM AGREGATOM



Beton s krupnozrnim agregatom

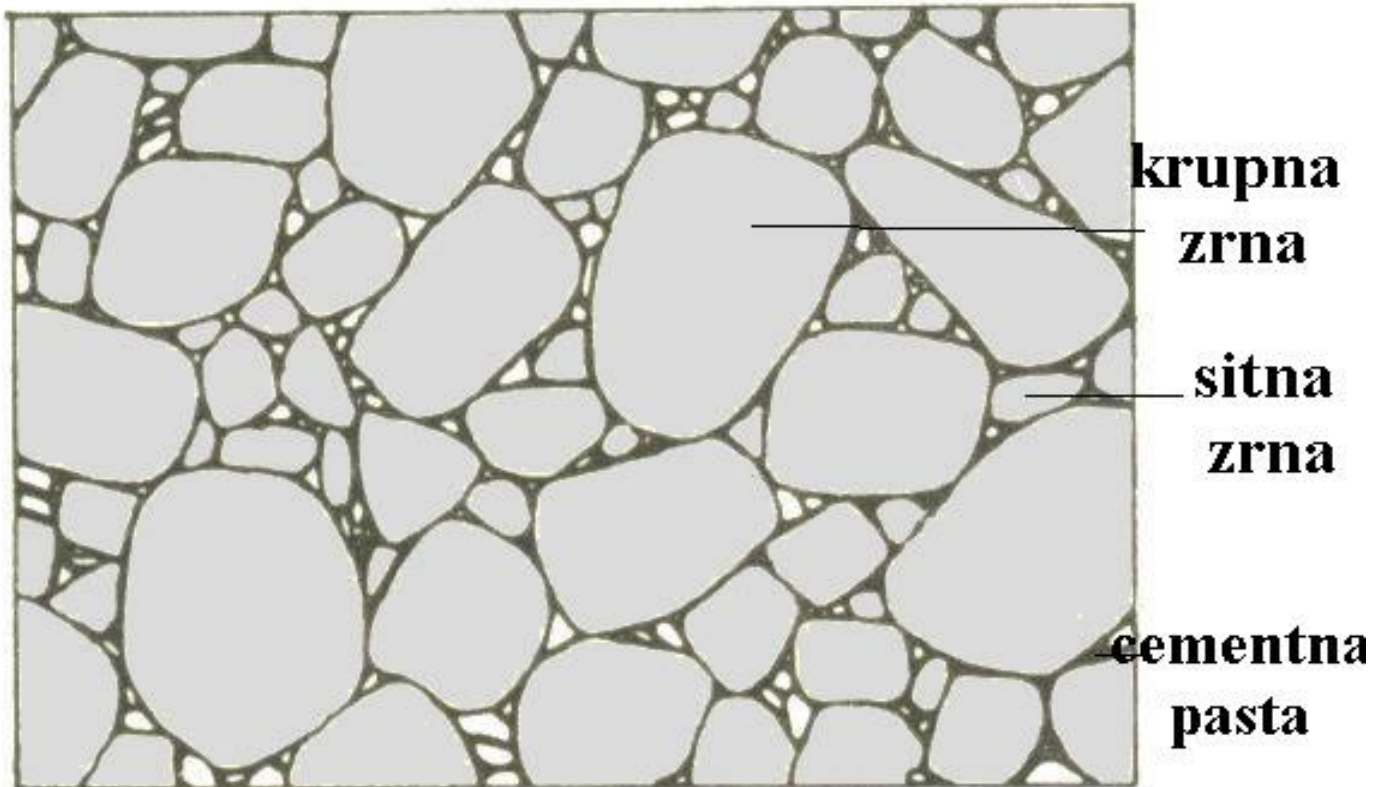
USTROJ BETONA SA SITNOZRNIM AGREGATOM



cementna pasta
zrna agregata

Beton sa sitnozrnim agregatom

USTROJ S KRUPNIM I SITNIM ZRNIMA AGREGATA



Beton s krupnozrnim i sitnozrnim agregatom

FULLEROVA KRIVULJA

$$p = 100 \cdot \sqrt{\frac{d}{D}} \text{ mas.}\%$$

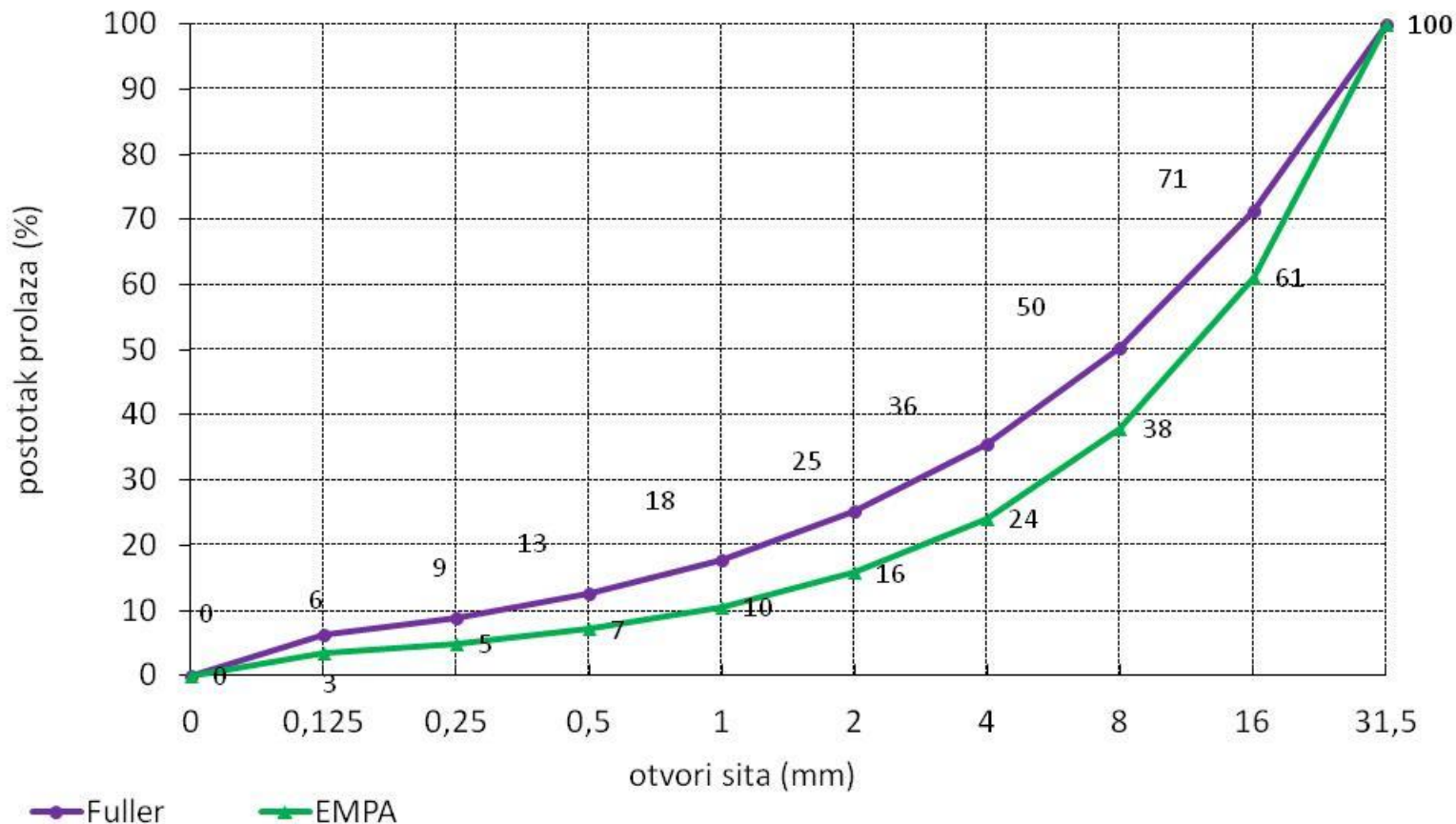
p – maseni postotak prolaza pojedine frakcije

d – veličina otvora sita, D – najveće zrno agregata

EMPA KRIVULJA

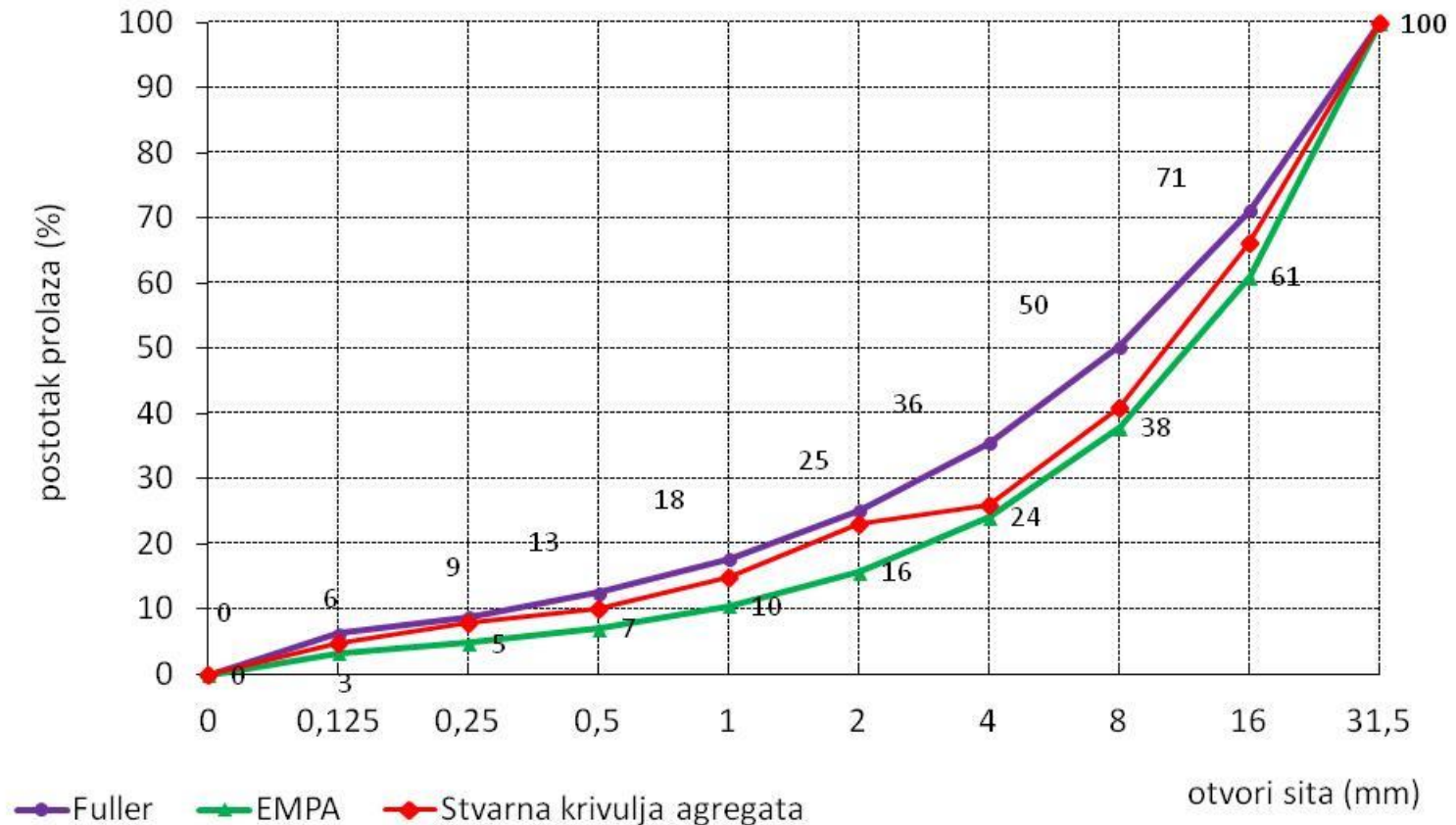
$$p = 50 \cdot \left(\frac{d}{D} + \sqrt{\frac{d}{D}} \right) \text{ mas.}\%$$

GRANULOMETRIJSKE KRIVULJE



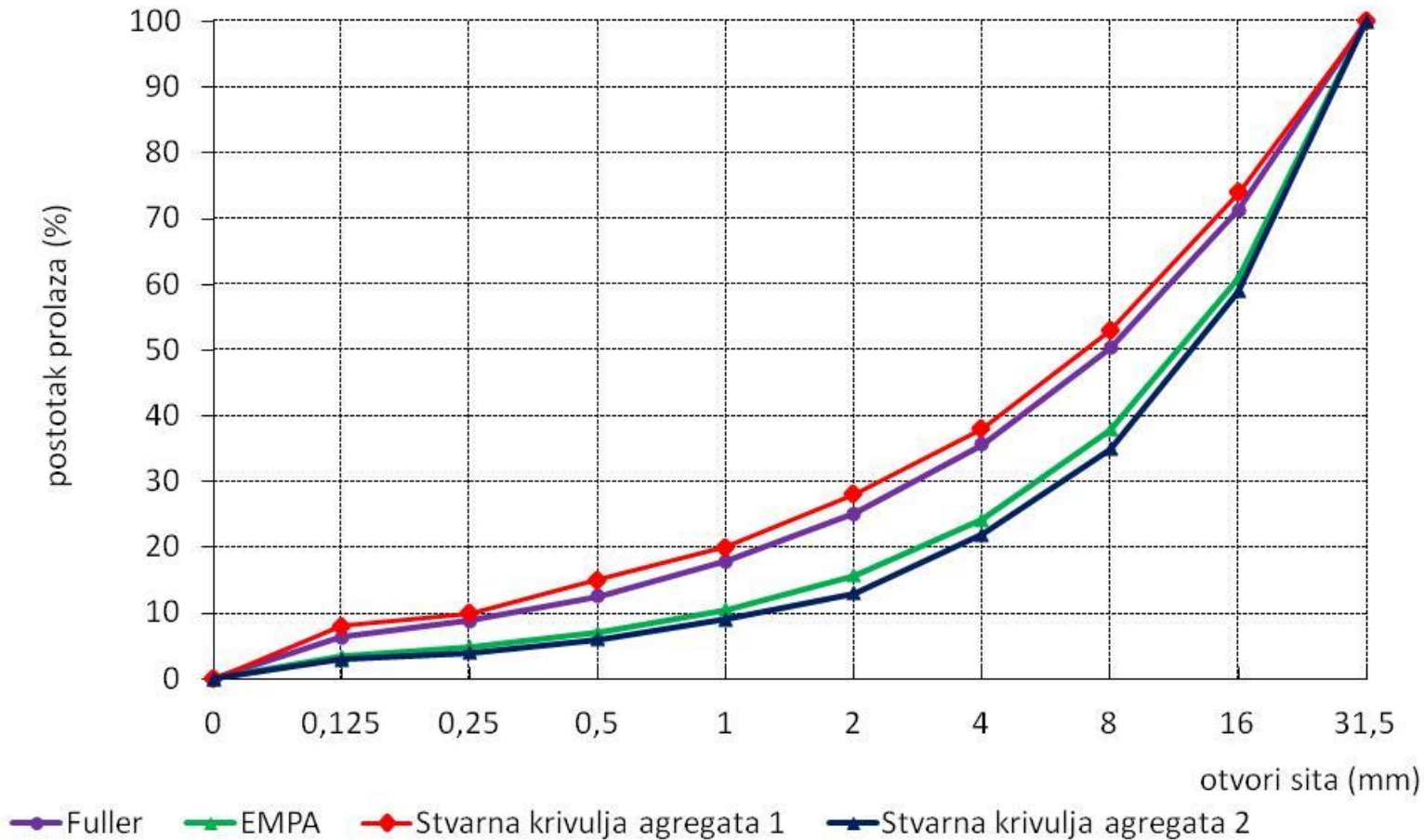
Fullerova i EMPA granulometrijska krivulja za D=31,5 mm

GRANULOMETRIJSKI SASTAV AGREGATA



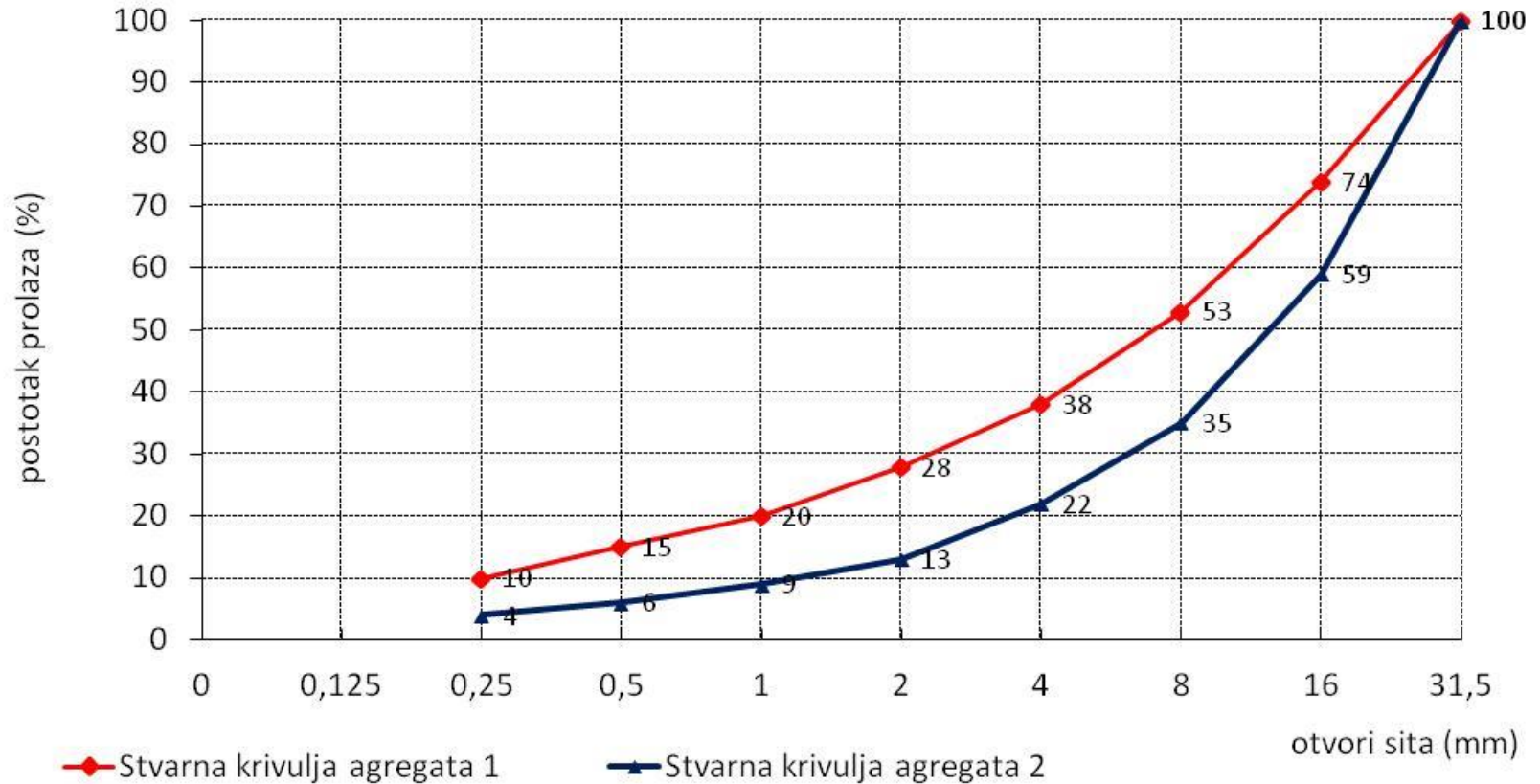
Dobar granulometrijski sastav agregata

GRANULOMETRIJSKI SASTAV AGREGATA

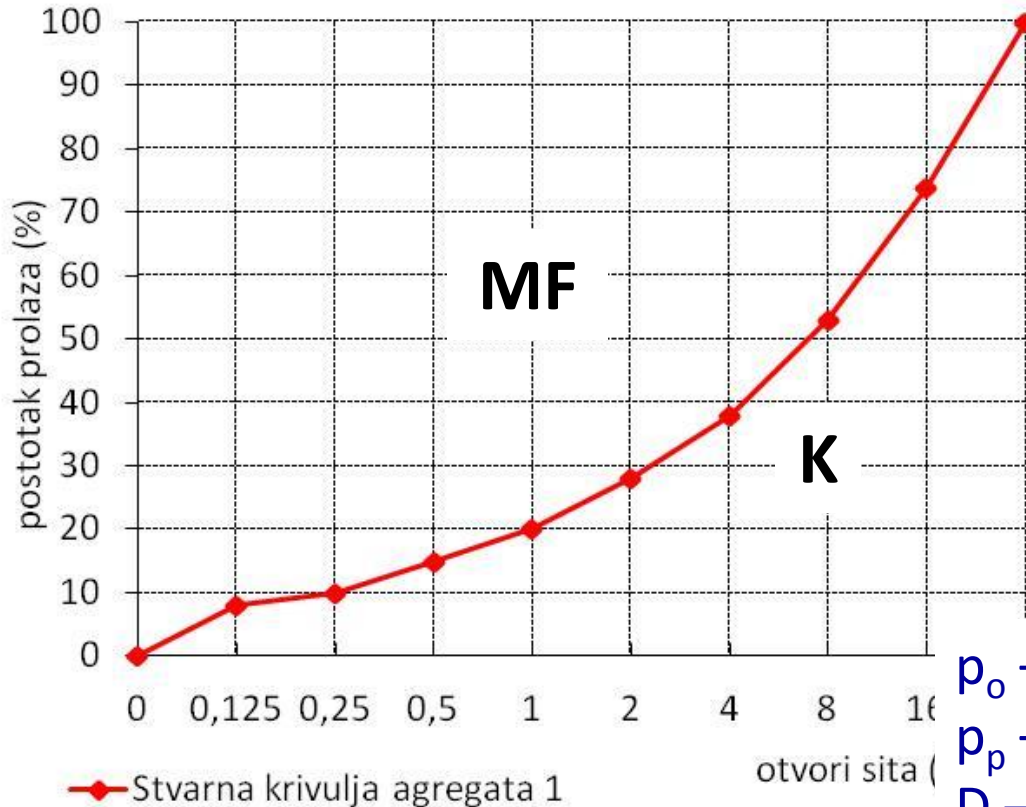


Agregat s previše sitnih zrna i previše krupnih zrna

DISKONTINUIRANE KRIVULJE



MODUL FINOĆE ZRNATOSTI (MF) I KOEFICIJENT ZRNATOSTI (K)



$$MF = \frac{\sum_{0,125}^D p_o}{100}$$

$$K = \frac{\sum_{0,125}^D p_p}{100} = n - MF$$

p_o – maseni postotak ostatka na situ

p_p – maseni postotak prolaza na situ

D – najveće zrno agregata

n – broj sita

Modul finoće i koeficijent zrnatosti

MODUL FINOĆE ZRNATOSTI (MF) I KOEFICIJENT ZRNATOSTI (K) - PRIMJER

Sito (mm)	Ostatak maseni (%)	Prolaz maseni (%)
4	6	94
2	29	71
1	52	48
0,5	71	29
0,25	85	15
0,125	95	5
ukupno	338	262

$$MF = \frac{338}{100} = 3,38$$

$$K = \frac{262}{100} = 2,62$$

$$n = MF + K = 3,38 + 2,62 = 6$$

GRANICE MODULA FINOĆE (MF)

- Sitnozrni agregat od 0 do 4 mm

$$\mathbf{MF = 2,3 \text{ do } 3,6 \text{ (2,5 do 3)}}$$

- Agregat od 0 do 8 mm

$$\mathbf{MF = 3,7 \text{ do } 4,3}$$

- Agregat od 0 do 31,5 mm

$$\mathbf{MF = 5,5 \text{ do } 6,2}$$

PRORAČUN GRANULOMETRIJSKE KRIVULJE PROSIJAVANJA

Otvor sita d(mm)	Ostatak na situ m_o (g)	Prolaz kroz sito m_p (g)	Postotak prolaza (%)	Postotak ostatka (%)
31,5	517	21138	100,0	0,0
16,0	9458	11680	55,3	44,7
8,0	3125	8555	40,5	59,5
4,0	3259	5260	24,9	75,1
2,0	1182	4078	19,3	80,7
1,0	1074	3004	14,2	85,8
0,5	956	2048	9,7	90,3
0,25	851	1197	5,7	94,3
0,125	392	805	3,8	96,2
Dno	805	0,0	0,0	100,0
Zbroj	21655			

$$1 \quad m = 21750 \text{ g}$$

$$2 \quad \text{gubitak mase} = m - \sum m_o = 21750 - 21655 = 95 \text{ g}$$

$$3 \quad m_u = \sum m_o - {}_{31,5}m_o = 21655 - 517 = 21138 \text{ g}$$

$$4 \quad {}_n m_p = {}_{n+1}m_p - {}_n m_o; {}_{16}m_p = {}_{31,5}m_p - {}_{16}m_o = 21138 - 9458 = 11680 \text{ g}$$

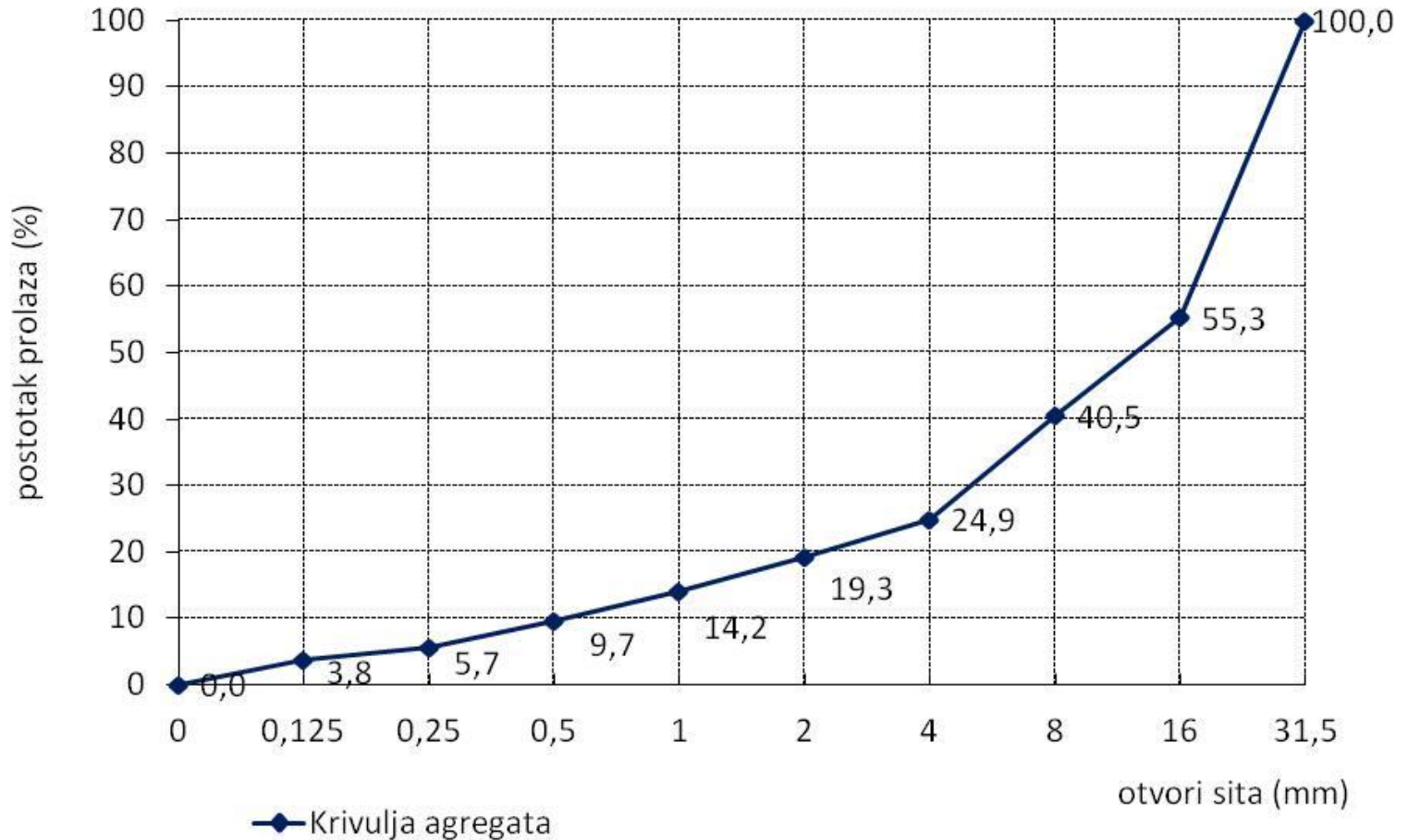
5

$${}_n P_p = \frac{{}_n m_p}{m_u} \cdot 100 \text{ (mas.\%)}$$

$$6 \quad {}_n p_o = 100 - {}_n p_p$$

$${}_{16} P_p = \frac{{}_{16}m_p}{m_u} \cdot 100 = \frac{11680}{21138} \cdot 100 = 55,3 \text{ mas.\%}$$

GRANULOMETRIJSKA KRIVULJA PROSIJAVANJA



ISPITIVANJE KAKVOĆE AGREGATA HRN EN 1097-1 DO 1097 –10

- 1 Otpornost na trošenje (mikro-Deval metoda)
- 2 Otpornost na lomljenje (metoda Los Angeles)
- 3 Nasipna gustoća i udio šupljina u rastresitom stanju
- 4 Udio šupljina sitnog agregata u zbijenom stanju
- 5 Maseni udio površinske vode
- 6 Gustoća čestica i upijanje vode
- 7 Gustoća sitnog agregata pomoću piknometra
- 8 Vrijednost poliranja
- 9 Otpornost na trošenje abrazijom gumama
- 10 Visina upijanja vode

ISPITIVANJE OTPORNOSTI NA TROŠENJE KRUPNOG AGREGATA



- bubanj promjera 200 mm
- čelične kuglice 9,5 mm
- $m_u = 500$ g
- 2,5 L vode + 500 g kuglica
- Brzina okretaja 100 okr./min
- Ukupno 12.000 okretaja
- Prosijavanje na situ $d = 1,60$ mm

Uređaj za ispitivanje otpornosti krupnog agregata na trošenje

RAZREDI OTPORNOSTI KRUPNOG AGREGATA NA TROŠENJE (mikro Deval-ova metoda)

micro-Devalov koeficijent	Razredi M_{DE}
≤ 10	$M_{DE}10$
≤ 15	$M_{DE}15$
≤ 20	$M_{DE}20$
≤ 25	$M_{DE}25$
≤ 35	$M_{DE}35$
Nema zahtjeva	$M_{DE}NR$

ISPITIVANJE OTPORNOSTI KRUPNOG AGREGATA NA LOMLJENJE (metoda Los Angeles)



- prosijavanje na situ $d = 1,7 \text{ mm}$
- propisani broj čeličnih kugli
- brzina okretaja = 30 do 33 okr./min
- ukupno 500 okretaja
- ponovno prosijavanje na situ $d = 1,7 \text{ mm}$

Bubanj s kuglama za ispitivanje otpornosti krupnog agregata na lomljene

RAZREDI OTPORNOSTI KRUPNOG AGREGATA NA DROBLJENJE

Los Angeles koeficijent	Razred (LA)
≤ 15	LA ₁₅
≤ 20	LA ₂₀
≤ 25	LA ₂₅
≤ 30	LA ₃₀
≤ 35	LA ₃₅
≤ 40	LA ₄₀
≤ 50	LA ₅₀
Nema zahtjeva	LA _{NR}

- LA₃₅ za betone opće namjene, LA₃₀ za betone razreda izloženosti XF1 do XF4 – prema TPBK

ISPITIVANJE NASIPNE GUSTOĆE I OBUJAMSKOG UDJELA ŠUPLJINA U RASTRESITOM STANJU



$$\rho_r = \frac{m_2 - m_1}{V} \text{ (kg/dm}^3 \text{)}$$

- ρ_r – gustoća agregata u rastresitom stanju (kg/dm³)
- m_2 – masa posude i agregata (kg)
- m_1 – masa prazne posude (kg)
- V – obujam posude (dm³)

Posuda za ispitivanje nasipne gustoće u rastresitom stanju

Najveće zrno agregata (D) mm	Obujam posude (dm ³)
do 4	1,0
do 16	5,0
do 31,5	10
do 63	20

$$V_{\check{s}} = \frac{\rho_a - \rho_r}{\rho_a} \cdot 100$$

$V_{\check{s}}$ – obujamski udio šupljina (%)

ρ_r – nasipna gustoća (kg/dm³)

ρ_a – gustoća osušenog uzorka određena piknometrom

ISPITIVANJE UDJELA ŠUPLJINA U ZBIJENOM STANJU



$$V_{\check{s}} = \left(1 - \frac{4 \cdot 10^3 \cdot m_2}{\pi \cdot \alpha^2 \cdot \rho_f \cdot h} \right) \cdot 100 (\text{vol.}\%)$$

$V_{\check{s}}$ – obujamski udio šupljina (vol.%)

m_2 – masa zbijenog sitnog agregata (10 g)

α – unutarnji promjer cilindra (25 mm)

ρ_f – gustoća sitnog agregata (g/cm^3)

h – visina zbijenog uzorka (mm)

Uređaj za ispitivanje udjela šupljina u zbijenom stanju

ISPITIVANJE MASENOG UDJELA POVRŠINSKE VLAŽNOSTI (A_{sm})

Voda se u agregatu nalazi u dva oblika:

- voda na površini zrna je površinska vlažnost agregata
- voda u porama je upijena voda

$$A_{sm} = \frac{m_w - m_{ZPS}}{m_d} \cdot 100 (mas. \%) \quad A_{sm} = \frac{m_w - m_d \cdot \left[1 + \frac{A_{wm}}{100} \right]}{m_d} \cdot 100 (mas. \%)$$

A_{sm} – maseni udio površinske vlažnosti

A_{wm} – maseni udio upijene vode

m_w – masa vlažnog uzorka, m_d – masa suhog uzorka

m_{ZPS} – masa uzorka zasićenog vodom ali površinski suhog

OSTALA ISPITIVANJA

- Ispitivanje masenog udjela sitnih čestica
- Ispitivanje indeksa oblika zrna krupnog agregata
- Ispitivanje masenog udjela sulfata topljivog u kiselini
- Ispitivanje masenog udjela ukupnog sumpora
- Ispitivanje masenog udjela klorida
- Ispitivanje otpornosti na smrzavanje
- Ispitivanje površinske abrazije
- Ispitivanje masenog udjela školjaka
- Ispitivanje skupljanja uslijed sušenja

MASENI UDIO SITNIH ČESTICA



Metoda taloženja



Mokro prosijavanje na situ 0,063 mm

MASENI UDIO SITNIH ČESTICA

Agregat	Maseni % prolaza, sito 0,063 mm	Razred (f)
Krupni	$\leq 1,5$	$f_{1,5}$
	≤ 4	f_4
Prirodni 0/8 mm	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
Miješani	≤ 3	f_3
	≤ 11	f_{11}
Sitni	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	≤ 22	f_{22}
	Nema zahtjeva	f_{NR}

INDEKS OBLIKA ZRNA (SI)

Oblik zrna krupnog agregata (SI) zadaje se prema HRN EN 12620 razredom indeksa oblika ispitanog prema HRN EN 933-4.

$$SI = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100 \text{ (mas.\%)}$$

M_2 - masa zrna kojima je omjer $L/E > 3$ (g)

M_1 - ukupna masa zrna agregata (g)

L - duljina zrna (mm)

E - debljina zrna (mm)



RAZREDI INDEKSA OBLIKA ZRNA KRUPNOG AGREGATA

Indeks oblika	Razred (SI)
≤ 15	SI ₁₅
≤ 20	SI ₂₀
≤ 40	SI ₄₀
≤ 55	SI ₅₅
Nema zahtjeva	SI _{NR}

SI₄₀ – za betone do uključivo razreda tlačne čvrstoće 12/15

SI₂₀ – za ostale betone - prema TPBK

MASENI UDIO SULFATA TOPLJIV U KISELINI (AS)

Ispitan prema HRN EN 1744-1 mora zadovoljavati razrede prema HRN EN 12620.

Agregat	Maseni % sulfata topljiv u kiselini	Razred (AS)
Agregat ili šljaka koja nije hlađena zrakom	$\leq 0,2$	AS _{0,2}
	$\leq 0,8$	AS _{0,8}
Zrakom hlađena šljaka	$\leq 1,0$	AS _{1,0}
	Nema zahtjeva	AS _{NR}

- AS_{0,2} za sve agregate osim sa zrakom hlađene šljake
- AS_{1,0} za zrakom hlađenu šljaku – prema TPBK

MASENI UDJELI OSTALIH ŠTETNIH SASTOJCI U AGREGATU

Maseni udio ukupnog sumpora ne smije biti veći od:

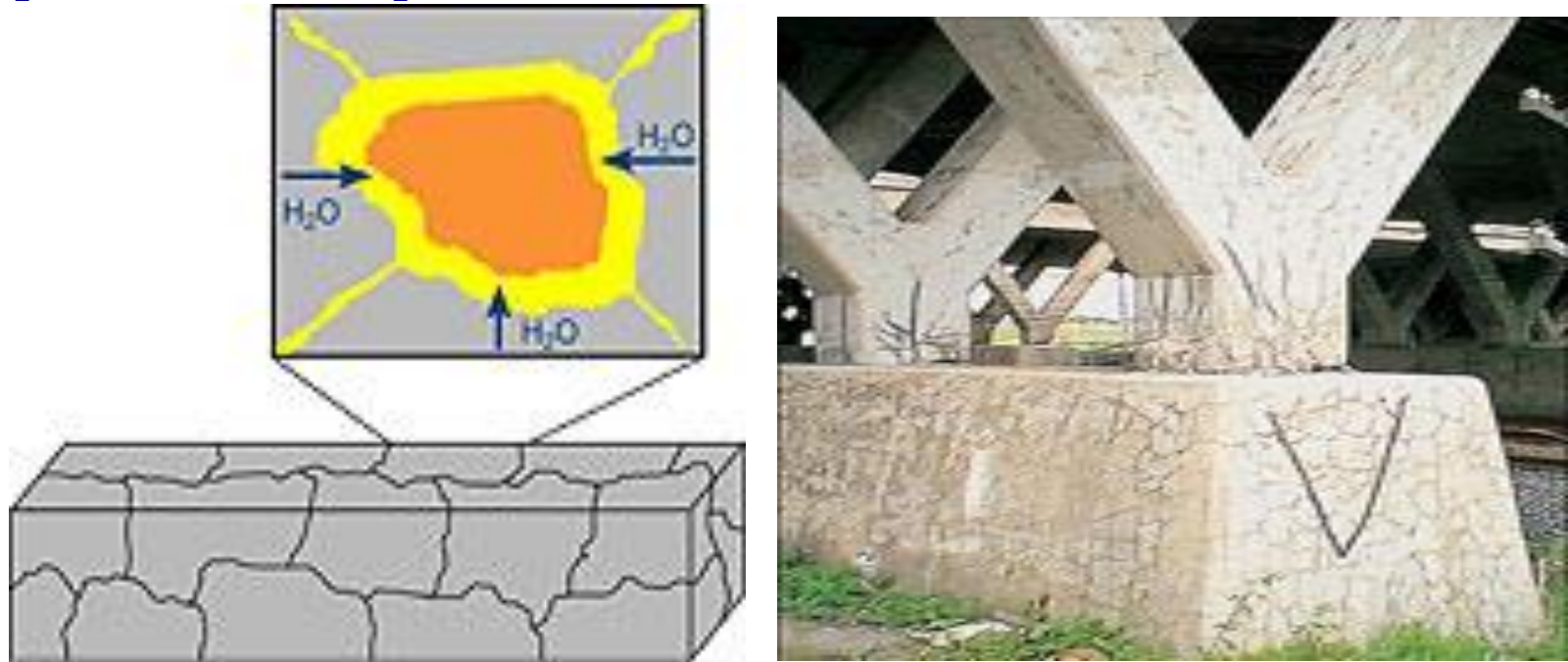
- 1 mas.% za sve agregate osim zrakom hladene šljake
- 2 mas.% za šljaku hladenu zrakom

Maseni udio klorida izraženi kao ion (Cl^-) ne smije biti veći od:

- 0,15 mas.% za nearmirani beton
- 0,06 mas.% za armirani beton
- 0,03 mas.% za prednapeti beton
- Maseni udio školjaka (SC) mora zadovoljiti razred SC_{10}
- Skupljanje agregata uslijed sušenja ne smije biti veće od 0,075 vol. % za betone s posebnim zahtjevima
- Silikatna zrna (alkalijski-silikatna reakcija)

ALKALIJSKI-SILIKATNA REAKCIJA

Alkalijski-silikatna reakcija je kemijska reakcija između alkalija koje sadrži cement, Na_2O i K_2O i amornog SiO_2 iz agregata.



Mrežaste pukotine na betonu nastale alkalijski-silikatnom reakcijom

- $\text{SiO}_2 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
povećanje obujma

ISPITIVANJE OTPORNOSTI NA SMRZAVANJE

- smrzavanje-odmrzavanje
- kristalizacija $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$

$$G_m = \frac{m_d - m_p}{m_d} \cdot 100 \text{ (mas.\%)}$$

G_m – gubitak mase u masenim postotcima

m_d – masa suhe frakcije agregata prije potapanja

m_p – masa frakcije agregata nakon n ponovljenih
smrzavanja – odmrzavanja, ili potapanja u MgSO_4

OTPORNOST NA SMRZAVANJE (F) ILI (MS)

Otpornost na smrzavanje krupnog agregata ispitana prema HRN EN 1367-1 ili 1367-2 mora zadovoljiti razrede prema HRN EN 12620.

Gubitak mase (mas.%) Smrzavanje-odmrzavanje	Razred (F)
≤ 1	F_1
≤ 2	F_2
≤ 4	F_4
Nema zahtjeva	F_{NR}

OTPORNOST NA SMRZAVANJE (MS)

Gubitak mase (mas.%) Magnezijev sulfat	Razred (MS)
≤ 18	MS ₁₈
≤ 25	MS ₂₅
≤ 35	MS ₃₅
Nema zahtjeva	MS _{NR}

- F_{NR} ili MS_{NR} – za betone u suhom okruženju
- F₂ ili MS₂₅ – za betone razreda izloženosti XF1 i XF3
- F₁ ili MS₁₈ – za betone razreda izloženosti XF2 i XF4 – prema TPBK

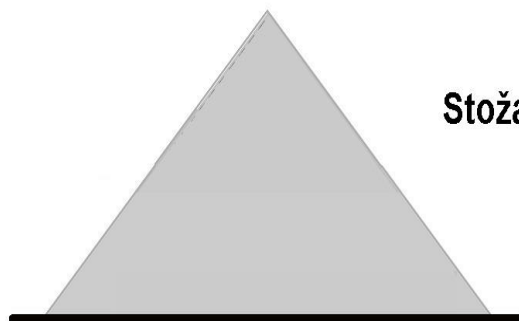
UZIMANJE UZORAKA ZA ISPITIVANJE



- pojedinačni uzorak
- skupni uzorak
- laboratorijski uzorak

Uzimanje uzoraka sa hrpe

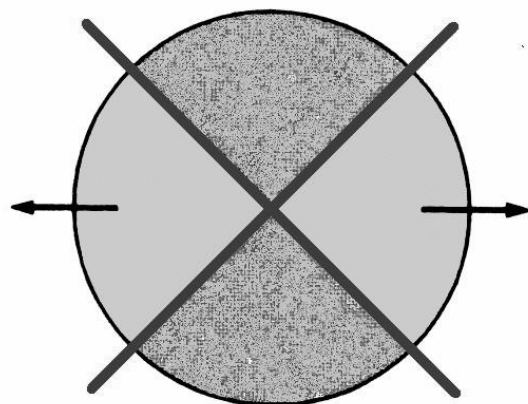
DOBIVANJE PROSJEČNOG UZORKA ČETVRTANJEM



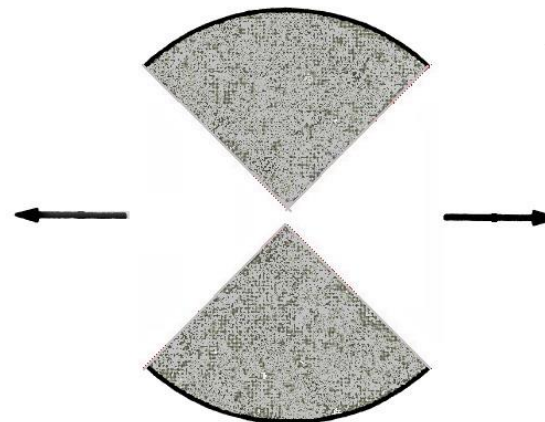
Stožasta hrpa



Spljoštena hrpa



Četvrtanje hrpe



Odvajanje četvrtina



Uređaj za četvrtnanje agregata

PROIZVOĐAČI AGREGATA

- BETON LUČKO d.o.o.
- KAMEN SIRAČ d.d.
- NEXE GRUPA d.d.
- SARAĐEN d.o.o.

Voda za spravljanje betona

SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK

VODA ZA SPRAVLJANJE BETONA

Prema podrijetlu razlikuju se:

- pitka voda
- voda iz procesa proizvodnje betona
- voda iz podzemnih izvora
- prirodna površinska voda i industrijska otpadna voda
- morska ili bočata voda
- otpadna voda

- najčešće se smatra da je voda za piće dobra i za spravljanje betona
- ako voda sadrži veću koncentraciju natrija ili kalija, postoji opasnost od alkalnoagregatne reakcije u betonu
- voda koja nije pitka može biti prikladna za spravljanje betona. Najčešće je dovoljno, da je pH između 6 i 8, te da voda nije slana.
- morska voda sadrži oko 3.5% soli, od čega je najviše NaCl, zatim magnezij klorida i magnezij sulfata. Takve soli ubrzavaju proces vezanja cementa i rani prirast čvrstoća, a rezultiraju nešto manjim konačnim čvrstoćama. Osim toga, betoni pripremljeni s vodom koja sadrži kloride su higroskopni i stalno vlažni, a na površini se izlučuju soli. Tamo gdje je važan izgled betona ne može se za spravljanje upotrebljavati morska voda. U slučaju armiranog betona ne smije se upotrebljavati morska voda.
- voda za spravljanje betona najčešće je prikladna i za njegovanje betona. No, ako sadrži organske nečistoće ili željezne okside, te ako se u većim količinama polagano slijeva preko površine betona, to može ostaviti ružne tragove.

ISPITIVANJE KAKVOĆE VODE HRN EN 1008:2002

UVODNA ISPITIVANJA:

- ulja i masti, ne više od vidljivih tragova
- deterdženti, pjena mora nestati za 2 min.
- boja, svijetlo žuta ili svjetlija
- suspendirana tvar, najviše 4 mililitra taloga
- miris, bez mirisa
- kiselost, $\text{pH} > 4$
- huminske tvari, nakon dodatka NaOH, boja žućkasto-smeđa ili svjetlija

KEMIJSKA ISPITIVANJA:

Maseni udjeli ne smiju prijeći sljedeće vrijednosti:

Kloridi

- prednapeti beton 500 mg/L
- armirani beton 1000 mg/L
- beton bez armature 4500 mg/L

Sulfati 2000 mg/L

Alkalijski oksidi (ekvivalent Na_2O) 1500 mg/L

ISPITIVANJA OPASNIH ONEČIŠĆENJA

- Mora se provesti ispitivanje sadržaja šećera, fosfata, nitrata, olova i cinka u vodi. U slučaju pozitivnih rezultata mora se odrediti količina tih supstanci ili sprovesti ispitivanja vremena vezivanja i tlačne čvrstoće betona spravljenog s takvom vodom.

Ograničenja kemijskih analiza:

- Šećer najviše 100 mg/L
- Fosfati (kao P_2O_5) 100 mg/L
- Nitrati (kao NO_3^-) 500 mg/L
- Olovo (kao Pb^{2+}) 100 mg/L
- Cink (kao Zn^{2+}) 100 mg/L

ISPITIVANJA OPASNIH ONEČIŠĆENJA

- Početak vezanja ispitan na uzorcima sa vodom ne smije biti manji od 1 sata, te se ne smije razlikovati više od 25 % od početka vezivanja uzoraka s destiliranom ili deioniziranom vodom.
- Završetak procesa vezanja ne smije trajati više od 12 sati te se ne smije razlikovati za više od 25 % od završetka procesa vezanja uzoraka s destiliranom ili deioniziranom vodom.
- Prosječna tlačna čvrstoća uzorka spravljenog sa vodom nakon 7 dana mora iznositi minimum 90% tlačne čvrstoće odgovarajućeg uzorka proizvedenog sa destiliranom ili deioniziranom vodom.

Dodaci betonu

SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU



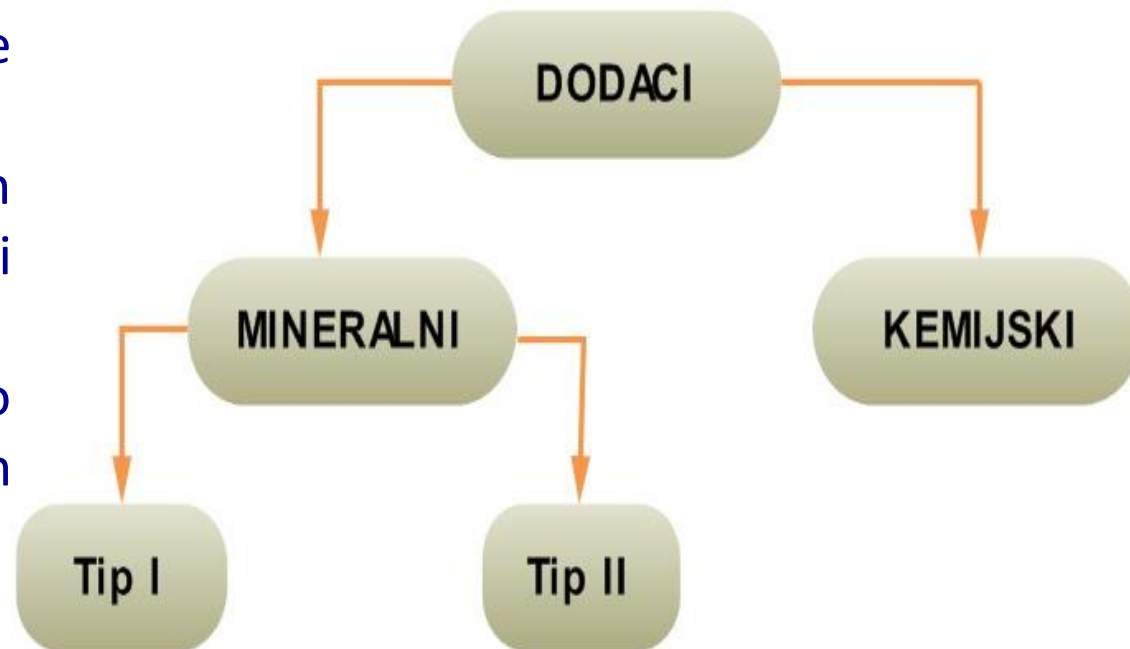
JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK

DODACI BETONU

Dodaci betonu su kemijski spojevi koji se dodaju betonu radi poboljšanja nekih njegovih svojstava ili mijenjanja jednog ili više svojstava radi postizanja željenih učinaka.

Primjeri prvih dodataka betonu:

- vulkanski pepeo – za dobivanje betona održivog pod vodom,
- konjska dlaka – da bi se beton manje skupljao pri hidrataciji (očvršćivanju),
- krv – kako bi beton bio otporniji na mraz u sjevernijim dijelovima Rimskog Carstva.



MINERALNI DODACI

Mineralni dodatak je fino usitnjeni materijal koji se dodaje betonu radi poboljšanja nekih svojstava ili dobivanja specijalnih svojstava.

- **Tip I:** punila, pigmenti, hidraulički neaktivni dodaci
- **Tip II:** leteći pepeo, amorfna SiO_2 prašina, hidraulički aktivni dodaci

Norme koje se odnose na mineralne dodatke betonu: HRN EN 450-1, odnosno HRN EN 13263-1, odnosno HRN EN 12620, odnosno HRN EN 12878.

Punila - spadaju u grupu inertnih, poluinertnih mineralnih dodataka. Punilom se smatraju sve sitne čestice koje prolaze kroz otvor sita 0,063 mm.

Punilo kao mineralni dodatak utječe na poboljšanje obradljivosti betona. Veličina čestica, oblik čestica i upijanje vode filera može utjecati na potrebu vode samozbijajućih betona. Fileri na bazi kalcijevog karbonata mogu dati odlična reološka svojstva samozbijajućeg betona.

Punila su:

- Vapnenac (kamenno brašno)
- metakaolin



Kamenno brašno



Metakaolin

Pigment - vrsta mineralnog dodatka, uglavnom u obliku sitnih čestica koje su gotovo ne topljive u mediju u kojem se primjenjuju i čija je svrha obojiti građevne materijale na osnovi cementa i vapna.

Glavni sastojci pigmenata obično pripadaju jednoj od sljedećih grupa:

- sintetički prirodni oksidi i hidroksidi željeza
- oksidi kroma, titana i mangana
- složeni anorganski pigmenti npr. kombinacije gore navedenih metalnih oksida i hidroksida s oksidima i hidroksidima kobalta, aluminijskim, nikla i antimona
- ultramarinski pigmenti
- ftalocijanin plavi i zeleni
- elementarni ugljik
- mješavina gore navedenih materijala.



Pigmenti

Leteći pepeo - pucolanski dodatak cementu koji se dobiva kao sporedni proizvod u termoelektranama.

- Kemijski sastav letećih pepela varira ovisno o vrsti upotrijebljenog goriva. Uobičajeno se u specifikacijama za leteće pepele ističu dvije karakteristike a to su veličina čestica i sadržaj pucolanski aktivnog SiO_2 te sadržaj kalcijevog oksida. Vezano uz sadržaj kalcijevog oksida, uvriježena je i podjela letećih pepela na one s niskim sadržajem CaO (do 5%) i leteće pepele sa visokim sadržajem CaO (15-40%) . Kristalne komponente (alfa-kvarc, mulit, silimanit, hematit i magnetit) u letećim pepelima sa niskim CaO su nereaktivne, a većina je kristalnih minerala u letećim pepelima sa visokim sadržajem CaO reaktivna što takvim pepelima omogućuje da posjeduju samostalna hidraulička svojstva.

- Leteći pepeo povećava udio finih čestica u svježem betonu, smanjuje količinu potrebne vode (ako su čestice pepela sferičnog oblika tj. one koje su nastale kao produkt spaljivanja na oko $1300\text{ }^\circ\text{C}$ ili više) ili pak povećava potrebu za vodom (ako pepeo sadrži visok udio CaO i visok sadržaj C_3A) . Osim utjecaja na obradljivost betona, literatura navodi i smanjenje izdvajanja vode kod mješavina sa letećim pepelom. Učinak ovog mineralnog dodatka na vrijeme vezanja betona ovisi o udjelu CaO u njegovu sastavu – manji udio CaO odgađa a veći udio CaO ubrzava vrijeme vezanja.

Općenito je hidratacija portlandskog cementa s dodatkom letećih pepela u tijeku prvih dana usporena što rezultira manjim ranim čvrstoćama betona sa letećim pepelom. Kasnije čvrstoće pak mogu biti čak i veće od kontrolnog betona. Osim smanjenjem topline hidratacije zamjenom dijela cementa letećim pepelom, dodatak pepela rezultira i smanjenom permeabilnošću betona. Razlog smanjenju propustnosti u cementnim kompozitima sa letećim pepelom leži u transformaciji većih pora u manje i povećanju diskontinuiteta pornog sustava. Uz smanjenje propusnosti očvrstlog cementnog kompozita, dodatkom pepela može se poboljšati i sulfatna otpornost takvog kompozita. Dodatno, prisutnost letećeg pepela u portlandskom cementu sa više od 0,6% alkalija (Na_2O ekvivalent) može povoljno utjecati na smanjenje ekspanzije zbog alkalno-silikatne reakcije .



Leteći pepeo

Silicijska prašina - sastoji se od vrlo finih čestica nastalih kao nus-proizvod pri proizvodnji silicijskih i ferosilicijskih legura. Naziva se još i silikatna prašina ili mikrosilika.

Na svojstva betona učinak ima preko dva mehanizma:

- pucolanske reakcije
- učinak sitnih čestica

Pucolanskim reakcijama povećava se količina C-S-H. Sitne čestice doprinose poboljšanju obradljivosti, povećanju kohezivnosti i zapunjavaju unutrašnju strukturu jer su znatno sitnije od čestica cementa.

Djelovanje silicijske prašine:

- povećanje čvrstoće
- smanjenje propusnosti
- poboljšanje otpornosti na kamijsku agresiju
- poboljšanje otpornosti na smrzavanje i odmarzavanje

Silicijska prašina



KEMIJSKI DODACI (ADITIVI)

Kemijski dodatak je materijal koji se dodaje betonu za vrijeme miješanja u malim masenim udjelima na masu cementa, radi izmjene svojstava svježeg ili očvrsnulog betona.

Vrste kemijskih dodataka betonu su:

- a) plastifikator,
- b) superplastifikator,
- c) dodatak za zadržavanje vode,
- d) aerant,
- e) ubrzivač vezivanja,
- f) ubrzivač očvršćivanja,
- g) usporivač vezivanja,
- h) dodatak za vodonepropusnost,
- i) usporivač vezivanja/plastifikator,
- j) usporivač vezivanja/superplastifikator,
- k) ubrzivač vezivanja/plastifikator,
- l) ubrzivač vezivanja mlaznog betona,
- m) ubrzivač vezivanja mlaznog betona bez sadržaja alkalija,
- n) dodatak za kontrolu konzistencije mlaznog betona,
- o) dodatak za poboljšanje veze slojeva mlaznog betona.
- p) dodatak za betoniranje pri niskim temperaturama

Plastifikatori - dodaci koji smanjuju viskoznost i povećavaju obradivost betona i tako omogućavaju da se sa manje vode izradi beton dobre obradivosti. To su najčešće površinski aktivne organske supstance, koje se apsorbiraju na površinu zrna cementa, naelektriziraju ih negativno i drže ih u stabilnoj suspenziji. Snižavaju i površinsku napetost vode, olakšavajući namakanje vodom zrna cementa. Oba ova efekta omogućavaju izradu dobro obradivog betona sa manje vode, odnosno uz niži v/c faktor.

- Primjenom plastifikatora se smanjuje v/c faktor, što omogućava smanjenje poroznosti, upijanja vode i permeabilnosti betona. Otpornost u agresivnim sredinama je dokazana, kao i to da ima povećane mehaničke karakteristike u odnosu na obični beton.

- Plastifikatori su kemijske supstance u tekućem stanju čija je uloga da svježu betonsku mješavinu učine pokretljivijom uz primjenu što manje količine vode. Na taj način, moguće je smanjiti količinu vode za 15-30% u odnosu na količinu vode za proizvodnju običnog betona. Smanjenje količine vode, uz istu ili povećanu ugradljivost, čini betone kompaktnijima i snižava poroznost betona. Takvi betoni imaju veću čvrstoću za 15-35% u odnosu na betone bez plastifikatora. Povećana je i otpornost u kemijski agresivnim sredinama, kod djelovanja mekih voda, a slabije je i napredovanje procesa karbonatizacije.

Superplastifikatori – dodaci znatno veće efikasnosti nego plastifikatori, tako da npr. smanjenje potrebe za vodom u odnosu na etalon može biti 20 do 35%. Njihovo djelovanje na svojstva mješavine je vremenski ograničeno na 30 do 90 minuta, nakon čega mješavina poprimi svojstva kao etalon u koji uopće nije dodan superplastifikator. Zato se često pribjegava naknadnom doziranju superplastifikatora u transportnom sredstvu (mikseru) neposredno prije ugradbe, odnosno istovara na gradilištu. Moguće je i ponovo doziranje, nakon prestanka djelovanja prve količine superplastifikatora.

■ Superplastifikatori se najčešće upotrebljavaju za proizvodnju betona vrlo velikih čvrstoća ili proizvodnju tekućih betona.

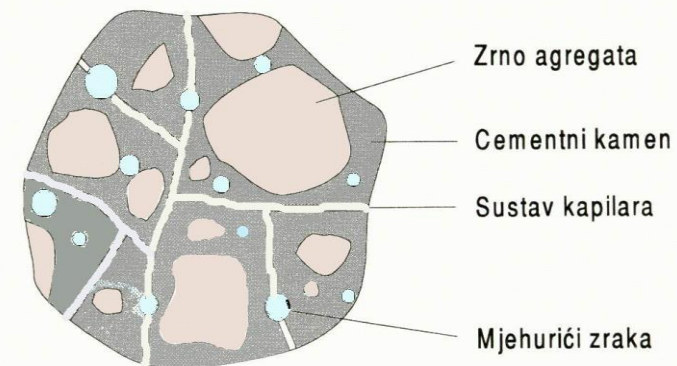
Prednosti uporabe superplastifikatora:

- povećanje slijeganje
- povećanje fluidnosti
- poboljšanje ugradljivosti
- poboljšanje zagladivosti
- poboljšanje izgleda površine
- utjecaj na sadržaj zraka i vezivanje
- povećanje tlačne čvrstoće
- smanjenje propusnosti
- smanjenje koeficijenta difuzije
- poboljšanje otpornosti na smrzavanje/odmrzavanje
- poboljšanje otpornosti na sulfatnu koroziju
- poboljšanje otpornosti na abraziju i habanje

Aeranti - dodaci koji u betonu stvaraju velik broj mjehurića zraka malih dimenzila (50-300 μm), čime se znatno smanjuje opasnost od štetnog djelovanja mraza, poboljšava se obradivost i smanjuje segregacija u betonu.

▪ Aeranti se proizvode na bazi raznih organskih i neorganskih tvari, kao što su sintetički deterdženti, soli smola iz drveta, masne kiseline i njihove soli, itd. Aeranti stvaraju stabilne sitne mjehriće zraka u svježem betonu, tako što se adsorbuju na površini mjehurića i naelektriziraju ih pozitivno (kationski aeranti) ili negativno (anionski aeranti). Zbog istoimenog elektriziranja, stvoreni zračni mjehurići se međusobno odbijaju i, na taj način se, onemogućava njihovo spajanje i povećanje dimenzija, odnosno stvara se stabilna pjena zraka u betonu.

▪ Upotreba aeranata je od posebnog značaja kod izrade lakih betona, radi sprječavanja segregacije lakog agregata, kao i kod običnih betona koji će biti jako izloženi djelovanju mraza. Glavni razlog unošenja sitnih mjehurića u beton je povećanje njegove otpornosti na djelovanje mraza.



- Ako se kapilarne pore betona napune, vodom i izlože djelovanju mraza, dolazi do oštećenja strukture betona zbog povećanja zapremine vode pri prelasku u led (za oko 9 %) što uzrokuje stvaranje jakog tlaka na zidove pora, koji može iznositi i do 200 MPa. Ako su kapilarne pore isprekidane mjehurićima zraka, pri vlaženju betona, vodom se napune samo kapilarne pore ali ne i mjehurići, jer u njima, zbog većeg promjera, nema kapilarnih sila. Ako u ovakvom sistemu dođe do smrzavanja vode u kapilarnim porama, raste zapremina vode i ona se iz kapilarne pore djelomično izljeva u praznine, koje čine zračni mjehurići i na taj način se sprječava stvaranje tlaka na zidovima kapilarnih pora. Kada se voda odmrzne, kapilarne pore putem kapilarnih sila, ponovo povuku vodu iz mjehurića. Na taj način se, pri ciklusima smrzavanja i odmrzavanja, vrši samo prelijevanje vode iz pora u mjehuriće i obrnuto, umjesto stvaranja tlaka na zidove pora.
- Osim povećanja otpornosti betona na djelovanje mraza, sitni mjehurići zraka znatno povećavaju obradivost, smanjuju segregaciju komponenata i "krvarenje" betona. Prisutni mjehurići smanjuju i upijanje vode i permeabilnost i time povećavaju njegovu otpornost na korozivna djelovanja agresivnih rastvora.
- Aeranti se doziraju maseno u odnosu na masu cementa, vrlo pažljivo i vrijeme mješanja betona sa aerantima je ograničeno na maksimalno 5 minuta. Ukoliko bi produžili vrijeme mješanja, beton bi se toliko zapjenio te bi se povećala poroznost.

Ubrzivači očvršćivanja - upotrebljavaju se za dobivanje ranih čvrstoća betona. Najpoznatiji ubrzivač očvršćivanja je kalcij klorid (CaCl_2), koji povećava rane čvrstoće betona, a nešto malo smanjuje krajnje čvrstoće. Međutim, zbog njegova štetnog utjecaja na koroziju armature u betonu zbog Cl^- iona, mogućnost njegove upotrebe vrlo je ograničena, uglavnom samo na nearmirani beton. Najinteresantnija je njegova primjena za betoniranje pri niskim temperaturama, jer omogućuje rad i na temperaturama blizu ledišta vode.

Osim vrlo nepovoljnog utjecaja kalcij klorida na koroziju armature, on smanjuje otpornost betona na sulfatnu koroziju, a povećava i rizik od šteta od alkalno-agregatnih reakcija. Međutim, povoljno djeluje na povećanje otpornosti betona prema eroziji.

Nepovoljan utjecaj kalcij klorida na koroziju armature posljedica je djelovanja klor iona u količinama većim od neke granične, obično se uzima 0.4% od količine cementa.

Primenjuju se pri proizvodnji betonske galanterije, montažnih konstrukcija, pri betoniranju kliznom oplatom, a naročito pri betoniranju u zimskim uvjetima.

Usporivači vezanja (retarderi) - kemikalije koje odgađaju početak vezanja cementa. Upotrebljavaju se u slučajevima kada se beton transportira na veće udaljenosti, ili se izbjegava nastajanje radnih reški pri betoniranju sloja na sloj betona, ili pri izradi prane površine vidnog betona.

- Pretpostavlja se, da se mehanizam usporavajućeg djelovanja retardera zasniva na njihovoj adsorpciji, na površini cementnih zrna i tako otežava reakciju sastojaka cementa sa vodom. Kada prođe period, retardacije i cement veže, dolazi do znatnog ubrzanja procesa hidratacije i očvršćivanja betona.
- Usporivači vezanja ili retarderi se sastoje od vrlo malih količina šećera (0.05% šećera na masu cementa odgoditi će početak vezanja za 4 sata), topljivih soli cinka, topljivih borata itd. Veliki broj plastifikatora, također ima retardirajuće djelovanje.
- Retarderi malo usporavaju porast ranih čvrstoća betona, ali kasnije čvrstoće su jednake onima od etalona. Donekle se povećava rizik od plastičnog skupljanja, ali skupljanje od sušenja betona je nepromijenjeno.

- Kao retarderi, djeluju neki derivati ugljeno-hidrata, neke soli (borati, fosfati, sulfati, itd.) i razne organske tvari. Upraksi se često koriste usporivači koji istovremeno djeluju i kao plastifikatori (npr. lignin-sulfonati). Kao retarderi se mogu primjenjivati i sadra ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), glikoza, dekstrin, glicerol i oksidi cinka. Retarderi se doziraju u odnosu na masu cementa u količini najčešće 0,1 % i mogu odgoditi vrijeme vezivanja i očvršćavanja čak i više od 24 sata.
- U praksi treba oprezno upotrebljavati retardere, jer u velikom broju slučajeva, događalo se da u potpunosti izostanu kemijske reakcije očvršćivanja betona, zbog previše retardera.

Dodaci za povećanje vodonepropusnosti betona - smanjuju potrebnu količinu vode za pripremu betonske mase u odnosu na betonsku masu bez dodataka. Manja količina vode omogućava izvedbu kompaktnijeg betona, pa se time povećava čvrstoća betona. Dodaci omogućavaju ulazak zraka u svježju betonsku masu, koji u obliku ravnomjerno raspoređenih mikropora prekidaju sustav kapilara i time pospješuju vodonepropusnost.

- Radi sprječavanja prodora vode mogu se pri izradi betona (ili pri mljevenju cementa) dodati aditivi koji beton čine hidrofobnim, što otežava prodor vode u očvršli beton. Za te svrhe se najčešće koriste stearati, oleati, silikoni. Djelovanje ovih dodataka nije trajno i imaju efekta samo ako voda nije pod tlakom. Osim toga, dodavanjem hidrofobizatora, nešto se umanjuje čvrstoća betona. Zbog svega toga, hidrofobizatori se rijetko koriste kao dodatak pri izradi betona, eventualno se vrši hidrofobizacija površinskog sloja.

- Dodaci za vodonepropusnost smanjuju brzinu kojom će se voda pod tlakom prenositi kroz beton. Jedan od najboljih načina za smanjenja propusnosti betona je povećati vrijeme očvršćivanja i smanjiti omjer vode i cementa na manje od 0.5. Većina dodataka koji smanjuju omjer vode i cementa posljedično smanjuju propusnost.

Dodaci za betoniranje pri niskim temperaturama (antifrizi) - djeluju na ubrzavanje očvršćivanja betona, te povećavaju temperaturu za vrijeme hidratacije.

Antifrizi su sredstva protiv smrzavanja svježeg betona i djeluju tako što snižavaju točku smrzavanja vode.

- Najčešće se koriste natrijev nitrat, natrijev klorid i kalcijev klorid. Doziranje se vrši u količini i do 10 % u odnosu na masu cementa.
- Posebnu pažnju treba posvetiti izboru antifriza pri izgradnji armiranih konstrukcija, zbog korozije čelika u betonu.
- Kod proizvodnje betona, u zimskim uvjetima, treba primjeniti i sve druge mjere zaštite betona od smrzavanja, a antifrizi čine tek pomoćno sredstvo za zaštitu od smrzavanja.

PROIZVOĐAČI KEMIJSKIH DODATAKA NA HRVATSKOM TRŽIŠTU

- 1 KEM-GRAD d.o.o. Dugo Selo
- 2 DEGUSSA CONSTRUCTION CHEMICAL HRVATSKA d.o.o. Ludbreg
- 3 SIKA CROATIA d.o.o. Zagreb-Lučko
- 4 BASF The Chemical Company

Beton-svježi beton

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.

agregat



mineralni dodaci



kemijski dodaci

beton

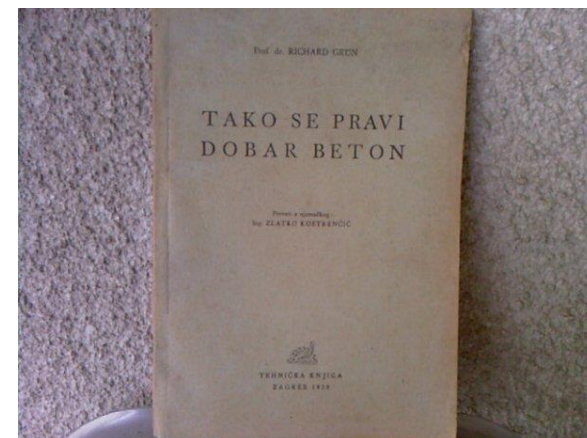


vlakna



voda

cement



Projektirani beton

- beton čija su zahtjevana svojstva specificirana proizvođaču koji je odgovoran za isporuku betona specificiranih svojstava i dodatnih osobina

Beton zadanog sastava

- beton čiji su sastav i sastavni materijali koji će se rabiti specificirani proizvođaču koji je odgovoran za isporuku betona specificiranog sastava

Normirani beton zadanog sastava

- beton čiji je sastav dan u normi važećoj na mjestu uporabe betona

Zahtjevi postavljeni 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 za definiranje i mjerenje svojstava svježeg betona:

- obradljivost,
- konzistencija,
- izdvajanje vode,
- segregacija,
- vrijeme vezanja betona,
- homogenost betonske mješavine,
- temperatura,
- sadržaj pora u svježem betonu.

Kao dodatni zahtjevi mogu biti uvjetovani sljedeći podaci:

- poseban tip ili razred cementa (npr. niska toplina hidratacije),
- poseban tip ili razred agregata,
- otpornost na smrzavanje (npr. obujamski udio zraka),
- temperatura svježeg betona,
- prirast razvoja čvrstoća,
- usporeno očvršćivanje,
- vodonepropusnost,
- otpornost na habanje,
- otpornost na smrzavanje i soli za odmrzavanje,
- vlačna čvrstoća cijepanjem.

SVOJSTVA BETONA SUKLADNO HRN EN 206-1:2006

5.4	Zahtjevi za svježi beton.....	26
5.4.1	Konzistencija.....	26
5.4.2	Sadržaj cementa i v/c omjer	27
5.4.3	Sadržaj zraka	28
5.4.4	Maksimalna veličina zrna agregata	28
5.5	Zahtjevi za očvrsnuli beton.....	28
5.5.1	Čvrstoća.....	28
5.5.1.1	Općenito	28
5.5.1.2	Tlačna čvrstoća	28
5.5.1.3	Vlačna čvrstoća cijepanjem.....	28
5.5.2	Gustoća.....	29
5.5.3	Vodonepropusnost.....	29
5.5.4	Vatrootpornost	29

PROJEKTIRANJE SASTAVA BETONA

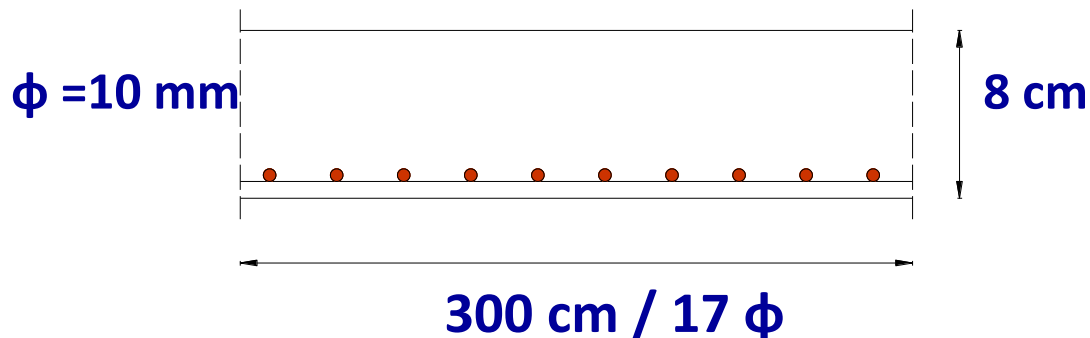
Projektiranje sastava betonske mješavine je postupak u kojem se određuje udio pojedinih komponenata u betonu.

Zahtjevi postavljeni na beton koje treba pri projektiranju sastava uzeti u obzir:

- 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 Tehničkom propisu za betonske konstrukcije najmanje 50 godina.
- Zahtjev obradivosti svježeg betona. Izražava se jednim od 4 razreda konzistencije svježeg betona.

RAČUNSKI PRIMJER PRORAČUNA SASTAVA BETONSKE MJEŠAVINE (koraci 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 miješalici volumena 0,5 m³. Beton će se izraditi s drobljenim agregatom. Udio pojedinih frakcija agregata proračunajte pomoću krivulje B.



RAZREDI TLAČNE ČVRSTOĆE ZA OBIČAN I TEŠKI BETON (HRN EN 206-1)

Razred tlačne čvrstoće	$f_{ck, valj}$ (N/mm ²)	$f_{ck, koc}$ (N/mm ²)
C 8 / 10	8	10
C 12 / 15	12	15
C 16 / 20	16	20
C 20 / 25	20	25
C 25 / 30	25	30
C 30 / 37	30	37
C 35 / 45	35	45
C 40 / 50	40	50
C 45 / 55	45	55
C 50 / 60	50	60
C 55 / 67	55	67
C 60 / 75	60	75
C 70 / 85	70	85
C 80 / 95	80	95
C 90 / 105	90	105
C 100 / 115	100	115

$f_{ck, valj}$ – karakteristična tlačna čvrstoća valjka promjera 150 mm i visine 300 mm u starosti 28 dana

$f_{ck, koc}$ – karakteristična tlačna kocke brida 150 mm u starosti 28 dana

RAZREDI TLAČNE ČVRSTOĆE ZA LAGANI BETON (HRN EN 206-1)

Razred tlačne čvrstoće	$f_{ck, valj}$ (N/mm ²)	$f_{ck, koc}$ (N/mm ²)
LC 8 / 9	8	9
LC 12 / 13	12	13
LC 16 / 18	16	18
LC 20 / 22	20	22
LC 25 / 28	25	28
LC 30 / 33	30	33
LC 35 / 38	35	38
LC 40 / 44	40	44
LC 45 / 50	45	50
LC 50 / 55	50	55
LC 55 / 60	55	60
LC 60 / 66	60	66
LC 70 / 77	70	77
LC 80 / 88	80	88

$f_{ck, valj}$ – karakteristična tlačna čvrstoća valjka promjera 150 mm i visine 300 mm u starosti 28 dana

$f_{ck, koc}$ – karakteristična tlačna kocke brida 150 mm u starosti 28 dana



Ispitivanje tlačne čvrstoće
betona na kockama i valjcima



Lijevanje betona u kalupe za kocke i valjke

1. ZAHTJEV TLAČNE ČVRSTOĆE

Zadano: C30/37

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

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

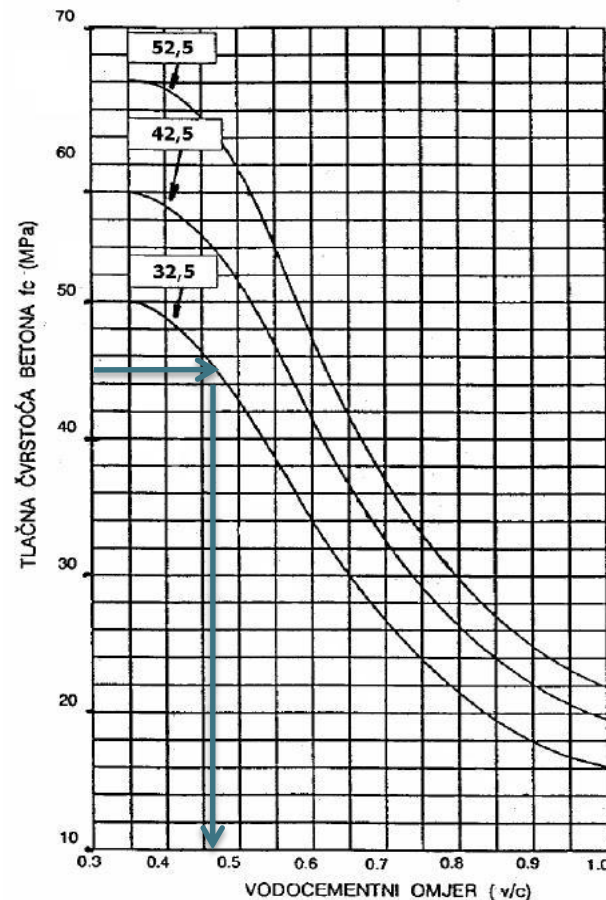
$f_{ck, koc}$ – karakteristična tlačna čvrstoća kocke brida
150 mm nakon 28 dana

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

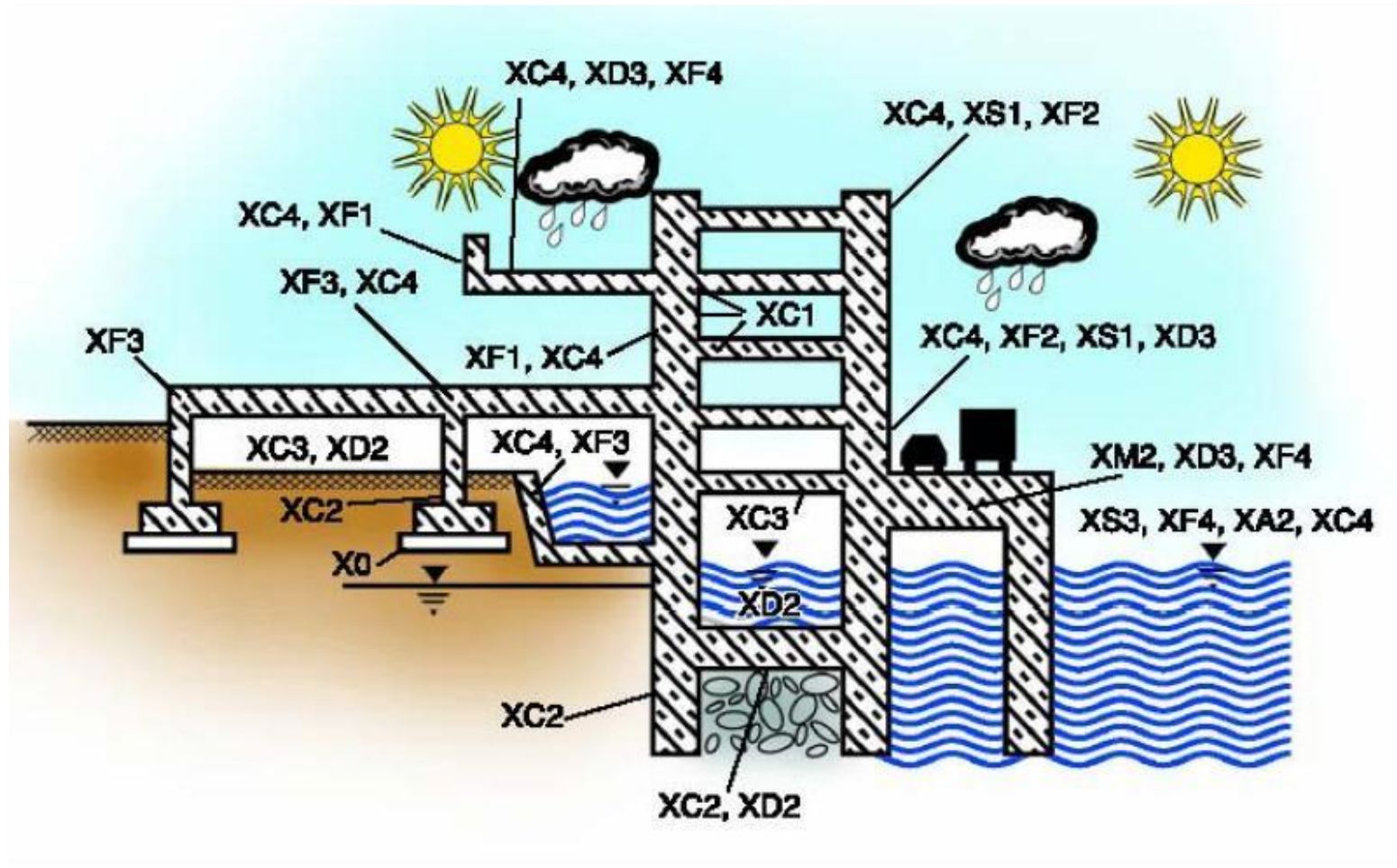
$f_{cm} > 37 + 8 = 45 \text{ N/mm}^2$

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

Walzov dijagram -Prilog 1.



2. ZAHTJEV TRAJNOSTI



Klase izloženosti okoliša

Razred	Opis okoliša	Informativni primjeri moguće pojave klasa izloženosti
1 Nema rizika korozije		
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.
2 Korozija uzrokovana karbonatizacijom^a		
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	Dijelovi spremnika za vodu; dijelovi temelja
XC3	Umjerena vlažnost	Dijelovi do kojih vanjski zrak ima stalni ili povremeni pristup (npr. zgrade otvorenih oblika, tipa-šed); prostorije s atmosferom visoke vlažnosti (npr. javne kuhinje, kupališta, praonice, vlažni prostori zatvorenih bazena za kupanje, ...)
XC4	Cikličko vlažno i suho	Vanjski betonski elementi izravno izloženi kiši; elementi u području kvašenja vodom (slatkovodna jezera i/ili rijeke)
3 Korozija uzrokovana kloridima koji nisu iz mora		
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	Umjerena vlažnost	Područja prskanja vode s prometnih površina; privatne garaže
XD2	Vlažno, rijetko suho	Bazeni za plivanje i kupališta; elementi izloženi industrijskim vodama koje sadrže kloride
XD3	Cikličko vlažno i suho	Elementi izloženi prskanju vode s prometnih površina na koja se nanose sredstva za odleđivanje; parkirališne ploče bez zaštitnog sloja ^{b)}
4 Korozija uzrokovana kloridima iz morske vode		
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	Umjereno zasićenje vodom, bez sredstva za odmrzavanje	Vanjski elementi
XF2	Umjereno 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 ^{b)} ; elementi u području morske plime; mjesta na kojima može doći do struganja u postrojenjima za tretiranje voda iz kanalizacije
6 Kemijska korozija ^{d)}		
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	Umjereno 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 silažu i korita (žljebovi) za hranjenje životinja; rashladni tornjevi s dimnjacima za odvođenje dimnih plinova
7 Beton izložen habanju		
XM1	Umjereno 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 ³)	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 ODSTUPANJA Δc (mm)
XC1	20	10
XC2	35	
XC3	35	
XC4	40	
XD1	55	15
XD2		
XD3		
XS1		
XS2		
XS3		

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 $d_m = 16$ mm

$$B = 100 * \sqrt{\frac{d}{d_m}}$$



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:

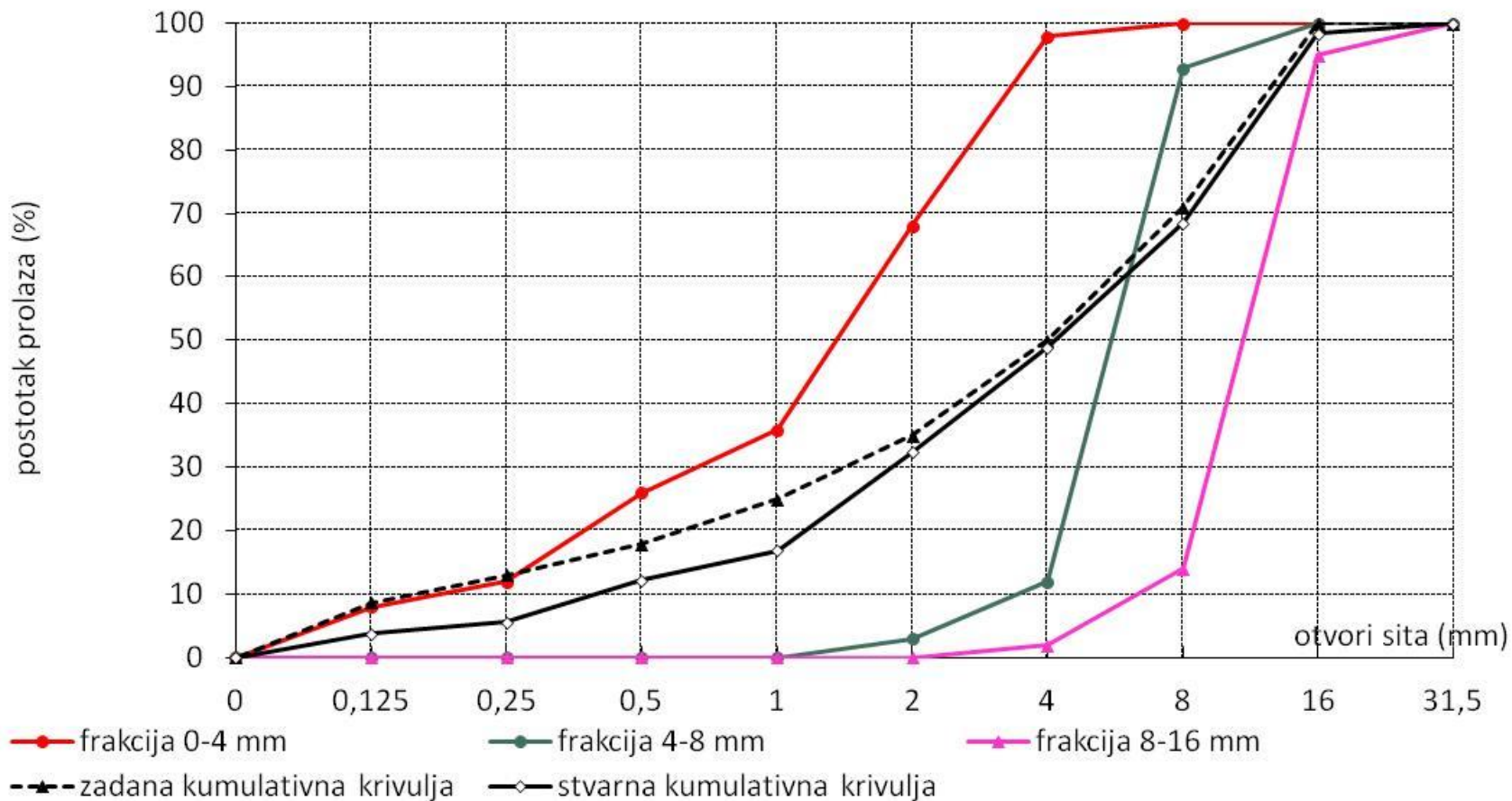
$$X_1 = 0,47 \approx 47\%$$

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

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

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

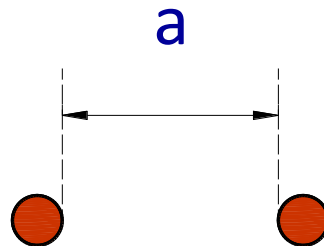


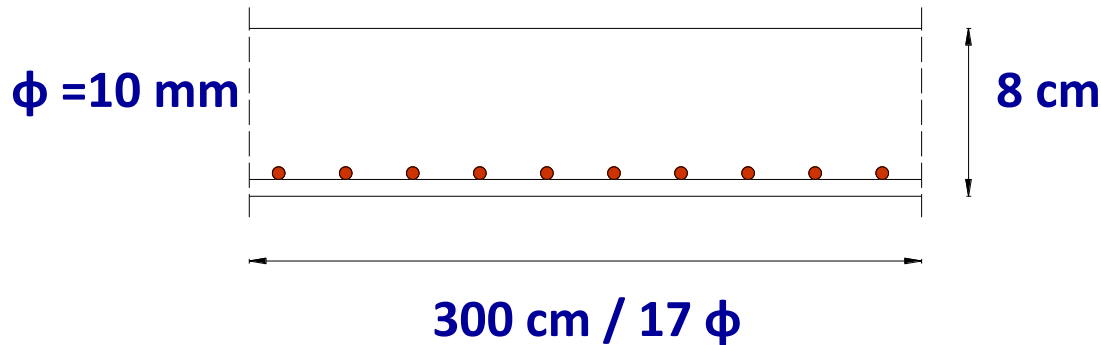
Krivulje prosijavanja, zadana (ciljana) i stvarna kumulativna krivulja

Agregat - izračun stvarnog maksimalnog zrna agregata 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: $D_{\max} \approx 16 \text{ mm}$

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)
S₁	Od 10 do 40	±10
S₂	Od 50 do 90	±20
S₃	Od 100 do 150	±30
S₄	Od 160 do 210	±30
S₅	> 220	

Očitamo koliko je potrebno litara vode za 1m³ svježeg betona iz Priloga 9. u ovisnosti o maksimalnom zrnu, tipu agregata i zadanoj graničnoj krivulji i konzistenciji slijeganjem:

LITARA VODE ZA 1m ³ SVJEŽEG BETONA						
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 kg/m^3
 - $D_{\max} = 16 \text{ mm}$
 - Beton mora biti otporan na smrzavanje pa dodajemo aeranta 0,5% od mase cementa (m_{cem})
 - Količina pora 6% (aerirani beton-uvučeni zrak)

- Konzistencija slijeganjem – 10-50 mm
- Razred konzistencije: S1
- B16, drobljeni agregat, S1 → iz zahtjeva obradljivosti: masa vode za 1m³ betona – 150 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

Svježi beton

Komponenta	Masa (kg)	Gustoća (kg/dm ³)	Volumen (dm ³)
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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Komponenta	Masa za 1000 dm^3 betona (kg)	Masa za $0,5 \text{ m}^3$ 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 → $75 + 11,73 - 31,58 = 55,15$ 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 mm: $451,56 \times 3 = 1354,68 \text{ kg}$
 - frakcija 4-8 mm: $170,76 \times 3 = 512,28 \text{ kg}$
 - frakcija 8-16 mm: $329,43 \times 3 = 988,29 \text{ kg}$

ISPITIVANJE SVJEŽEG I OČVRSNULOG BETONA

Svojstva svježeg betona određena su:

- konzistencijom (tečljivošću) svježeg betona
- gustoćom
- razdvajanjem agregata
- temperaturom
- obujamskim udjelom zraka

ISPITIVANJE KONZISTENCIJE SVJEŽEG BETONA I RAZREDI KONZISTENCIJE

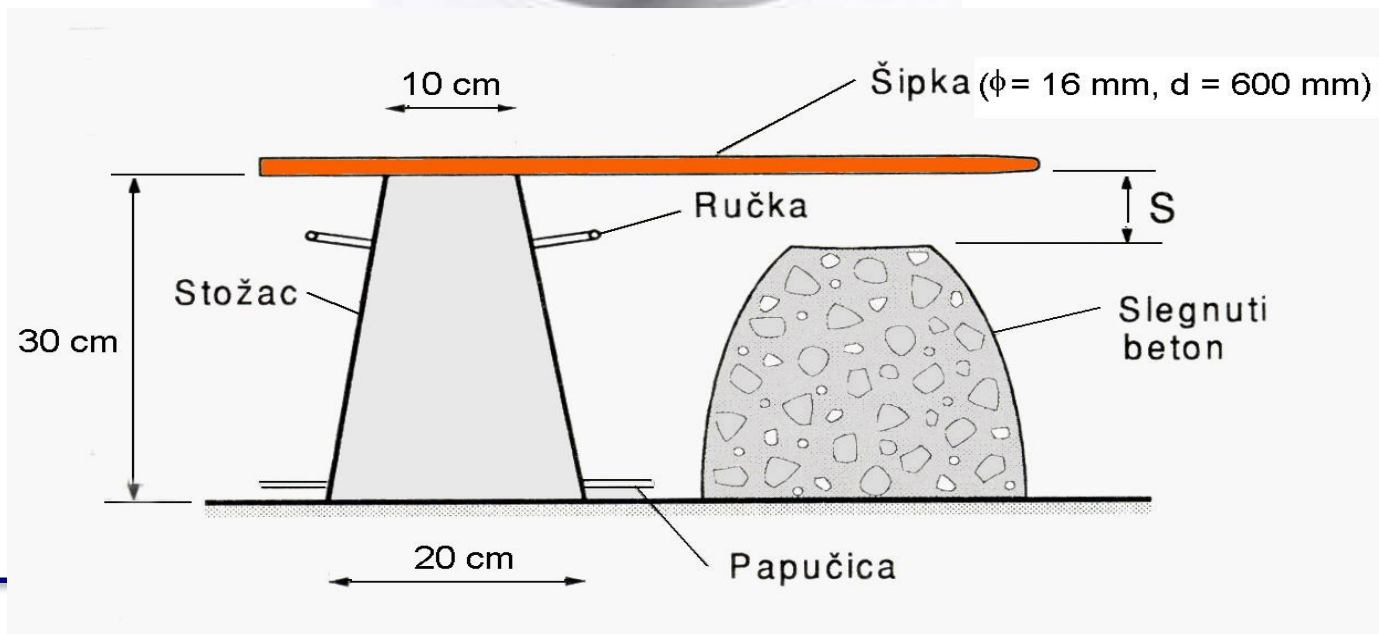
Konzistencija betona je svojstvo svježeg betona kojom se on odupire trajnoj promjeni oblika.

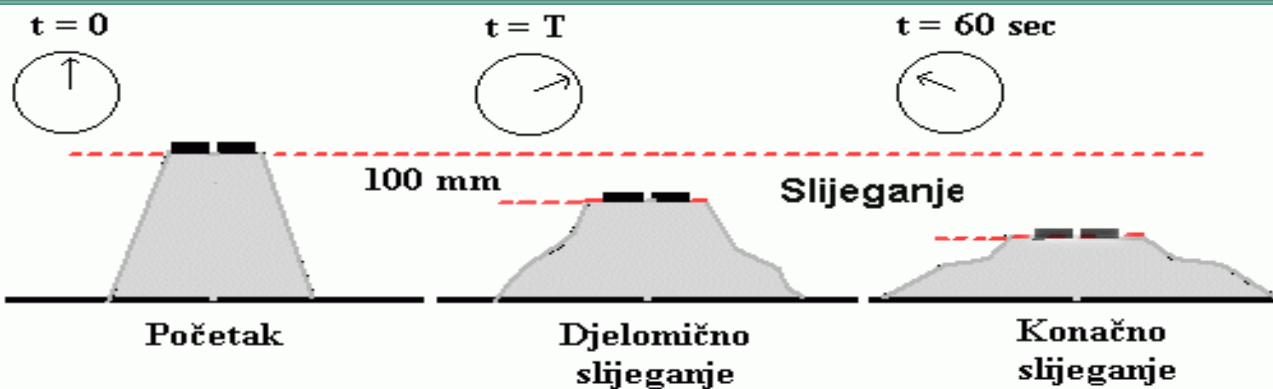
Razlikujemo:

- konzistenciju slijeganjem,
- konzistenciju pomoću Vebe-ovog aparata,
- konzistenciju stupnjem zbijenosti,
- konzistenciju rasprostiranjem.

ISPITIVANJE KONZISTENCIJE SLIJEGANJEM

Abramsov kalup





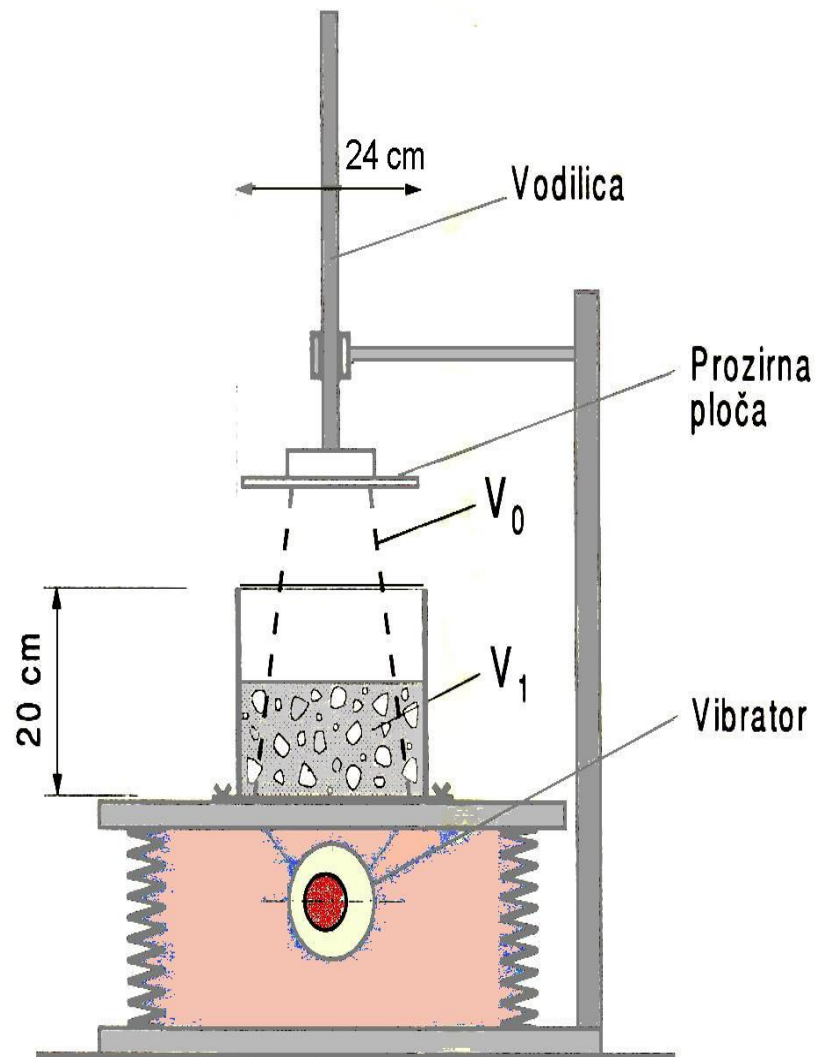
RAZREDI SLIJEGANJA ; $D_{\max} = < 40 \text{ mm}$

Razred	Slijeganje (mm)	Dopuštena odstupanja (mm)
S_1	Od 10 do 40	± 10
S_2	Od 50 do 90	± 20
S_3	Od 100 do 150	± 30
S_4	Od 160 do 210	± 30
S_5	> 220	

PRIBLIŽNE VRIJEDNOSTI SLIJEGANJA ZA KONSTRUKCIJE

Tip konstrukcije	Slijeganje (mm)
Slabo armirani ili nearmirani temelji	10 do 15
Armirani temelji, ploče nosači i stupovi	60 do 120
Jako armirane ploče nosači i stupovi	80 do 160
Cestovne ploče, industrijski podovi	10 do 50
Masivni hidrotehnički beton	10 do 50
Betoniranje pod vodom	120 do 180

VEBE POSTUPAK



VEBEOVI STUPNJEVI; $D_{max} = < 63 \text{ mm}$

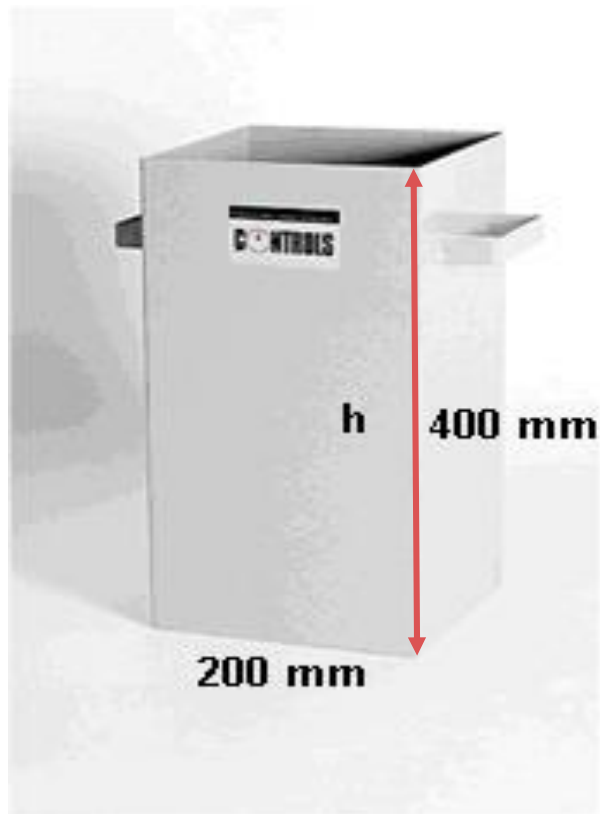
$$V = \frac{V_1}{V_0} \cdot t \quad (\text{Vebeovih stupnjeva})$$

V_0 – obujam Abramsovog kalupa $5,50 \text{ dm}^3$

V_1 – obujam betona poslije zbijanja, t – vrijeme zbijanja (s)

Razred	Vebeov stupanj (s)	Dopuštena odstupanja (s)
V_0	> 31	
V_1 (kruta)	21 do 30	± 3
V_2 (slabo plastična)	11 do 20	± 3
V_3 (plastična)	6 do 10	± 2
V_4 (tekuća)	3 do 5	± 1

STUPANJ ZBIJENOSTI



$$C = \frac{h}{h - s}$$



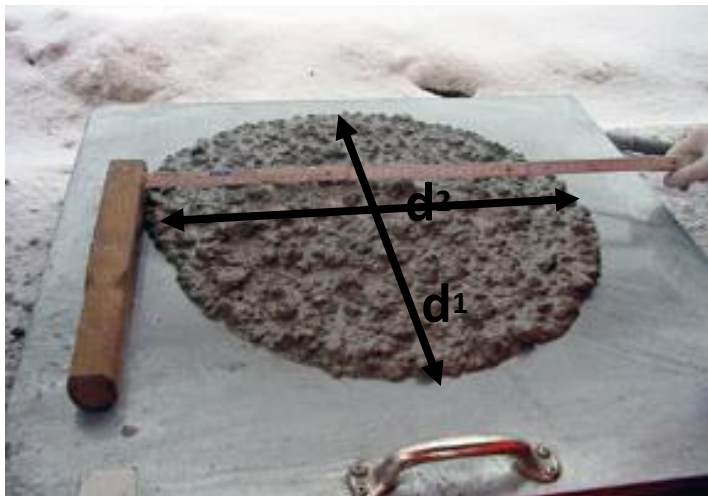
h – unutarnja visina posude (mm)

s – udaljenost od površine zbijenog betona do gornjeg ruba posude

RAZREDI STUPNJA ZBIJENOSTI; $D_{max} = < 63 \text{ mm}$

Razred	Stupanj zbijenosti	Dopuštena odstupanja
C_0	$> 1,46$	
C_1	1,26 do 1,45	$\pm 0,10$
C_2	1,11 do 1,25	$\pm 0,08$
C_3	1,04 do 1,10	$\pm 0,05$
C_4	$< 1,04$	

ISPITIVANJE KONZISTENCIJE RASPROSTIRANJEM

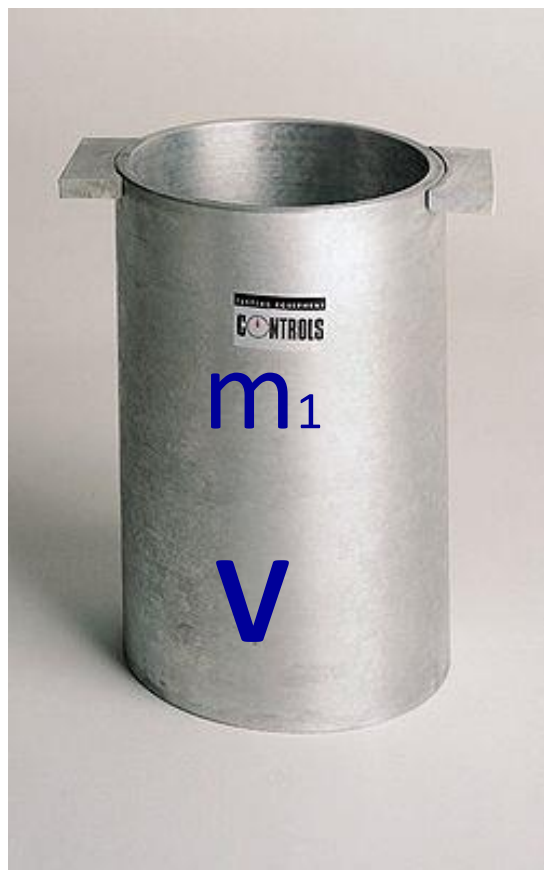


$$T = \frac{d_1 + d_2}{2} \text{ (mm)}$$

RAZREDI RASPROSTIRANJA; $D_{max} = < 63 \text{ mm}$

Razred	Promjer rasprostiranja (mm)	Dozvoljena odstupanja (mm)
T_1	< 340	± 30 za sve vrijednosti
T_2	350 do 410	
T_3	420 do 480	
T_4	490 do 550	
T_5	560 do 620	
T_6	> 630	

ODREĐIVANJE GUSTOĆE SVJEŽEG BETONA



$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \text{ (kg / m}^3\text{)}$$

ρ = gustoća betona (kg/m³)

m_2 = masa posude i betona (kg)

m_1 = masa same posude (kg)

V = obujam posude (dm³)

Posuda poznatog volumena

ODREĐIVANJE UDJELA PORA U SVJEŽEM BETONU



Porometar

Postupak se zasniva na Boyle-Marrioteovom zakonu, prema kojem je umnožak tlaka p i obujma V idealnog plina kod stalne temperature stalan: $p \cdot V = \text{konstanta}$.

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 $^\circ$ C)

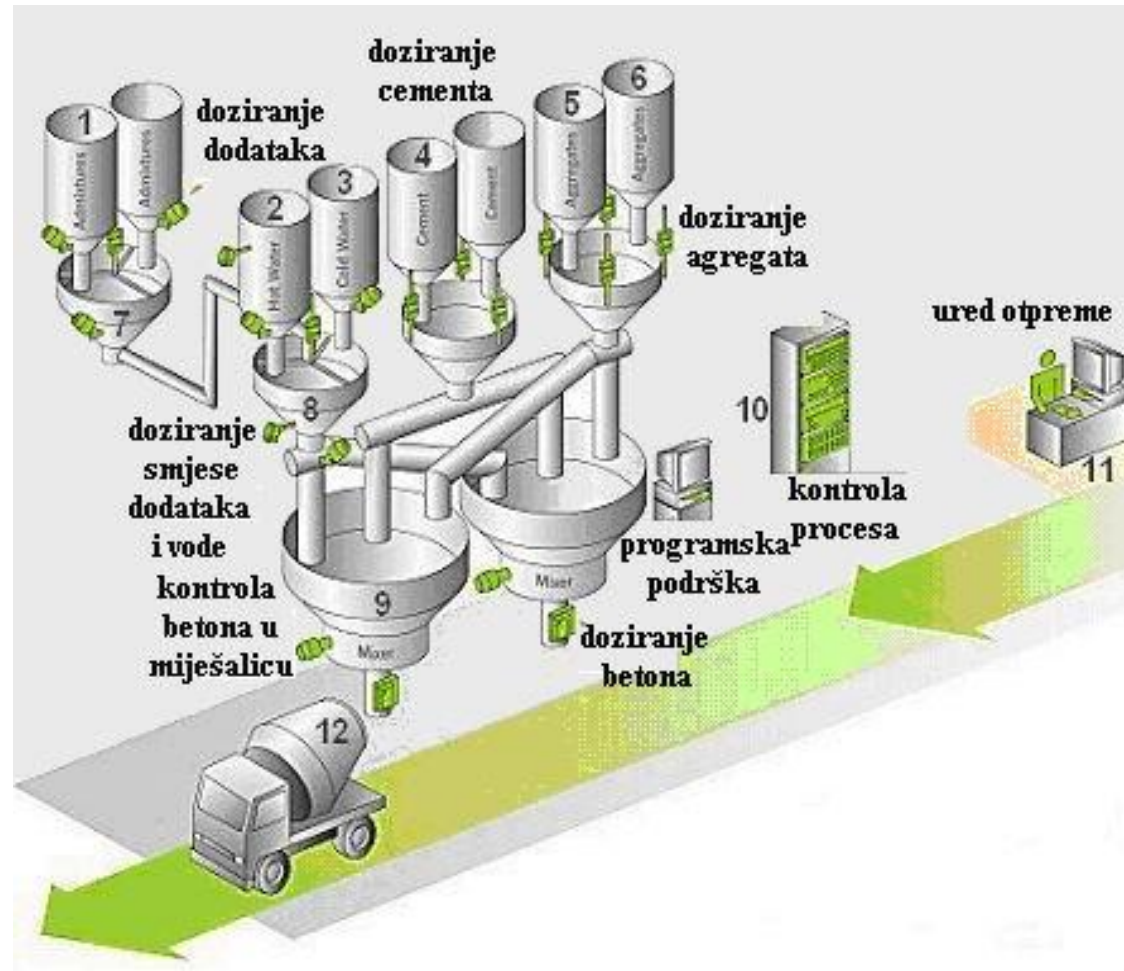
c_v -specifični toplinski kapacitet vode = 4,20 kJ / (kg $^\circ$ C)

Temperatura svježeg betona ne smije biti ispod 5 $^\circ$ C u vrijeme isporuke. Kada je potreban zahtjev za drugačiju minimalnu ili za maksimalnu temperaturu svježeg betona, treba ih propisati uz utvrđivanje i toleranciju. Bilo koji uvjet za umjetno hlađenje ili grijanje betona treba prije otpreme usuglasiti između proizvođača i korisnika.

PROIZVODNJA, OTPREMA I UGRADNJA BETONA

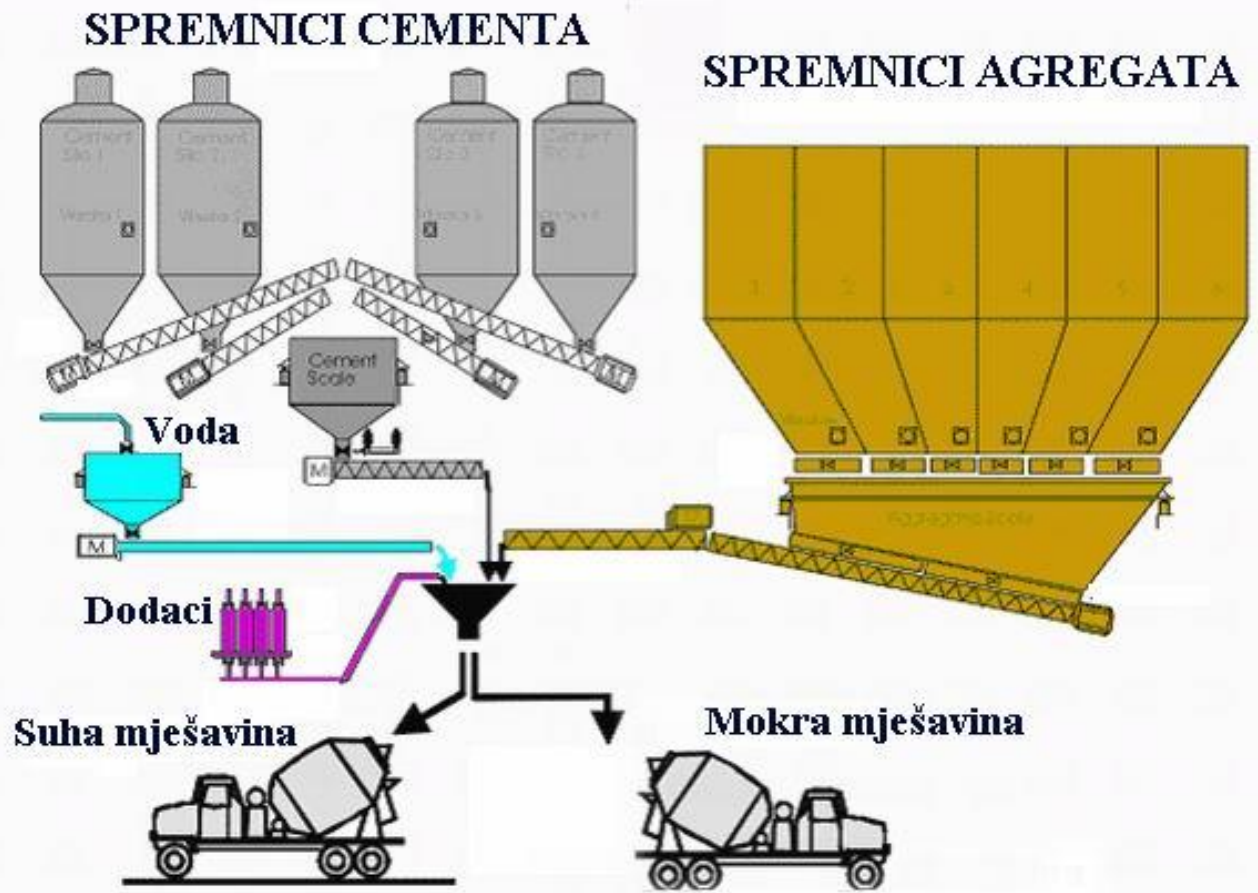
- skladištenje sastojaka
- doziranje sastojaka
- miješanje sastojaka
- otprema betona
- kontrola proizvodnje
- kontrola kakvoće betona

- 1 spremnici dodataka
- 2 spremnik tople vode
- 3 spremnik hladne vode
- 4 spremnici cementa
- 5 spremnik sitnog agregata
- 6 spremnik krupnog agregata
- 7 miješalica dodataka
- 8 miješalica dodataka i vode
- 9 miješalica sastojaka
- 10 kontrola procesa
- 11 ured otpreme
- 12 otprema betona



Shematski prikaz pogona za proizvodnju betona - betonare

PROIZVODNJA BETONA



Shematski prikaz proizvodnje betona na betonari

KONTROLA PROIZVODNJE

- izbor sastojaka betona
- projektiranje sastava betona
- proizvodnja betona
- provjera i ispitivanje opreme, sastojaka betona, svježeg i očvrsnulog betona
- kontrolu usklađenosti proizvedenog betona sa zahtjevima norme

DOZVOLJENA ODSTUPANJA PRI MIJEŠANJU SASTOJAKA

Sastojci	Dozvoljeno odstupanje
Cement Voda Ukupni agregat Mineralni dodaci pri dodavanju > 5% mase cementa	$\pm 3\%$ od tražene mase
Kemijski i mineralni dodaci pri dodavanju $\leq 5\%$ mase cementa	$\pm 5\%$ od tražene mase

MASENI UDIO KLORIDA U BETONU

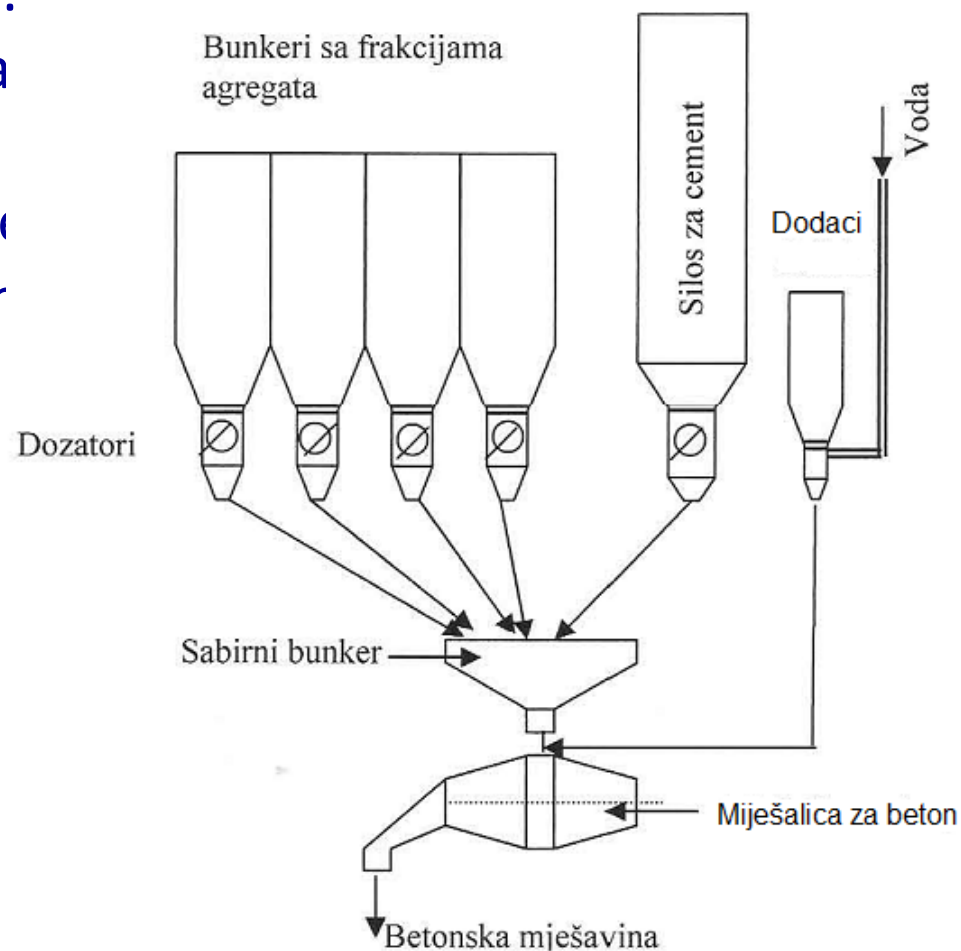
Beton	Razred masenog udjela klorida	Maksimalni udio Cl ⁻ na masu cementa ¹
Ne sadrži čeličnu armaturu ili drugi metal	Cl 1,00	1 %
Sadrži čeličnu armaturu ili drugi metal	Cl 0,20	0,20 %
	Cl 0,40	0,40 %
Sadrži prednapetu čeličnu armaturu	Cl 0,10	0,10 %
	Cl 0,20	0,20 %

Za utvrđivanje količine klorida u betonu treba utvrditi ukupan doprinos sastavnih materijala.

SPRAVLJANJE BETONA

Tehnologija proizvodnje betona:

- Doziranje agregata i cementa
- Smještanje u sabirni bunker
- Doziranje voda-aditivi (tekući)
- Mješanje u mješalici za beton

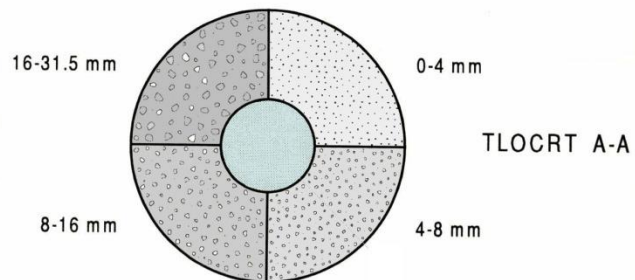
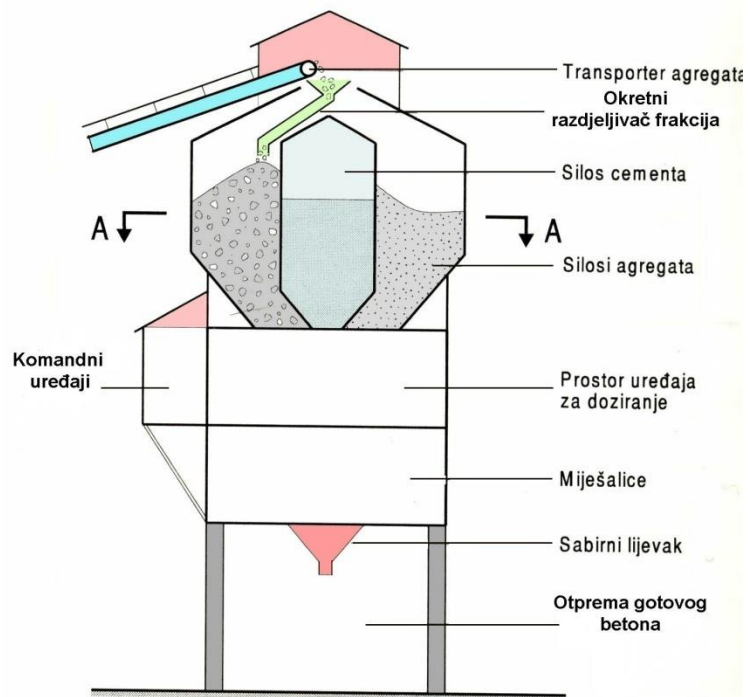


Doziranje po masi (težinski)

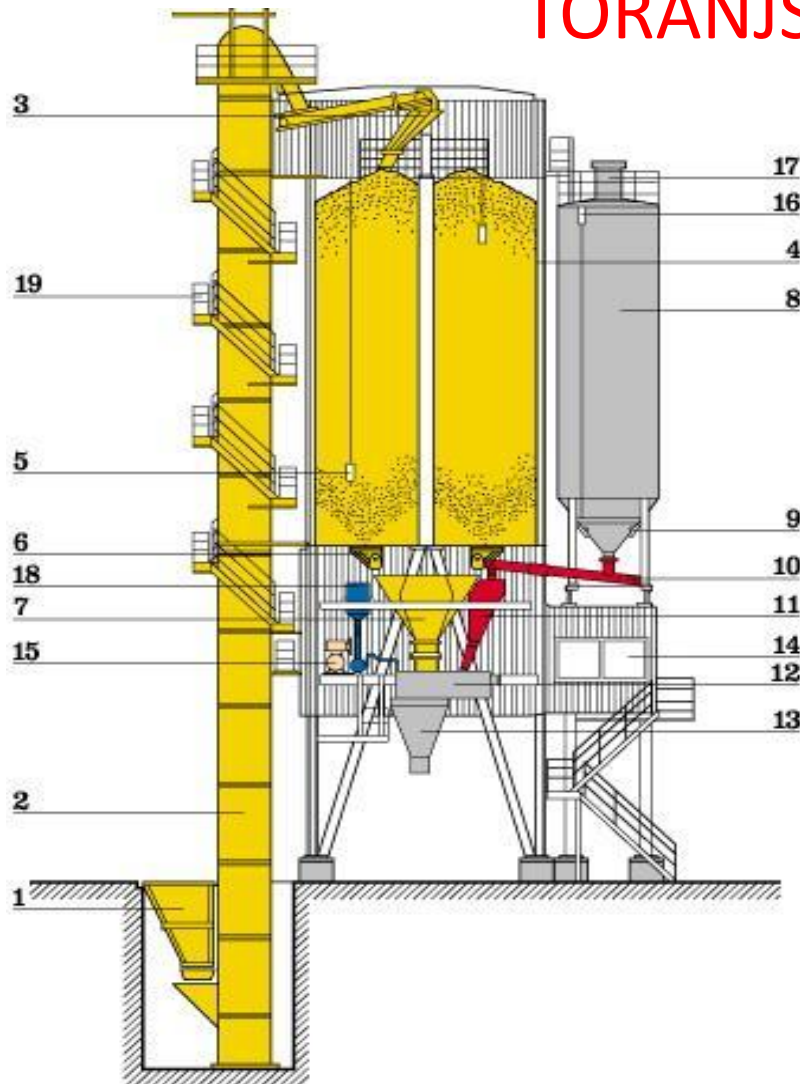
TIPOVI BETONARA



TORANJSKE BETONARE

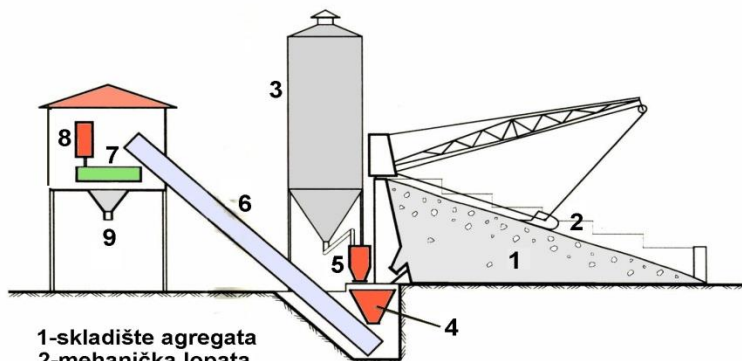


TORANJSKA BETONARA

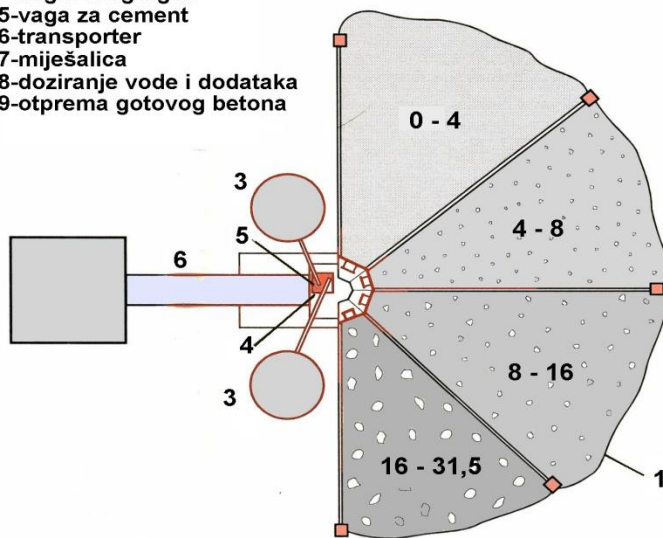


- 1 Usipni koš za agregat
- 2 Otpremni transporter
- 3 Razdjeljivač agregata
- 4 Spremnici agregata
- 5 Pokazivač napunjenosti spremnika
- 6 Sustavi za doziranje agregata
- 7 Vaga agregata
- 8 Spremnici cementa
- 9, 10, 11 Sustav za miješanje, pužnica, vaga cementa
- 12 Miješalica
- 13 Ispusni lijevak
- 14 Upravljački prostor
- 18 Vaga za vodu

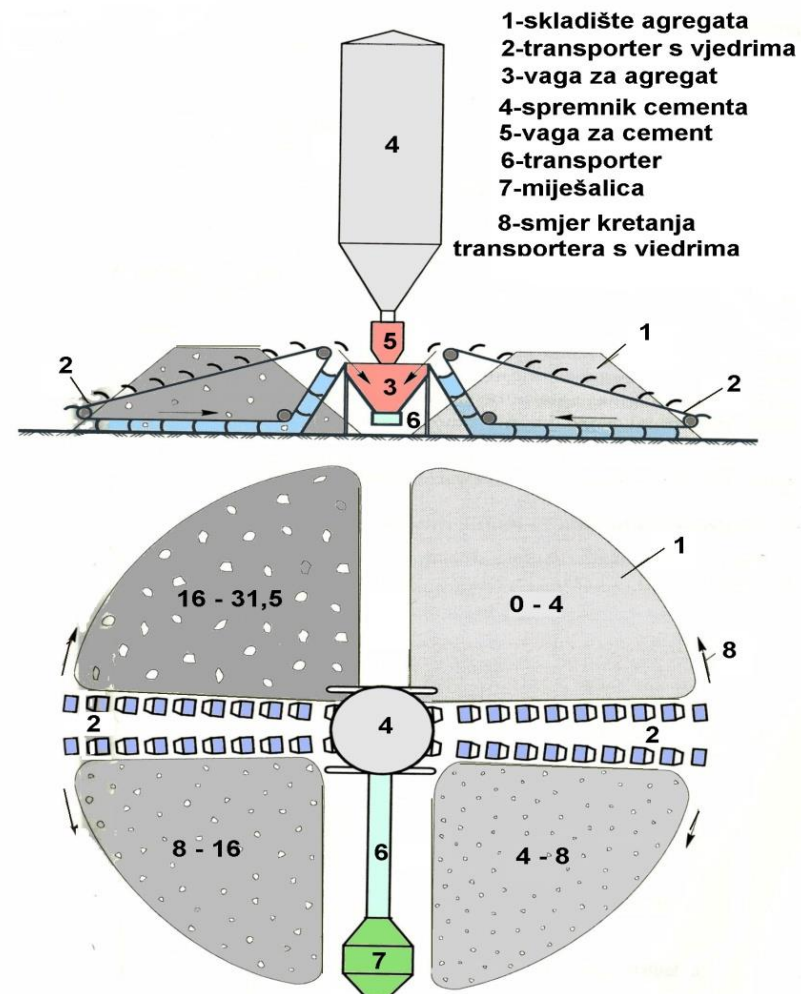
HORIZONTALNE BETONARE SA SKLADIŠTENJEM AGREGATA NAVLAČENJEM



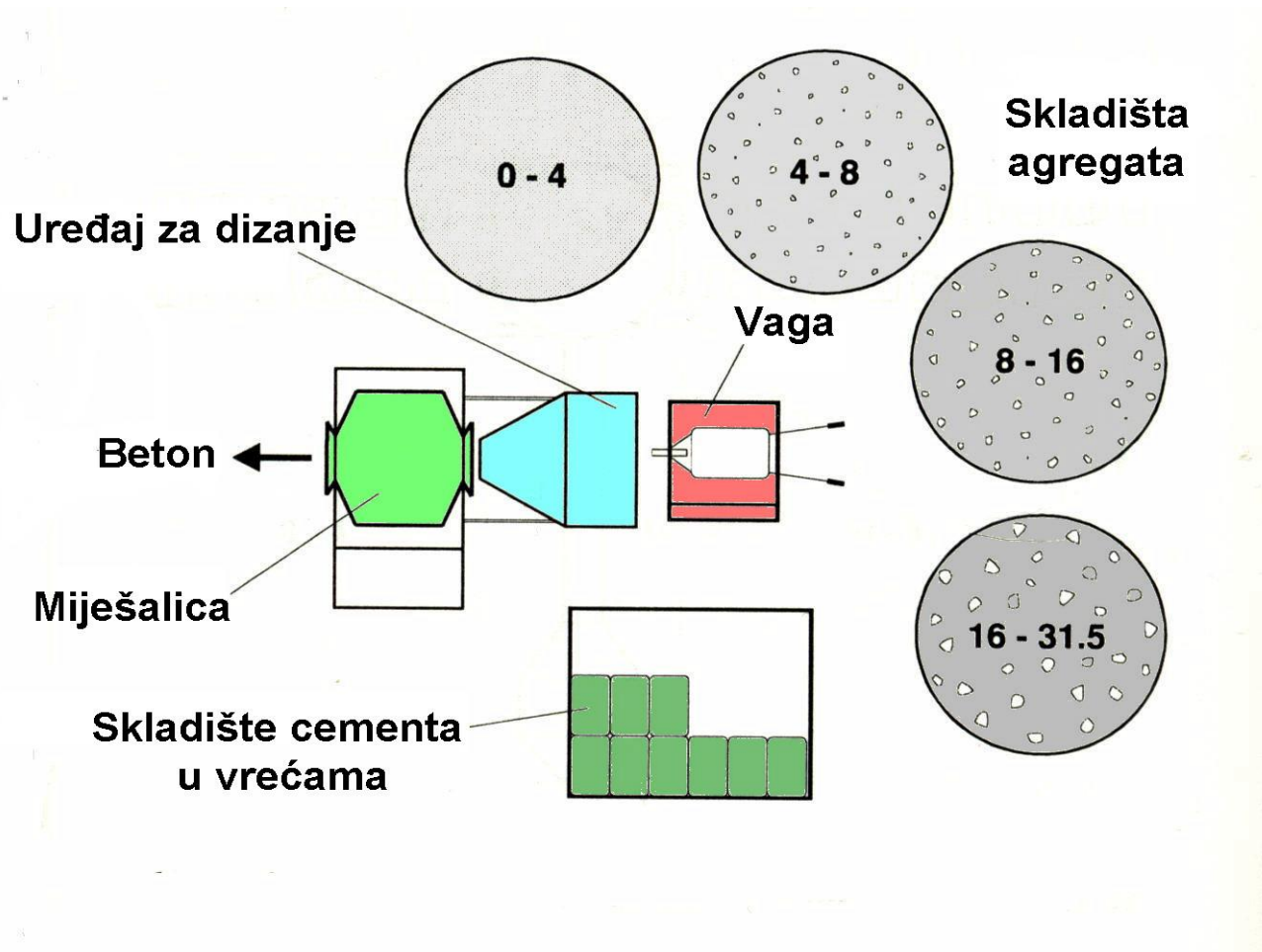
- 1-skladište agregata
- 2-mehanička lopata
- 3-silos cementa
- 4-vaga za agregat
- 5-vaga za cement
- 6-transporter
- 7-miješalica
- 8-doziranje vode i dodataka
- 9-otprema gotovog betona



HORIZONTALNE BETONARE SA SLOBODNIM SKLADIŠTENJEM AGREGATA



PROIZVODNJA BETONA ZA MANJE RADOVE



BETONARE OBZIROM NA VELIČINU

Veličina betonara ili tvornica betona u smislu proizvodnog učinka:

- manje do srednje velike betonare - učinka 10 do 25 m³/sat (djelomično automatizirane)
- srednje velike betonare ili tvornice betona - učinka 30 do 60(80)m³/sat (automatizirane i djelomično programirane)
- velike tvornice betona - učinka 80 do 600 m³/sat (potpuno automatizirane i programirane odnosno u nekim dijelovima čak i robotizirane)

MIJEŠALICE ZA BETON

Miješalice prema režimu rada:

- sa periodičnim radom
- sa neprekidnim (kontinuiranim radom)

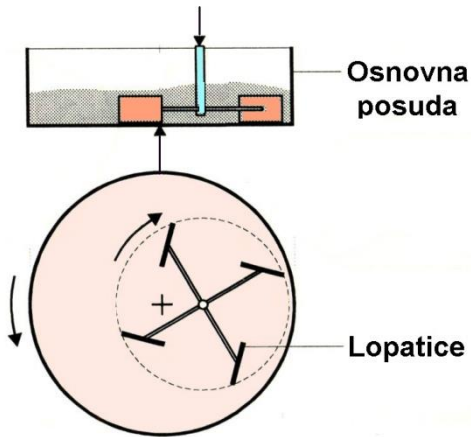
Miješalice prema odnosu položaja osi bubnja:

- vertikalne
- horizontalne
- kose

Miješalice obzirom na način mješanja:

- gravitacione
- sa prinudnim mješanjem (tzv. protustrujne miješalice)

MIJEŠANJE SASTOJAKA BETONA



Prisilna protustrujna miješalica



Gravitaciona miješalica

Proizvodnost mješalica za beton:

- miješalice malog kapaciteta (do $20\text{m}^3/\text{h}$)
- miješalice srednjeg kapaciteta ($20\text{-}50\text{m}^3/\text{h}$)
- miješalice velikog kapaciteta ($50\text{-}100\text{m}^3/\text{h}$)
- miješalice velikog kapaciteta ($50\text{ }100\text{m}^3/\text{h}$)
- miješalice vrlo velikog kapaciteta (preko $100\text{m}^3/\text{h}$)

OTPREMA (TRANSPORT) BETONA

- Vanjski transport
- Unutrašnji transport

Sredstva vanjskog transporta:

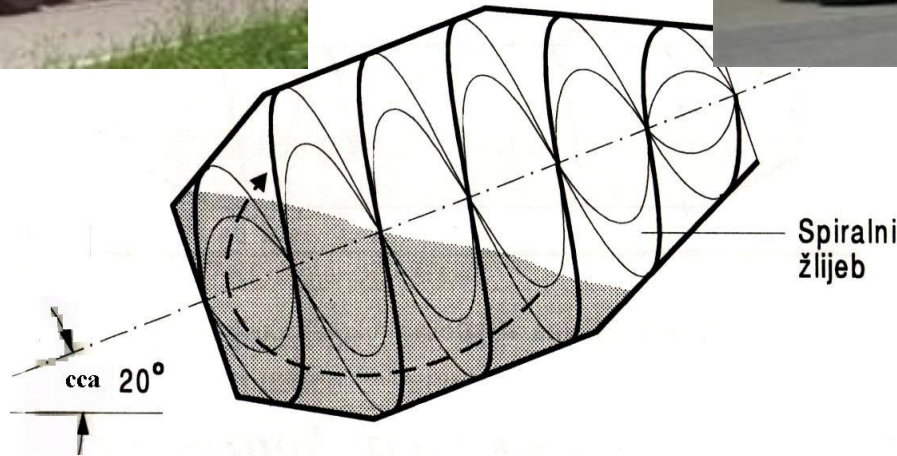
- Automikseri
 - Silobusi
- Brzo punjenje i pražnjenje
- Opremljeni uređajim za uzburkivanje mase betona
 - Damperi i kiperi

→ Koriste se samo za betone krute i slaboplastične konzistencije

4-8 okr. min^{-1} , pomicačelj (agitator)

12-14 okr. min^{-1} , miješalica

Auto-miješalica (automikser) je rotacijski stroj za miješanje betona na pokretnom postolju koji može održavati svježi beton u dobro izmiješanom homogenom stanju tijekom otpreme.



OTPREMA BETONA NA GRAĐEVINI – UNUTRAŠNJI TRANSPORT

- posudom ili korpom ($V = 0,5-4 \text{ m}^3$)
- građevinska dvokolica
- transportnom trakom
- žlijebom
- pneumatski
- pumpanjem



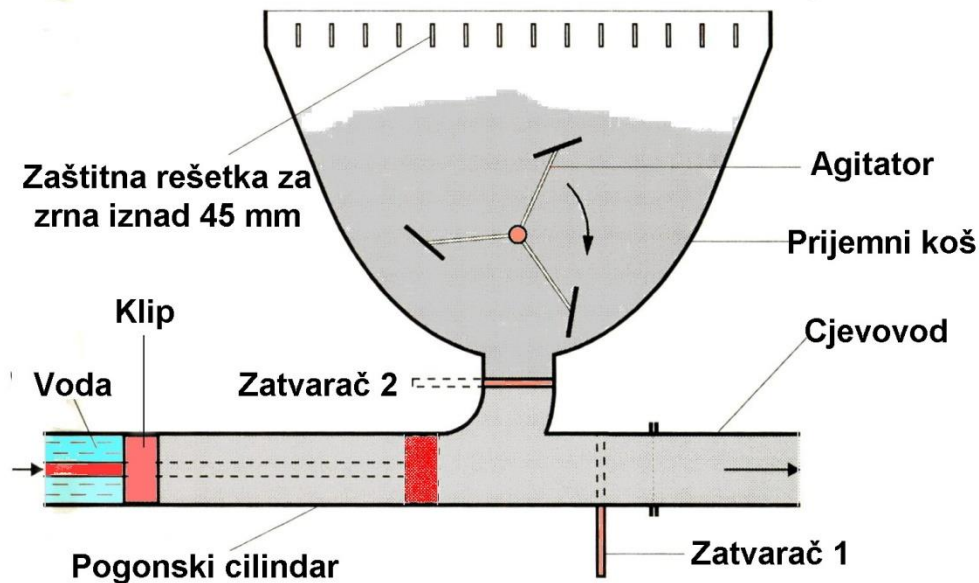
Zahtjevi na “pumpani” beton:

$D = 16 \text{ mm} \dots 400-600 \text{ kg/m}^3$

$D = 31,5 \text{ mm} \dots 360-420 \text{ kg/m}^3$

$D = 63 \text{ mm} \dots 340-400 \text{ kg/m}^3$

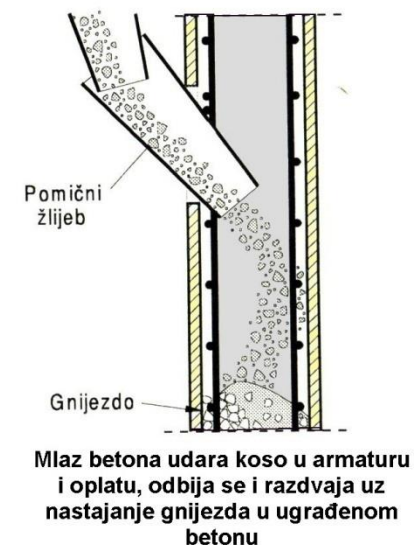
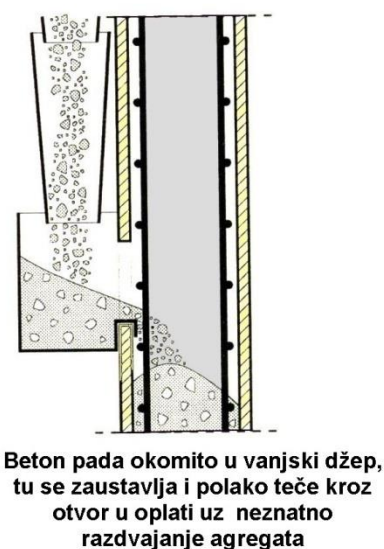
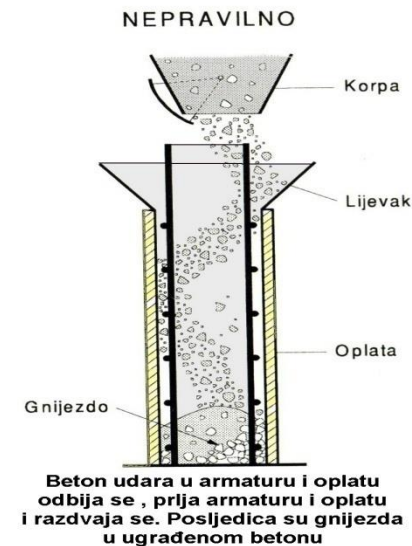
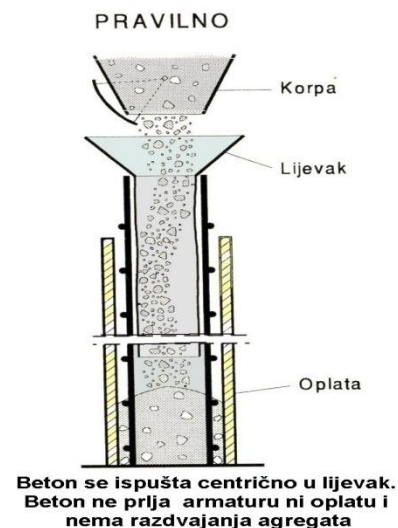
Učinak: $60 \text{ m}^3 / \text{h}$



UGRADNJA BETONA IZMEĐU OPLATE

Pravila pri ugradnji:

- beton ne smije padati s visine veće od 1 metar
- beton ne smije udarati u prepreke, kao što su armatura i oplata
- beton mora padati okomito na prethodno ugrađeni beton



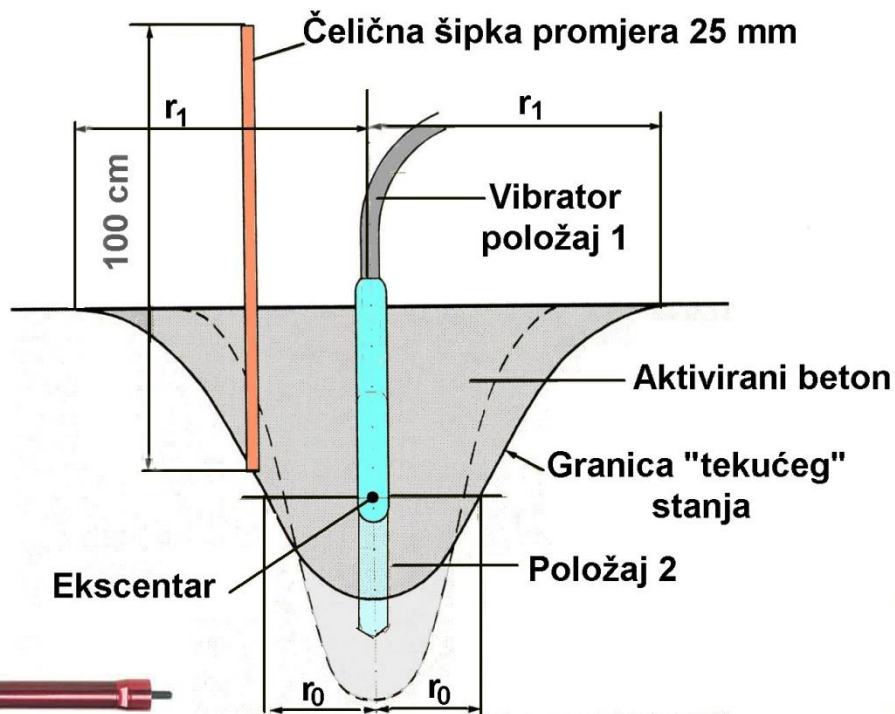
UGRADNJA BETONA

- uranjajući vibratori (pervibratori) – unutrašnji vibratori
- površinski vibratori –vibroletve, vibrodaske, vibrogrede – za zbijanje podova, ploča, kolničke konstrukcije
- oplatni vibratori – pričvršćuju se na oplatu – koriste se kod tankih elemenata
- vibrostolovi



Vibrostol

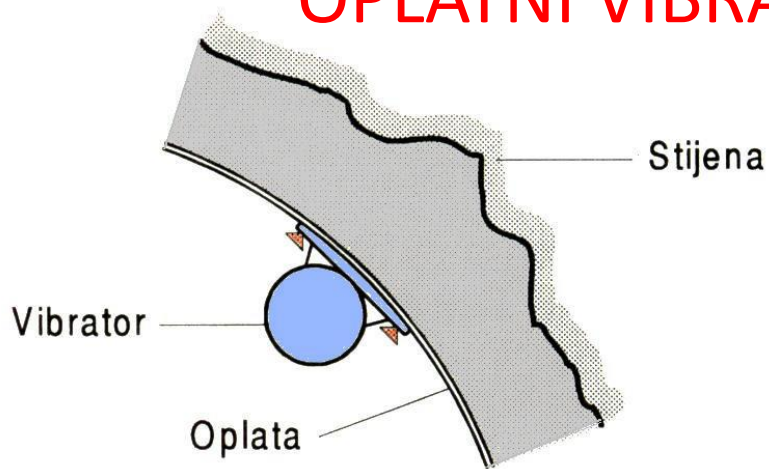
URANJAJUĆI VIBRATORI - PERVIBRATORI



- promjer 25 mm
- promjer 38 mm
- promjer 48 mm
- promjer 58 mm



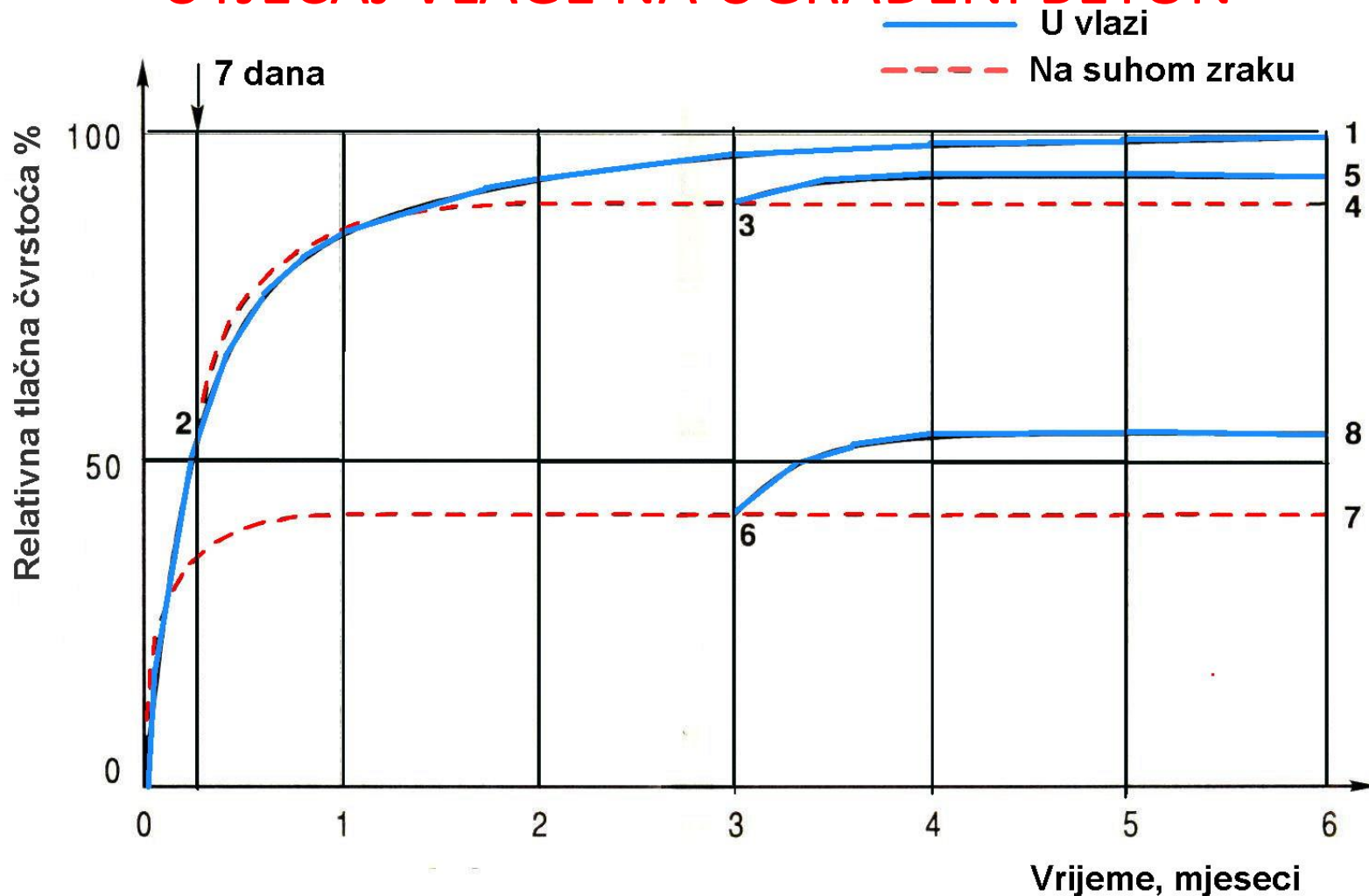
OPLATNI VIBRATOR I VIBROPLOČA



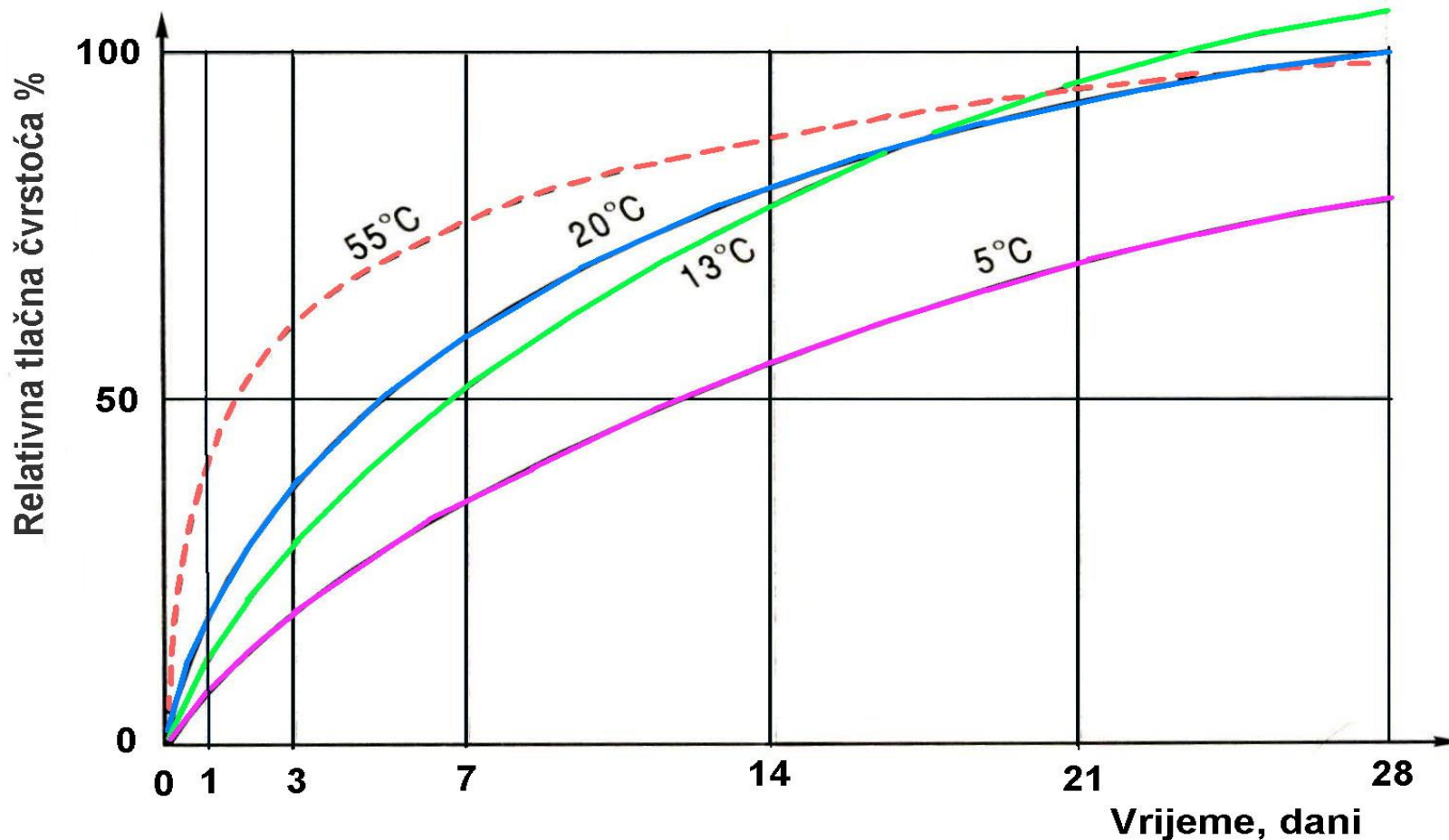
NJEGA BETONA

- Pod negovanjem betona se podrazumijeva skup različitih postupaka i mjera koje se poduzimaju u cilju ostvarenja projektiranih mehaničkih karakteristika
- Njega betona ovisi o lokalnim vremenskim uvjetima i vrsti konstrukcije
- Njegovom betona sprječava se isparavanje vode iz betona koja je potrebna za proces hidratacije cementa
- Pravilnom negom sprječava se skupljanje betona i pojava pukotina – plastično skupljanje
- Njega se ogleda u neprekidnom polijevanju površine betona vodom
- Često ima funkciju hlađenja betona
- Njezi betona treba pristupiti odmah povezivanju cementa i treba trajati do 7 dana, tj. dostizanje 50% čvrstoće

UTJECAJ VLAGE NA UGRAĐENI BETON



UTJECAJ TEMPERATURE NA UGRAĐENI BETON



PRIRAST ČVRSTOĆA BETONA PRI 20 °C

Prirast čvrstoće	Procjena omjera prirasta čvrstoće $f_{cm,2} / f_{cm,28}$
Brz	$\geq 0,5$
Srednji	$\geq 0,3$ do $< 0,5$
Polagan	$\geq 0,15$ do $< 0,3$
Vrlo polagan	$< 0,15$

UZVOĐENJE BETONSKIH RADOVA U EKSTREMNIM UVJETIMA

- Ako je temperatura svježeg betona $<5^{\circ}\text{C}$ (ispod 0°C), dolazi do smrzavanja betona, degradacije njegove strukture i drastičnog pada fizikalno-mehaničkih osobina
- Ako je temperatura $>30^{\circ}\text{C}$ dolazi do brzog procesa hidratacije produkti, produkti hidratacije imaju slabija mehanička svojstva, pojava značajnijih toplinskih naprezanja i povećan broj mikropukotina
- Ako je temperatura $>30^{\circ}\text{C}$, povećava se potreba za vodom (zahtjevana konzistencija), smanjuje čvrstoća i trajnost betona

Na temperaturama $<5^{\circ}\text{C}$:

- Koristiti cemente viših klasa i manjih udjela dodatka zgure (cemente viših toplina hidratacije)
- Izbjegavati cemente sa dodatkom pucolana i pucolanske cemente
- Koristiti veće količine cementa
- Koristiti dodatke tipa plastifikatora i superplastifikatora (smanjenje vodocementnog faktora), te ubrzivače i antifrizne

Osnovni principi tehnologije zimskog betoniranja:

- zagrijavati vodu na 40-70°C ($T_v \geq -1^\circ\text{C}$)
- zagrijavanje agregata: sustavi za zagrijavanje putem vodene pare (perforirane cijevi)
- toplinska zaštita bunkera za agregat i silosa za cement
- transportna sredstva sa određenim sustavima toplinske zaštite
- pri ugrađivanju betona:
- prekrivanje otvorenih površina betona (elementa i konstrukcija) prikladnim izolacijskim materijalima
- izrada oplata sa dodatnim izolacijskim slojevima
- postavljanje izbetoniranih elemenata i konstrukcija u zatvorene prostore
- direktno zagrijavanje elemenata i konstrukcija putem vodene pare i dr.

Visoke temperature uvjetuju:

- potrebu za većom količinom vode
- brzu promjenu konzistencije
- skraćivanje vremena početka vezivanja svježeg betona
- brzo isparavanje vode te nastanak pukotina (veliko plastično skupljanje)
- povećanje skupljanja
- smanjenje čvrstoće i trajnosti

Na temperaturama $>30^{\circ}\text{C}$:

- koristiti manje količine cementa i cemente sa malom toplinom hidratacije
- upotrebljavati veće količine vode i aditiva

Osnovni principi tehnologije ljetnjeg betoniranja:

- skladištenje vode za spravljanje betona u cisternama ukopanim u zemlju (20-22°C)
- izvođenje toplinske zaštite silosa za cement ili bojenje ovih silosa bijelom bojom
- zaštita agregata od direktnog djelovanja sunca putem nadstrešica,
- povremeno kvašenje krupnih čestica agregata uedajima za fino raspršivanje
- hlađenje vode u hladnjacima tzv. kulerima (6°C)
- ubacivanje drobljenog leda u cisterne za skladištenje vode ili u mješalicu
- transportna sredstva izolirana od djelovanja visokih vanjskih temperatura, transportni put što kraći
- mjesto ugrađivanja zaštititi od sunca i vjetra, a u prvih nekoliko sati osigurati povremeno hlađenje oplata
- izbjegavati ugradnju betona po danu (noćno betoniranje)
- njegovanje najmanje 7-10 dana, neprekidnim kvašenjem (perforirane cijevi, sustav raspršivanja), pokrivačima od jute, filca i sl.

Beton-očvrsnuli beton

SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK

Svojstva očvrsnulog betona određena su:

- tlačnom čvrstoćom
- vlačnom čvrstoćom
- gustoćom
- modulom elastičnosti
- deformacijama (toplinskim deformacijama, skupljanjem, bubrenjem i puzanjem)
- vodoupojnošću
- otpornošću na smrzavanje
- otpornošću na habanje

ISPITIVANJE OČVRSTNULOG BETONA

HRN EN 12390-1 do HRN EN 12390-9:

Oblik, dimenzije i drugi zahtjevi za uzorke i kalupe

Izrada i njegovanje uzoraka za ispitivanje čvrstoće

Ispitivanje tlačne čvrstoće

Uređaji za ispitivanje tlačne čvrstoće

Ispitivanje čvrstoće na savijanje

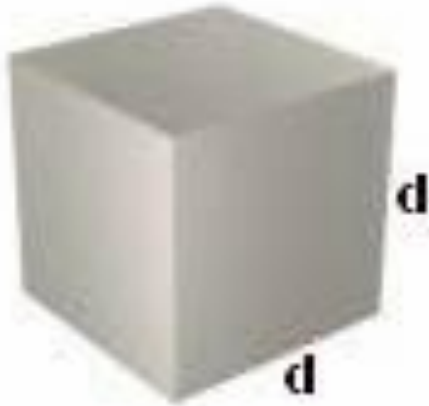
Ispitivanje vlačne čvrstoće cijepanjem

Gustoća očvrtnulog betona

Dubina prodiranja vode pod tlakom

Otpornost na smrzavanje i soli za odmrzavanje

OBLIK, DIMENZIJE I DRUGI ZAHTJEVI NA UZORKE I KALUPE

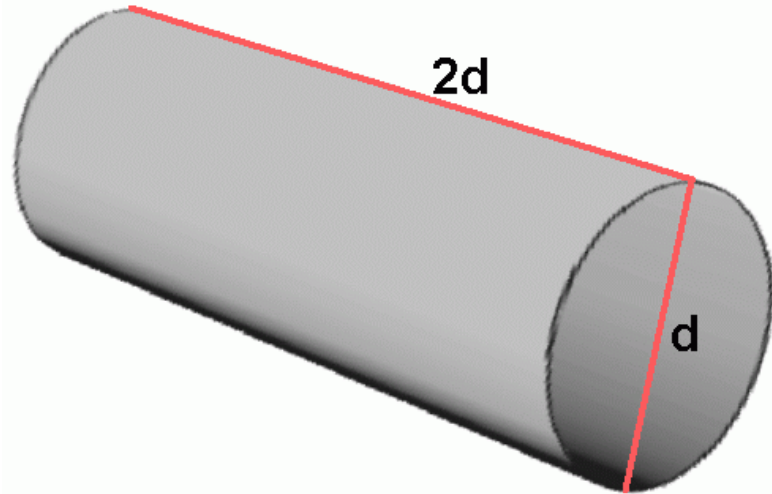


d (mm): 100 150 200 250 300

Dopušteno odstupanje od (d) manje od $\pm 0,5\%$.

Dopušteno odstupanje ravnosti plohe je $\pm 0,0006 \cdot d$ u mm .

Dopušteno odstupanje okomitosti stranice manje od 0,5 mm.



d (mm): 100 150 200 250 300

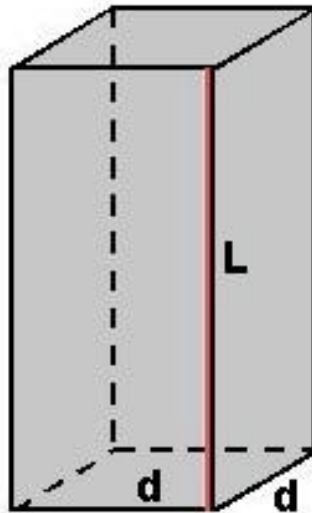


Dopušteno odstupanje od promjera (d) je 0,5%.

Dopušteno odstupanje ravnosti na ispitnim plohama je $\pm 0,0006 \cdot d$ u mm.

Dopušteno odstupanje od okomitosti stranice je $\pm 0,5$ mm.

Dopušteno odstupanje visine ($2d$) je $\pm 0,5\%$.



d (mm): 100 150 200 250 300

$$L \geq 3,5 d$$

Dopušteno odstupanje od normirane veličine (d) je 0,5%

Dopušteno odstupanje okomitosti stranice je $\pm 0,5$ mm.

Dopušteno odstupanje ravnosti površine plohe je $\pm 0,2$ mm.

IZRADBA I NJEGA UZORAKA ZA ISPITIVANJE ČVRSTOĆE

Uređaj za zbijanje betona, može biti jedan od sljedećih:

- Pervibrator s minimalnom frekvencijom od približno 120 Hz (7200 ciklusa u minuti), promjer igle ne prelazi približno jednu četvrtinu najmanje dimenzije ispitnog uzorka.
- Vibro-stol s najmanjom frekvencijom od približno 40 Hz (2400 ciklusa u minuti).
- Šipka za nabijanje kružnog poprečnog presjeka, ravna, napravljena od čelika, s promjerom od približno 16 mm i duljine približno 600 mm, s zaobljenim krajevima.
- Šipka za nabijanje, ravna, napravljena od čelika, kvadratnog poprečnog presjeka dimenzija oko 25 x 25 mm i duljine približno 380 mm.

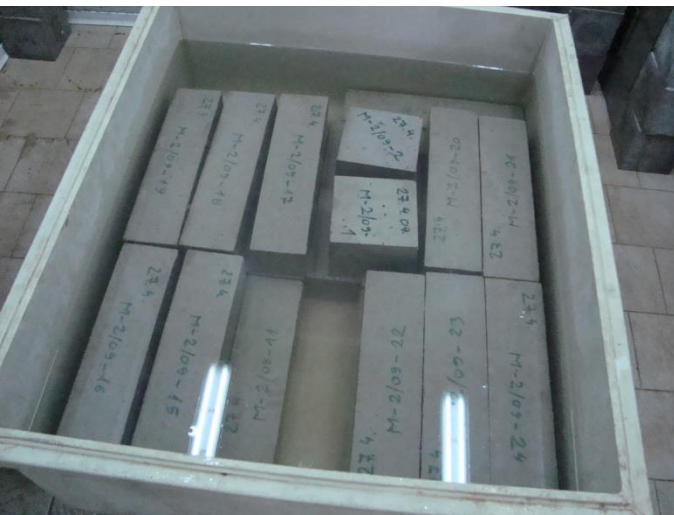


Lijevanje betona u kalupe za kocke i valjke

Njegovanje uzoraka

- Uzorak se ostavi u kalupu najmanje 16 sati, ali ne duže od 3 dana, zaštićen od potresanja, vibracija ili isušivanja, na temperaturi od 20 ± 5 °C.
- Nakon uklanjanja kalupa uzorak se njeguje sve do početka ispitivanja u vodi na temperaturi 20 ± 2 °C, (ili u komori na temperaturi 20 ± 5 °C) i relativnoj vlažnosti $\geq 95\%$.
- Kako površina uzorka mora biti konstantno vlažna potrebno je provoditi učestale kontrole komore te mjeriti i održavati zahtijevanu vlažnost.

Klima komora za njegu uzoraka



Njega uzoraka u vodi

ISPITIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE

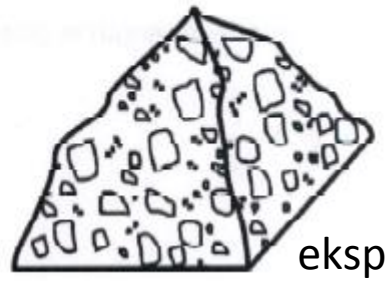
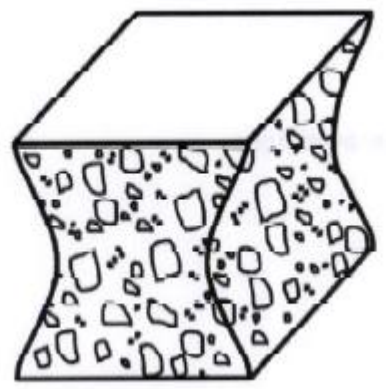
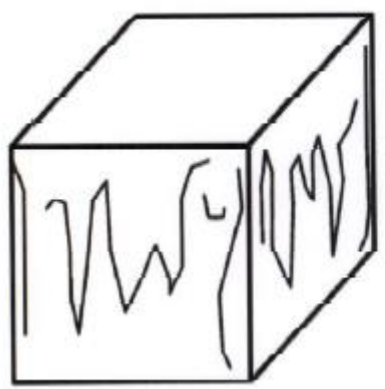


$$R_{mt} = \frac{F_m}{r^2 \cdot \pi} \text{ (N/mm}^2\text{) za valjak}$$

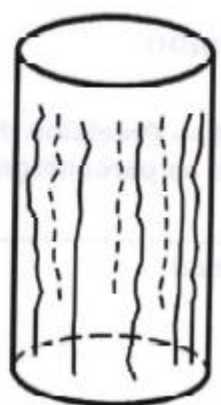


$$R_{mt} = \frac{F_m}{a^2} \text{ (N/mm}^2\text{) za kocku}$$

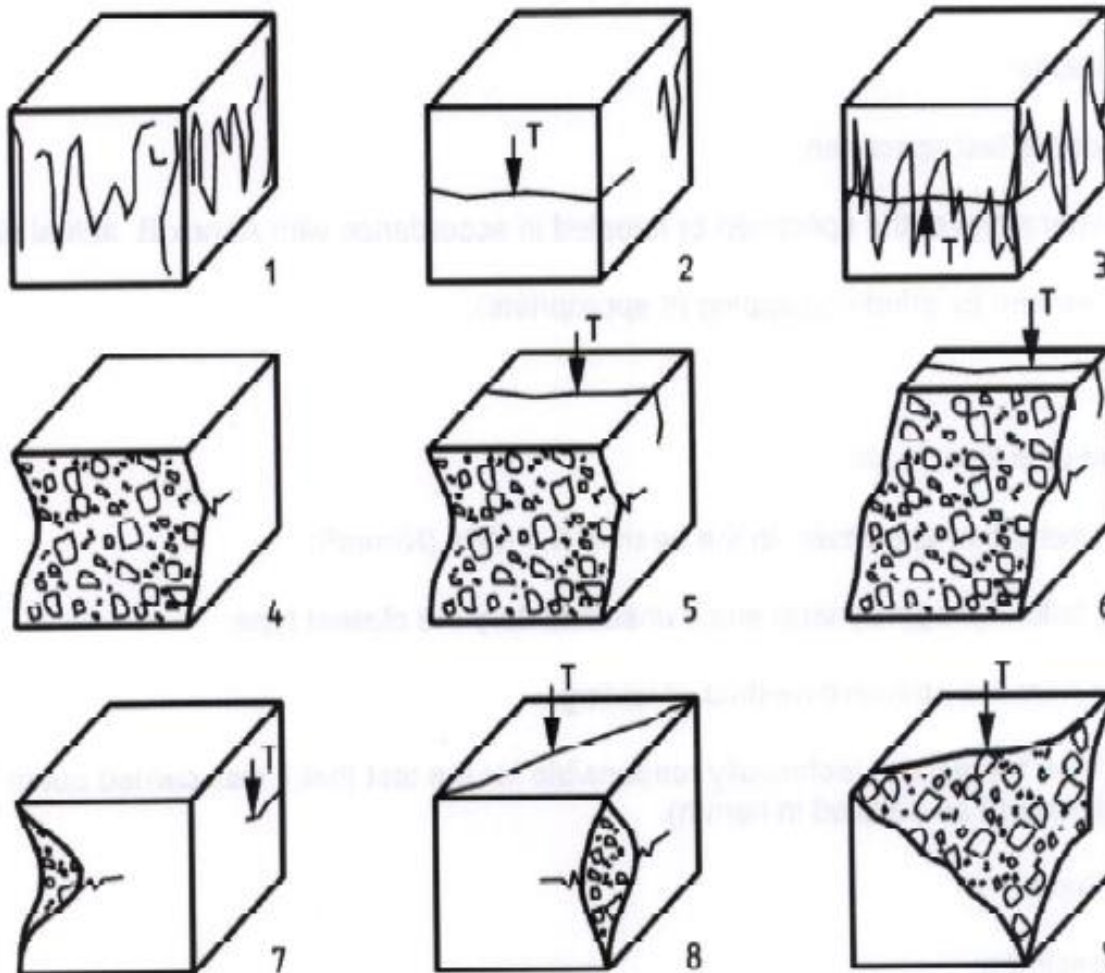
Ispitivanje tlačne čvrstoće betona na kockama i valjcima



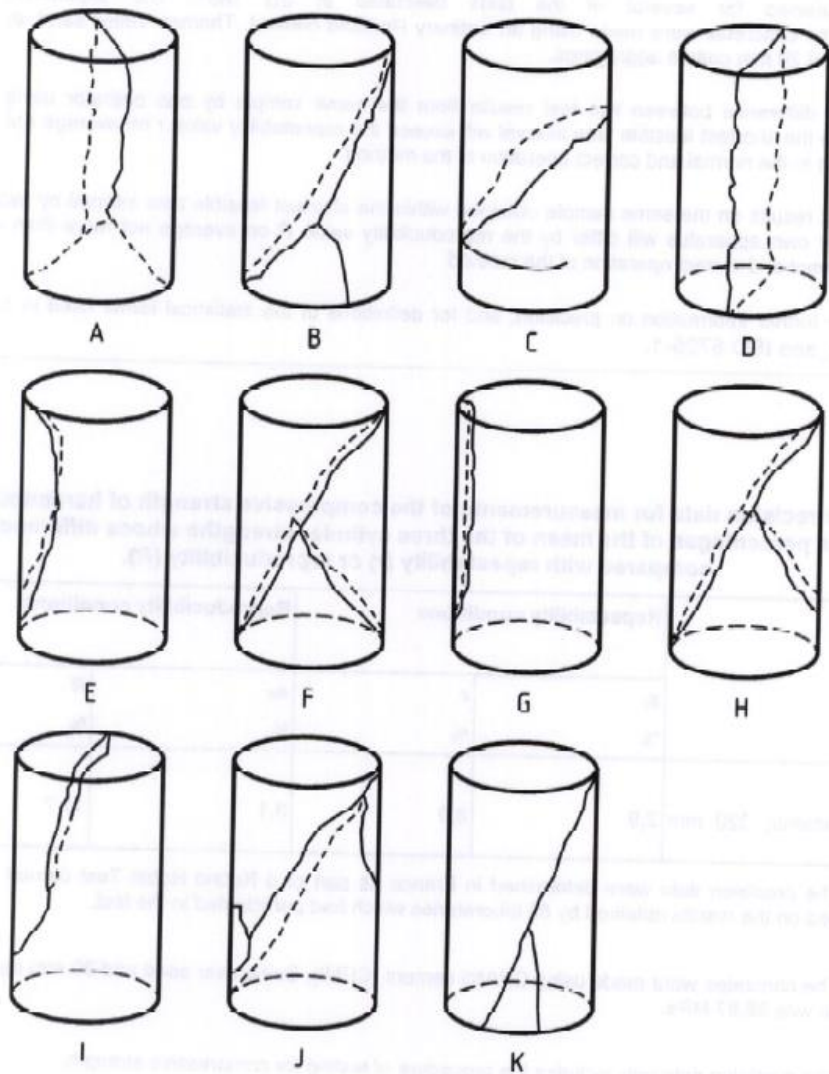
eksplozivni lom



Ispravan oblik sloma kocke i valjka

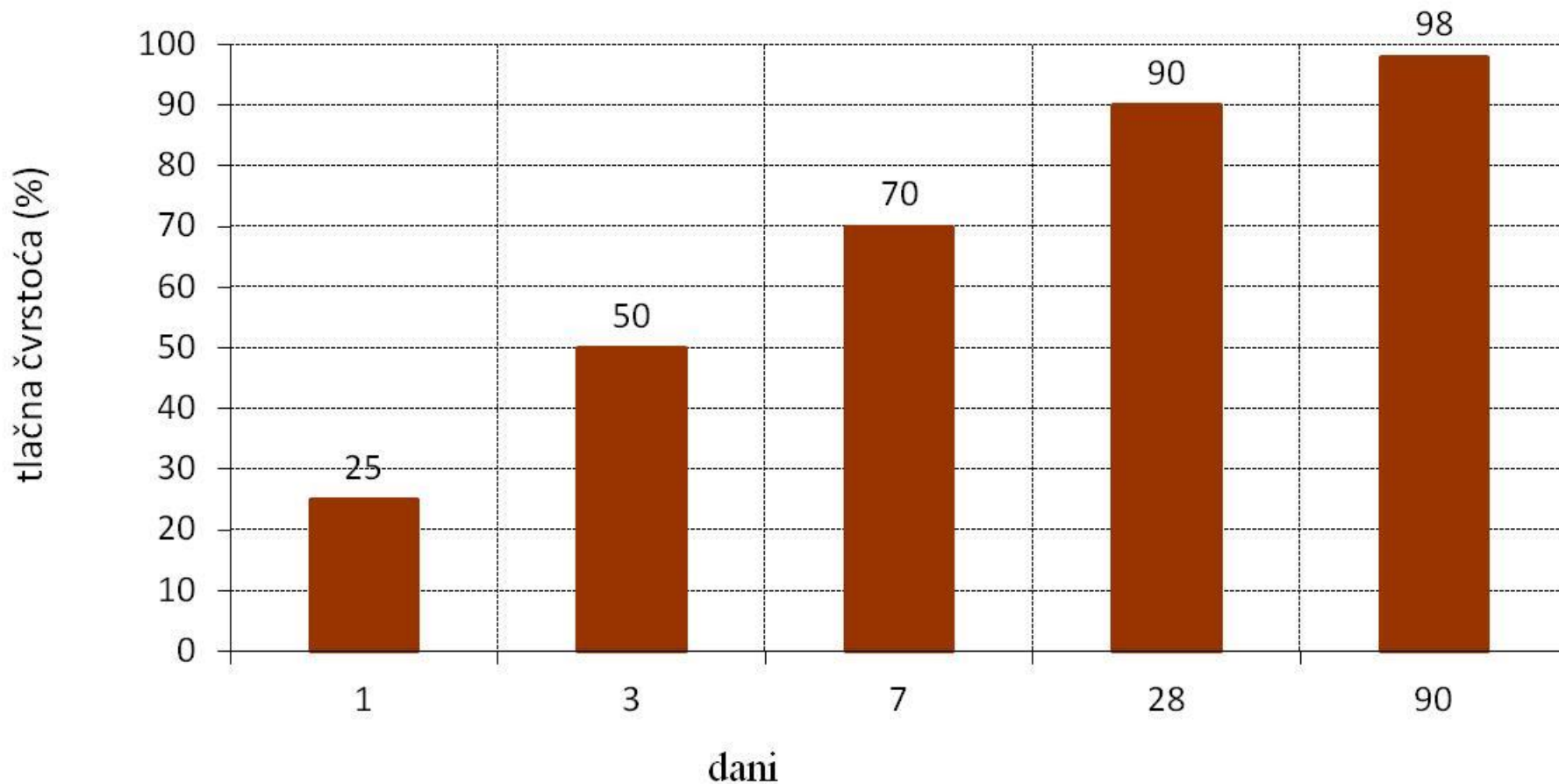


Neki neispravni oblici sloma kocke



Neki neispravci oblici sloma valjka

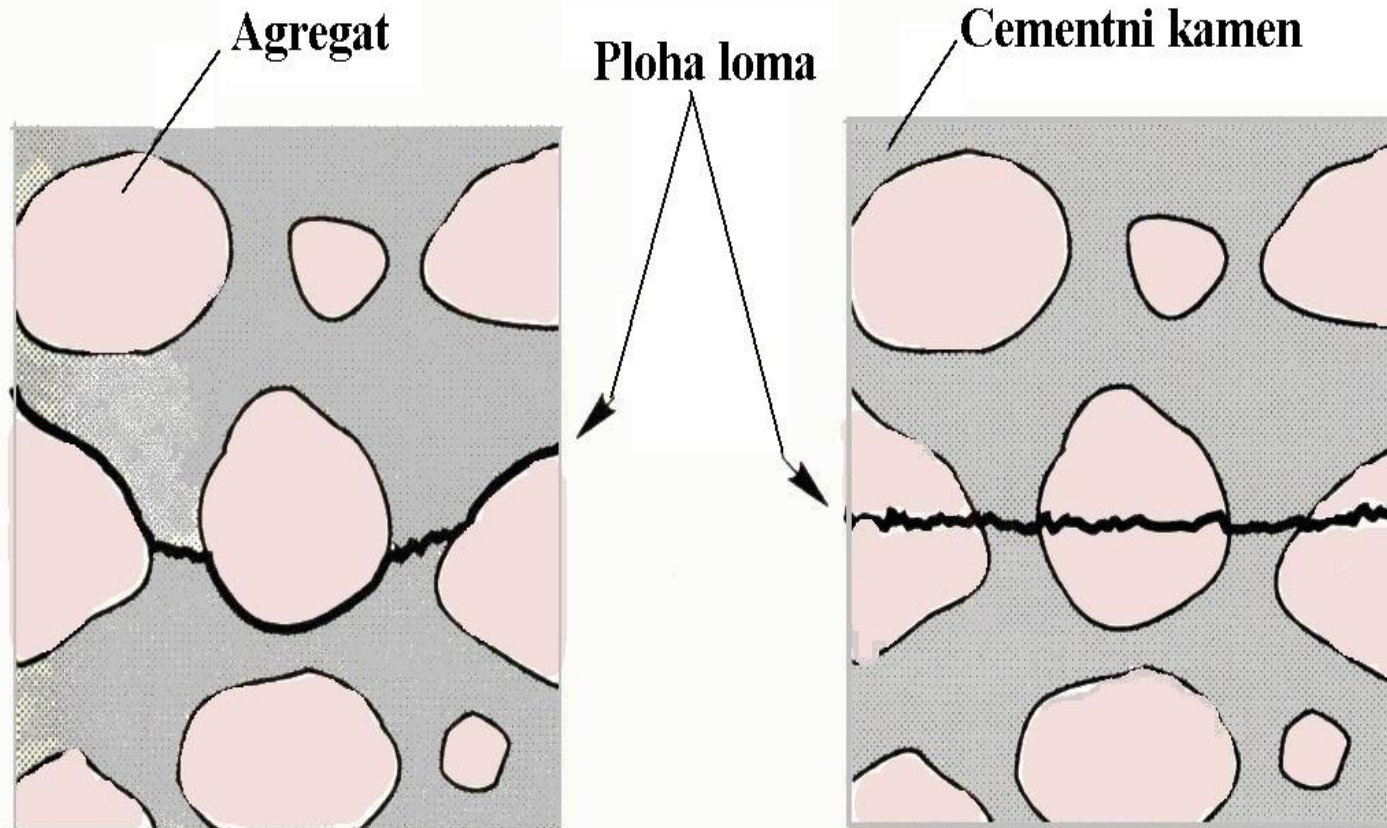
PORAST TLAČNE ČVRSTOĆE BETONA S VREMENOM



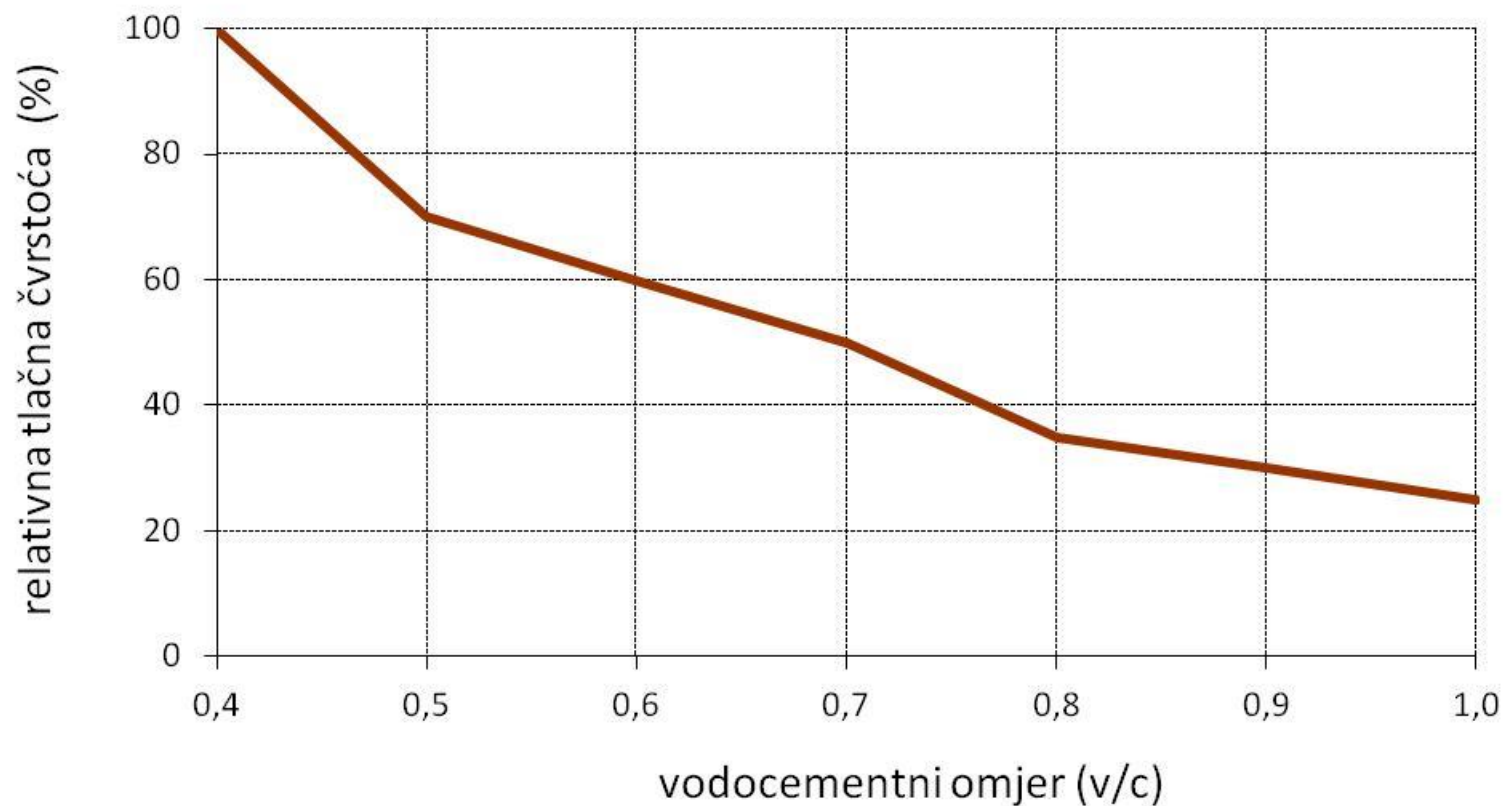
ČIMBENICI O KOJIMA OVISI TLAČNA ČVRSTOĆA BETONA

- vrsti, razredu i masenom udjelu cementa
- kakvoći i masenom udjelu agregata
- vodocementnom omjeru
- poroznosti betona
- utjecaju dodataka
- načinu ugradnje
- načinu njege betona

TIPOVI SLOMA BETONA



OVISNOST TLAČNE ČVRSTOĆE O VODOCEMENTNOM OMJERU



OVISNOST TLAČNE ČVRSTOĆE BETONA O SASTAVU BETONA

Feret (1987. godine):

$$R_{mt} = K \cdot \left[\frac{V_c}{V_c + V_w + a} \right]^2 \left[N / mm^2 \right]$$

gdje je: R_{mt} - tlačna čvrstoća betona

K- konstanta materijala određena eksperimentalno

V_c – obujam cementa, V_w – obujam vode

a – obujam zraka

Abrams (1919. godine):

$$R_{mt} = \frac{A}{B^{v/c}} \left[N / mm^2 \right]$$

gdje je: v/c – vodocementni omjer

A i B – su konstante

Popovics:
$$R_{mt} = \frac{A}{B^{v/c + 0,000637 \cdot c + 0,0279 \cdot z}} \left[N / mm^2 \right]$$

R_{mt} – tlačna čvrstoća betona

A i B su konstante, A = 353,64 i B = 23,66

v / c – vodocementni omjer

c – masa cementa u kg za m³

z – obujamski udio zraka

Krstulović:
$$R_{mt} = C \cdot (1 - V_{pk})^N \left[N / mm^2 \right]$$

C i N su konstante, C = 152 i N = 15

V_{pk} – obujamski udio kapilarnih pora

NAJMANJI BROJ UZORAKA ZA PRIHVAĆANJE SUKLADNOSTI

Proizvodnja	Najmanja učestalost uzimanja uzoraka		
	Prvih 50 m ³ proizvodnje	Nakon prvih 50 m ³ proizvodnje	
		Beton s certificiranom kontrolom proizvodnje	Beton bez certificirane kontrole proizvodnje
Početna dok se ne dobije najmanje 35 rezultata	3 uzorka	1 uzorak na 200 m ³ ili 2 uzorka po proizvodnom tjednu	1 uzorak na 150 m ³ ili 1 uzorka po proizvodnom danu
Ustaljena kad se dobije najmanje 35 rezultata		1 uzorak na 400 m ³ ili 1 uzorka po proizvodnom tjednu	
<p>Kada je standardna devijacija posljednjih 15 rezultata ispitivanja iznad $1,37 \cdot s$ učestalost ispitivanja treba povećati na onu traženu za početno ispitivanje za slijedećih 35 rezultata ispitivanja.</p>			

Sukladnost treba ocjenjivati na osnovu rezultata ispitivanja tijekom perioda ocjenjivanja koji ne smije prelaziti period od posljednjih 6 mjeseci.

UVJETI USKLAĐENOSTI REZULTATA ISPITIVANJA TLAČNE ČVRSTOĆE ZA POČETNU I USTALJENU PROIZVODNJU

Proizvodnja	Broj rezultata f_{ci} u grupi	Uvjet 1 Srednja vrijednost f_{ci} rezultata; f_{cm} (N/mm ²)	Uvjet 2 Pojedinačni rezultati f_{ci} (N/mm ²)
Početna	3	$f_{cm} \geq f_{ck} + 4$	$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$
Ustaljena	Ne manje od 15	$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \cdot s$	$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$

f_{ci} – pojedinačni rezultat, f_{cm} – srednja vrijednost

f_{ck} – karakteristična tlačna čvrstoća, s – standardna devijacija

RAZREDI TLAČNE ČVRSTOĆE ZA OBIČAN I TEŠKI BETON (HRN EN 206-1)

Razred tlačne čvrstoće	$f_{ck, valj}$ (N/mm ²)	$f_{ck, koc}$ (N/mm ²)	
C 8 / 10	8	10	$f_{ck, valj}$ – karakteristična tlačna čvrstoća valjka promjera 150 mm i visine 300 mm u starosti 28 dana $f_{ck, koc}$ – karakteristična tlačna kocke brida 150 mm u starosti 28 dana
C 12 / 15	12	15	
C 16 / 20	16	20	
C 20 / 25	20	25	
C 25 / 30	25	30	
C 30 / 37	30	37	
C 35 / 45	35	45	
C 40 / 50	40	50	
C 45 / 55	45	55	
C 50 / 60	50	60	
C 55 / 67	55	67	
C 60 / 75	60	75	
C 70 / 85	70	85	
C 80 / 95	80	95	
C 90 / 105	90	105	
C 100 / 115	100	115	

RAZREDI TLAČNE ČVRSTOĆE ZA LAGANI BETON (HRN EN 206-1)

Razred tlačne čvrstoće	$f_{ck, valj}$ (N/mm ²)	$f_{ck, koc}$ (N/mm ²)
LC 8 / 9	8	9
LC 12 / 13	12	13
LC 16 / 18	16	18
LC 20 / 22	20	22
LC 25 / 28	25	28
LC 30 / 33	30	33
LC 35 / 38	35	38
LC 40 / 44	40	44
LC 45 / 50	45	50
LC 50 / 55	50	55
LC 55 / 60	55	60
LC 60 / 66	60	66
LC 70 / 77	70	77
LC 80 / 88	80	88

$f_{ck, valj}$ – karakteristična tlačna čvrstoća valjka promjera 150 mm i visine 300 mm u starosti 28 dana

$f_{ck, koc}$ – karakteristična tlačna kocke brida 150 mm u starosti 28 dana

PRIMJER PRORAČUNA

i	f_{ci}	$f_{cm} - f_{ci}$	$(f_{cm} - f_{ci})^2$
1	37,8	-1,9	3,61
2	36,4	- 0,5	0,25
3	39,2	- 3,3	10,89
4	30,8	5,1	26,01
5	32,6	3,3	10,89
6	41,7	- 5,8	33,64
7	25,9	10,0	100,00
8	32,6	3,3	10,89
9	37,1	-1,2	1,44
10	34,0	1,9	3,61
11	35,3	0,6	0,36
12	39,8	-3,9	15,21
13	36,3	-0,4	0,16
14	40,9	-5,0	25,00
15	37,2	-1,3	1,69
16	36,8	-0,9	0,81
Σ_i	574,4		244,46

PRORAČUN

$$f_{cm} = \frac{\sum f_{ci}}{i} = \frac{574,4}{16} = 35,9 \text{ MPa}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{cm} - f_{ci})^2}{i - 1}} = \sqrt{\frac{244,46}{15}} = 4,03 \text{ MPa}$$

Za ustaljenu proizvodnju s ne manje od 15 rezultata u grupi propisana su dva uvjeta usklađenosti:

Uvjet 1 $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \cdot s$

Uvjet 2 $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$

Prema uvjetu 1 $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \cdot s$,

Prema uvjetu 2 $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$.

KONTROLA USKLAĐENOSTI KONTROLNIM KARTICAMA

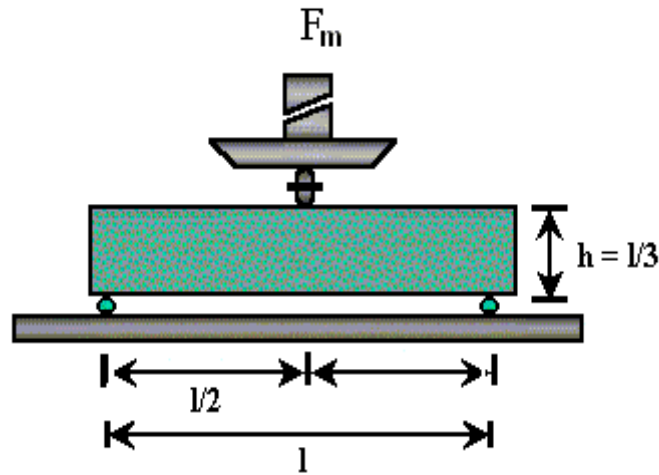


UREĐAJ ZA ISPITIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE – TLAČNA PREŠA



Višenamjenski hidraulički stroj za ispitivanje materijala i konstrukcijskih elemenata

ISPITIVANJE ČVRSTOĆE NA SAVIJANJE OPTEREĆIVANJEM UZORKA JEDNOM SILOM



$$R_{ms} = \frac{1,5 \cdot F_m \cdot l}{h^3} \left[\text{N/mm}^2 \right]$$

R_{ms} – čvrstoća na savijane (N/mm^2)

F_m – sila loma (N)

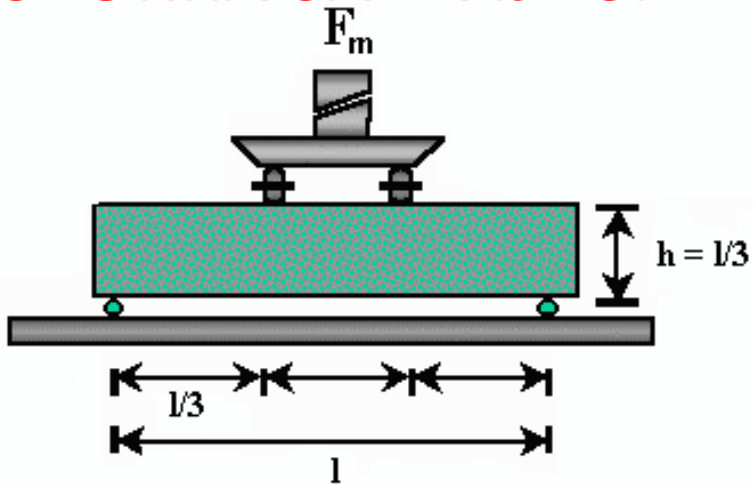
a i h – dimenzije bridova prizme

l – udaljenost između valjaka

(N mm^{-2})



ISPITIVANJE ČVRSTOĆE NA SAVIJANJE OPTEREĆIVANJEM UZORKA SA DVIJE SILE



$$R_{ms} = \frac{F_m \cdot l}{a \cdot h^2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

→ ako je slom nastao u srednjoj trećini raspona

$$R_{ms} = \frac{3F_m \cdot a1}{a \cdot h^2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

→ ako je slom nastao izvan srednje trećine raspona

a1 – udaljenost linije sloma od bližeg oslonca

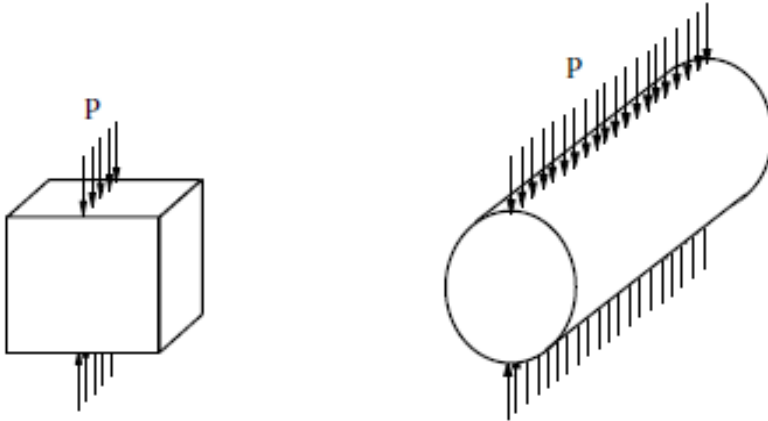
R_{ms} – čvrstoća na savijane (N/mm²)

F_m – sila loma (N)

a i h – dimenzije bridova prizme

l – udaljenost između valjaka

ISPITIVANJE VLAČNE ČVRSTOĆE CIJEPANJEM



Proračun vlačne čvrstoće cijepanjem za valjak:

$$R_{mc} = \frac{2 \cdot F_m}{\pi \cdot L \cdot D} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

R_{mc} – čvrstoća cijepanjem (N/mm²)

F_m – sila loma (N)

L – visina valjka (mm)

D – promjer valjka (mm)

Proračun vlačne čvrstoće cijepanjem za kocku:

$$R_{mc} = \frac{2 \cdot F_m}{d \cdot d} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

d – stranica kocke (mm)

KRITERIJ USKLAĐENOSTI ISPITIVANJA VLAČNE ČVRSTOĆE CIJEPANJEM

Proizvodnja	Broj rezultata (f_{vi}) u grupi	Uvjet 1	Uvjet 2
		Srednja vrijednost f_{vi} rezultata f_{vm} (N/mm ²)	Pojedinačni rezultati f_{vi} (N/mm ²)
Početna	3	$f_{vm} \geq f_{vk} + 0,5$	$f_{vi} \geq f_{vk} - 0,5$
Ustaljena	Ne manje od 15	$f_{vm} \geq f_{vk} + 1,48 \cdot s$	$f_{vi} \geq f_{vk} - 0,5$

f_{vi} – pojedinačni rezultat, f_{vm} – srednja vrijednost
 f_{vk} - karakteristična vlačna čvrstoća betona, s – standardna devijacija

VRIJEDNOSTI VLAČNIH ČVRSTOĆA OVISNO O RAZREDU BETONA

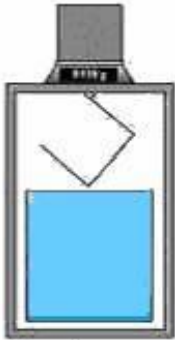
Razred betona	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
$f_{ct,m}$	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk,0.05}$	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
$f_{ctk,0.95}$	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3

f_{ctm} – srednja vlačna čvrstoća

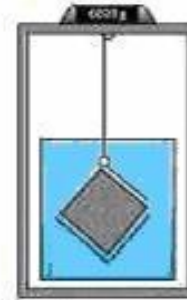
$f_{ctk,0.05}$ – donja vrijednost vlačne čvrstoće

$f_{ctk,0.95}$ - gornja vrijednost vlačne čvrstoće

ODREĐIVANJE GUSTOĆE OČVRSNULOG BETONA



a) određivanje mase uzorka na zraku (m_a)



b) određivanje mase uzorka pod vodom (m_w)

$$\rho_z = \frac{m}{V} \text{ (kg / m}^3\text{)}, V = \frac{m_a - [(m_{st} + m_w) - m_{st}]}{\rho_w}$$

ρ_z - obujamska gustoća uzorka (kg/m³),

V – obujam uzorka (m³)

m_a – masa uzorka određena na zraku (kg)

m_{st} – masa potopljenog držača (kg), ρ_w - gustoća vode pri 20 °C

m_w – masa potopljenog uzorka (kg)

ISPITIVANJE DUBINE PRODIRANJA VODE POD TLAKOM



Ispitivanje betona na prodiranje vode pod tlakom

ISPITIVANJE HABANJA/TROŠENJA BETONA



Ispitivanje otpornosti betona na trošenje

ISPITIVANJE OTPORNOSTI NA SMRZAVANJE I SOLI ZA ODMRZAVANJE



Ispitivanje otpornosti betona na smrzavanje i soli za odmrzavanje

RADNJE U SLUČAJU NEUSKLAĐENOSTI

- prekinuti proizvodnju neusklađenog proizvoda
- izvođač treba obustaviti radove
- provjeriti rezultate ispitivanja, otkloniti greške
- ako se neusklađenost potvrdi ponovljenim ispitivanjima izvršiti provjeru postupaka za kontrolu proizvodnje
- kod potvrđene neusklađenosti izvijestiti kupca

ISPITIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE BETONA U KONSTRUKCIJI

Naknadna ispitivanja tlačne čvrstoće betona u konstrukciji provode se:

- ako nisu zadovoljavajući rezultati ispitivanja kontrolnih uzoraka tijekom gradnje
- ako dolazi do promjene u namjeni građevine
- ako su pojave na građevini takove da je upitna sigurnost građevine
- ako se sumnja u lošu izvedbu građevine
- ako je građevina bila izložena požaru



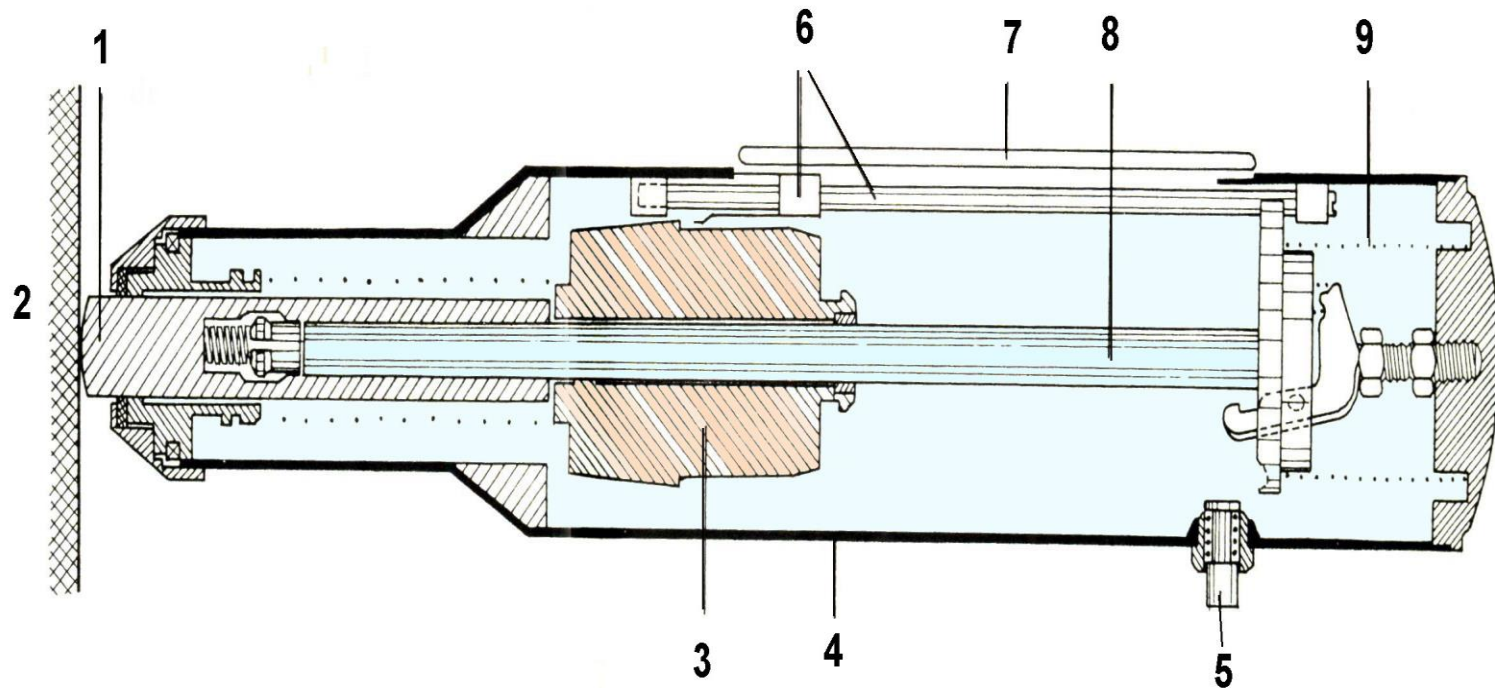
Izgled građevine stradale u požaru

- Beton u konstrukciji ispituje se prema normama HRN EN 12504-1, HRN EN 12504-2 i HRN EN 1542:
- a. izrezivanjem ispitnih tijela (valjak)
 - b. pomoću odskočnog čekića (sklerometra)
 - c. mjerenjem sile otkidanja (pull-off postupak)
 - d. mjerenjem sile čupanja (pull-out postupak)

IZREZIVANJE ISPITNIH TIJELA (VALJAKA)

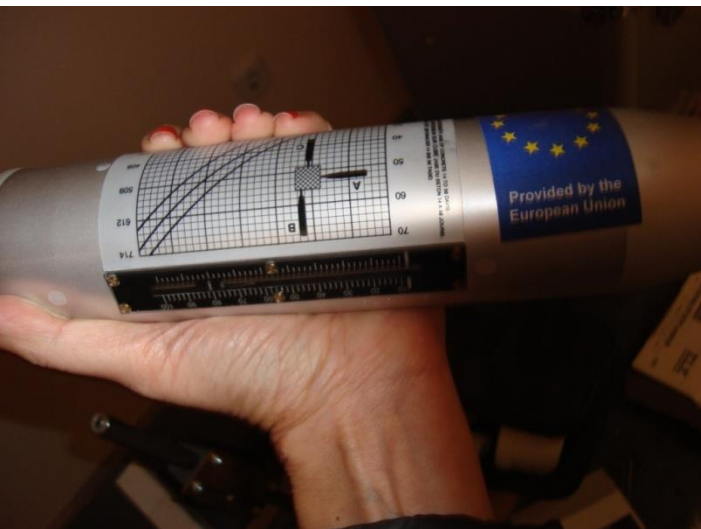


ODSKOČNI ČEKIĆ

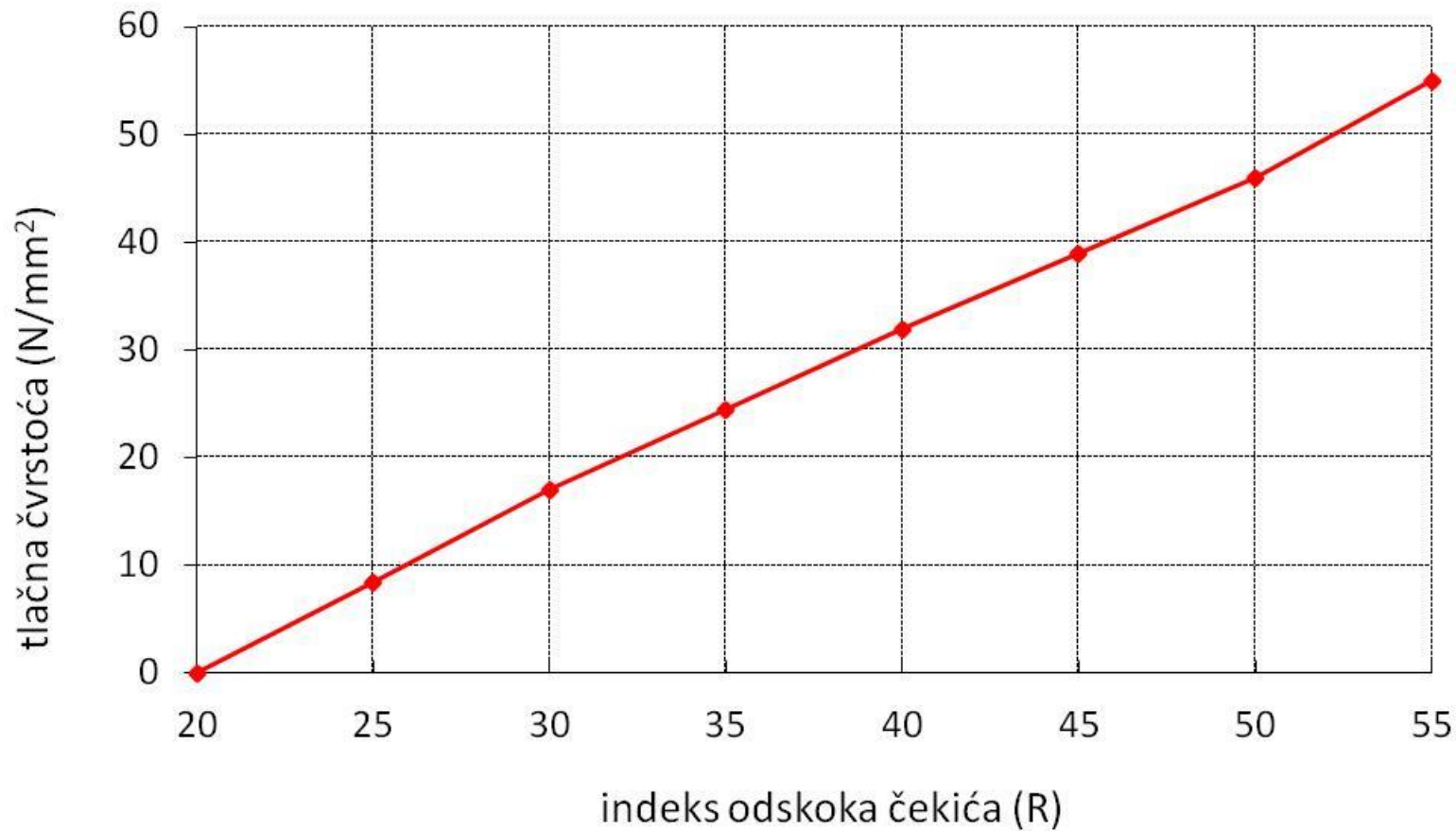


- 1 čekić, 2 beton, 3 udarna masa,
4 kućište, 5 okidač, 6 jahač,
7 skala, 8 držač, 9 opruga

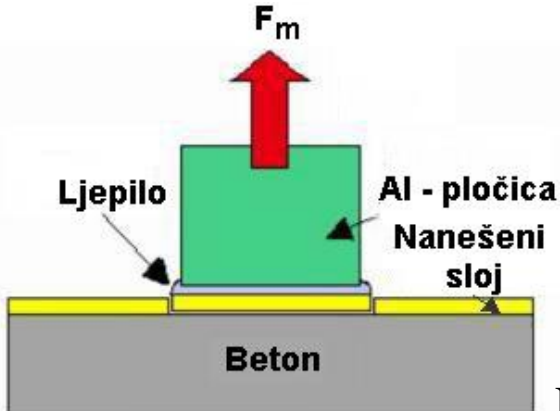
RAZLIČITI TIPOVI ODSKOČNIH ČEKIĆA



OVISNOST DALJINE ODSKOKA ČEKIĆA O TLAČNOJ ČVRSTOĆI



MJERENJE SILE OTKIDANJA PULL-OFF POSTUPAK



$$R_m = \frac{F_m}{A} = \frac{4 \cdot F_m}{\pi \cdot d^2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

- Ispitivanje vlačne čvrstoće betona u konstrukciji
- Određivanje prionljivost sanacijskog materijala
- Ocjena pripremljenosti podloge prije nanošenja materijala za sanaciju
- Procjena tlačne čvrstoće betona u konstrukciji na temelju ispitivanja vlačne čvrstoće



MJERENJE SILE ČUPANJA: PULL-OUT POSTUPAK



$$R_m = \frac{F_m}{A} (\text{N/mm}^2)$$

F_m – sila čupanja (N)

A – ploština loma, stožac (mm^2)

DEFORMACIJE BETONA

Deformacije betona

Obujamske deformacije betona

Deformacije betona pod opterećenjem

Deformacije
zbog promjene
temperature

Deformacije
nastale
skupljanjem i
bubrenjem

Deformacije
pod
kratkotrajnim
opterećenjem

Deformacije
pod
dugotrajnim
opterećenjem

DEFORMACIJE BETONA

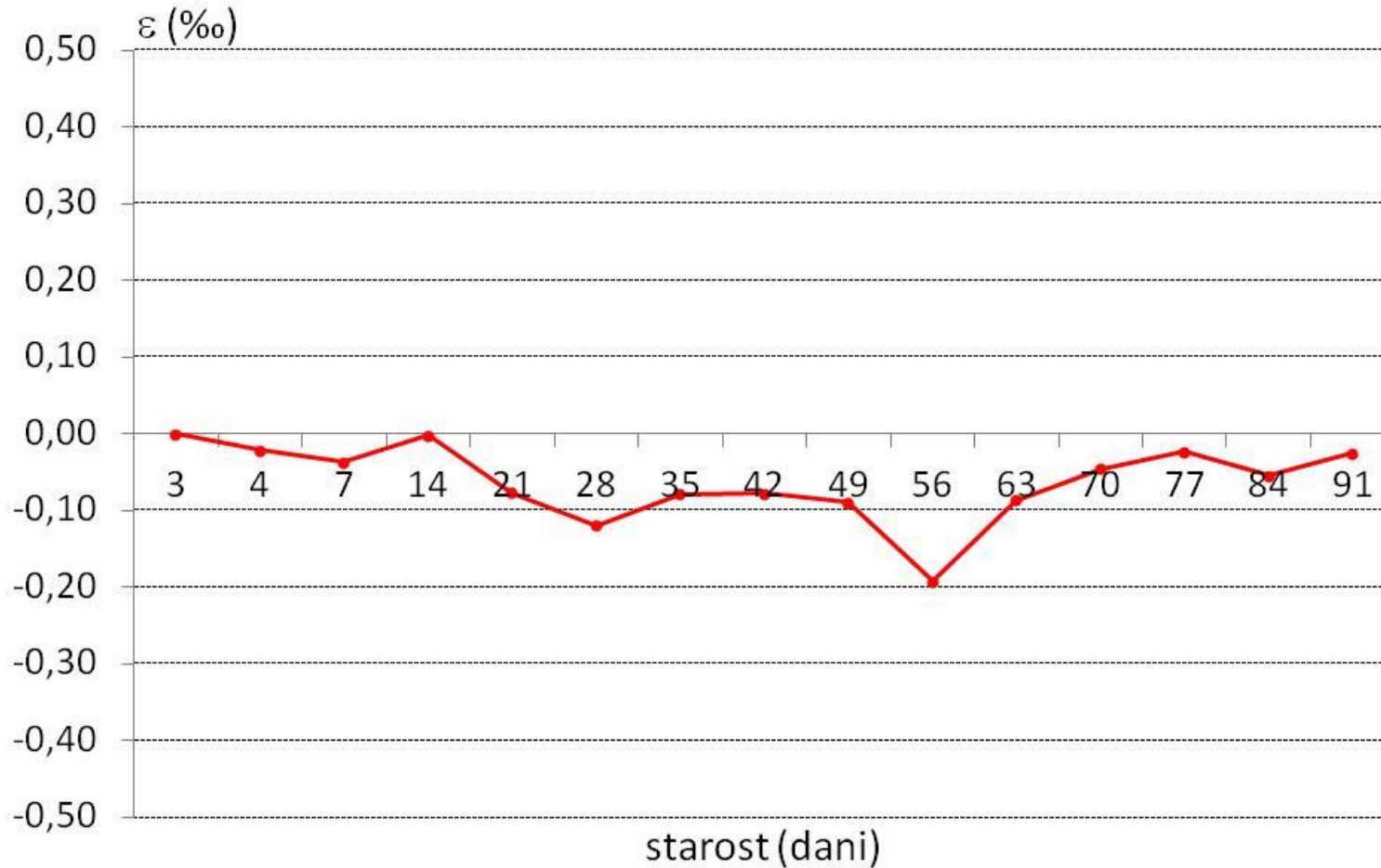


Uzorci za mjerenje deformacija betona



Uređaj za mjerenje deformacija -deformetar

DEFORMACIJE BETONA

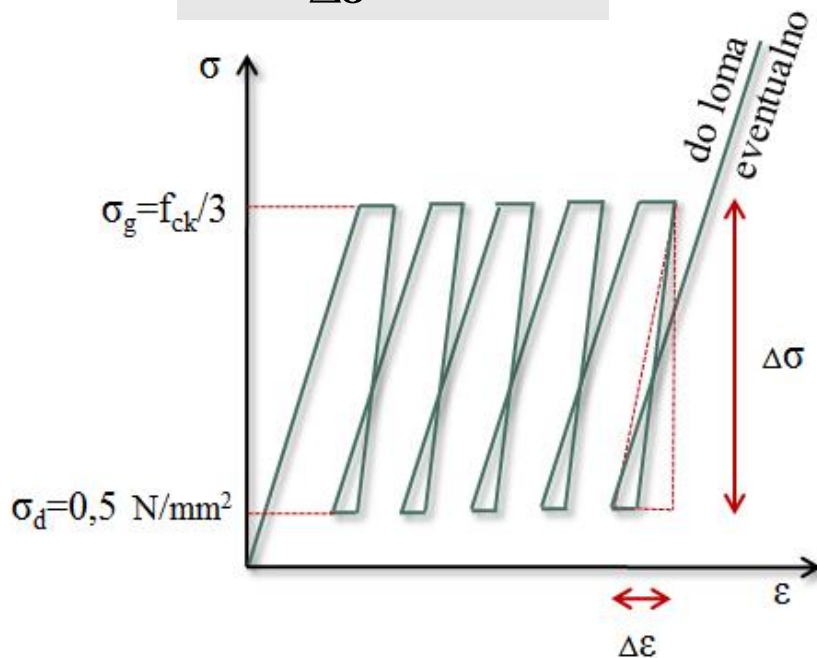


Deformacije betona

- deformacije zbog promjene temperature ($\alpha_b=10E-5/^\circ C$)
- deformacije nastale skupljanjem i bubrenjem – uzorci se čuvaju 24 h na temperaturi $20\pm 2^\circ C$ i relativnoj vlažnosti 95%, u vodi 48 sati na temperaturi $20\pm 4^\circ C$ a potom:
 - suha sredina - $40\pm 5\%$ relativne vlage
 - vlažna sredina – $70\pm 5\%$ relativne vlage
 - neposredno iznad vode – 90 ± 5 relativne vlage

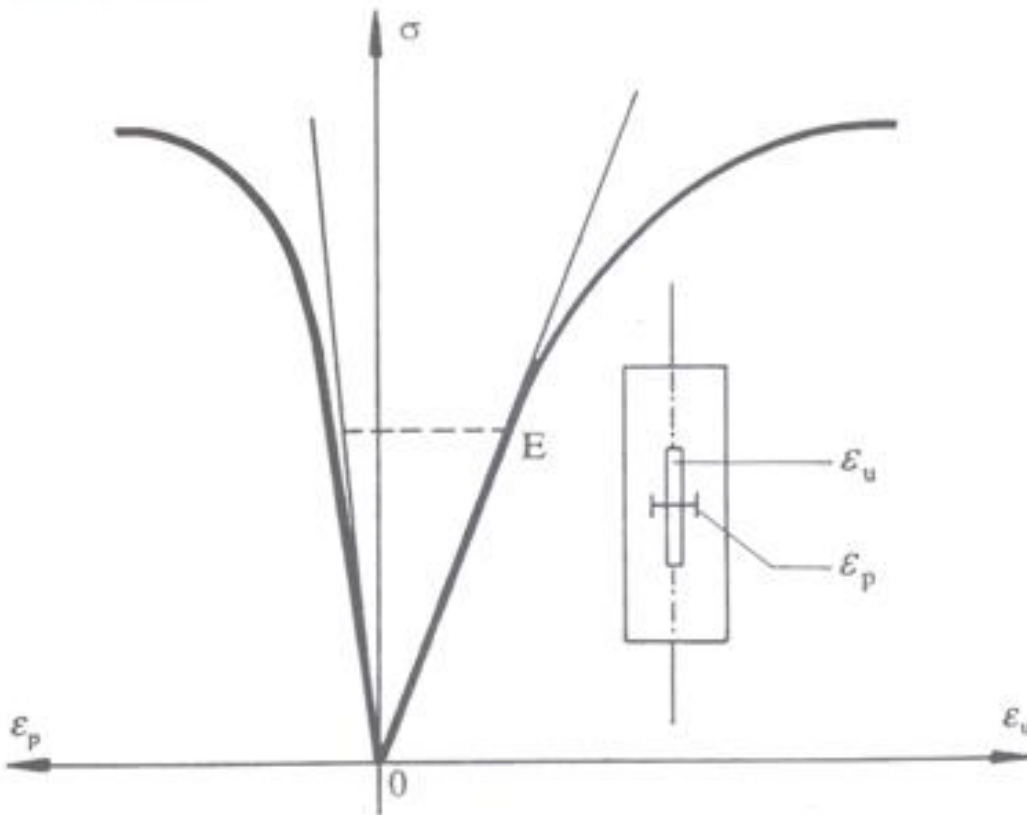
Deformacije pod kratkotrajnim opterećenjem (služe pri određivanju modula elastičnosti, modula posmika i Poissonovog koeficijenta)

$$E_s = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} (\text{N/mm}^2)$$



Shematski prikaz mjerenja modula elastičnosti

Prikaz opterećivanja/rasterećivanja uzoraka



Shematski prikaz mjerenja Poissonovog koeficijenta

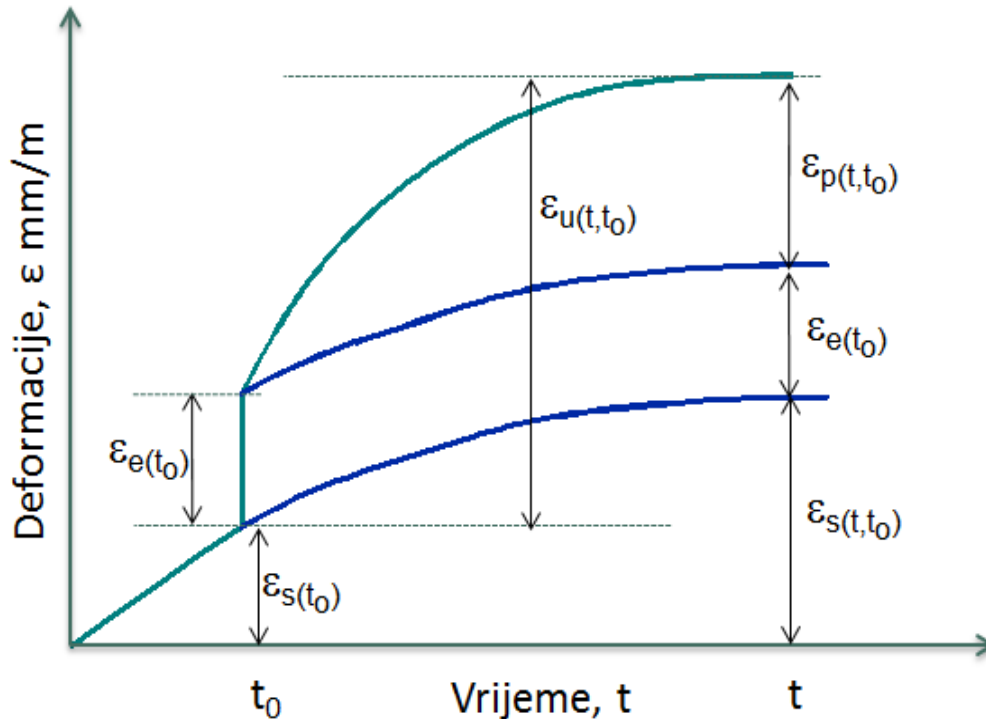
Poissonov koeficijent:

$$\nu = \frac{\epsilon_p}{\epsilon_u}$$

Modul posmika:

$$G = \frac{E_s}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

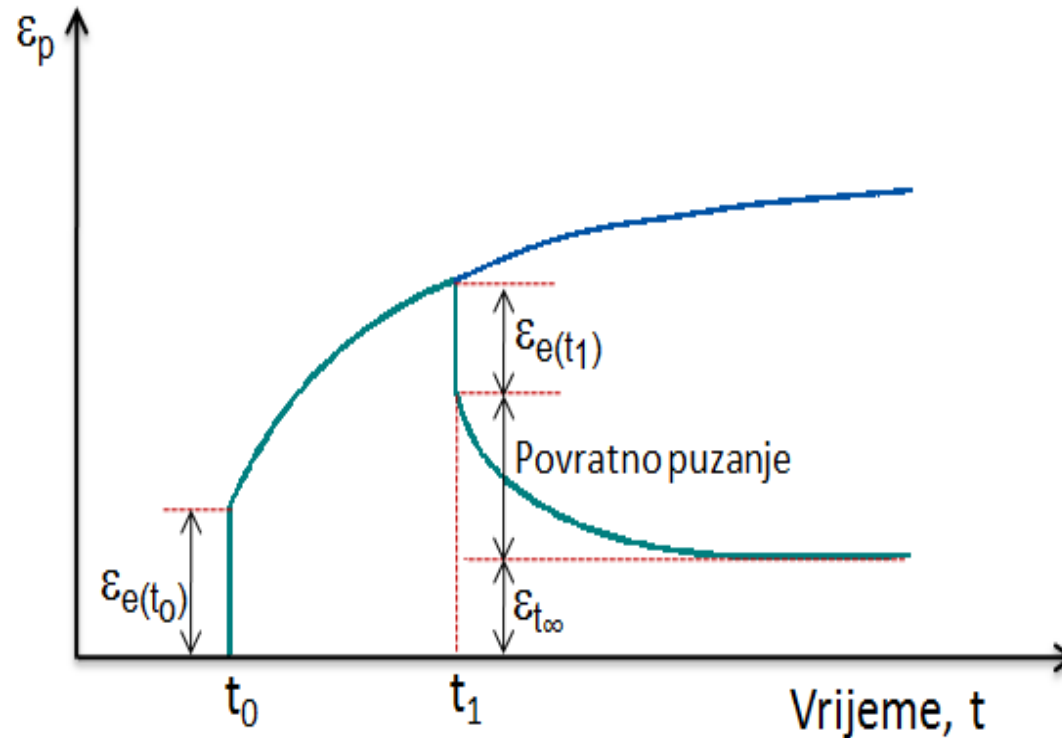
Deformacije pod dugotrajnim opterećenjem (puzanje)



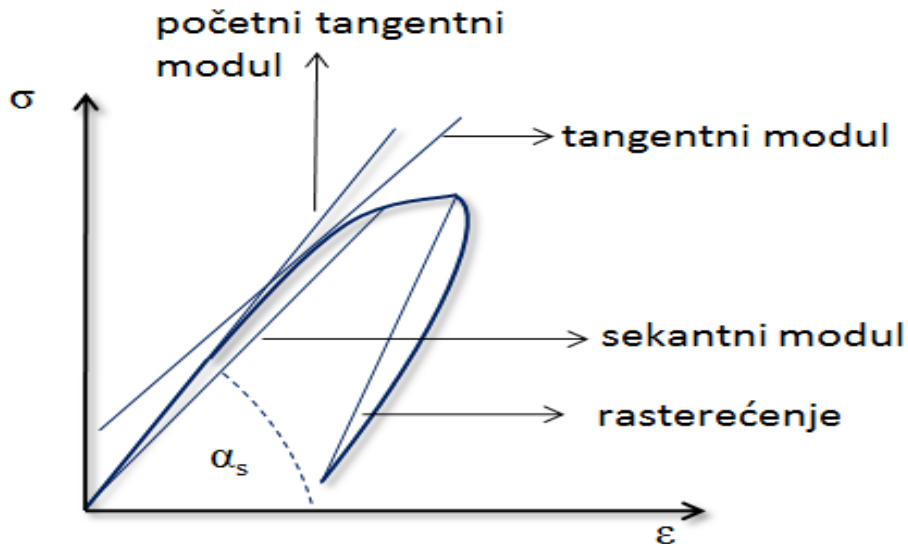
$\varepsilon_p(t,t_0)$ – deformacija puzanja u trenutku t ako je uzorak opterećen u trenutku t_0
 $\varepsilon_{uk}(t,t_0)$ – ukupna deformacija u trenutku t ako je uzorak opterećen u trenutku t_0
 $\varepsilon_s(t)$ – deformacija skupljanja u trenutku t
 $\varepsilon_{el}(t,t_0)$ – elastična deformacija u trenutku t ako je uzorak opterećen u trenutku t_0
 $\varepsilon_s(t_0)$ – deformacija skupljanja u trenutku t_0

Mjerenje deformacija puzanja i skupljanja

$$\varepsilon_{p(t,t_0)} = \varepsilon_{uk(t,t_0)} - \varepsilon_s(t) - \varepsilon_{el(t,t_0)} + \varepsilon_{s(t_0)}$$



Povratno puzanje - deformacija betona koja nastaje nakon uklanjanja stalnog opterećenja.



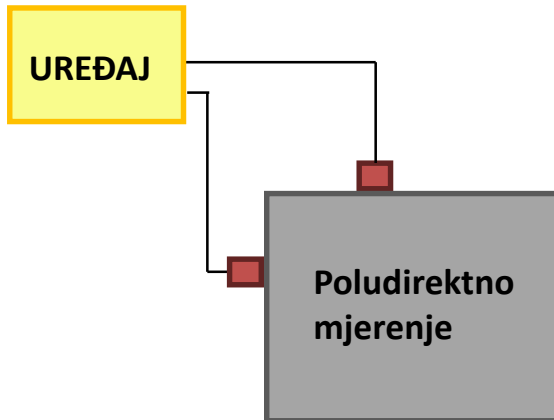
Sekantni modul elastičnosti sukladno HRN ENV 1992-1-1:1991

$$E_{cs} = 9,5 \cdot (f_{ck} + 8)^{1/3} \text{ (kN/mm}^2\text{)}$$

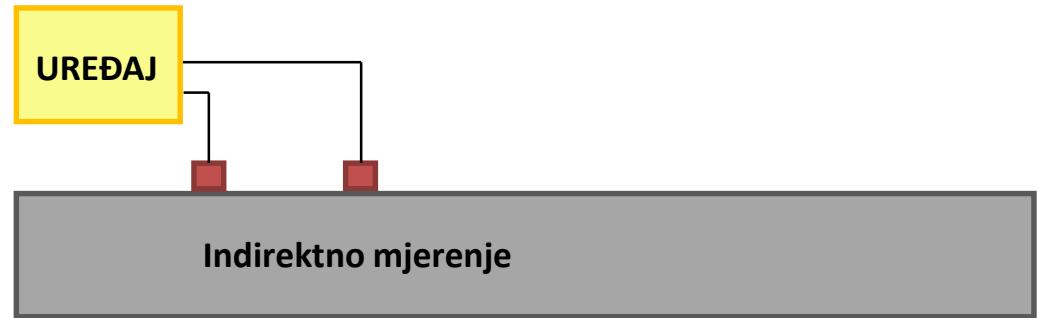
f_{ck} – karakteristična tlačna čvrstoća betona

C	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60
E_{cs} (kN/mm ²)	26	27,5	29	30,5	32	33,5	35	36	37

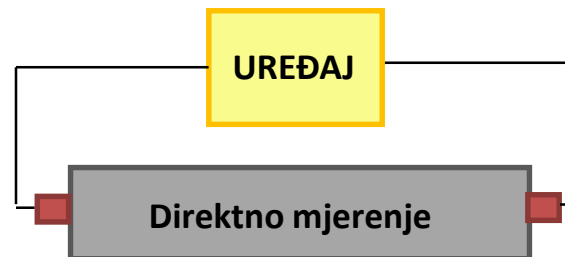
BRZINA PROLAZA ULTRAZVUČNOG VALA



Mjerenje brzine prolaza ultrazvučnog impulsa poludirektnim postupkom

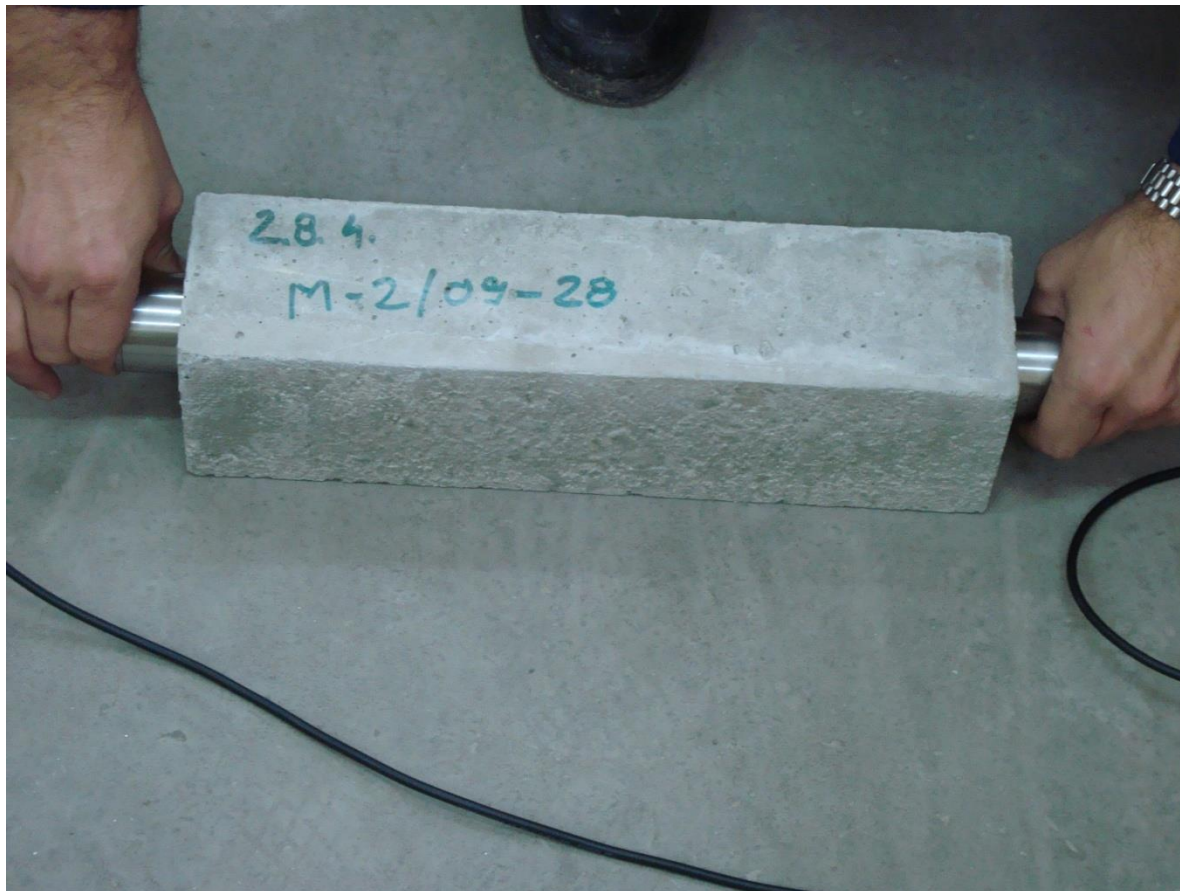


Mjerenje brzine prolaza ultrazvučnog impulsa indirektnim postupkom (prikladno za određivanje dubine pukotina)



Mjerenje brzine prolaza ultrazvučnog impulsa direktnim postupkom (prikladno za određivanje dinamičkog modula elastičnosti)

BRZINA PROLAZA ULTRAZVUČNOG VALA



Mjerenje brzine prolaza ultrazvučnog vala direktnim postupkom

Dinamički modul elastičnosti (E_{cd}) sukladno HRN EN 12504-4

$$E_{cd} = \frac{v^2 \cdot \rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \text{ (kN/mm}^2\text{)}$$

v - brzina prolaska ultrazvučnih valova (m/s)

ρ - gustoća betona (kg/m³)

ν - Poissonov omjer

Veza dinamičkog i statičkog modula elastičnosti:

$$E_{cs} = 1,25 \cdot E_{cd} - 19 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$$