

MLAZNI BETON

SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK

MLAZNI BETON

- Primjena počinje sredinom 20. st. → izum stroja rotorskog tipa
- Beton se ugrađuje na stijenu, postojeću betonsku oblogu ili neki drugi materijal
- Ugrađuje se pomoću komprimiranog zraka



Primjer ugradnje mlaznog betona

Osobine:

- Građevinski proces, a ne materijal
- Pokazuje odlično svojstvo da se priljepi na neki od materijala poput već postojećeg betona, kamena, čelika i drugih materijala
- Iznimo bitna čvrstoća lijepljenja
- Ističe se visokom čvrstoćom, niskom propusnošću, izdržljivošću i trajnošću
- Otporan na atmosferske i kemijske utjecaje

Prednosti u odnosu na klasični beton (klasičnu ugradnju):

- Praktičnost
- Manji troškovi
- Brza ugradnja
- Za težak pristup radnoj površini
- Betoniranje u tankim slojevima
- Betoniranje promjenjivih debljina



Ugradnja mlaznog betona pri težem pristupu radne površine i promjenjivim debljinama

Područje primjene:

a). Podzemne građevine i tuneli

- Osnovni element podgrade tunela
- Njegova primjena kod tunela ima višestruka značenja:
 - Zaštita higroskopskih stijena i stijena osjetljivih na prisustvo zraka
 - Oblaganjem se sprječavaju pojave bubrenja
 - Stvara se obloga koja je u toku vezivanja betona popustljiva zbog visokog modula elastičnosti, a kasnije ima visoku nosivost i krutost u očvrslom stanju
 - Sprječava odlamanje manjih blokova
 - Sloj prskanog betona stvara kvalitetnu ljusku nekvalitetnoj stijeni
 - Zatvaranjem pukotina i vezivanjem za stijenu poboljšavaju se mehanička svojstva stijene i sprječava se raspadanje

b). Zaštita pokosa

- Loše uklapanje u prirodni okoliš
- Zbog svojih prednosti te uz razvijenu tehnologiju sve veća upotreba u ovom području primjene

Zaštita pokosa mlaznim
betonom



c). Rekonstrukcija

- Popravci raznih oštećenih površina: beton, čelik, drvo ili neki drugi materijal

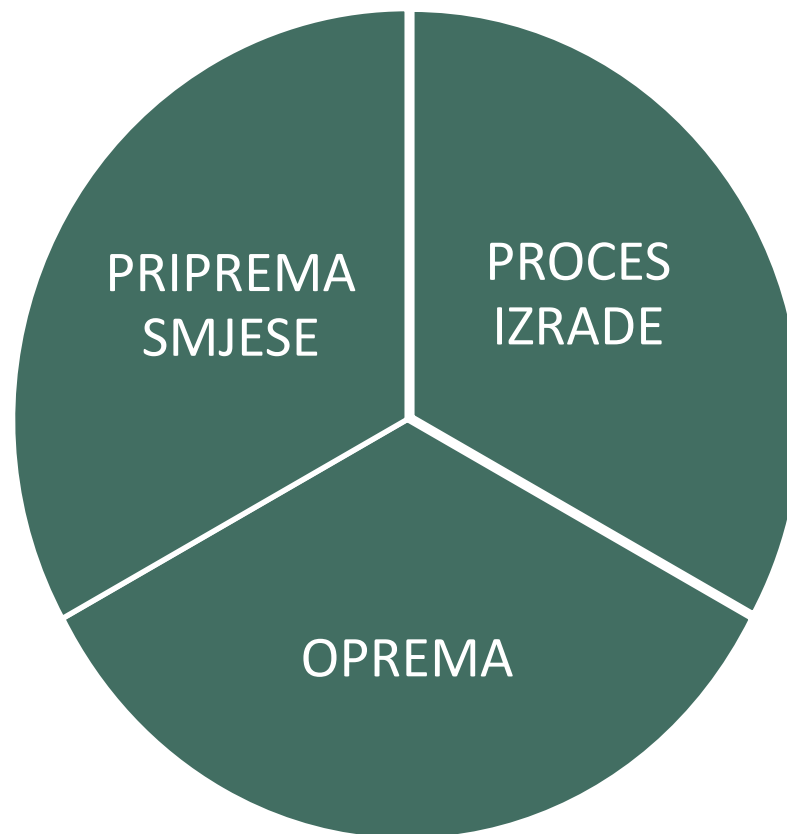
d). Nova konstrukcija

- Kod tankih slojeva i velikih površina ušteda vremena
- Primjeri konstrukcija: bazeni i tankovi, podovi, zidovi, stupovi, grede, zaštita građevne jame uz pomoć štapnih sidara



City center one, Split

TEHNOLOGIJA IZVEDBE



Priprema smjese mlaznog betona:

- Osnovne komponente su: agregat, cement, voda, aditivi.

Agregat

- Primjena agregata max veličine zrna 16 mm (udio pijeska i šljunka oko 75%)
- O izboru agregata ovisi homogenost mješavine, postizanje mehaničkih svojstava, obradivost i trajnost
- Neznatne promjene udjela sitnih čestica ($< 0,125$ mm) → mješavine neupotrebljiva za špricanje
- Prevelik udio sitnih čestica smanjuje otpornost betona na smrzavanje

Cement:

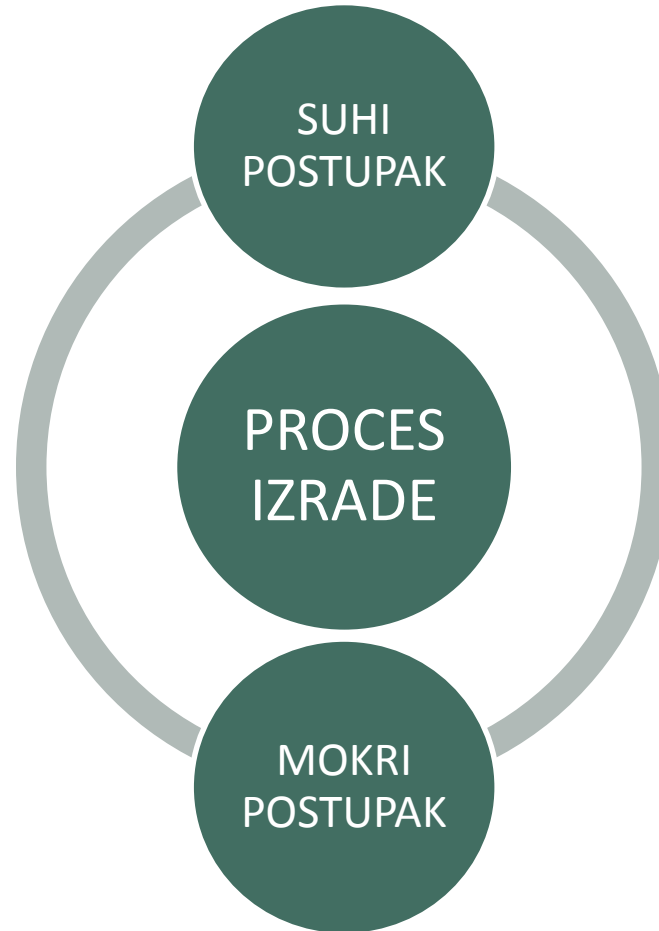
- Koriste se portland cementi propisani normom HRN EN 197, obično razreda tlačne čvrstoće 32,5N
- Cement ne smije biti star i mora biti skladišten na suhom mjestu ili u silosu za cement

Voda:

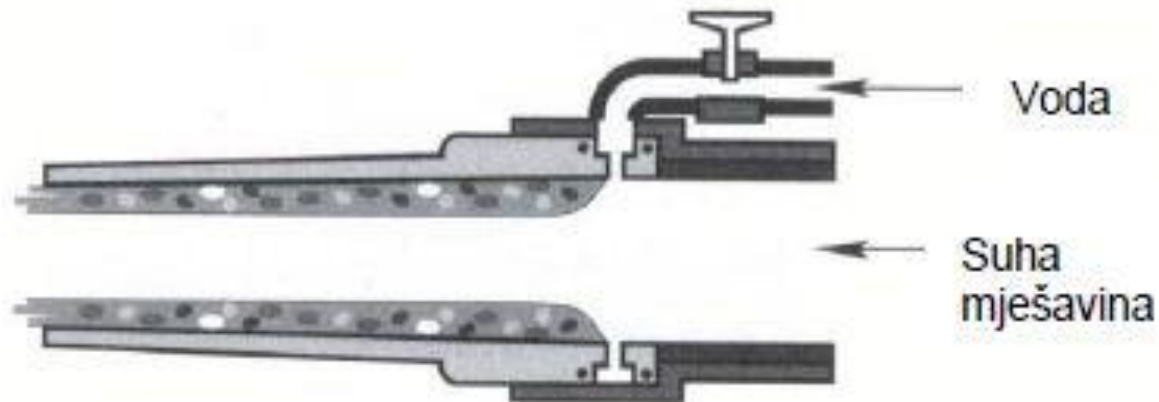
- Voda mora biti čista u skladu sa zahtjevima norme HRN EN 1008
- Bez komponenti koje mogu usporiti ili onemogućiti hidrataciju kao što su ulja, kloridi, sulfati, šećeri i soli

Dodaci:

- Kako bi mlazni beton zadovoljio uvjete tiksotropnosti, ugradljivosti te ostalih potrebnih osobina
- Da bi mlazni beton ispunio uvjete ubrzanog očvršćivanja, neminovna je primjena ubrzivača
- U slučaju primjene suhog postupka praškasti ubrzivač se dozira neposredno po ubacivanju suhe smjese u stroj za prskanje vode, a voda se dodaje na samoj mlaznici
- U slučaju primjene mokrog postupka ugradnje prilikom spravljanja mlaznog betona dodaju se plastifikatori i voda u samu mješalicu, a ubrzivač se dodaje na samoj mlaznici

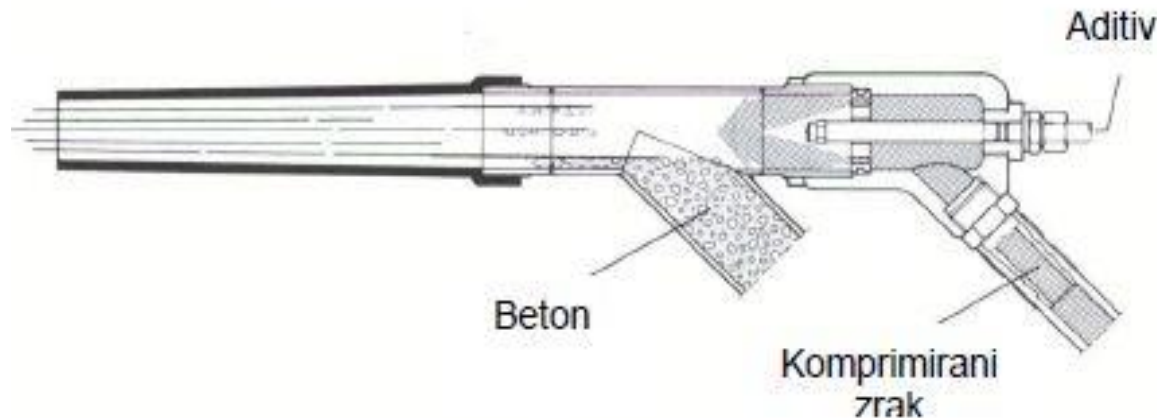


Suhi postupak:



- Uobičajeni vodocementni faktor od 0,35 do 0,5
- Pogodan kada treba zaštititi manje površine, a zahtijeva se visoka početna čvrstoća

Mokri postupak:



- Uobičajeni vodocementni faktor oko 0,45
- Primjenjuje se kada je mlaznim betonom potrebno prekriti velike površine te postići visoku kvalitetu izvedbe

Prednosti suhog postupka:

- Velika duljina transporta
- Nije potrebno miješati
- Deblji slojevi u jednom koraku
- Dug životni vijek opreme
- Niski troškovi održavanja opreme
- Nema zastoja u radu

Prednosti mokrog postupka:

- Smanjena emisija prašine
- Postojana konzistencija morta
- Dobar postupak u slučaju skućenog prostora
- Jednostavna završna obrada
- Manji odskok, minimalna okolna zaštita
- Minimalni radni prostor

Oprema:

- Dvije komore: gornja zračna i donja radna
- Zvonasti zatvarač
- Dozator
- Gumeno crijevo
- Mlaznice



Pumpa za mlazni beton

Kompetentnost izvođača:

- Uspjeh izvedbe mlaznog betona uvelike ovisi o vještinama i sposobnostima mlazničara
- Imperativ da kvalificarni radnici obavljaju proces
- Mlazničar mora imati certifikat za ovakav proces



Mlazničar

TIPOVI MLAZNIH BETONA

Nearmirani mlazni beton uslijed vlačnog naprezanja doživljava deformacije i pucanja → Armirati mlazni beton

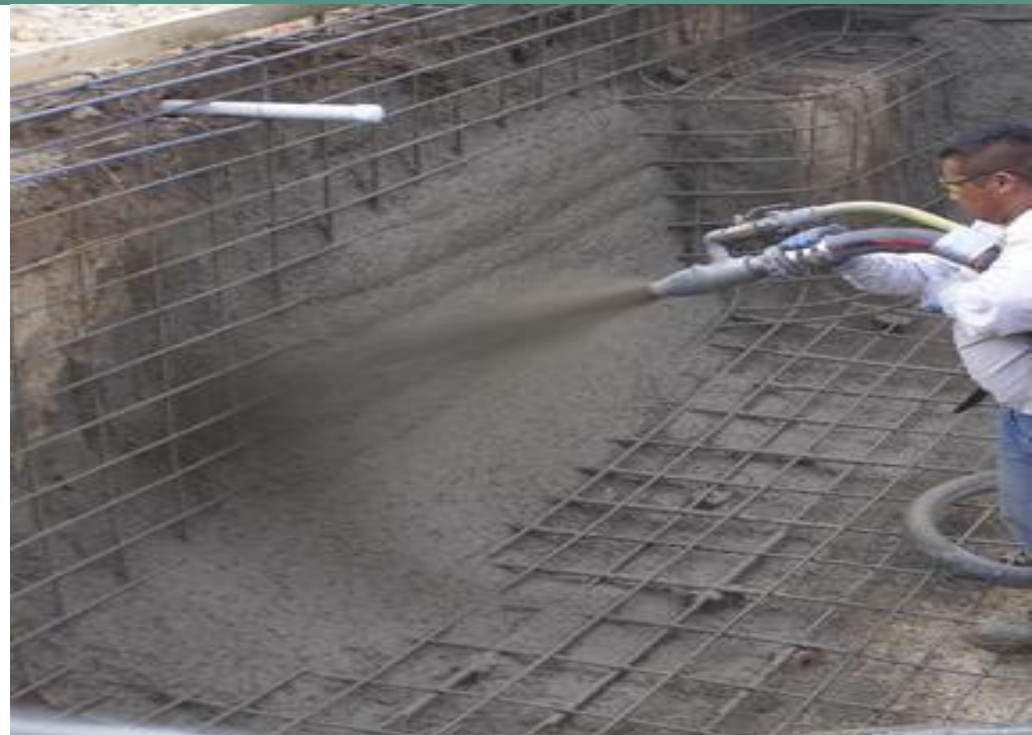
Armiranje: Armaturna mreža i vlakna

Tipovi mlaznih betona:

- Mlazni beton armiran čeličnom mrežom
- Mikroarmirani mlazni beton sa čeličnim vlaknima
- Armiranje mlaznog betona makrosintetičkim vlaknima

Mlazni beton armiran čeličnom mrežom:

- Uobičajan način izvedbe
- Mrežasta armatura svojim vibriranjem nastalim udarom mlaznog betona dodatno rastresa mlazni beton tokom ugradnje
- Danas se sve armaturna mreža zamjenjuje upotrebom vlakana



Armiranje čeličnom mrežom

Mikroarmirani mlazni beton sa čeličnim vlaknima (MAMB):

- Posebno dizajnirana → ojačanje betona
- Ovisno o potrebi projekta razlikuju se po dimenzijama i po oblicima (valovita vlakna, ravna vlakna sa kukastim krajevima, ravna vlakna sa plosnatim krajevima)
- Prednosti primjene MAMB-a u odnosu na mlazni beton armiran armaturnom mrežom su:
 - Manji utrošak betona
 - Manji utrošak rada
 - Sa MAMB-om se bolje slijede neravnine iskopa
 - Sigurniji je rad
 - Sad u skućenom prostoru lakše je organizirati
- Danas čelična vlakna zamjenjena sintetičkim vlaknima

Armiranje mlaznog betona makrosintetičkim vlaknima:

- U potpunosti zamjenjuju čeličnu mrežnu, odnosno čelična vlakna
- Napravljena su od kombinacije polipropilena i polietilena
- Velike financijske uštede
- Postižu se i neke dodatne koristi svojstvene sintetičkim vlaknima:
 - Imaju malu obujamsku masu
 - Manja vjerojatnost stvaranja gruda
 - Stabilna su u alkalnoj okolini betona i hidrofobne su površine
 - Nema magnetskih svojstava i svojstava vodiča
 - Povećavaju požarnu otpornost
 - Nema rizika od korozije



Enduro 600

Armiranje mlaznog betona mikrosintetičkim vlaknima:

- Fina, homopolimerna vlakna načinjena od čistog polipropilena, a obično se koriste u dimenzijama od 12 do 18 mm
- Njihova posebna izrada i oblik jamče ravnomjernu distribuciju po cijeloj smjesi
- Kombinacijom makro i mikro sintetičkih vlakana nastaju najkvalitetnije betonske konstrukcije
- Povećavaju vlačnu otpornost betona i omogućuju optimalnu završnu obradu → široka primjena i koriste se za estrihe, tunele i sve ostale završne obrade kod kojih je potrebno spriječiti mikropukotine
- Vatrootporna
- Doziraju se 0,9 kg/m³ betona → minimalni trošak sa maksimalnim učincima

ISPITIVANJE BETONA

Ispitivanje betona u svježem stanju:

- Ispitivanje konzistencije betona mjerom rasprostiranja
- Ispitivanje penetrometrom

Ispitivanje betona u očvrslom stanju:

- Ispitivanje tlačne čvrstoće betona
- Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem
- Ispitivanje vlačne čvrstoće cijepanjem

BETONI VISOKIH ČVRSTOĆA. BETONI VISOKIH UPORABNIH SVOJSTAVA

SVEUČILIŠTE
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER
UNIVERSITY OF OSIJEK

BETONI VISOKIH ČVRSTOĆA I VISOKIH UPORABNIH SVOJSTAVA

Betoni visokih čvrstoća i betoni visokih uporabnih svojstava nisu sinonimi!

Beton visoke čvrstoće

- povećana tlačna čvrstoća

Beton visokih uporabnih svojstava

- povećana tlačna čvrstoća
- obradljivost, dugotrajnost i druga svojstva

Tlačna čvrstoća betona prikazana razredima tlačne čvrstoće:

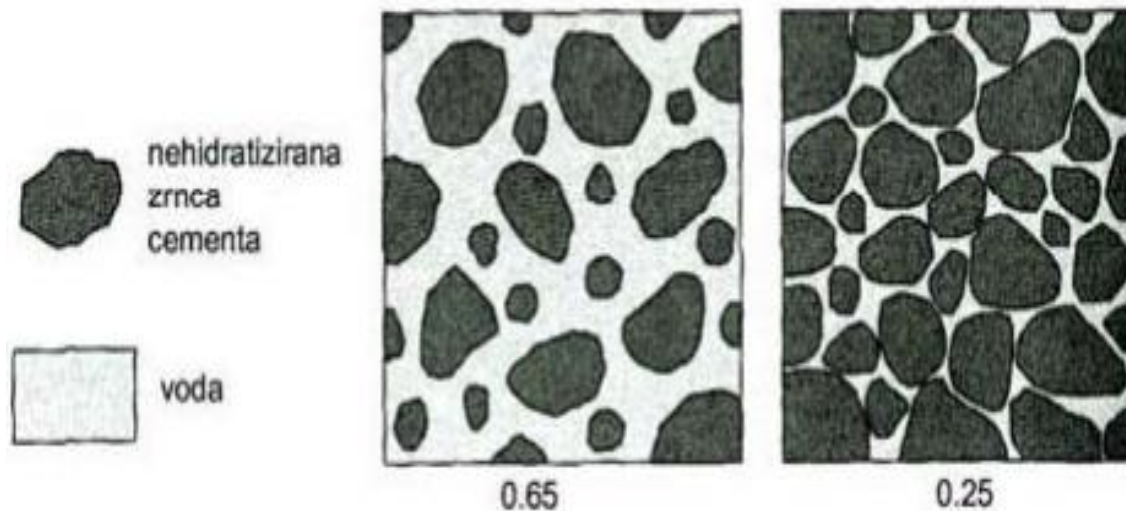
- betoni običnih čvrstoća od C12/15 do C50/60
- betoni visokih čvrstoća prema hrvatskom zakonodavstvu od C55/67 do C100/115

Porastom tlačne čvrstoće → beton poboljšane mikrostrukture i drugih svojstava.

PROJEKTIRANJE SASTAVA BETONA

Voda

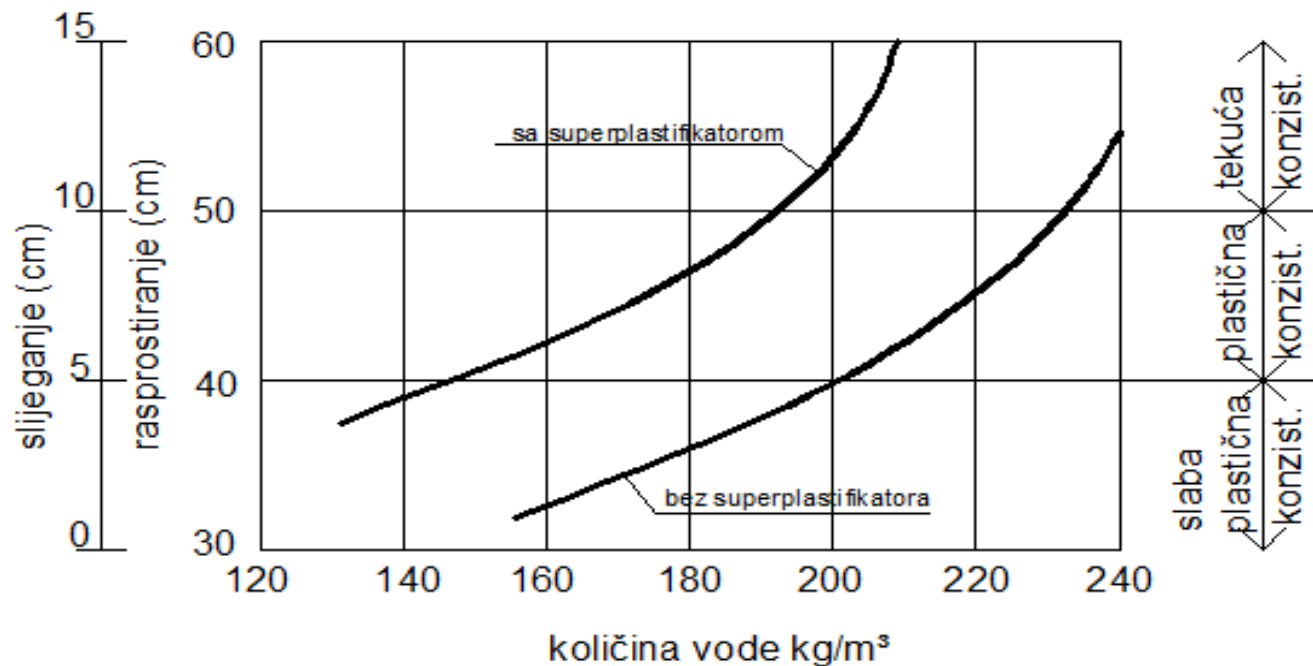
- za betone visokih čvrstoća i visokih uporabnih svojstava :
 - manja količina vode, tj. niski vodocementni faktor



Prikaz dviju mješavina svježeg betona s različitim vodocementnim faktorima: 0,65 i 0,25

Dodaci

- Niski vodocementni faktor → vrlo kruta konzistencija
- a) plastifikator i superplastifikator → smanjuju udio vode
→ poboljšavaju obradljivost



Konzistencija betona u funkciji upotrebe i neupotrebe superplastifikatora

- b) mikrosilika (engl. silica fume) → veće čvrstoće betona, trajnost, otpornost na smrzavanja i odmrzavanja, te otpornost na druge kemijske utjecaje → zrna mikrosilike veličine 1/50 do 1/100 veličine zrna cementa

Agregat

- Manja zrna agregata → veća čvrstoća

Ovisnost maksimalne veličine zrna agregata i tlačne čvrstoće

Maksimalna veličina zrna (mm)	Tlačna čvrstoća (MPa)
20 - 28	70
10 - 20	100
10 - 14	125

- agregati visokih mehaničkih svojstava:
 - kvarcit (tlačna čvrstoća = 250-400 MPa),
 - kvarc (tlačna čvrstoća = 200-300 MPa),
 - dijabaz (tlačna čvrstoća = 150-200 MPa)
 - jedar krečnjak (tlačna čvrstoća = 100-200 MPa)

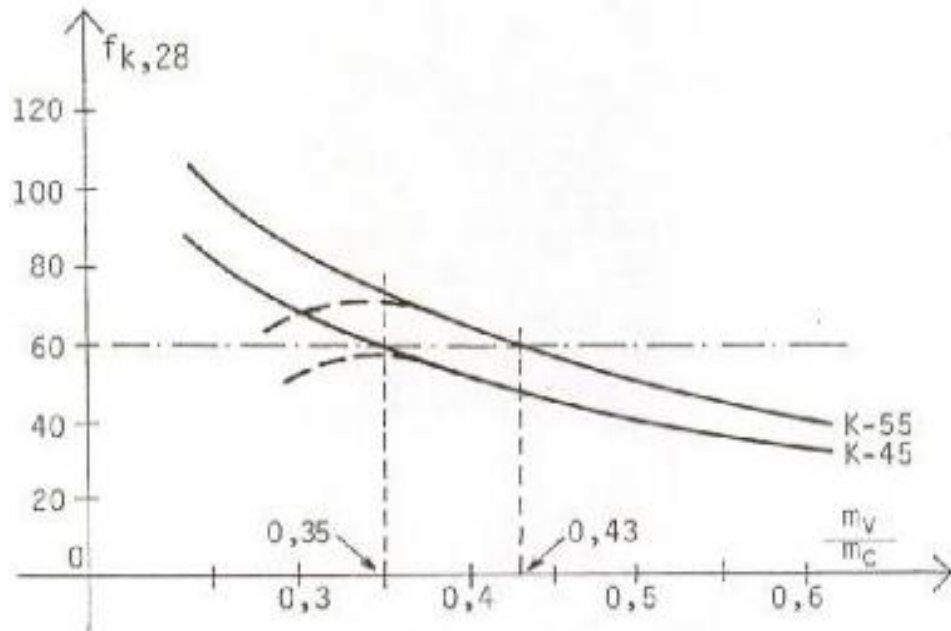
Veživo

- Više cementa
- Cementi viših klasa i bržih prirasta čvrstoće
- Prednost portland cementu

BETONI VISOKIH ČVRSTOĆA

Cilj: dobiti izuzetno zbijen beton

- Smanjivanjem sadržaja vode u betonu
- Kruta konzistencija → odgovarajuća sredstva za zbijanje



- Krivulje odgovaraju korištenju normalnog agregata
- Za agregat visoke čvrstoće vrijednosti veće od 8%
- Ugrađivanje nije izvedeno na pravilan način – isprekidane crte

Ovisnost tlačne čvrstoće i v/c za betone visokih čvrstoća

BETONI VISOKIH UPORABNIH SVOJSTAVA

Klasifikacija betona visokih uporabnih svojstava

- veća čvrstoća od običnog betona i barem jedno poboljšano svojstvo prednosti u odnosu na normalne betone od navedenih:
 - zbijanje bez segregacije
 - rani razvoj čvrstoće
 - dugotrajna čvrstoća i mehanička svojstva
 - gustoća
 - dugotrajnost u teškim okruženjima

Parametar	Visoka čvrstoća	Vrlo visoka čvrstoća	Ultra visoka čvrstoća
Tlačna čvrstoća (MPa)	42-100	100-150	>150
Vodovezivni omjer	0,45-0,30	0,30-0,24	<0,24
Kemijski dodatak	plastifikator/ superplastifikator	superplastifikator	superplastifikator
Mineralni dodatak	lebdeći pepeo, mikrosilika	mikrosilika	mikrosilika
Koeficijent propusnosti (cm/s)	10^{-11}	10^{-12}	$<10^{-14}$
Zaštita od smrzavanja i odmrzavanja	aeriranje	aeriranje	nema slobodne vode

Običan beton s aditivima

- Aditivi: plastifikator i superplastifikator
 - koristimo za izbjegavanje isprekidanih linija
 - dobru ugradljivost i završnu obradljivost tj. beton visokih uporabnih svojstava

Čvrstoća superplastificiranih betona

v/c omjer	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,23
Cement, kg/m ³	334	355	387	404	435	474	512
Superplastifikator (% aktivne komponente na masu cementa)		0,29	0,42	0,59	0,75	0,92	1,20
Tlačna čvrstoća (MPa)							
1 dan	11	13	18	20	30	42	47
7 dana	32	43	51	59	75	85	94
28 dana	42	53	59	70	86	97	111

Beton visokih uporabnih svojstava s mikrosilikom

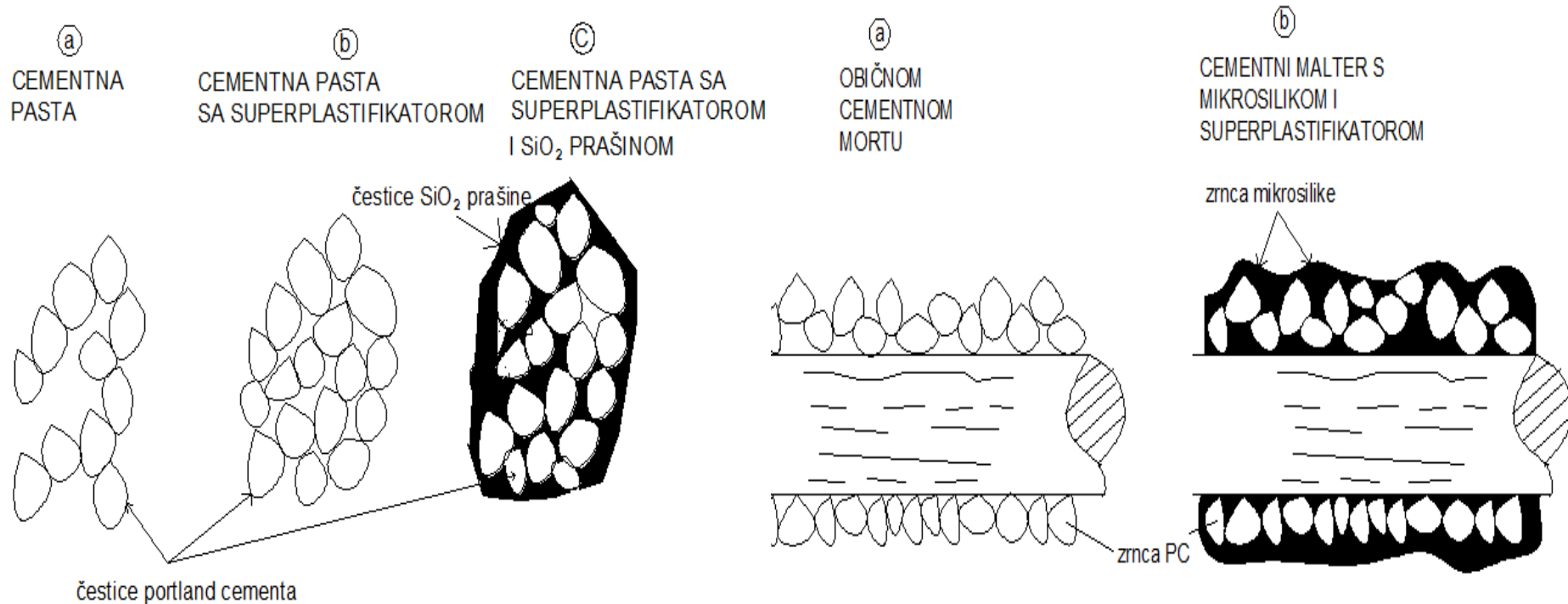
- zrna veličine 1/50 do 1/100 veličine zrna cementa
- cijela površina raspoloživa za kemijsku reakciju
- popunjava praznine između zrna cementa
- Čvrstoća, trajnost i nepropusnost betona zavise o prisutnosti velikih pora u hidratiziranom cementu i mikropukotina u graničnoj zoni cementnog kamena i agregata
- Dodatkom mikrosilike smanjena veličina pora i debljina graničnog sloja između paste i agregata
 - veće čvrstoće, trajnost, otpornost na smrzavanja i odmrzavanja, otpornost na sulfatnu agresiju i druge kemijske reakcije za razliku od običnih maltera i betona



Mikrosilika

▪ **Smanjen vodocementni omjer**

- male veličina čestica mikrosilike - bolje slaganje čestica i popunjavanje praznina između zrna cementa



Struktura paste u svježem stanju

Armatura

Autoklavirani beton visokih uporabnih svojstava s dodatkom mikrosilike

■ Autoklaviranje

- obrada materijala pod visokim pritiskom, povećanom vlažnosti i pri visokoj temperaturi
 - predgrijavanje betona na 20°C 8 do 10 sati
 - zagrijavanje na 60°C, pri nižim pritiscima, 5 do 8 sati
 - zagrijavanje na 180 do 200°C, pri optimalnom pritisku od 8 bara, 15 sati
-
- betoni koji u vrlo kratkom vremenu imaju visoku čvrstoću
 - veća konačna čvrstoća
 - specijalno pripremljeni cementi – BINDERI
 - cementi visokih klasa i brzih priraštaja čvrstoća, silikatna prašina i posebni tipovi superplastifikatora

Usporedni prikaz sastava jednog običnog i jednog autoklaviranog betona sa silikatnom prašinom

Običan beton		Autoklaviran beton sa silikatnom prašinom	
Riječno silikatno – krečnjački agregat		Drobljeni kvarcni agregat	
		0/1,5 mm	310 kg/m ³
0/10 mm	1295 kg/m ³	1,5/3,0 mm	540 kg/m ³
7,5/15 mm	555 kg/m ³	3/6 mm	310 kg/m ³
cement	400 kg/m ³	6/8 mm	390 kg/m ³
voda	216 kg/m ³	binder	610 kg/m ³
superplastifikator	4 kg/m ³	voda	198 kg/m ³
		superplastifikator	15 kg/m ³

Karakteristična tlačna čvrstoća nakon 28 dana:

- Obični beton: 40 MPa
- Autoklavirani beton: 160 MPa

Mikroarmirani betoni visokih uporabnih svojstava

Razlika od običnog betona po: a) diskontinuiranim vlaknima

b) povećanoj količini cementa

c) većoj količini sitnog agregata

d) manjem maksimalnom zrnu agregata

- Karakteristična tlačna čvrstoća i do 150 MPa
- Dodavanjem vlakana poboljšava se i duktilnost pri vlačnom opterećenju
- Nakon pojave prve pukotine:
 - Obični beton – slom
 - Mikroarmirani beton – smanjena postpukotinska nosivost
 - MAB visokih uporabnih svojstava – postpukotinska nosivost omogućena



Usporedba dijagrama naprezanje-deformacija pri vlačnom naprezanju savijanjem

- Primjena mikroarmiranih betona sa čeličnim vlaknima: industrijski podovi, predgotovljeni elementi, u tunelogradnji, kod kolničkih ploča, u dijelovima hidrotehničkih objekata, za sanaciju i ojačanje konstrukcije izložene visokim temperaturama, udarnom opterećenju, seizmičkom djelovanju ili eksplozijama
- Čelična vlakna ne mogu u potpunosti zamijeniti klasičnu armaturu - koristi u elementima gdje klasična armatura nije presudna za sigurnost i cjelovitost konstrukcije

Primjer upotrebe betona visokih uporabnih svojstava u građevinarstvu

- Građevina Petronas Twin Towers u Maleziji, visoka 450 m
- Projekt bilo potrebno završiti za 28 mjeseci - svaka etaža za 4,3 dana

a)



b)



c)



Izgradnja Petronas Twin Towers po mjesecima: a) siječanj b) prosinac c) lipanj

korišten beton visokih uporabnih svojstava zbog:

- a) strukturne učinkovitosti
- b) konstruktivnost
- c) udobnost

- Potreba brze izgradnje – beton ranih razvoja čvrstoće
- Ispitivanja provedena in-situ i u laboratoriju.
- Ispitivanja u laboratoriju -mjerena tlačna čvrstoća nakon 12, 16, 24 i 96 sati, 7 i 46 dana
- Ispitivanja in situ - uspoređivana sa laboratorijskim ispitivanjima
- nakon 12 i 14 sati zabilježene veće rane čvrstoće

- Polovina oplata skidana nakon 8 sati i 20 minuta - druga polovina skidana nakon 13 sati

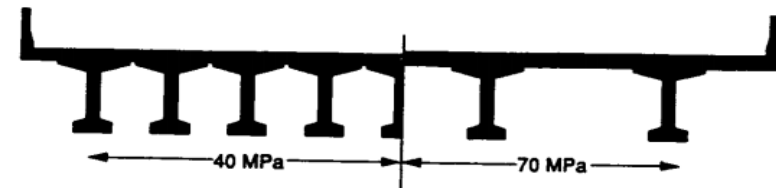
Most u Joigny - beton čvrstoće 60 MPa umjesto 35 MPa

- Smanjila se količina potrebnog betona za 30 %



Most u Joigny

- most raspona 29 metara - betona čvrstoće 80 MPa umjesto 40 MPa
- veći raspon za 17%
- beton čvrstoće 70 MPa umjesto 40 Mpa - broj ležaja smanjen sa devet na četiri



Reduciran broj ležaja

Sastav mješavina

Sastojci betona	MB 60	MB 80	MB 100
Agregat (kg/m ³)	1815	1800	1800
Cement – PC 45	450	460	500
Voda (l/m ³)	180	138	150
Vodocementni faktor, W/C	0,40	0,30	0,30
Superplastifikator (kg/m ³)	0,0 (2%)	18,4 (4%)	17,5 (3,5%)
Silikatna prašina	/	36,8 (8%)	40,0 (8%)
Konzistencija svježe betonske mješavine (cm)	10 – 12	8 – 10	6 - 8

Rezultati ispitivanja očvrstlog betona

Klasa betona	Vlačna čvrstoća (MPa)
MB60	7,62
MB80	7,37
MB100	9,12