

# **SAMOZBIJAJUĆI BETON**

**DEFINICIJE  
PREDNOSTI I NEDOSTACI**

# Razvoj

- Razvoj i primjena samozbijajućeg betona predstavlja jedno od najrevolucionarnijih otkrića u tehnologiji betona u posljednjih nekoliko desetljeća
- Originalno je razvijen u Japanu krajem 80ih godina prošlog stoljeća



# Definicija

- Engleski naziv - Self compacting concrete (SCC)
- beton koji tečenjem u potpunosti popunjava presjek konstruktivnog elementa bez upotrebe vibracijskih uređaja
- očvrsnuli beton je homogen materijal



# Problemi koji se javljaju kod običnog betona, a mogu se riješiti primjenom samozbijajućeg betona



Pomanjkanje kvalitetne radne snage vodi prema lošem izvođenju konstruktivnih elemenata, npr. segregacija betona uslijed loše ugradnje



Posljedica je propadanje betonskih konstrukcija u agresivnoj okolini, npr. od korozije armature u betonu



# SAMOZBIJAJUĆI BETON

- HRN EN 206-9 Beton-dodatna pravila za samozbijajući beton
- EFNARC: The European Guidelines for Self Compacting Concrete, 2005.
- Prednosti:
  - Brže građenje
  - Smanjenje potrebne radne snage na gradilištu
  - Lakša ugradnja
  - Poboljšana trajnost
  - Smanjenje buke nestankom vibriranja
  - Kvalitetniji izgled vanjske površine
  - Veća sloboda projektiranja.



# Razlike u ugradnji običnog i samozbijajućeg betona

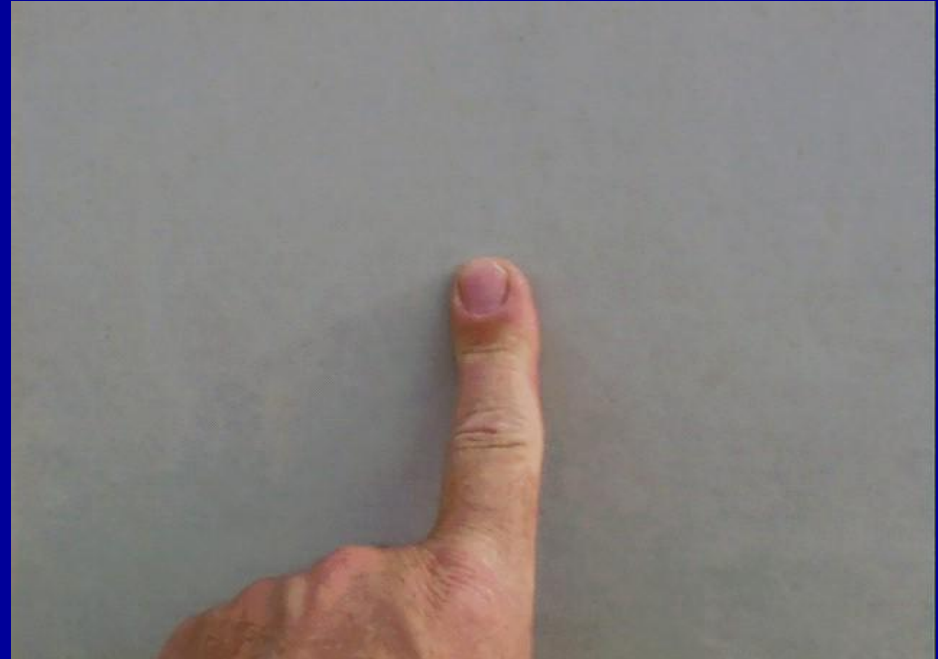


Obični beton  
(obavezno je zbijanje betona  
nakon ugradnje)



Samozbijajući beton (nema  
potrebe za zbijanjem)

# PRIMJER KVALITETNOG IZGLEDA VANJSKE POVRŠINE ELEMENTATA OD SAMOZBIJAJUĆEG BETONA

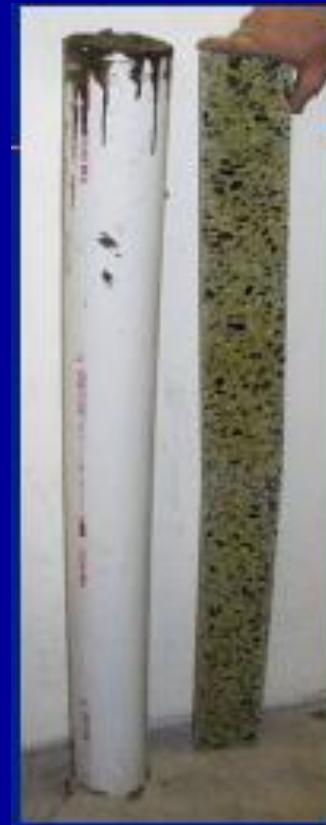


Prednost – glatke površine elementa





Bez segregacije



Izbušeno ukupno  
4m iz konstrukcije

Primjeri pokazuju da usprkos tečenju samozbijajućeg betona u konstruktivnim elementima ne dolazi do pojave segregacija



Izgled svježe mješavine samozbijajućeg betona  
pokazuje da prilikom tečenja ne dolazi do segregacije  
krupnih zrna agregata od ostatka strukture



Kod betoniranja velikih količina samozbijajućeg betona oplata moraju biti dodatno učvršćene, i to posebno u donjim krajevima





Korištenjem samozbijajućeg betona eliminira se buka pri ugradnji betona koja se javlja od vibriranja. To je posebno naglašeno tijekom rada u pogonima za predgotovljenu proizvodnju.





Jedan od možebitnih nedostataka primjene samozbijajućeg betona jest da oplate trebaju biti kvalitetne i dobro zabrtvljene kako ne bi došlo do procurivanja betona kroz spojeve.



Samozbijajući beton je skuplji od običnog betona.  
Tehnologija proizvodnje i kontrole kvalitete je zahtjevnija  
nego kod običnog betona.

# SASTAVNE KOMPONENTE

# SAMOZBIJAJUĆI BETON

- Sastavni materijali moraju zadovoljavati opće norme za obični beton
- Najveće zrno agregata ne bi trebalo biti veće od 16 mm
- Količina čestica manja od 0.125 mm ubraja se u ukupnu količinu praškastih komponenti
- Pastu u samozbijajućem betonu čini voda, cement, filer, superplastifikator i eventualni kemijski i mineralni dodaci.



# KEMIJSKI DODACI SAMOZBIJAJUĆEM BETONU

- Nužni kemijski dodaci
  - Superplastifikatori
  - Stabilizatori mješavine-poboljšavanje viskoznosti i smanjuje osjetljivost na varijacije u vlažnosti agregata i filera, naziva se i modifikator viskoziteta (eng. viscosity modifying agent-VMA)
- Često korišteni kemijski dodaci
  - Aeranti
  - Usporivači vezanja itd.

# KEMIJSKI DODACI SAMOZBIJAJUĆEM BETONU

- Ako dodajemo više kemijskih dodataka npr. superplastifikator, stabilizator mješavine i aerant treba se voditi računa o njihovoj kompatibilnosti
- Nekompatibilnost kemijskih dodataka može se manifestirati u obliku bržeg gubitka obradivosti, produženja vremena vezanja, nepostizanja željenih uporabnih svojstava

# MINERALNI DODACI SAMOZBIJAJUĆEM BETONU

- Tip I - inertni ili poluinertni dodaci
  - fileri; pigmenti
- Tip II -
  - pucolanski dodaci - leteći pepeo (HRN EN 450); silicijska prašina (HRN EN 13263);
  - hidraulički dodaci - zgura
- Zbog specifičnih reoloških potreba ovog betona i inertni i reaktivni (potencijalno hidraulički) mineralni dodaci uobičajeno se dodaju samozbijajućem betonu zbog
  - poboljšanja ugradivosti
  - reguliranja potrebne količine cementa
  - smanjenja temperature betona zbog hidratacijske topline
  - poboljšanja trajnosti.

# MEHANIČKA I TRAJNOSNA SVOJSTVA



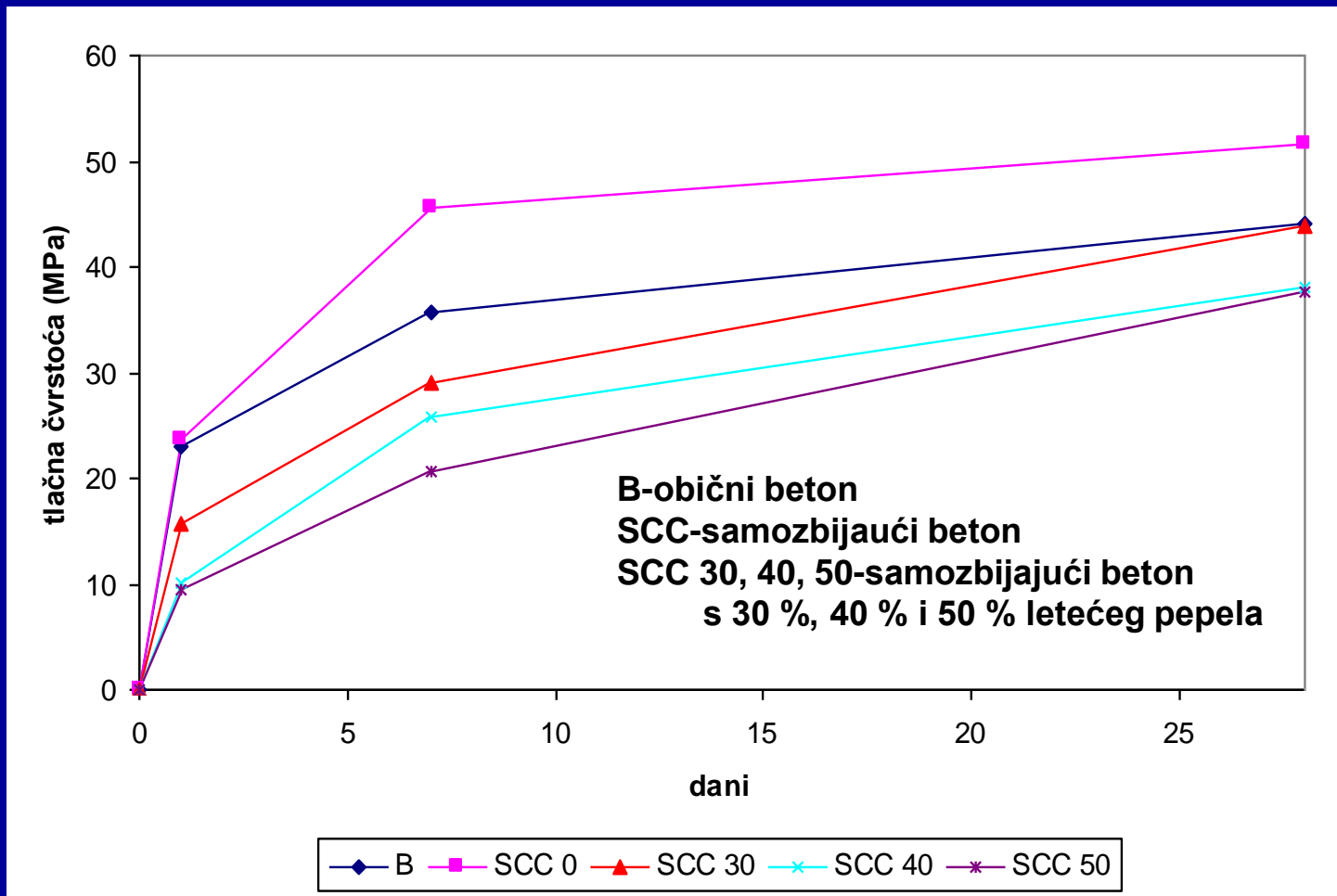
# SVOJSTVA U ODNOSU NA OBIČNI BETON

- **Tlačna čvrstoća**

- Samozbijajući beton ima veću tlačnu čvrstoću nego obični beton sa istom količinom cementa i vodocementnim omjerom
- Razvoj tlačne čvrstoće tijekom vremena sličan kao kod samozbijajućeg betona
- Kod samozbijajućeg betona je poboljšana struktura zbog veće količine sitnih, gusto pakiranih čestica



# RAZVOJ TLAČNE ČVRSTOĆE TIJEKOM VREMENA



# SVOJSTVA U ODNOSU NA OBIČNI BETON

- **Vlačna čvrstoća**
  - ista kao kod običnog betona
  - kod samozbijajućeg betona je povećan udio paste, a ona ne utječe bitno na vlačnu čvrstoću



# SVOJSTVA U ODNOSU NA OBIČNI BETON

- **Statički modul elastičnosti**
  - smanjenje modula elastičnosti kod samozbijajućeg betona zbog povećanog volumena paste
  - najveći utjecaj na statički modul elastičnosti ima vrsta agregata
  - kod samozbijajućeg betona ne vrijede  
nužno empirijski izrazi za vezu tlačne čvrstoće i modula elastičnosti prema EN 1992-1-1 kao za obični beton





# SVOJSTVA U ODNOSU NA OBIČNI BETON

- Puzanje
- deformacija puzanja je manja za niže vodocementne omjere
- razvoj čvrstoće pogoduje smanjenju deformacije puzanja tj. puzanje se s vremenom umanjuje
- veća količina agregata u sastavu betona i veća krutost agregata smanjuju puzanje
- zbog veće količine cementne paste samozbijajući beton iste čvrstoće kao običan beton ima veći koeficijent puzanja



# SVOJSTVA U ODNOSU NA OBIČNI BETON

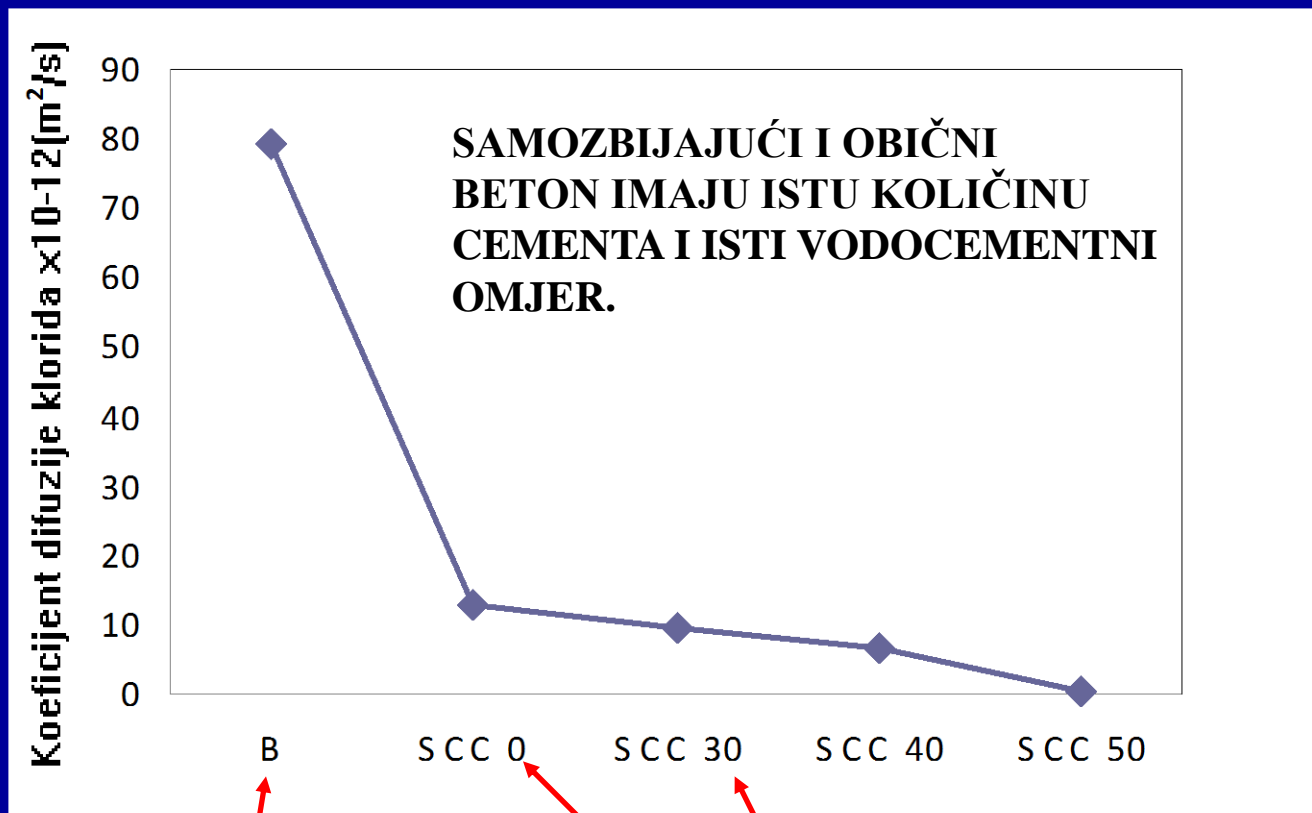
- Skupljanje
- Veće skupljanje nego kod običnog betona zbog više cementne paste
- Smanjivanjem vodocementnog omjera smanjuje se skupljanje od isušivanja, a povećava autogeno skupljanje



# SVOJSTVA U ODNOSU NA OBIČNI BETON

- *Trajnost*
- Samozbijajući beton ima manju propusnost nego obični beton sa istom količinom cementa i vodocementnim omjerom
- Kod običnog betona je često zaštitni sloj betona najslabije mjesto u konstrukciji u pogledu trajnosti zbog nemogućnosti kvalitetne ugradnje i zbijanja betona na tom mjestu. Kod samozbijajućeg betona to nije slučaj.

# USPOREDBA SVOJSTAVA TRAJNOSTI



**OBIČNI BETON**

**KOLIČINA LETEĆEG PEPELA**

**REOLOGIJA  
SAMOZBIJAJUĆEG  
BETONA**

Ispitivanje reoloških svojstava na viskozimetru u laboratoriju jest bitno za dobru obradivost samzbijajućeg betona prilikom praktične primjene.



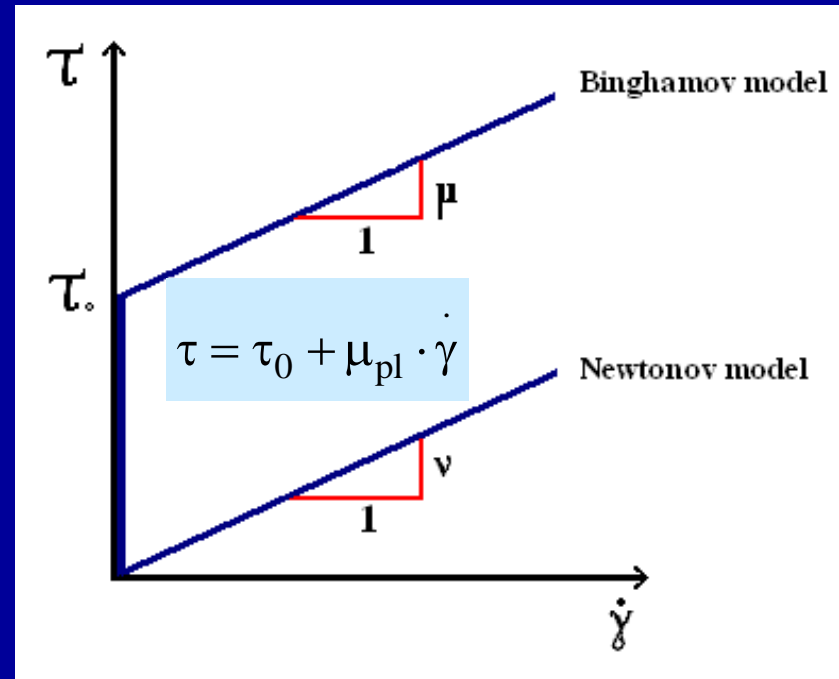


# REOLOGIJA SAMOZBIJAJUĆEG BETONA

- U praksi se beton vrlo često definira svojom konzistencijom.
- Promatrano sa stajališta reologije, konzistencija se definira kao svojstvo materijala kojim se on odupire promjeni oblika i opisana je modelom reološkog ponašanja.

# Binghamov i Newtonov model reološkog ponašanja fluida

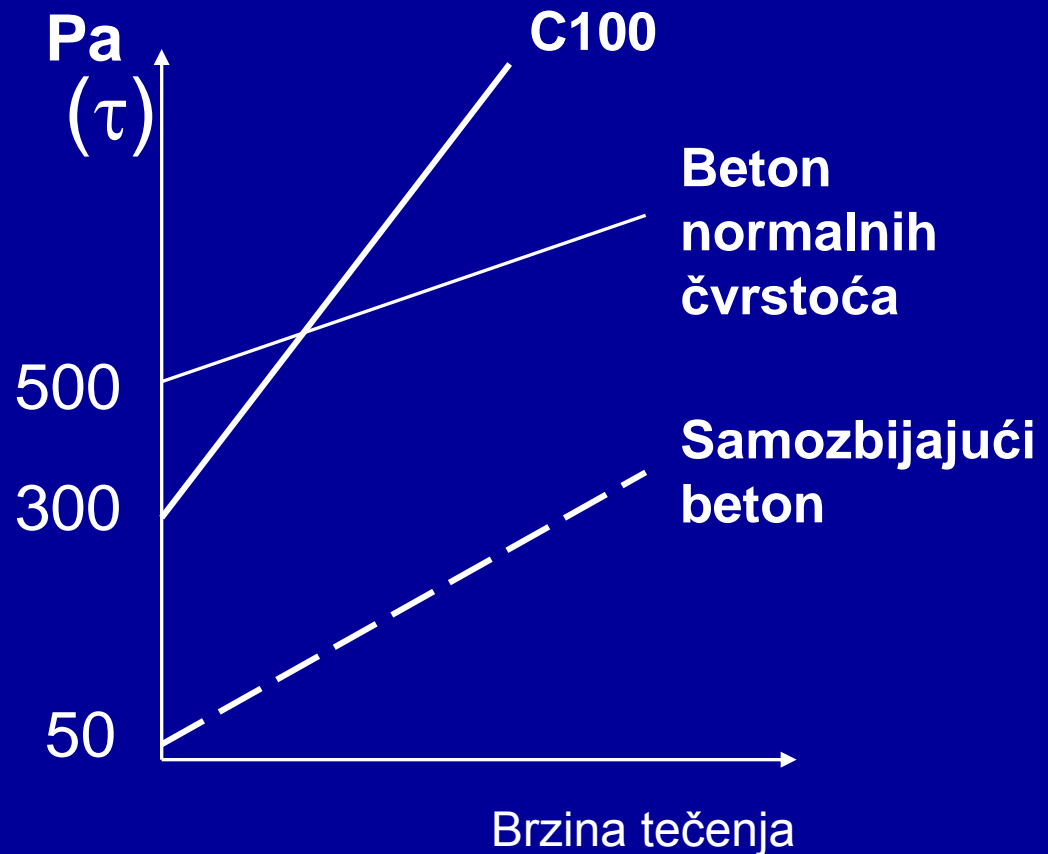
- Svakoj veličini posmičnog naprezanja ( $\tau$ ) odgovara određena brzina tečenja ( $\dot{\gamma}$ ).
- Veličina  $\tau_0$  predstavlja granicu tečenja i odgovara veličini posmičnog naprezanja koje je potrebno da se svlada unutrašnji otpor uzorka.



- Na Binghamovom modelu se do  $\tau_0$  materijal ponaša kao kruto tijelo, nakon toga dolazi do posmičnog popuštanja i materijal počinje teći. Ovo područje karakterizira veličina viskoznosti  $\mu$ .

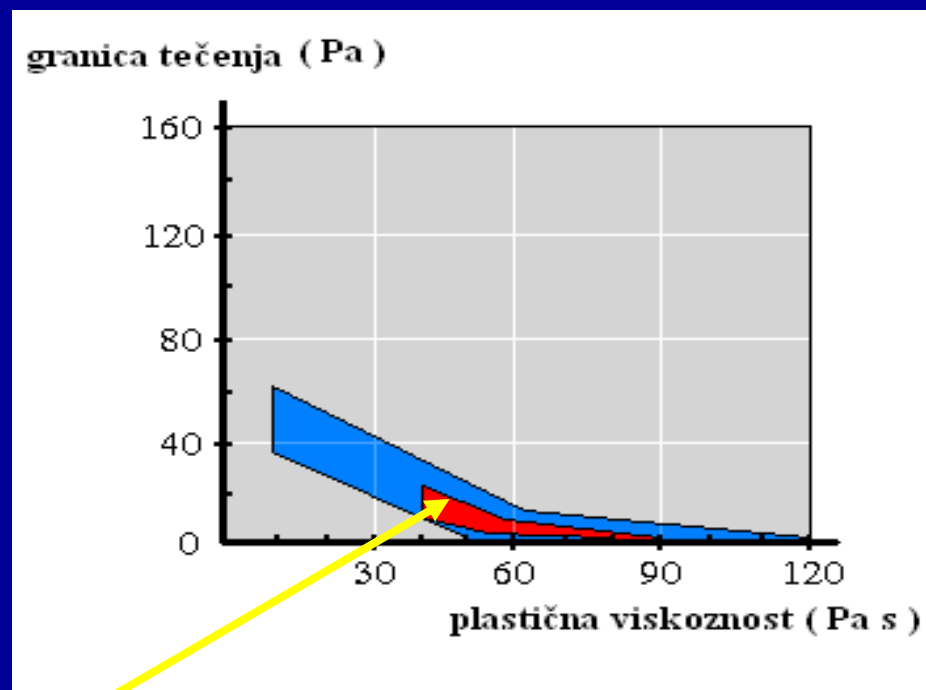
# Reologija samozbijajućeg betona

- Granica tečenja samozbijajućeg betona je vrlo mala (od 0-60 MPa) dok je za običan beton ta vrijednost veća.
- Veličina viskoznosti ( $\mu$ ) je vrlo promjenjiva i općenito se kreće od 20 ( Pa s ) pa sve do >100 ( Pa s ).



# Predložene vrijednosti $\mu$ i $\tau_0$ za samozbijajuće betone

- Za betone koji su viskozni ( $\mu$  veće od 70 Pa s) granica tečenja trebala bi biti oko nule.
- Beton koji ima viskoznost manju od 40 Pa s, trebao bi imati veću granicu tečenja.



Preporučene vrijednosti za samozbijajući beton se nalaze unutar crvenog područja

# Usporedba samozbijajućeg i običnog betona

- U običnom betonu, dok je u svježem stanju, krupnija zrna agregata teže tome da "padnu" na dno betonskog elementa, zbog veće gustoće od okolnog cementnog morta.
- U tom ih sprečava granica tečenja cementnog morta koja im ne dozvoljava segregaciju.

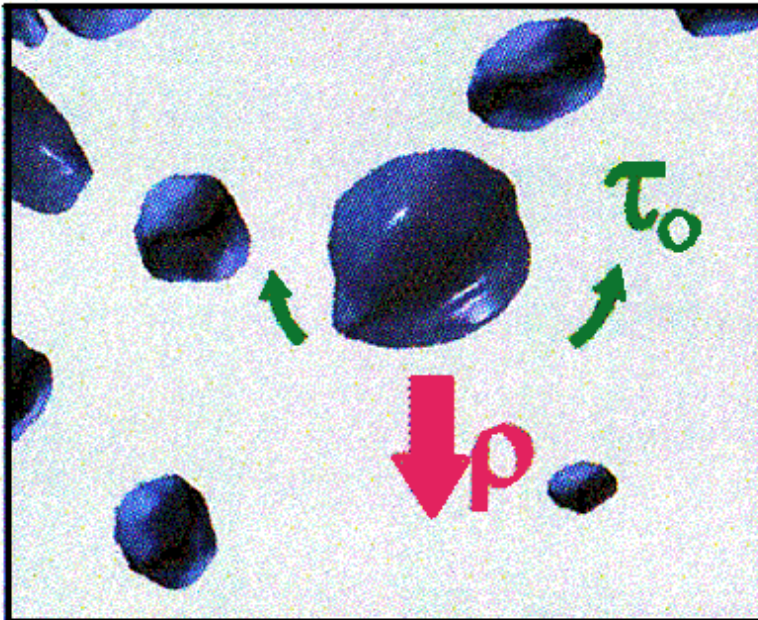
# Usporedba samozbijajućeg i običnog betona

- U samozbijajućem betonu granica tečenja je vrlo niska i premala je da spriječi krupnija zrna agregata da ne potonu i u tom slučaju dolazi do segregacije.
- Upravo zbog toga viskoznost cementnog morta treba biti veća kako bi osigurali stabilnost svježe betonske mješavine i spriječili segregaciju dok beton ne očvrsne.

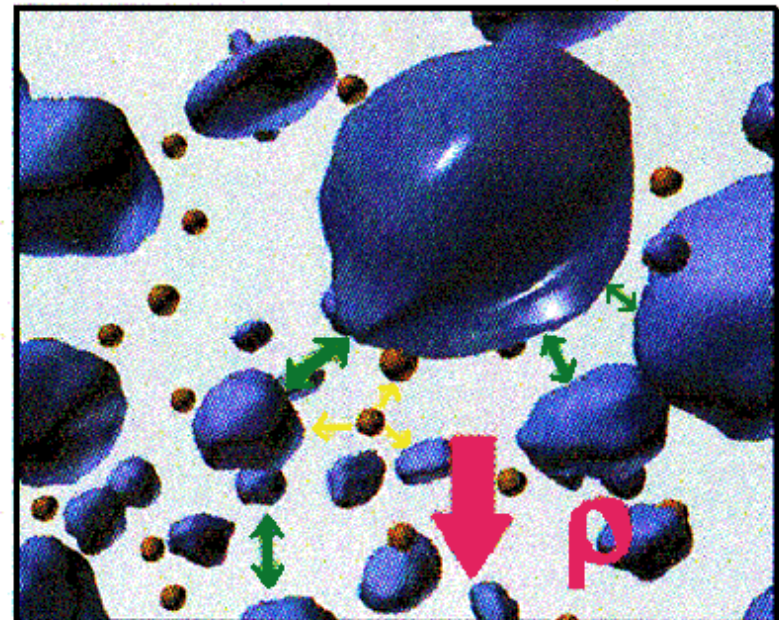


# Usporedba samozbijajućeg i običnog betona

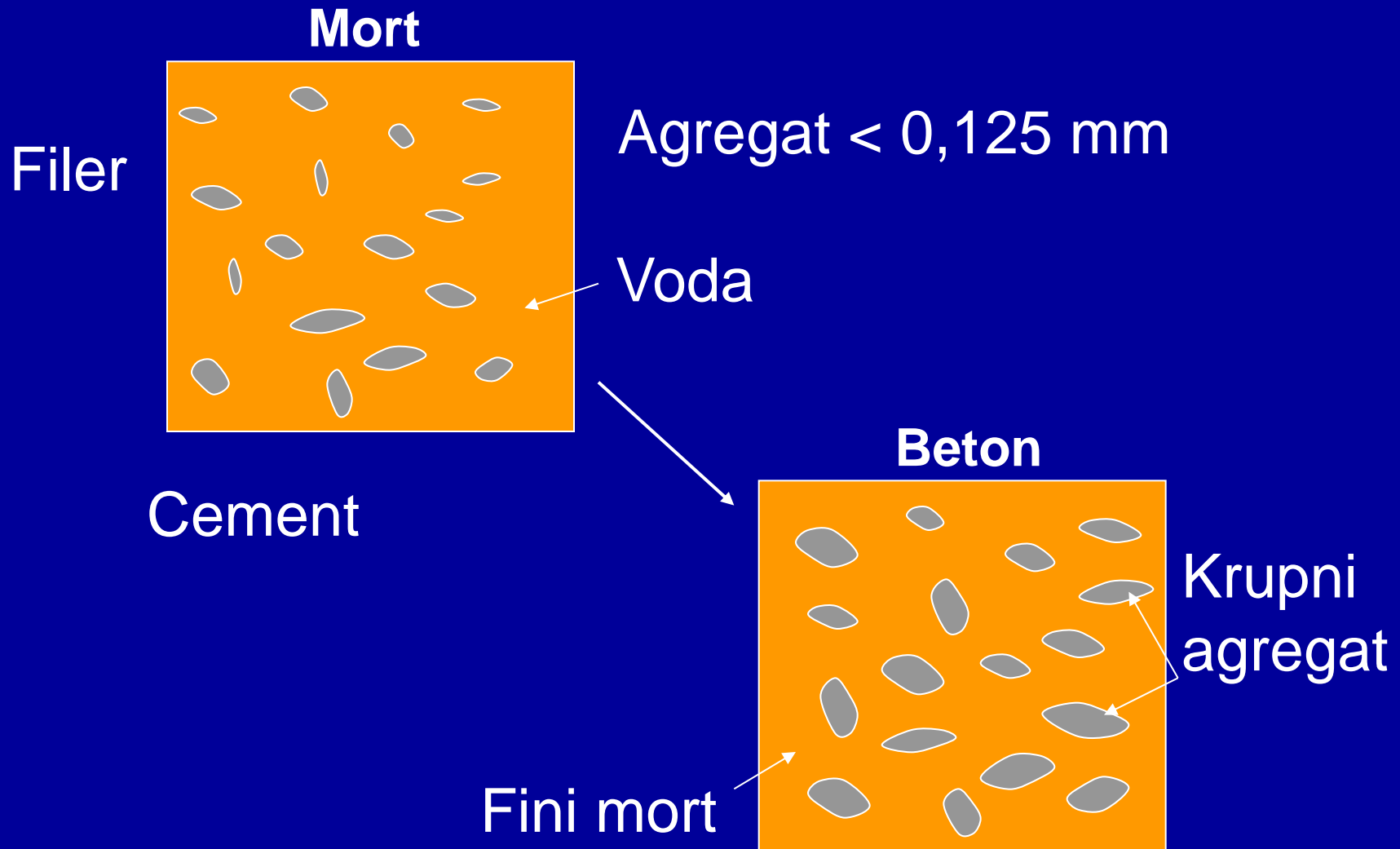
običan beton



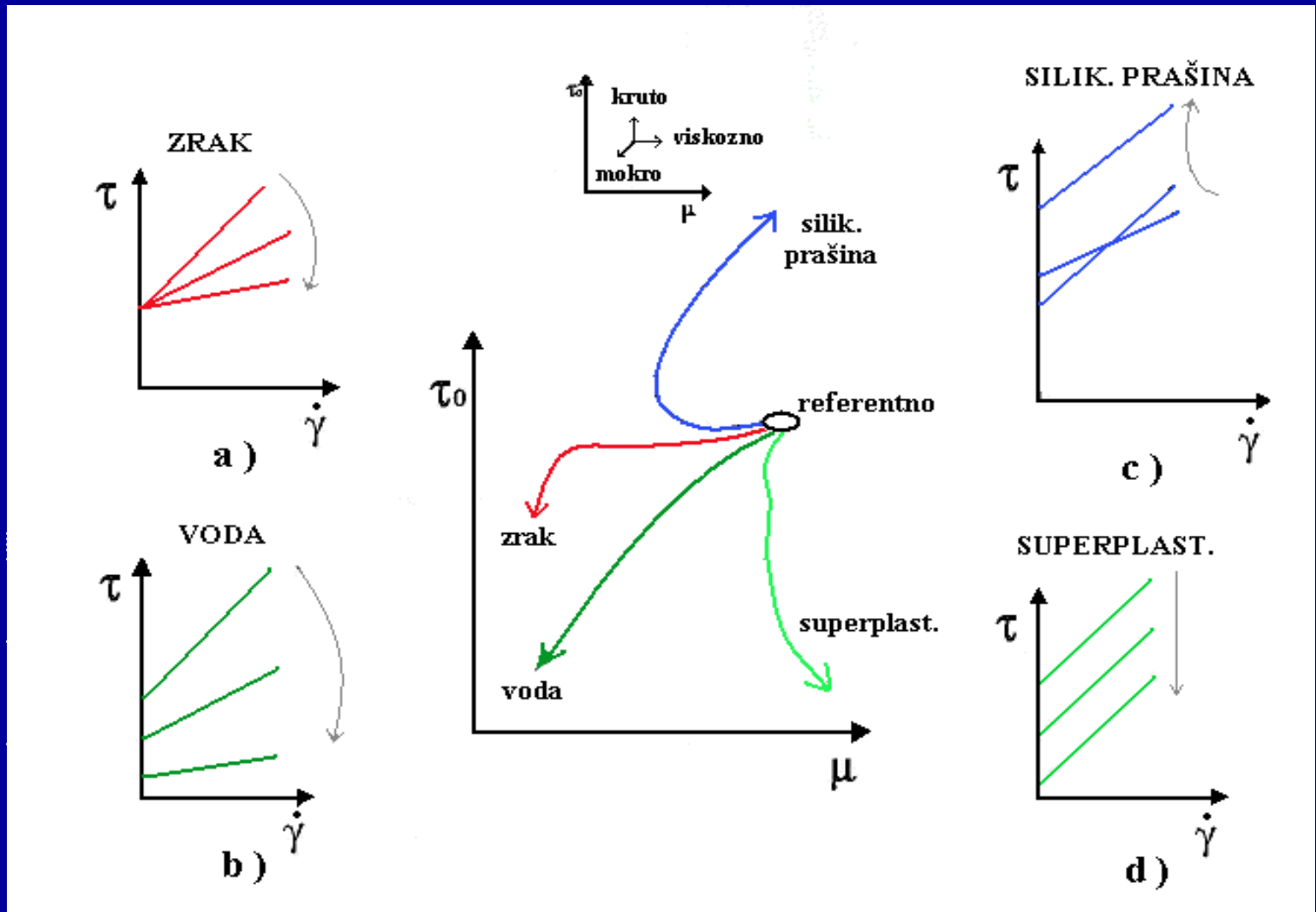
samozbijajući beton



- Kod samozbijajućeg betona potrebno je formirati što viskoziju cementnu matricu (cementna pasta), a betonski kompozit što manje viskoznosti



# Utjecaj količine vode, zraka, silikatne prašine i superplastifikatora na vrijednosti $\mu$ i $\tau_0$

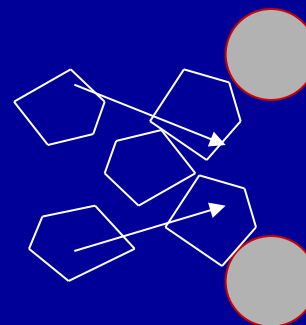
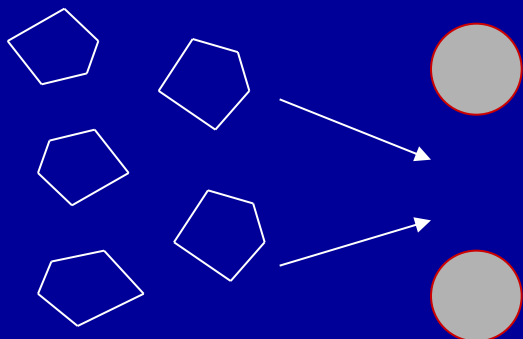


# Utjecaj količine vode, zraka, silikatne prašine i superplastifikatora na vrijednosti $\mu$ i $\tau_0$

- povećanjem količina pora smanjuje se viskoznost betonske mješavine, a granica tečenja ostaje nepromijenjena
- dodavanjem vode u beton smanjuje se viskoznost i granica tečenja
- silikatna prašina povećava granicu tečenja
- dodavanjem superplastifikatora smanjuje se granica tečenja, a viskoznost ostaje ista, a dodavanjem vode smanjuje se i jedno i drugo

- **Blokiranje**

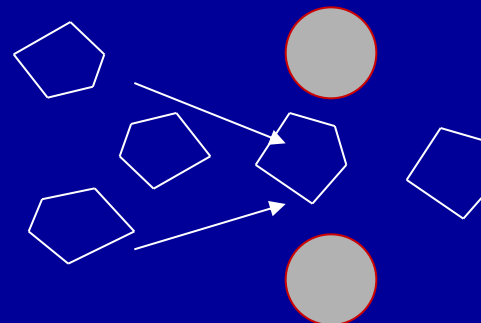
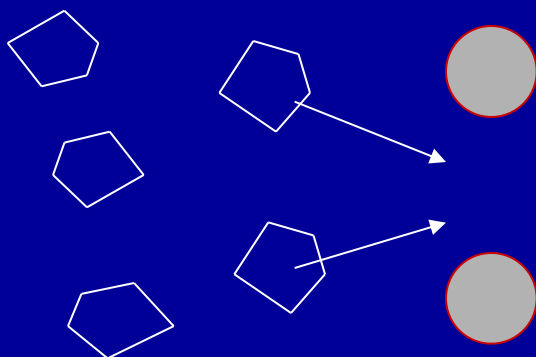
Prilikom tečenja betona ne smije doći do zaglavlivanja zrna agregata u uskim prolazima između armaturnih šipki ili armature i oplate.



---

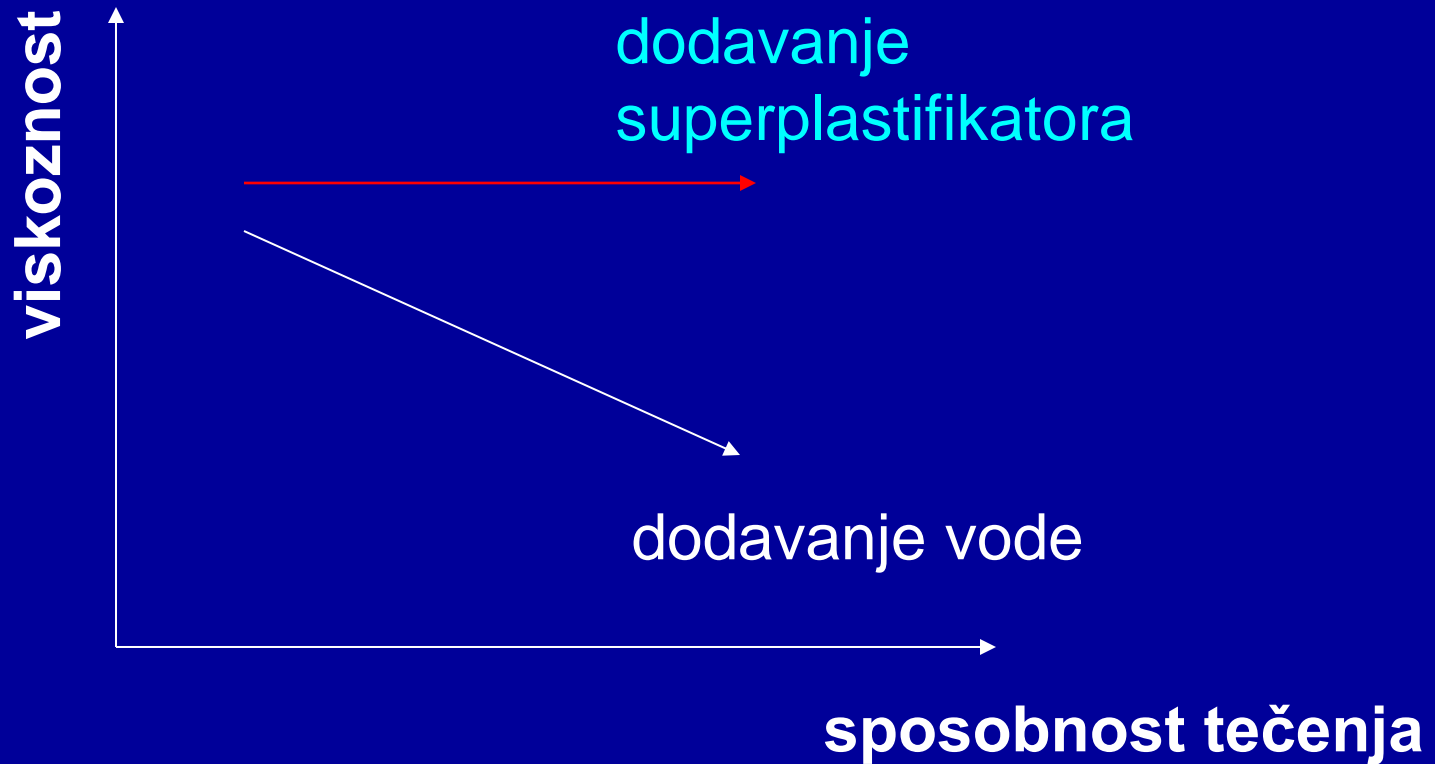
- **Nema blokiranja**

Potrebno je osigurati dovoljnu količinu viskozne cementne paste kako ne bi došlo do zaglavlivanja krupnih zrna agregata između armature.



# Uloga superplastifikatora

- povećava sposobnost tečenja bez promjene viskoznosti





# **METODE ISPITIVANJA**

Samozbijajući beton u svježem stanju treba posjedovati tri bitna svojstva:

- svojstvo punjenja
- svojstvo prolaza
- otpornost prema segregaciji

Razvijen je velik broj postupaka ispitivanja, ali još nema opće prihvaćenog.

U početnim ispitivanjima treba provjeriti sva tri svojstva obradivosti



# OSNOVNA SVOJSTVA U SVJEŽEM STANJU

- **SPOSOBNOST PUNJENJA** - sposobnost betona da teče samo pod utjecajem vlastite težine, horizontalno ali i vertikalno ako je potrebno, te da popuni kompletno oplatu bilo kakvih dimenzija i oblika bez šupljina, dijeli se na:
  - sposobnost tečenja (svojstvo betona da teče kad nije ograničen oplatom ili armaturom)
  - viskoznost (otpor tečenju betonske mase nakon što je tečenje već započelo)
- **SPOSOBNOST PROLAZA** - sposobnost betona da teče slobodno između gusto postavljene armature bez blokiranja krupnih zrna agregata
- **OTPORNOST SEGREGACIJI** - tijekom ugradnje i za vrijeme tečenja, beton bi trebao zadržati homogenost. Ne smije doći do odvajanja agregata od paste, niti vode od krutih tvari, te ne smije doći do tonjenja krupnih zrna agregata pod utjecajem gravitacije

# NORMIRANE METODE ISPITIVANJA SAMOZBIJAJUĆEG BETONA U SVJEŽEM STANJU

POSTUPAK	SVOJSTVO	JEDINCA MJERE	NORMA
Slump tečenje	Punjenje	mm	HRN EN 12350-8
Slump tečenje $T_{50\text{ cm}}$	Punjenje	s	
J-prsten	Prolaz	mm	HRN EN 12350-12
V-lijevak	Punjenje	s	HRN EN 12350-9
V-lijevak za $T_{5\text{ min}}$	Segregacija	s	
L-kutija	Prolaz	$h_2 / h_1$	HRN EN 12350-10
GTM sito	Segregacija	%	HRN EN 12350-11

# POSTUPCI ISPITIVANJA OBRADIVOSTI U SVJEŽEM STANJU

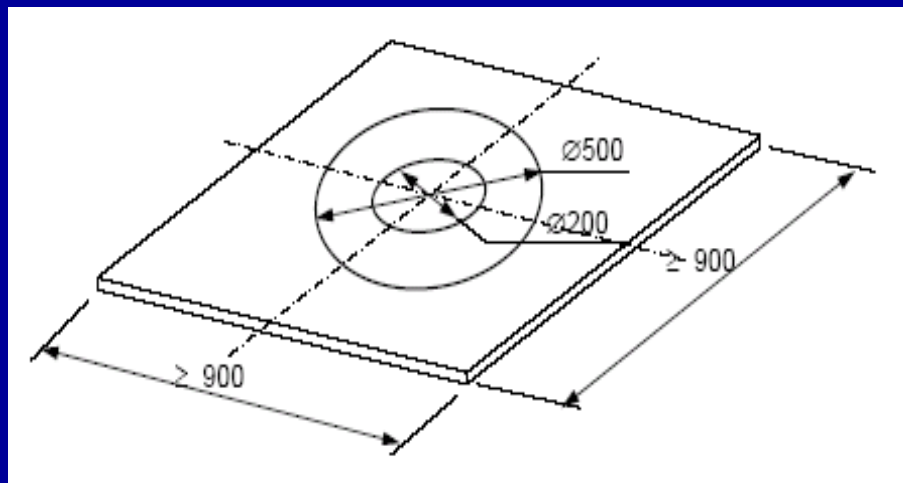
POSTUPAK	SVOJSTVO	JEDINCA MJERE	MINIMALNO	MAKSIMALNO
Slump tečenje	Punjenje	mm	650	800
Slump tečenje $T_{50\text{ cm}}$	Punjenje	s	2	5
J-prsten	Prolaz	mm	0	10
V-lijevak	Punjenje	s	6	12
V-lijevak za $T_{5\text{ min}}$	Segregacija	s	0	3
L-kutija	Prolaz	$h_2/h_1$	0.8	1
U-kutija	Prolaz	$(h_2-h_1)$ mm	0	30
Fill-boks	Prolaz	%	90	100
GTM sito	Segregacija	%	0	15
Orimet	Punjenje	s	0	5



# SLUMP TEČENJE



- koristi se za određivanja sposobnosti punjenja, pogodno je za ispitivanje u laboratoriju i na gradilištu
- Promjer rasprostiranja  $D$  u mm pokazuje sposobnost tečenja, a vrijeme rasprostiranja  $T_{50}$  u sekundama pokazuje viskoznost



# SLUMP TEČENJE

- Prednosti
  - jednostavna i lagana upotreba
  - dobar pokazatelj sposobnosti punjenja
  - osjetljivo na količinu vode
  - jedna osoba dovoljna za ispitivanje
  - moguće vizualno opažanje jače segregacije
- Nedostaci
  - potrebna čvrsta i ravna ploča
  - osjetljivo na vlažnost same ploče
  - $T_{50}$  nije lako točno izmjeriti
  - ljudski faktor



# UTJECAJ PARAMETARA NA REZULTATE ISPITIVANJA SLUMP TEČENJEM

Utjecaj	Slump tečenja	T <sub>50</sub>	T <sub>60</sub>
<b>Suha ploča</b>	Značajno smanjuje	Značajno povećava	Značajno povećava
<b>Mokra ploča</b>	Malo povećava	Malo smanjuje	Srednje smanjuje
<b>Nagnuta ploča</b>	Nema utjecaja	Nema utjecaja	Nema utjecaja
<b>Ploča od drveta</b>	Malo smanjuje	Malo smanjuje	Srednje smanjuje
<b>Ploča od plastike</b>	Značajno smanjuje	Srednje povećava	Značajno povećava
<b>Brzo dizanje stožca</b>	Nema utjecaja	Malo povećava	Malo smanjuje
<b>Obrnuti stožac</b>	Srednje smanjuje	Značajno povećava	Značajno povećava

# RAZREDI SLUMP TEČENJA

definiiraju sposobnost punjenja (tečenje)

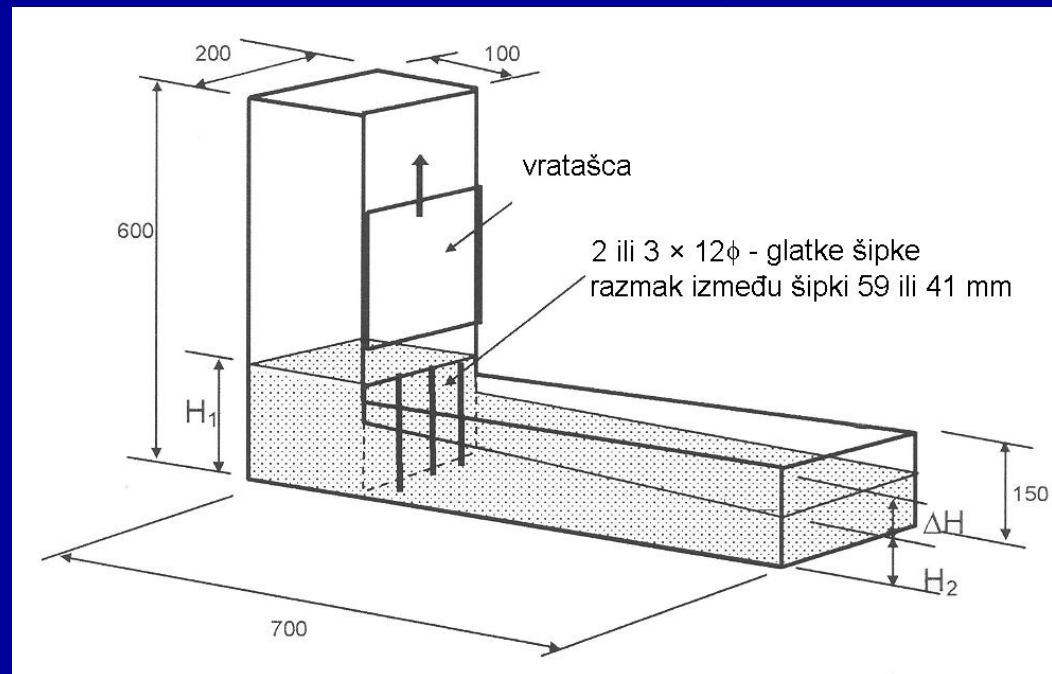
Razred	Slump tečenje (mm)	Primjena
<b>SF1</b>	550-650	nearmirani ili slabo armirani elementi, elementi koji nisu velikih dimenzija i ne zahtijevaju tečenje betona
<b>SF2</b>	660-750	uobičajena primjena (npr. zidovi, stupovi)
<b>SF3</b>	760-850	Elementi složenog oblika, elementi sa gusto postavljenom armaturom

- >850 mm – specijalni slučajevi,  $D_{\max} < 12$  mm; segregacija)

# L-KUTIJA



- Ovo ispitivanje se koristi da bi se ispitala prolaznost samozbijajućeg betona između armature



# L-KUTIJA

- Prednosti
  - poznata i česta upotreba
  - dobar pokazatelj sposobnosti prolaza
  - mogućnost izrade ispitnog uređaja od različitih materijala
  - dobra korelacija sa testom rasprostiranja
- Nedostaci
  - vrijednosti nisu mjerodavne kod velikih promjera slump tečenja
  - teško se koristi i čisti na gradilištu
  - važnost pravilnog niveliranja ispitnog uređaja
  - relativno dugo vrijeme pripreme



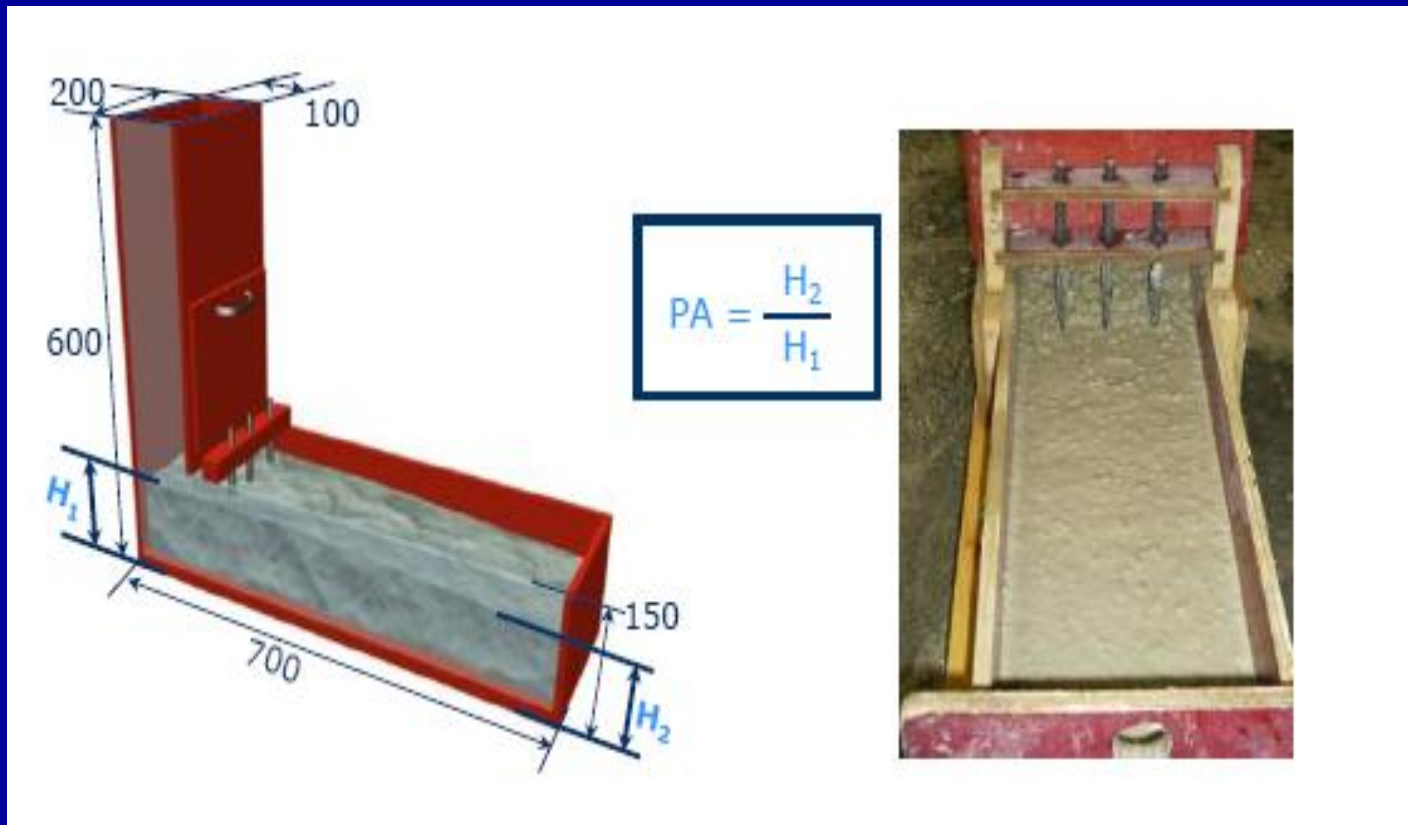


# PRIMJER BLOKIRANJA SAMOZBIJAJUĆEG BETONA



# RAZREDI L-KUTIJE

definiraju sposobnost prolaza



# RAZREDI L-KUTIJE

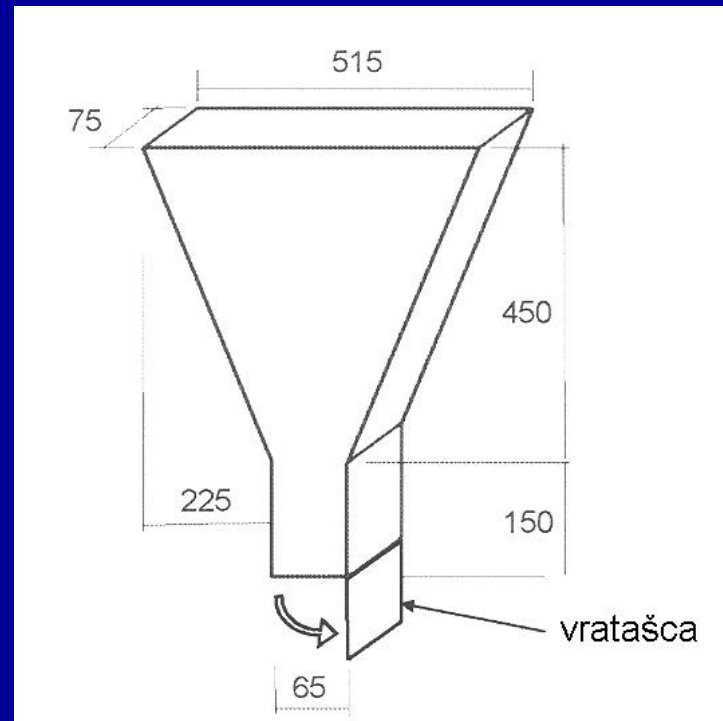
## definiraju sposobnost prolaza

Razred	Slump tečenje (mm)	Primjena
<b>PA1</b>	$\geq 0.80$ (test s 2 šipke)	Razmak armature 80 – 100 mm
<b>PA2</b>	$\geq 0.80$ (test s 3 šipke)	Razmak armature 60 – 80 mm

# V-LIJEVAK



- Kod metode ispitivanja V-lijevak se mjeri vrijeme  $t_v$  potrebno da beton isteče iz posude kroz uzak prolaz
- Metoda pokazuje sposobnost punjenja, i to viskoznost



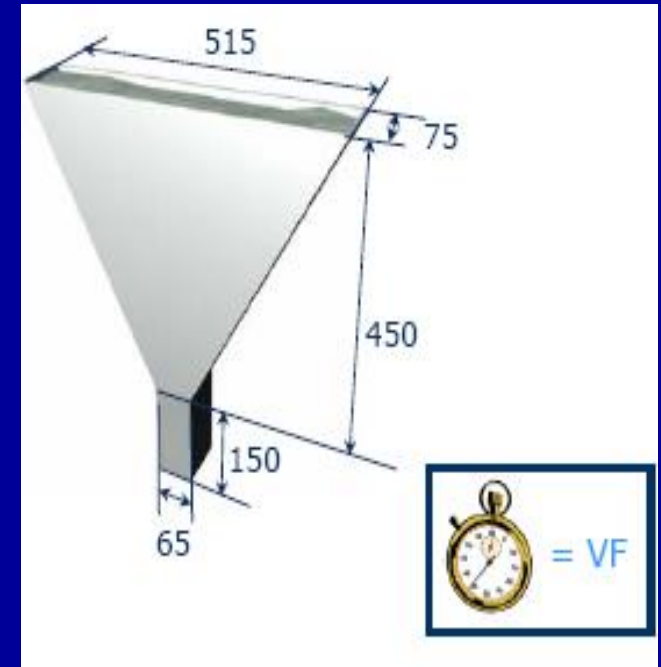
# V-LIJEVAK

- Prednosti

- dobra korelacija sa plastičnom viskoznošću
- dobar pokazatelj sposobnost punjenja
- često korišten
- mogućnost dokazivanja jake segregacije

- Nedostaci

- fizički zahtjevnije za izvođenje
- relativno nepoznat praktični raspon dobrih rezultata
- uglavnom potrebne dvije osobe
- vizualna opažanja nemoguća



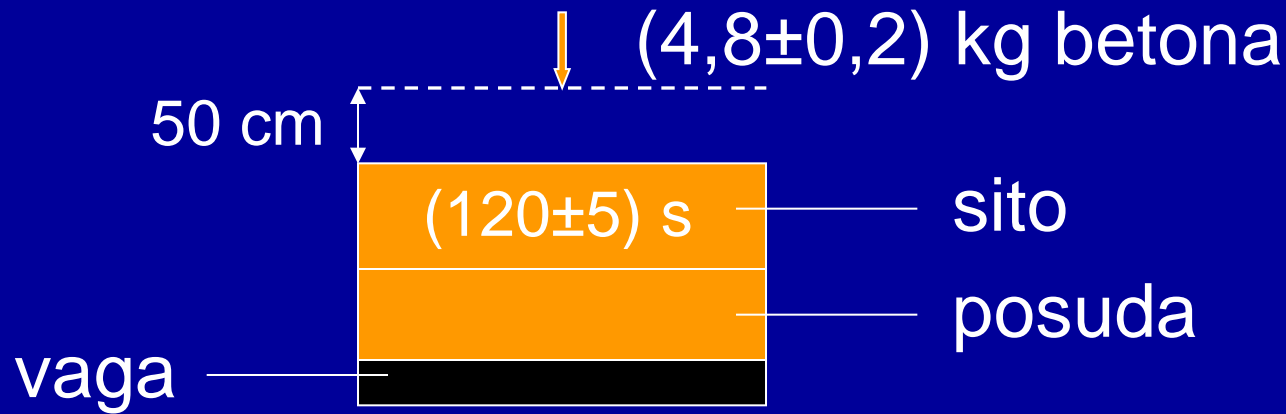
# RAZREDI V-LIJEVKA (VF) I SLUMP TEČENJA (VS)

definiraju sposobnost punjenja (viskoznost)

Razred	$T_{50}$ (s)	t (s) V-lijevak	Primjena
<b>VS1/ VF1</b>	$\leq 2$	$\leq 8$	gusto složena armatura, bolji površinski izgled
<b>VS2/ VF2</b>	$> 2$	9-25	poboljšana otpornost segregaciji



# GTM SITO



$$SR = (W_{ps} - W_p) \cdot 100 / W_c (\%)$$

masa posude  
i betona koji  
je prošao  
kroz sito

masa  
posude

masa betona  
na situ

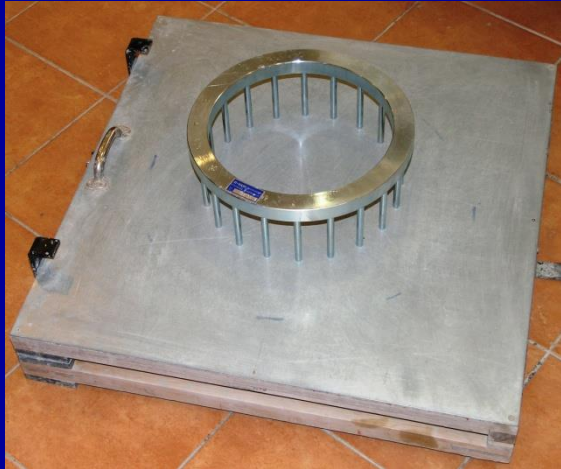
-Služi za ispitivanje  
otpornosti na segregaciju

# RAZREDI GTM SITA (SR)

## definiraju otpornost na segrgaciju

Razred	Otpor segregaciji (%)	Primjena
SR1	$\leq 20$	tanke ploče; vertikalna primjena za udaljenost < 5 m i razmak > 80 mm
SR2	$\leq 15$	vertikalna primjena za udaljenost > 5 m i razmak > 80 mm visoke vertikale – ako je razmak < 80 mm i udaljenost < 5 m, a ako je veća od 5 m smanjiti SR vrijednost 10 %

# J-PRSTEN

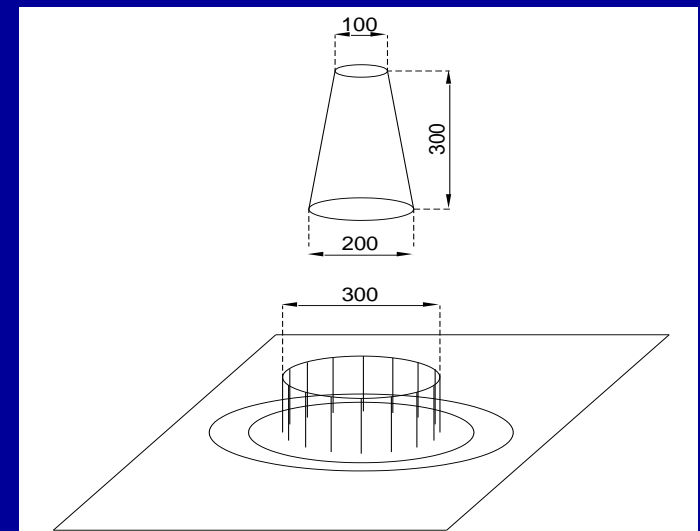


- Ova metoda služi za ocjenjivanje sposobnosti betona da teče kroz uske otvore, prostore između armature ili neke druge prepreke koja mu se nađe na putu, bez da dođe do segregacije ili blokiranja krupnih zrna agregata na prepri.
- Metoda ispitivanja J-prsten pokazuje sposobnost prolaza samozbijajućeg betona.
- Mjeri tri parametra: promjer dobiven slump tečenjem , vrijeme tečenja  $T_{50}$  i stupanj blokiranja (razlika između visina unutar i izvan prstena).
- Razlika između visine beton unutar i izvan prstena pokazuje stupanj blokiranja. Ako je velika razlika, znači da dolazi do blokiranja agregata pri prolazu između armature.



# J - PRSTEN

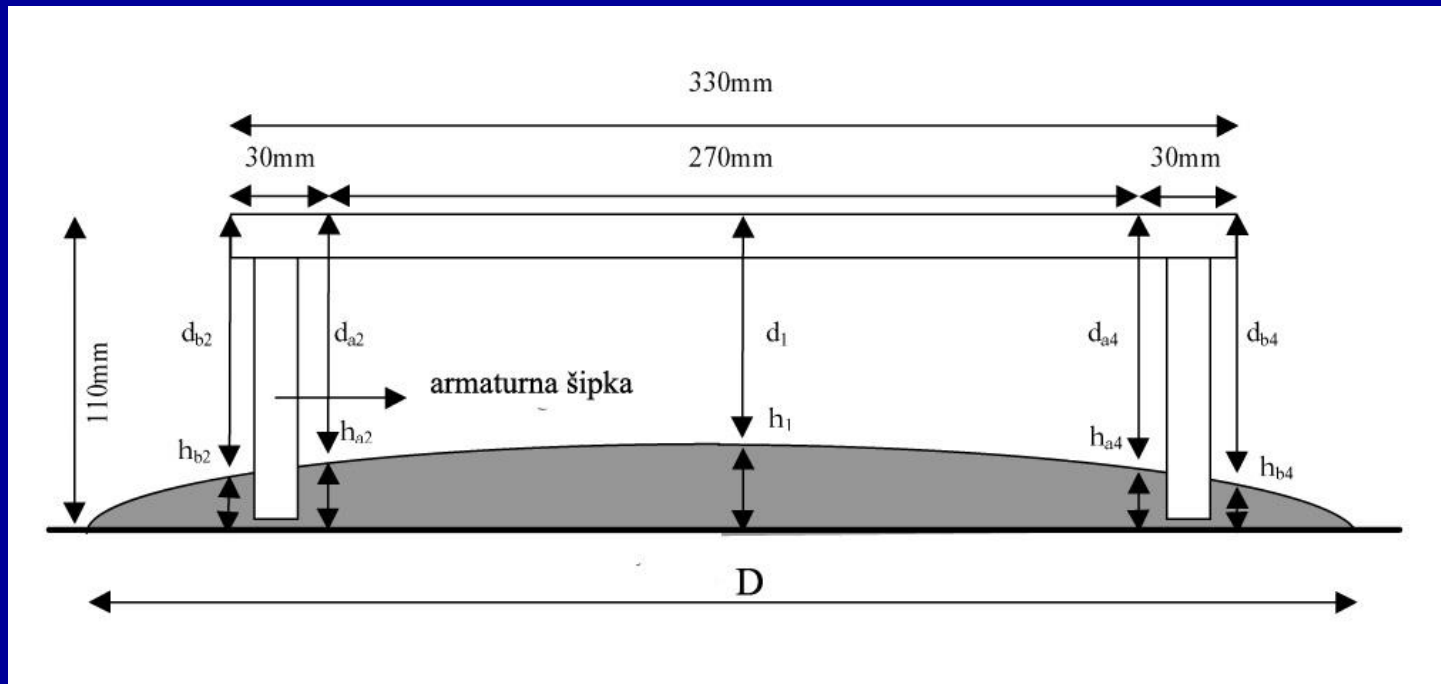
- Prvenstveno je razvijena za ispitivanje samozbijajućeg betona s dodatkom čeličnih vlakana jer je testiranje putem L-kutije pokazalo određene nedostatke
- Kružni prsten na kojem se nalazi nekoliko armaturnih šipki.
- One su postavljene okomito na ravninu prstena, a razmak među njima se može regulirati ovisno o dužini čeličnih vlakana u betonu.
- Prikladan razmak je 1-3 puta veći od dužine vlakna.
- Mjerilo minimalne duljine 1 m označeno u intervalima od 1 mm.



# J - PRSTEN



- Vrijednosti koje se mjere za određivanje stupnja blokiranja su :
  - $d_1$  u centru prstena
  - $d_{a,i}$  ( $i=4$ ) unutar prstena
  - $d_{b,i}$  ( $i=4$ ) izvan prstena





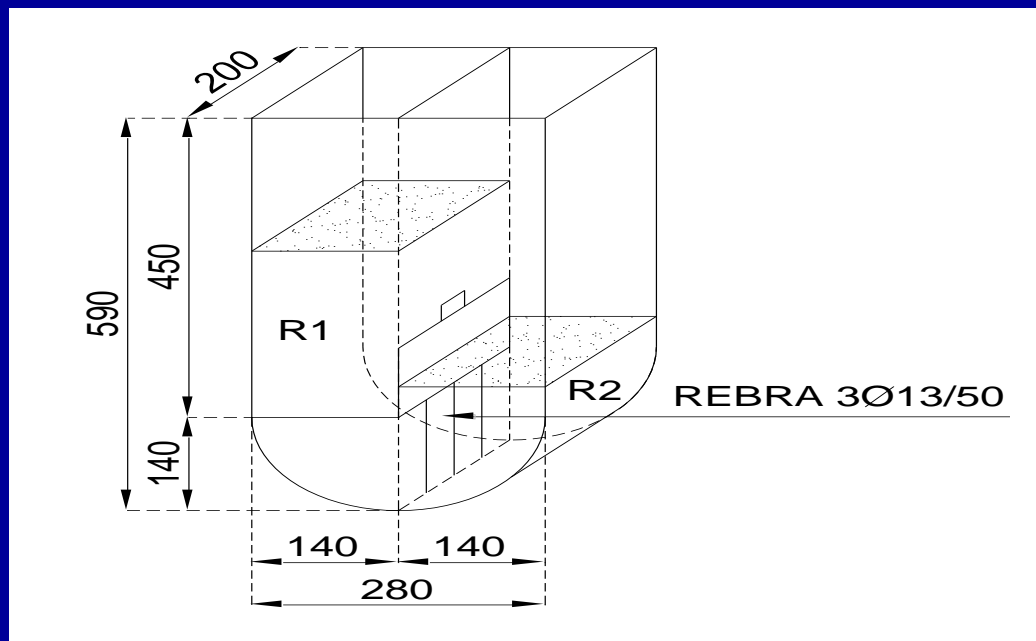
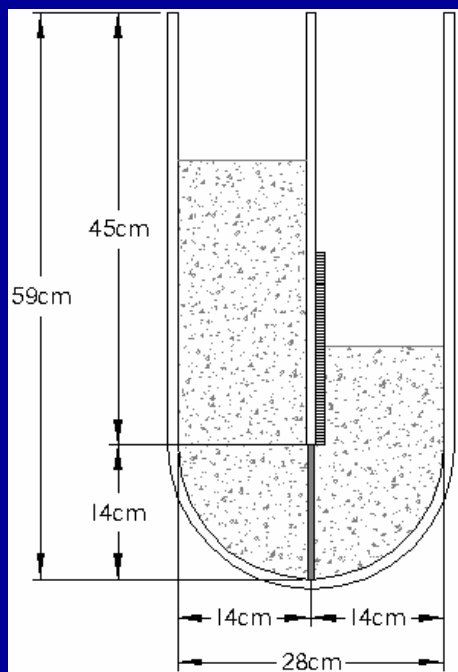
# J-PRSTEN

- Prednosti
  - jednostavno za upotrebu i prenošenje
  - koristi se sa testom rasprostiranja
  - dobra korelacija sa sposobnosti punjenja
  - moguće vizualno opažanje blokiranja i znatnije segregacije
  - potencijalno moguća ispitivanja svih svojstava
- Nedostaci
  - mjerenje nije tako jednostavno kao kod testa rasprostiranja
  - vrijeme  $T_{50}$  je teško izmjeriti
  - ljudski faktor



# U-KUTIJA

- Mjeri se razlika u visinama samozbijajućeg betona na dvije suprotne strane
- Metoda pokazuje sposobnost prolaza



Viskoznost				Otpornost segregaciji/ sposobnost prolaza
VS2 VF2				Specificirati PA za SF1&2
VS1 ili 2 VF1 ili 2 ili ciljana vrijed.				Specificirati SR za SF3
VS1 VF1				Specificirati SR za SF2&3
	SF1	SF2	SF3	
	Slump tečenje			

# PROJEKTNI ZAHTJEVI

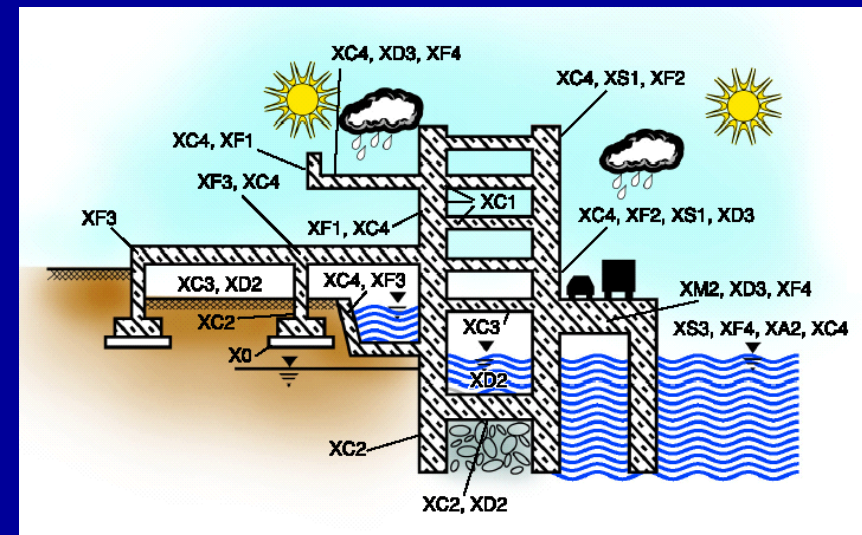
# SAMOZBIJAJUĆI BETON

- Pri projektiranju sastava voditi računa o:
  - Veličini i obliku konstrukcije
  - Gustoća i razmještaj armature
  - Debljini zaštitnog sloja
  - Opremi za ugradnju
  - Završnoj obradi



# Osnovni zahtjevi za projektirani beton

- -DEFINIRAJU SE PREMA HRN EN 206-1
- razred tlačne čvrstoće
- razred izloženosti djelovanju okoliša
- maksimalno zrno agregata
- razred sadržaja klorida
- razred konzistencije





# Posebni zahtjevi

- Razred sposobnosti punjenja, sposobnosti prolaza i/ili otpornosti na segregaciju (nije još normativno riješeno)
- Brzi prirast čvrstoće radi tehnoloških potreba
- Održavanje samozbijajućih svojstava i obradivosti kroz duži vremenski period
- Niska toplina hidratacije za masivne betonske elemente
- Trajnosna svojstva za korištenje u uvjetima agresivne okoline itd.

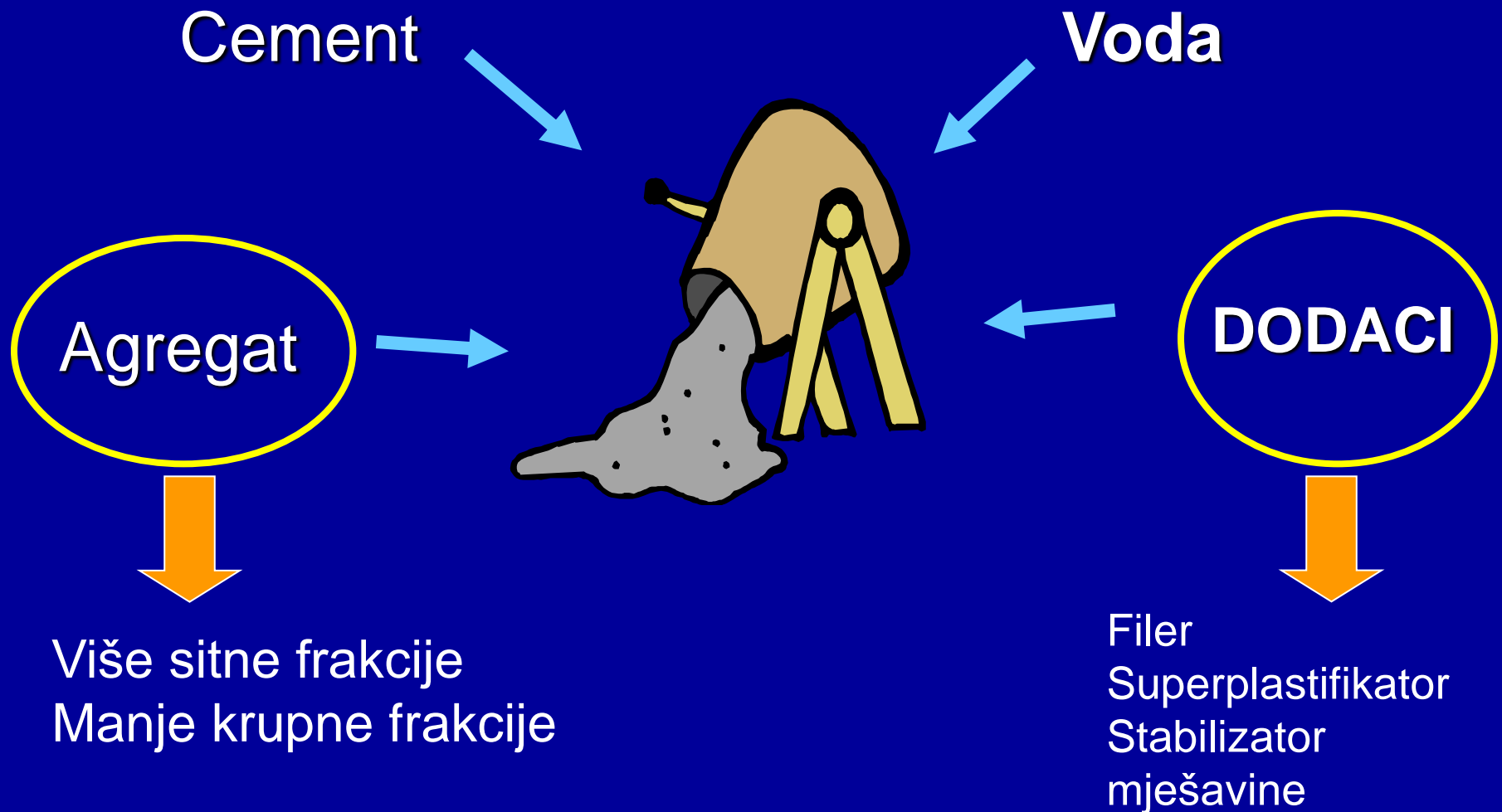
# PROJEKTIRANJE SASTAVA

- Tečnost koju ima SCC nije moguće postići sa betonom normalne konzistencije, jer bi se količina superplastifikatora morala povećati do te mjere da beton ne bi više imao stabilnost smjese te bi došlo do segregacije i izdvajanja vode.
- Da bi se postigla dovoljna stabilnost smjese, tj. dovoljna viskoznost, potrebno je povećati udio sitnih čestica u betonu (<0,125mm), dodavanjem filer materijala. Time se povećava unutarnje trenje između čestica u betonu, te samim time i viskoznost paste koja omeđuje agregat. S povećanjem viskoznosti povećava se i otpornost betona na segregaciju, jer krupna zrna agregat u tom slučaju teže tonu.

# Projektiranje sastava samozbijajućeg betona



# Što je samozbijajući beton?



# PRIKAZ VOLUMNIH ODNOSA SASTAVNIH KOMPONENTI

Beton	Zrak	Zrak	Zrak	Zrak	
	Krupni agregat	Krupni agregat	Krupni agregat	Krupni agregat	
	Mort	Pijesak	Pijesak	Pijesak	Pijesak
		Pasta	Praškaste komponen.	Praškaste komponen.	Cement
			Voda	Voda	Filer
SP			SP	Voda	
			SP		



# ORIENTACIONI UDIO KOMPONENTI U SASTAVU

- Krupni agregat 750-920 kg/m<sup>3</sup>
- Sitni agregat 710-900 kg/m<sup>3</sup>
- Praškaste komponente 450-600 kg/m<sup>3</sup>
- Voda 150-200 kg/m<sup>3</sup>

# PREPORUKE ZA PROJEKTIRANJE SASTAVA

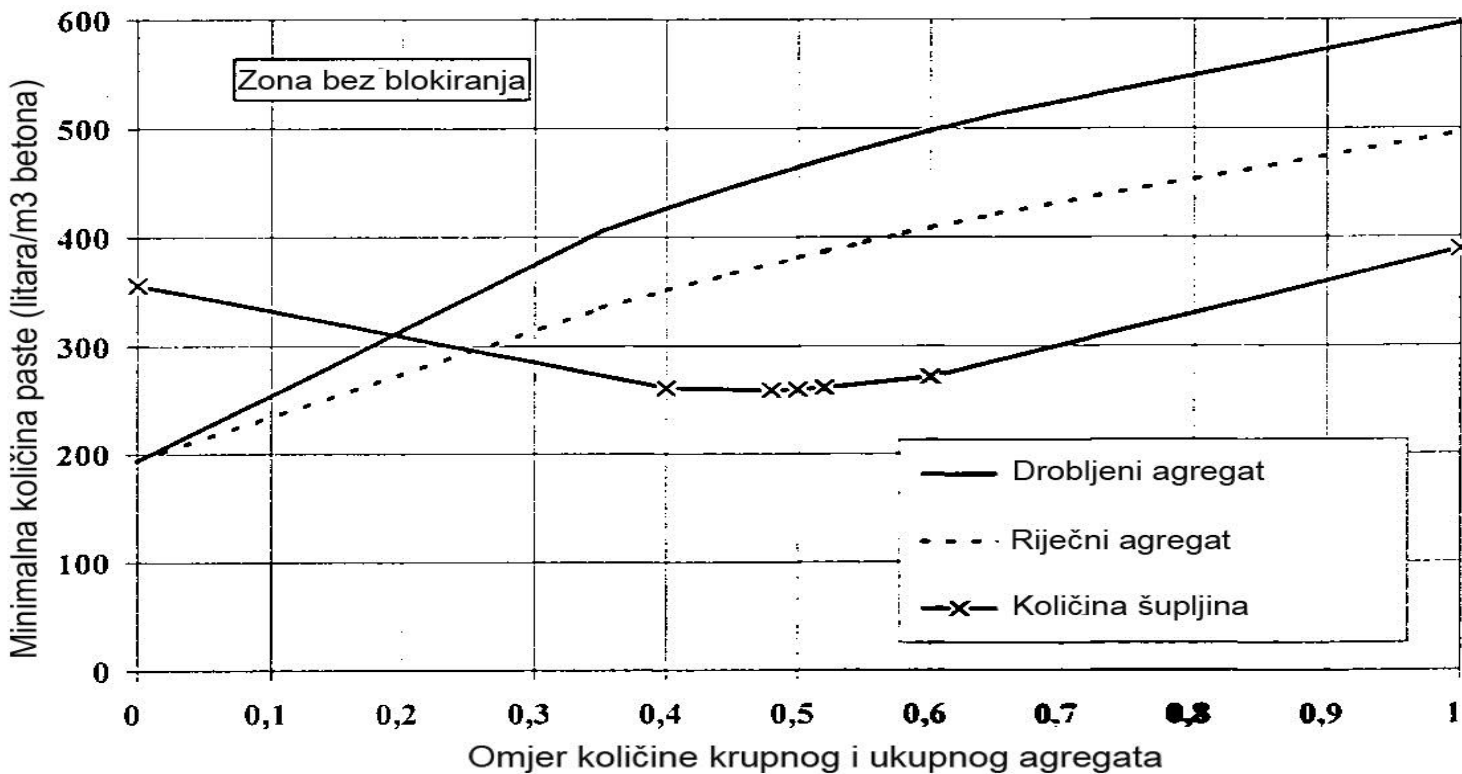
PREPORUKE ZA PROJEKTIRANJE SAMOZBIJAJUĆEG BETONA	
Praškaste komponente Cement+Filer+Agregat(<0,125mm)	400 - 600 kg
Krupni agregat u odnosu na ukupnu količinu agregata (krupni = 4-16mm)	< 50%
Omjer vode i praškastih komponenti (Iznimno bitno)	Volumni omjer 0,8 – 1,00
Pijesak u volumenu morta	Volumni omjer > 40%
Pijesak u odnosu na volumenu paste	Volumni omjer < 50%
Pijesak u odnosu na ukupnu količinu agregata (pijesak = 0-4 mm)	> 50%
Slobodna voda	< 200 litara
Pasta u odnosu na ukupni volumen mješavine (Iznimno bitno)	> 40% volumena mješavine

# SAMOZBIJAJUĆI BETON

- Mjere za korekciju sastava:
  - Dodatna uporaba filera ili filer drugog tipa
  - Promjena omjera sitnog i krupnog agregata
  - Uporaba stabilizator mješavine
  - Optimalizacija doziranja i vrste superplastifikatora i /ili stabilizatora mješavine



# Određivanje minimalnog volumena paste u ovisnosti o vrsti agregata, te omjeru frakcija



**MODEL PROJEKTIRANJA  
SAMOZBIJAJUĆEG BETONA  
(CBI metoda)**

# CBI metoda

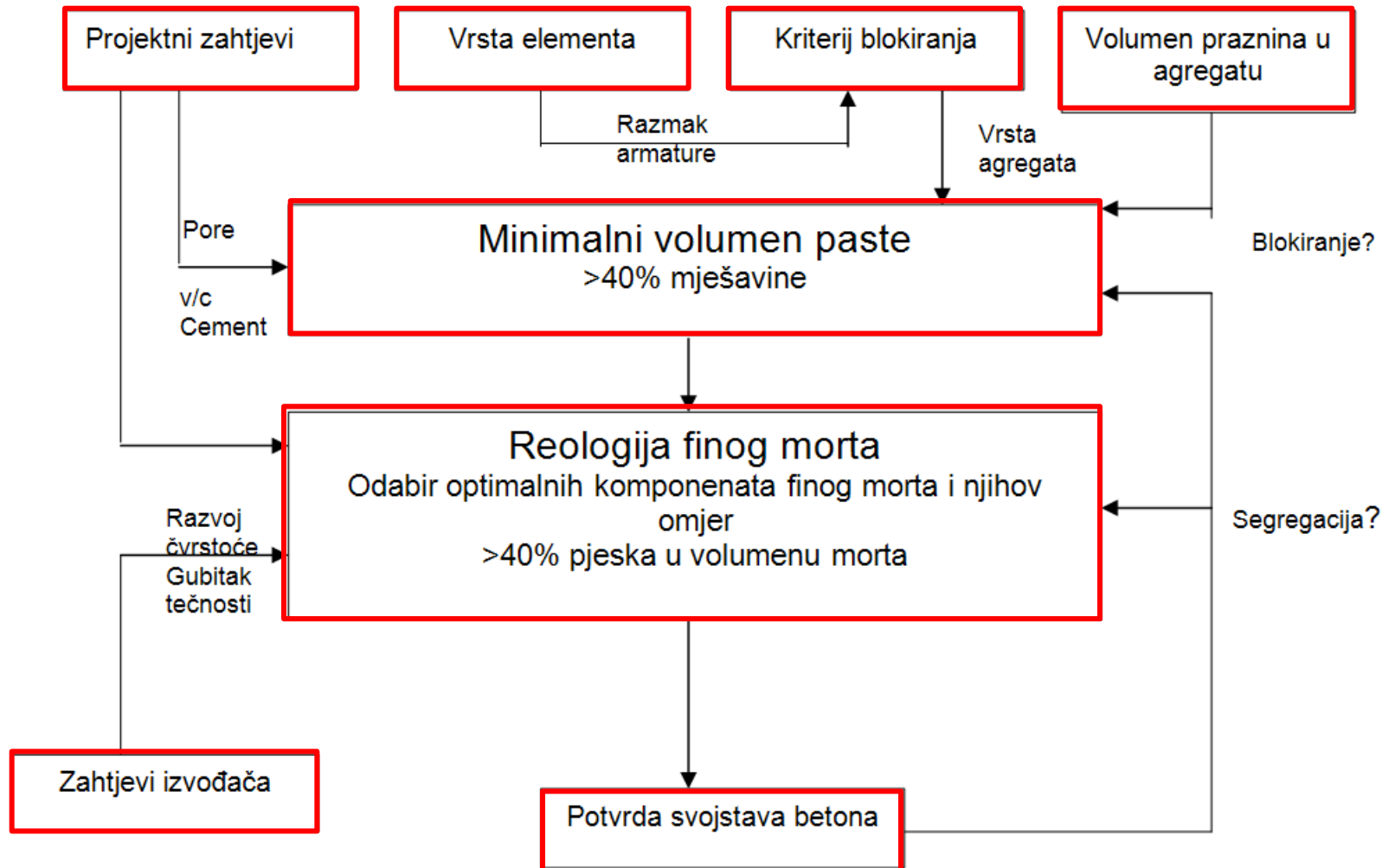
1. Proračun minimalnog volumena paste prema svojstvima riječnog ili drobljenog agregata, kriterijima trajnosti, projektu konstrukcije, detaljima itd.
2. Projektiranje paste bazirano na reološkim mjerenjima dijelova morta u betonu
3. verificiranje svojstava svježeg i očvrslog betona

Prednost ove metode je što uzima u obzir vrstu agregata, te ju je zbog toga lagano primjenjivati u svim dijelovima svijeta. Nije potrebno imati određenu granulometrijsku krivulju, već se receptura prilagođava tipu agregata.

Metoda teži optimiziranju količine paste, da bi minimalizirala razliku u cijeni u odnosu na beton normalne konzistencije, jer se pasta sastoji od najskupljih komponenata (cement, filer i kemijski dodaci).

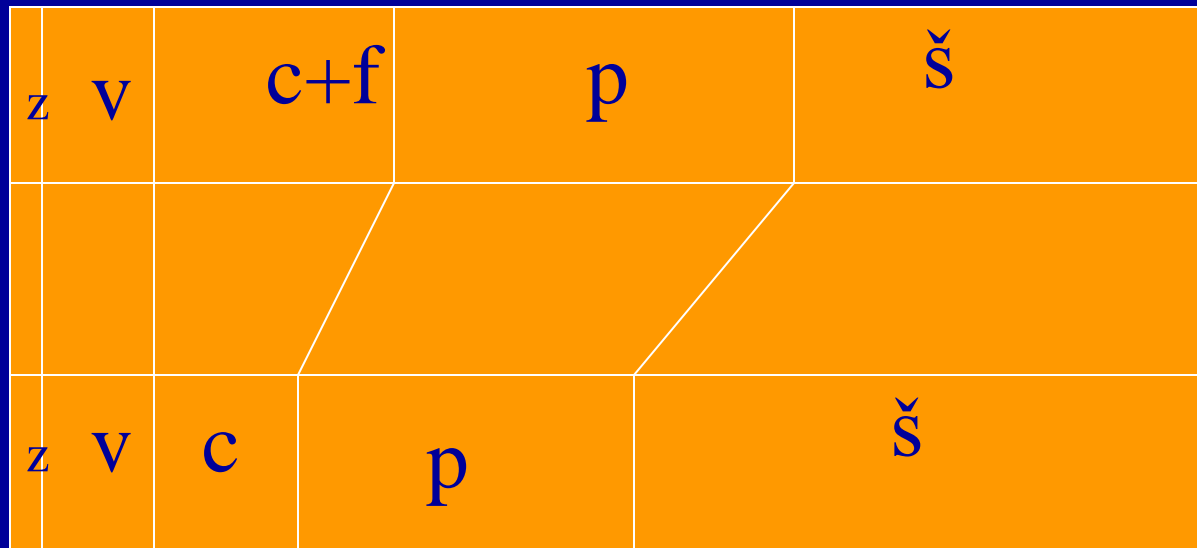


# Projektiranje sastava – shematski prikaz



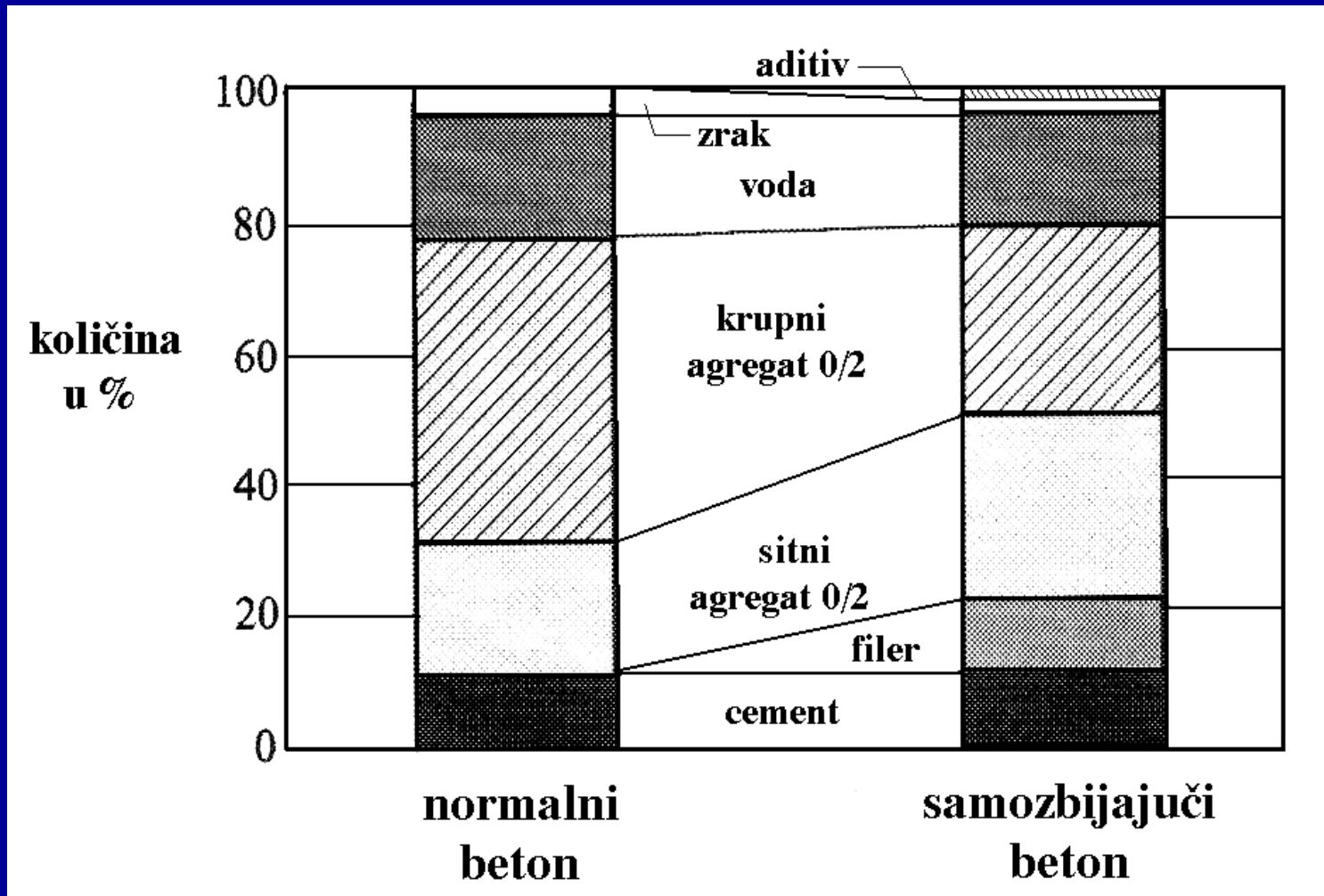
# ODNOS KOMPONENATA SASTAVA

samozbijajući betoni



obični betoni

# ODNOS KOMPONENTI SASTAVA



# USPOREDBA SASTAVA

Sastavne komponente (kg/m <sup>3</sup> )	Oznaka betona	
	BETON	SCC
Cement	400	400
Leteći pepeo	-	-
Voda	200	200
Superplastifikator	0.8	4.0
Stabilizator mješavine	-	1.0
Filer	-	200
Agregat 0-4 mm	930	970
Agregat 4-8 mm	267	310
Agregat 8-16 mm	644	320
Vodocementni omjer	0.50	0.50
Udio paste	712	920
Udio praškastih komponenti	512	716

# Kriterij projekta

- ovisi o zahtjevima konstrukcije (tlačna i vlačna čvrstoća):
  - v/c omjer
  - odnos krupnog i ukupnog agregata
  - debljina i kvaliteta zaštitnog sloja

# Kriterij detalja

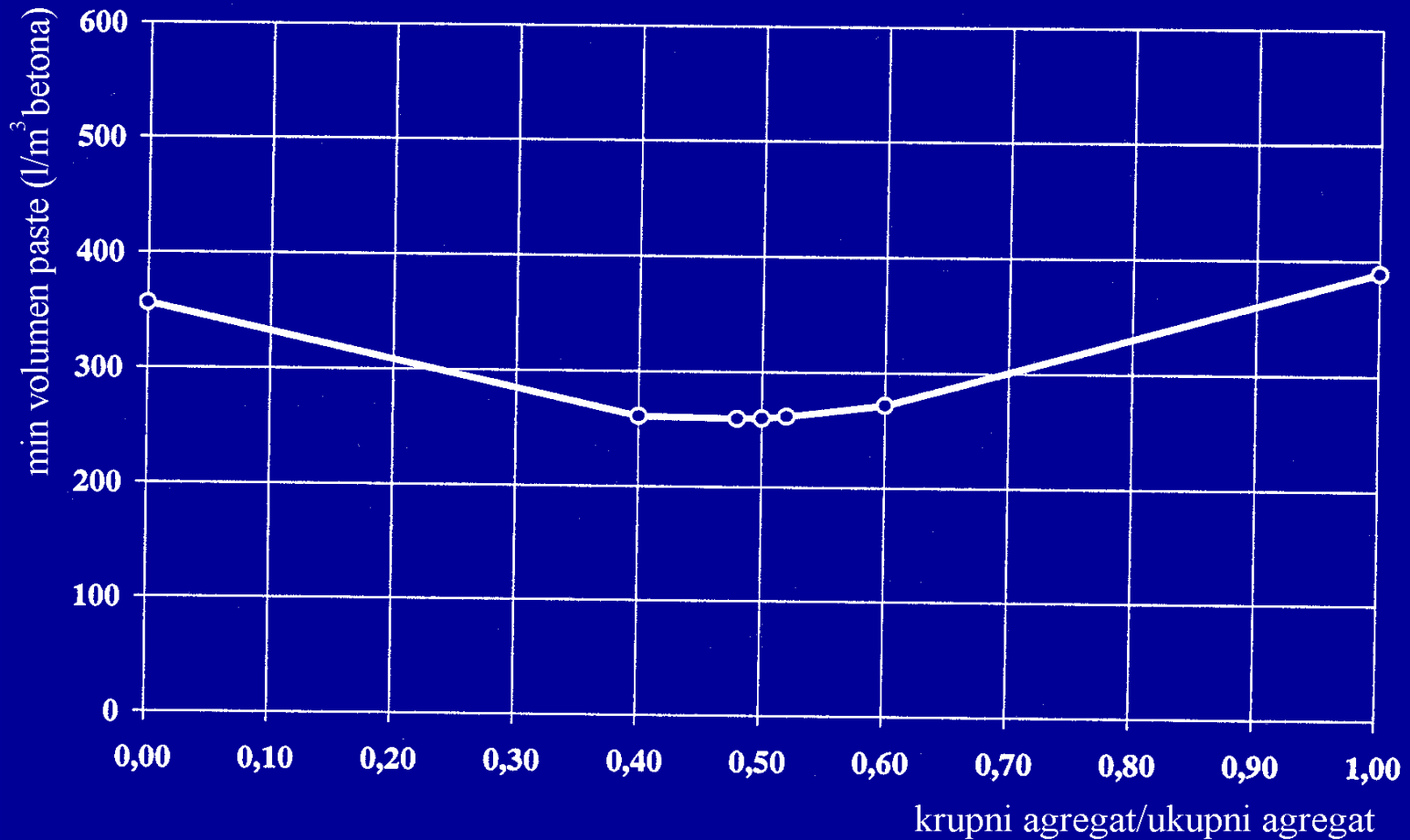
- geometrija, razmještaj armature, oplata:
  - minimalni potrebni volumen paste, kontrola razmaka unutrašnjih dijelova krupnog agregata
- ako je razmak premali - blokiranje dijelova agregata



# Utjecaj sadržaja šupljina

- određuje se minimalni volumen paste
- volumen potreban za ispunjavanje šupljina između zrna agregata nije dovoljan - volumen paste mora biti veći nego sadržaj šupljina kako bi beton mogao teći
- pomoću ovog kriterija nalazi se optimalni udio krupnog agregata u ukupnom agregatu

# Utjecaj sadržaja šupljina



sadržaj šupljina ovisno o udjelu krupnog agregata u ukupnom agregatu

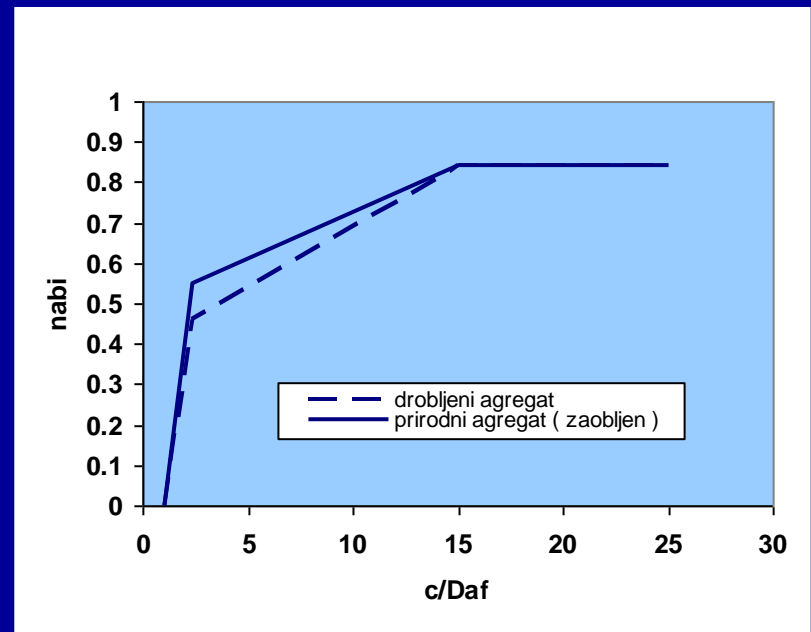
# Kriterij blokiranja

- uzima u obzir geometriju presjeka
- proračunom se dobiva potreban volumen paste kako bi se izbjeglo blokiranje krupnog agregata između šipki armature
- povećanjem paste povećava se razmak zrna agregata
- ako je razmak zrna premali - dolazi do blokiranja



# Krivulja rizika

- Krivulja rizika pokazuje koliki je rizik da dođe do blokiranja prilikom tečenja betona kroz uske prolaze.
- Apscisna os prikazuje omjer najmanje dimenzije otvora, kroz koji beton mora proći, i dimenzije zrna agregata ( $c/D_{af}$ ).
- Ordinatna os nam prikazuje koliki je omjer između volumena zaglavljelog agregata i ukupnog volumena betona ( $n_{abi}$ )



$$n_{abi} = V_{abi} / V_t$$

-  $V_{abi}$  volumen zaglavljelog agregata

-  $V_t$  ukupni volumen betona

$M_i$  ,  $M_i - 1$  – najveća i najmanja veličina zrna agregata

$c$  – min. razmak armature

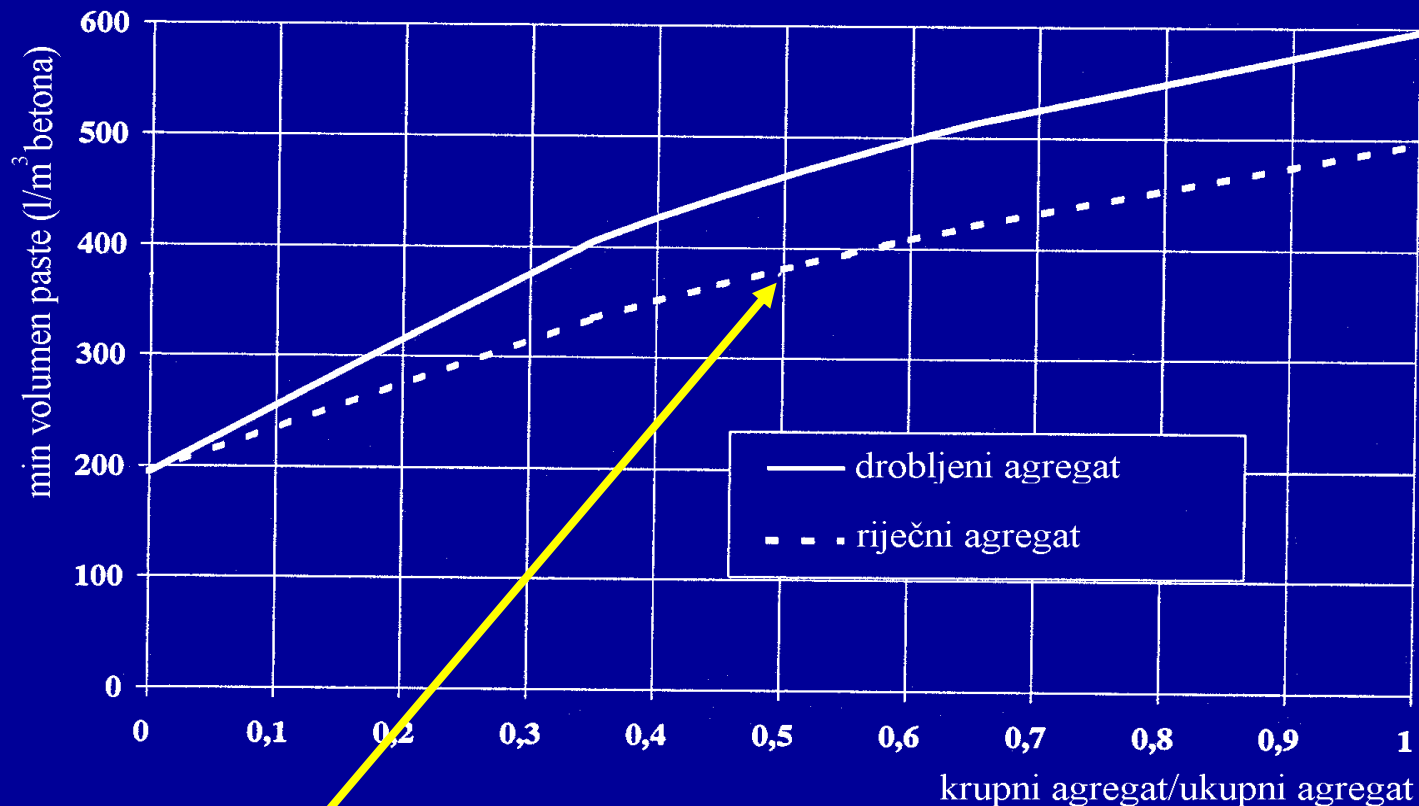
$$D_{af} = M_i - 1 + \frac{3}{4} (M_i - M_i - 1)$$

# Rizik zaglavlivanja

$$\text{rizik zaglavlivanja} = \sum_{i=1}^n (n_{ai} / n_{abi}) = \sum_{i=1}^n \frac{(V_{ai} / V_t)}{(V_{abi} / V_t)} = \sum_{i=1}^n (V_{ai} / V_{abi}) = 1$$

- $V_{ai}$  – volumen agregata
- $V_{abi}$  – volumen agregata koji je doveo do zaglavlivanja
- $V_t$  – ukupni volumen betona

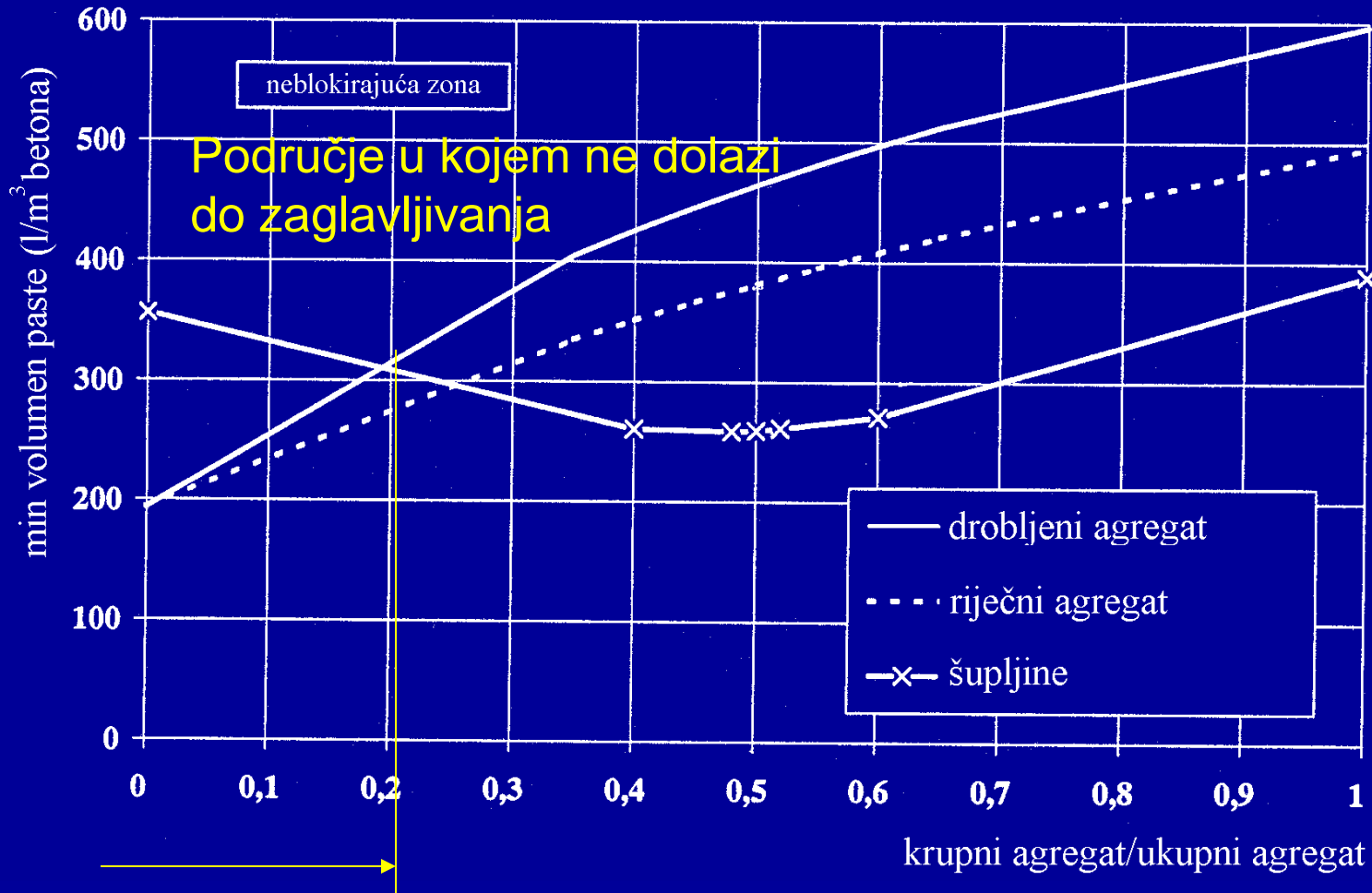
Dijagram koji pokazuje koliki je volumen šupljina između zrna agregata kojeg treba popuniti cementna pasta.



riječni agregat ima manje unutrašnje razmake zrna



# Minimalni volumen paste



dominira utjecaj šupljina

# **PROIZVODNJA I UGRADNJA**

# PROIZVODNI POGON

- Proizvodnja samozbijajućeg betona moguća je samo u kontroliranim uvjetima (striktna kontrola sastavnih komponenata, opreme i procesa proizvodnje)
- Potrebno je stručno osoblje za proizvodnju betona, a poželjno je i iskustvo sa posebnim betonima
- Tvornice betona moraju posjedovati certifikat tvorničke kontrole proizvodnje betona

# PROIZVODNI POGON

- Potrebni su natkriveni skladišni prostori za agregat i mineralne dodatke
- Skladištenje kemijskih dodatak u zatvorenim prostorijama (prema uputama proizvođača)
- Mogu se koristiti svi tipovi miješalica kao i kod običnog betona
- Duljina miješanja je nešto duža nego kod običnog betona

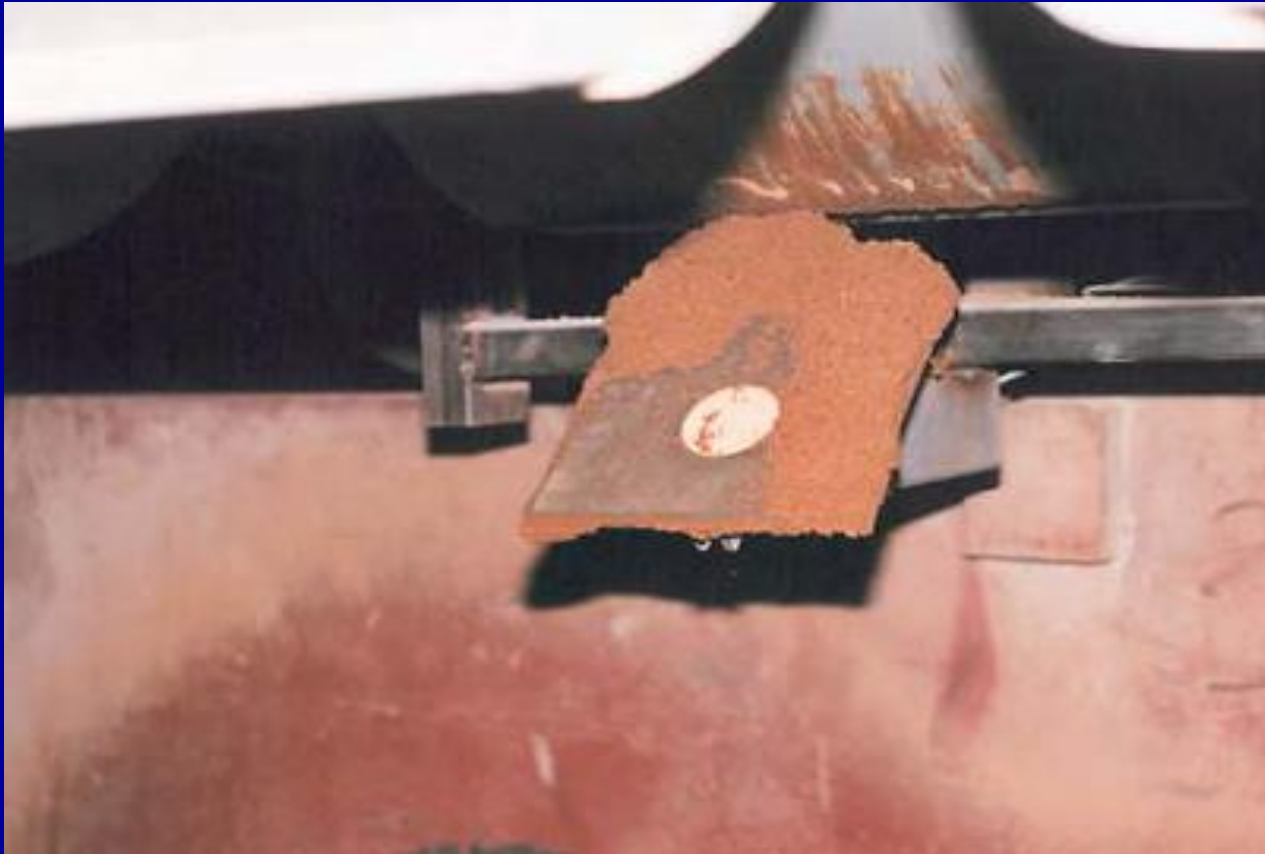




Proizvodni pogoni gdje se proizvodi samozbijajući beton trebaju imati više silosa jer se pored cementa u njima skladišti filer i eventualno mineralni dodaci

# KONTROLA KVALITETE PROIZVODNJE I UGRADNJE

- Kontrola kvalitete proizvodnje sukladna HRN EN 206-1, HRN EN 206-9, a kontrola ugradnje prema HRN EN 13670
- Kontrole granulometrijskog sastava i vlažnosti agregata su znatno češće nego kod običnog betona
- Konzistenciju u početku proizvodnje i ugradnje (dok se ne ustali) kontrolirati na svakom mikseru
- Nužne su češće korekcije i podešavanja sastava nego kod običnog betona



Izgled senzora za mjerenje vlažnosti pijeska



# PROIZVODNJA I UGRADNJA

- Za kvalitetnu proizvodnju i ugradnju ovog materijala neophodno je kvalitetno stručno osoblje
- Svojstvo samougradivosti prilagoditi konstruktivnoj primjeni
- Ovisno o veličini građevine treba precizno izbalansirati kapacitete proizvodnje, transporta i ugradnje
- Ne smije biti zastoja u proizvodnji i ugradnji betona
- Potrebna je stalna vizualna kontrola pri proizvodnji i ugradnji ovog betona

# UGRADNJA

- Ugradnja pumpanjem ili izlivanjem u horizontalnu i vertikalnu oplatu
- Preporuča se prilikom ugradnje:
  - Vertikalni slobodni pad ne veći od 5 m
  - Dopušteno horizontalno tečenje betona 10 m
- Kod ugradnje betona u oplatu više od 3 m nužan je njen proračun na veće opterećenje



# NJEGOVANJE

- Ugrađeni samozbijajući beton se suši brže od običnog betona jer nema izdvajanja vode na površini
- Zbog toga je njegovanje potrebno da započne što prije i da traje što duže



# SAMOZBIJAJUĆI BETON

Kontrolni popis pomoću kojeg projektant, proizvođač i izvođač trebaju prije proizvodnje i ugradnje provjeriti da li su svi preduvjeti uspješne proizvodnje i ugradnje ispunjeni

Svojstvo	Referenca	Zahtjev	Ovjera
<b>SASTAVNI MATERIJALI</b>			
Cement		Sukladnost s HRN EN 197-1	
		Kontrola tipa cementa	
		Preporučljiva količina cementa: 350-450 kg	
Agregat		Sukladnost s HRN EN 12620	
		Kontrola čestica manjih od 0,125 mm	
		Kontrola vlažnosti	
		Utvrđivanje granulometrijskih sastava	
Voda		Kompatibilnost s razmakom šipki armature	
		Sukladnost s HRN EN 1008	
Kemijski dodaci		Sukladnost s HRN EN 934-2	
		Određivanje potrebnog tipa	
		Određivanje očekivane količine doziranja	
Mineralni dodaci		Sukladnost s HRN EN 12620, HRN EN 450, HRN EN 13263 i HRN EN 15167-1 i 2	
		Utvrđivanje granulometrijskog sastava	
		Izbor dodataka koji će se koristiti	
		Određivanje očekivane količine doziranja	
Pigmenti		Sukladnost s HRN EN 12878	
Sirovinski materijali		Izbor svih sirovinskih materijala koji će se koristiti	
<b>SASTAV SMJESE</b>			
Projekt smjese		Projektiranje smjese	
		Krupni agregat <50 %	
		Omjer vode i praškaste komponente = 0,8 – 1,0	
		Ukupna količina prašk.komponente 400 – 600 kg/m <sup>3</sup>	
		Količina pijeska > 40 % volumena morta	
		Pijesak < 50 % volumena paste	
		Pijesak > 50 % mase ukupnog agregata	
		Slobodna voda < 200 l	
	Pasta > 40 % volumena mješavine		
<b>SVOJSTVA OBRADIVOSTI</b>			
Slump tečenje-Abrams		650 – 800 mm	
T <sub>5cm</sub> slump teč.		2 – 5 sec	
J Ring		0 – 10 mm	
V lijevak		8 – 12 sec	
V lijevak-T <sub>5min</sub>		+ 3 sec	
L boks		h <sub>2</sub> /h <sub>1</sub> = 0,8 – 1,0	
U boks		h <sub>2</sub> – h <sub>1</sub> = 30 mm max	
Fill boks		90 – 100 %	
Sito stabilnost		0 – 15 %	
Orimet test		0 – 5 sec	
<b>SVOJSTVA OČVRSNULOG BETONA</b>			
Mehanička čvrstoća		Dobivanje očekivanih vrijednosti nakon 24h, 7 dana, 28 dana	
Skupljanje		Kako je specificirano (projektom)	
Modul elastičnosti		Dobivanje očekivanih vrijednosti	
<b>TESTOVI POTVRĐIVANJA</b>			
Svi testovi		Svojstvo punjenja	
		Svojstvo prolaza	
		Otpornost segregaciji	
		Održavanje obradivosti > 1 sat	

# Završna obrada ploča nakon ugradnje

- što ranije započeti sa završnom obradom
- preporuča se ručna obrada površine kako ne bi došlo do segregacije





# IZGLED POVRŠINE KONSTRUKTIVNOG ELEMENTA

- ovisi o vrsti cementa, sastavu, kvaliteti oplata, postupku ugradnje
- bolji izgled nego kod običnog betona



Primjer kvalitetnog izgleda završne površine  
obojanog samozbijajućeg betona





Kvalitetna oplata i dobro oplatno ulje su bitan preduvjet da površina samozbijajućeg betona bude kvalitetna





Površina elementa  
izrađenog od  
običnog betona



Površina elementa  
izrađenog od  
samozbijajućeg  
betona



Raspored krupnih zrna agregata u samozbijajućem betonu

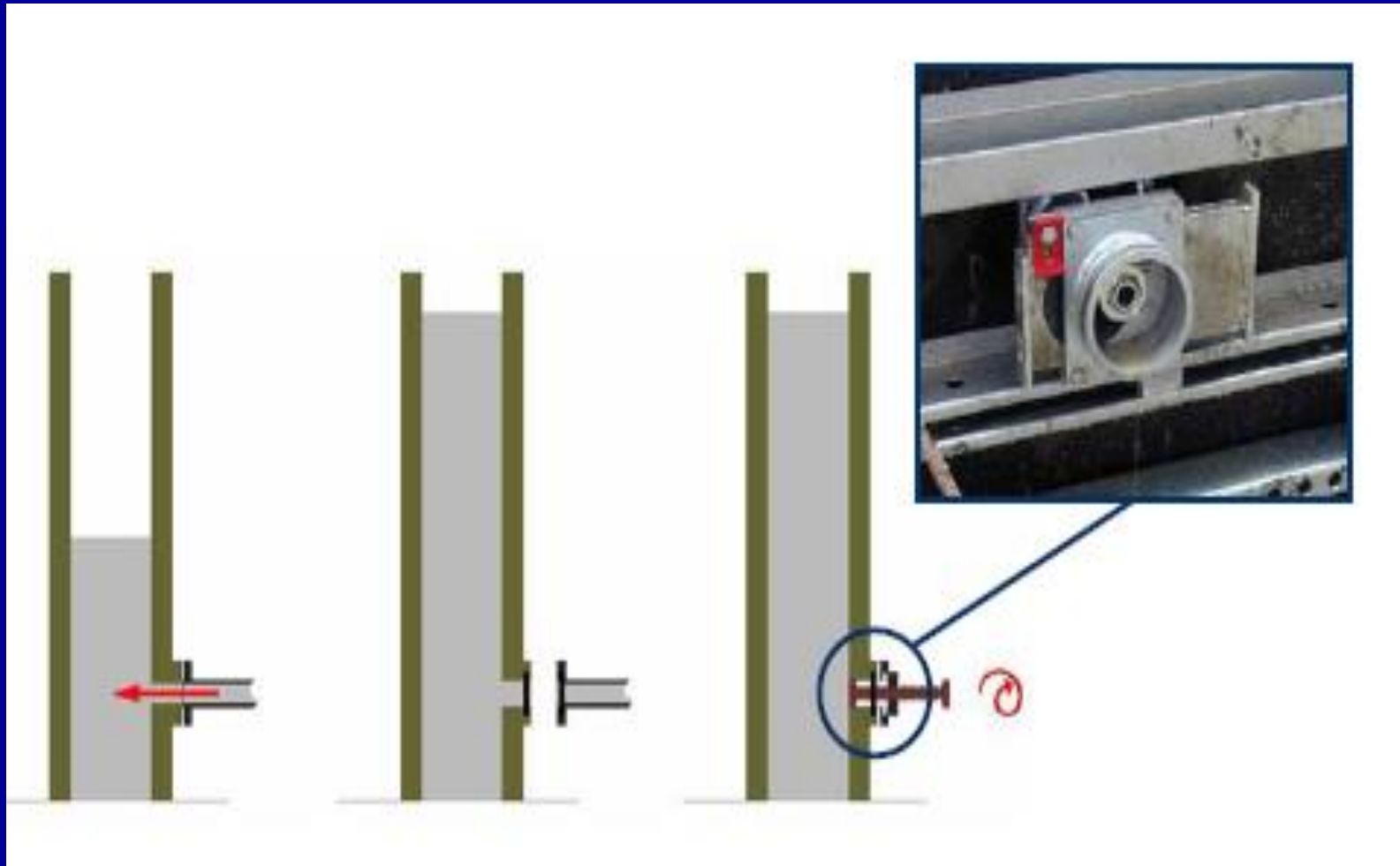


# UGRADNJA SAMOZBIJAJUĆEG BETONA

- Dva osnovna načina:
  - Punjenje presjeka odozgo
  - Betoniranje punjenjem pomoću priključka u dnu oplate



# Posebni detalji priključka na oplatu za ugradnju samozbijajućeg betona



# Pogodnosti za proizvodnju predgotovljenih betonskih elemenata

- Moguća proizvodnja kompleksnijih oblika
- Brži prirast čvrstoće rane čvrstoće od običnog betona omogućuje bržu proizvodnju
- Kvalitetniji izgled vanjske površine

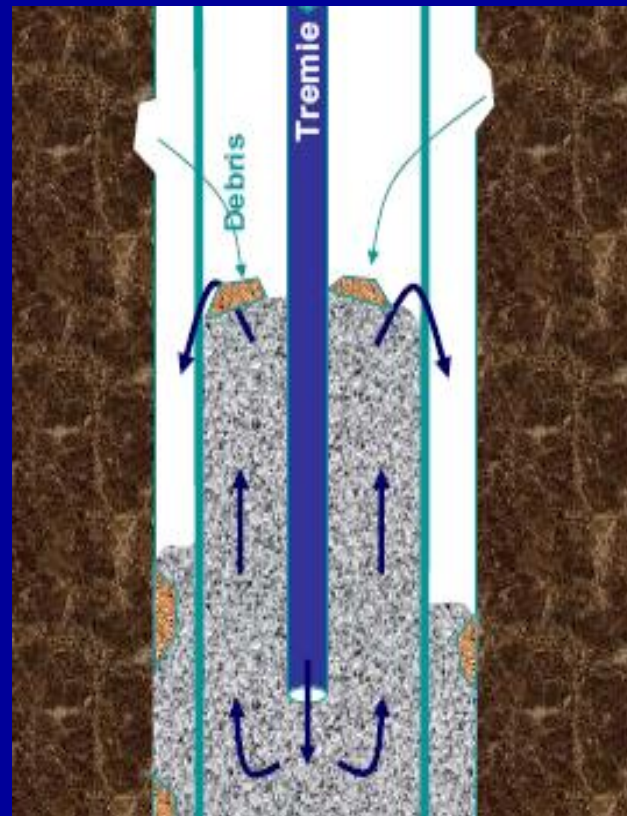


# Primjeri izvedenih elemenata od samozbijajućeg betona



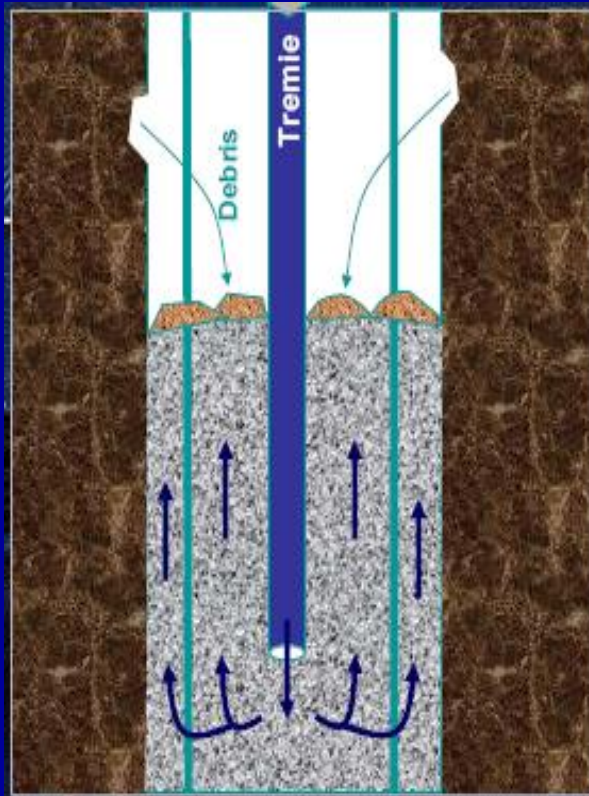


# Usporedbe betoniranja pilota kontraktor postupkom pomoću običnog i samozbijajućeg betona



Obični beton

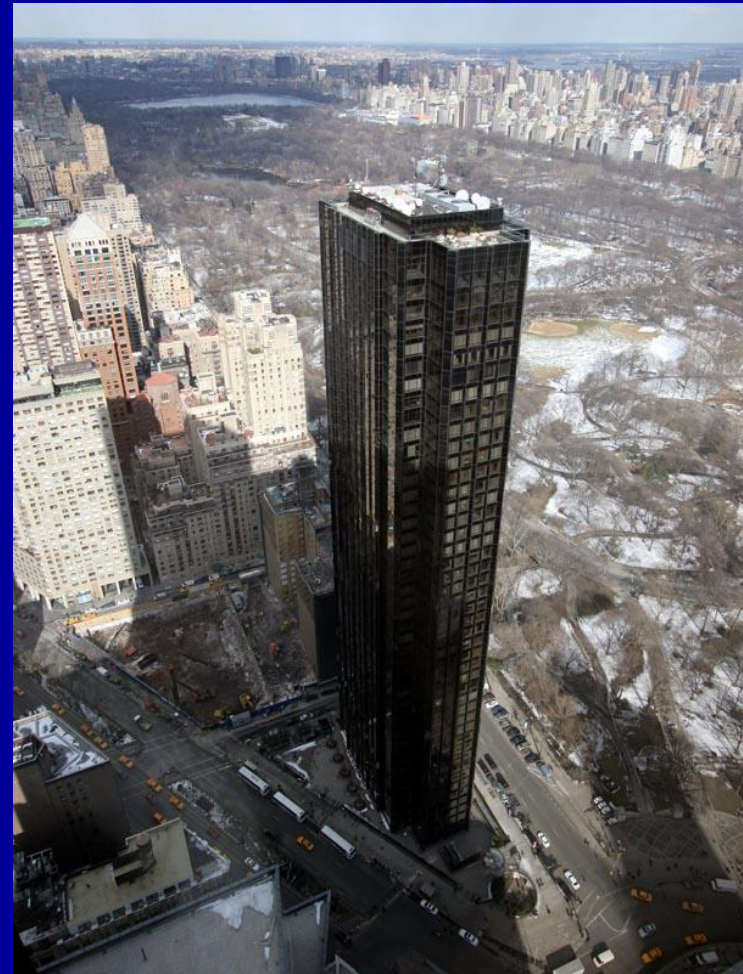
# Usporedbe betoniranja pilota kontraktor postupkom pomoću običnog i samozbijajućeg betona



# PRIMJERI PRIMJENE

# TRUMP TOWER U NEW YORKU

- Korišten je samozbijajući beton za izvođenje temeljne ploče ovog nebodera.
- Zbog velikih dimenzija temeljne ploče bilo je potrebno smanjiti toplinu hidratacije cementa, pa je korišten leteći pepeo i cement s dodatkom zgure.
- Najveća dopuštena temperatura betona za vrijeme ugradnje bila 25 °C, a najveća temperatura nakon ugradnje 75°C





# TRUMP TOWER U NEW YORKU

- Nakon 28 dana postignuta je tlačna čvrstoća od 85 MPa.
- Dvije smjene radnika radile su 22 sata da bi isporučile 4100 m<sup>3</sup> samozbijajućeg betona na gradilište.
- Dimenzije temeljne ploče su 60 m x 20 m x 3.5 m.



# GREAT BELT





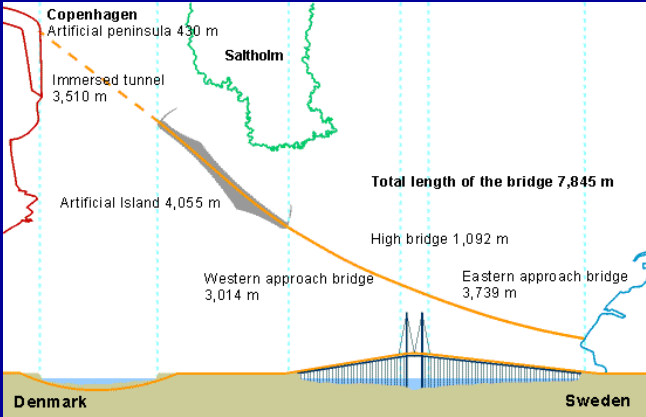
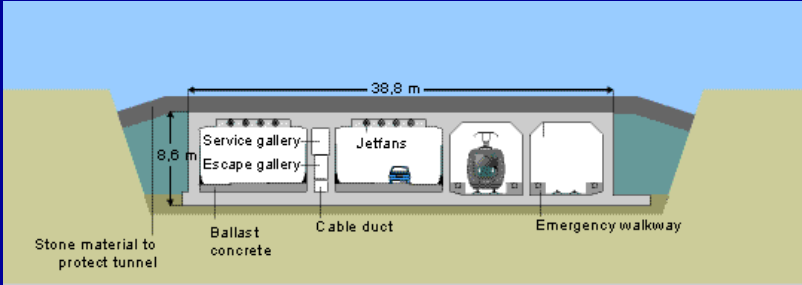
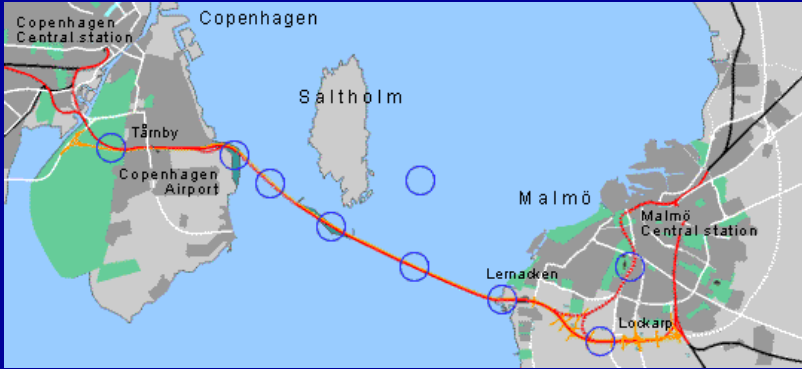
**GREAT BELT**



# 8 km istočni dvocjevni tunel 62,000 betonskih elemenata



# Oresund Link





Tunel i nadvožnjak izgrađeni u sklopu projekta "Sodra Lanken" u blizini Stockholma





**SCC ploče mosta  
Nebraska Skyline**



**SCC nosači u tvornici betona,  
primjenjeni za most u Virginiji -  
Pamunkey River bridge**



**SCC u Rosenthal Center u  
Cincinnatiju – povećana  
produktivnost – skraćeno  
vrijeme gradnje**

## Primjena SCC u Japanu



SCC beton  
ugrađivan  
pumpom s  
200 m  
udaljenosti i  
s visine od  
3 m bez  
segregacije.

Akashi-Kaikyo most:



## Primjena SCC u Japanu



Primjena SCC skratila gradnju za 20%, s 2.5 na 2 godine.



## Primjena SCC u Japanu - Osaka terminal ukapljenog plina

- Najveći terminal na svijetu
- Smanjen broj radnika s 150 na 50
- Skraćeno vrijeme gradnje s 22 na 18 mjeseci



# **NACIONALNI CENTAR ZA DRAMSKU UMJETNOST U MONTREUILU**



# **NACIONALNI CENTAR ZA DRAMSKU UMJETNOST U MONTREUILU**

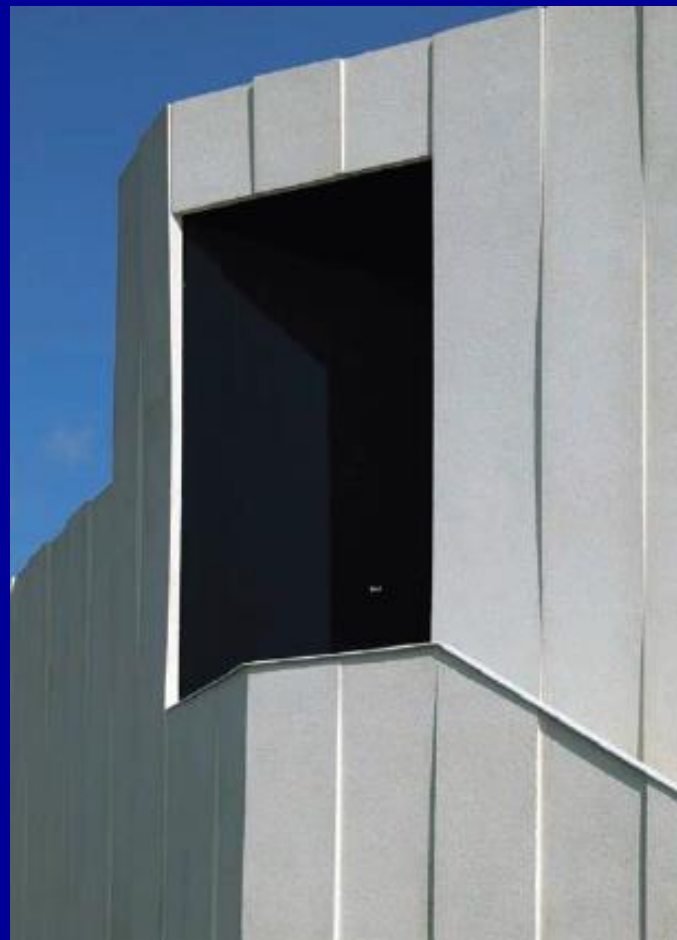


# UMJETNIČKI CENTAR U LA CORUÑI





# SPORTSKI KOMPLEKS GOBELA

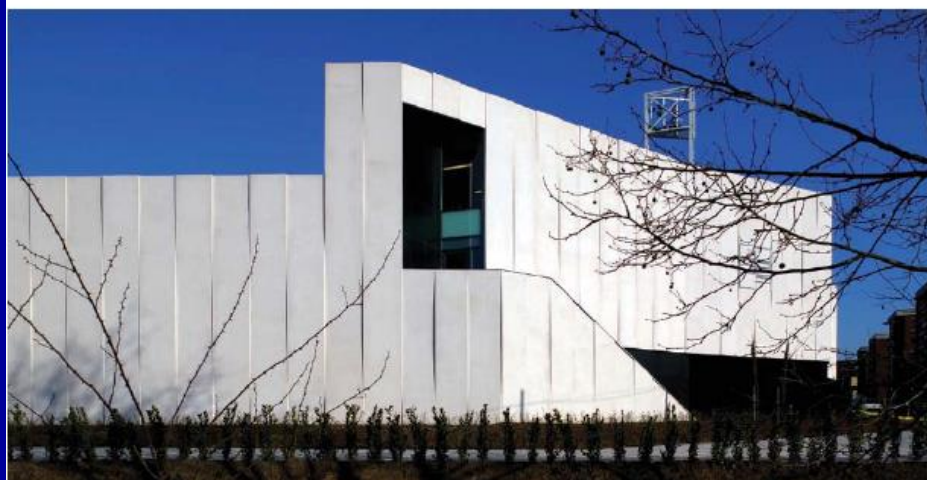


# SPORTSKI KOMPLEKS GOBELA





# SPORTSKI KOMPLEKS GOBELA



# TORANJ TORRE DEL AGUA. Zaragoza



# TORANJ TORRE DEL AGUA. Zaragoza





# TORANJ TORRE DEL AGUA. Zaragoza



**'The Collection'. City and County Museum. Lincoln**



**'The Collection'. City and County Museum. Lincoln**





**'The Collection'. City and County Museum. Lincoln**

