

# POLIMEROM MODIFICIRANI BETONI I MORTOVI - BETONI I MORTOVI ZA SANACIJU I OJAČANJE

SVEUČILIŠTE  
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER  
UNIVERSITY OF OSIJEK

## UTJECAJ VREMENSKIH UVJETA



Degradacija betona



Korozija armaturnog čelika

## Polimer kao dodatak betonu:

- Prvi puta upotrijebljen na mostu Cheboygan u Michinganu 1956. g
- Doprinosi prirastu čvrstoće:
  - Tlačne čvrstoće
  - Čvrstoće na savijanje
- Postiže se bolja adhezija sa podlogom
- Povećava se otpornost ulasku kemijski agresivnih tvari, te nepropusnost za fluide
- Povećava se koeficijent puzanja, ali se smanjuje modul elastičnosti

## POLIMERI U GRAĐEVINARSTVU



Polimer ojačan  
ugljičnim vlaknima

- Umjetni materijali dobiveni reakcijama polimerizacije iz jednostavnih molekula monomera
- Zamjena za tradicionalne materijale
- Mogu biti ojačani vlaknima:
  - Staklena vlakna
  - Aramidna vlakna
  - Ugljična vlakna
  - Borna vlakna

## Prednosti polimernih materijala:

- Otporni na kemijske utjecaje
- Lagano se oblikuju
- Paronepropusnost, vodonepropusnost
- Dobra adhezija s drugim materijalima

## Nedostaci polimernih materijala:

- Veliki toplinski koeficijent širenja
- Zapaljivost
- Gorivost
- Promjena svojstava pri uobičajenim temperaturama primjene

## Polimeri armirani vlaknima:

- Razvoj i istraživanje u zadnjih nekoliko desetljeća u građevinarstvu

## Upotreba za:

- vlačne elemente
- elemente opterećene savijanjem
- Standardizirana industrijska proizvodnja

## Prednosti:

- velika čvrstoća
- postojanost na većinu kiselina i lužina
- niska cijena proizvodnje

## Polipropilenska vlakna u betonu:

- Zagrijavanjem do točke omekšanja ne gube svoja mehanička svojstva
- Proizvodnja postupkom ekstrudiranja
- Različitih poprečnih presjeka, obrade površine, dužine vlakana
- Smanjuju mikropukotine u svježem betonu



Polipropilenska vlakna

## BETON I POLIMERI

Beton modificiran polimerima možemo podijeliti u 4. kategorije:

- Polimer portland cementni beton (PPCB)
- Polimer beton (PB)
- Polimerom impregnirani beton (PIB)
- Armirani beton (AB)



## Polimer portland cementni beton

- Primarni mehanizam stvrdnjavanja hidratacijom cementa
- U upotrebi preko 80 godina
- Mogućnost modificiranja svojstava ovisno o primjeni betona
- Poboljšava se obradljivost, adhezija na podlogu, veća nepropusnost za fluide

### Česta primjena:

- Sanacijski radovi
- Poboljšanje veze između starog i novog betona

- Najčešća polimerna disperzija su lateksi
- Proizvodnja lateksa polimerizacijom monomera, pri čemu se izdvaja voda

### Upotrebljavaju se:

- Stiren-butadijenski kopolimeri
- Akrilno-esterni homopolimeri i kopolimeri
- Vinil-acetatni kopolimeri
- Vinil-acetatni homopolimeri



Stiren-butadijenski lateks

## Polimer beton

- Polimer kao vezivo umjesto cementa
- Polimeri su kemijski inertni u odnosu na cement
- Imaju veću tlačnu i vlačnu čvrstoću

## Neka od veziva:

- Epoksidne smole
- Kalijev silikat
- Vinil ester
- Furan



Polimer beton

## Sastav polimer betona

- Poliesterske smole (vezivo):
- Dijele se u 3 kategorije
  - Smole kategorije 1, kategorije 2 i kategorije 3

## Agregat:

- Prvenstveno od silicija, kvarca, granita i dobrih vapnenaca
- Suhi, bez dodatne prljavštine

## Vlakna:

- Ugljična vlakna
- Staklena vlakna
- Čelična vlakna

## Primjer sanacije polimer betonom:

- Oštećenje potpornih stupova
- Korištenje polimer betona na bazi epoksidnog bifenola
- Sanacija stupova ukljanjanjem korozije i postavljanjem šipki
- Dodatna obloga stupova staklenim vlaknima

## Glavno svojstvo polimer betona:

- protočnost



Izgled stupa



Početak sanacije

## Fizikalna svojstva polimer betona

Svojstva nakon 7 dana	Vrijednosti
Gustoća (g/cm <sup>2</sup> )	<b>2,20</b>
Tlačna čvrstoća (MPa)	<b>82,74</b>
Čvrstoća na savijanje (MPa)	<b>20,68</b>
Vlačna čvrstoća (MPa)	<b>16,55</b>
Modul elastičnosti (MPa)	<b>7 446,34</b>
Skupljanje	<b>0,09 %</b>



Obloga stupa



Izgled očvsnulog stupa

## Polimerom impregnirani beton

- Povećana upotreba tijekom 70.-ih godina prošlog stoljeća
- Beton natopljen monomerom

Fizikalna svojstva betona impregniranog sa MMA monomerom polimeriziranog pomoću radijacije kobalta

Fizikalna svojstva	Vrijednosti
Tlačna čvrstoća (MPa)	<b>139,70</b>
Vlačna čvrstoća (MPa)	<b>11,20</b>
Modul elastičnosti (MPa)	<b>43 463,00</b>
Upijanje vode (20°C)	<b>0,29</b>

## Armirani beton

- Prirodna vlakna:
  - Celuloza
- Umjetna vlakna:
  - Polipropilen, polietilen,...
- Smanjuju skupljanje krajnje cementne mikrostrukture



Polimeri armirani vlaknima (izgled poprečnih presjeka)



- Degradacija termostabilnih matrica (temperatura staklišta)
  
- Neke vrste polimera armiranih vlaknima:
  - Polimeri armirani staklenim vlaknima (eng. GFRP)
  - Polimeri armirani ugljičnim vlaknima (eng. CFRP)
  - Polimeri armirani aramidnim vlaknima (eng. AFRP)
  
- Upotreba za nove konstrukcije
- Upotreba za sanaciju i nadogradnju već postojećih građevina

## PROJEKTIRANJE SASTAVA BETONA

Polimerom modificirani beton sadrži sastojke običnog betona uz dodatak polimera

- Agregat, cement, polimer kao dodatak, voda

Polimer beton sadrži sastojke običnog betona osim što je vezivo na bazi polimera

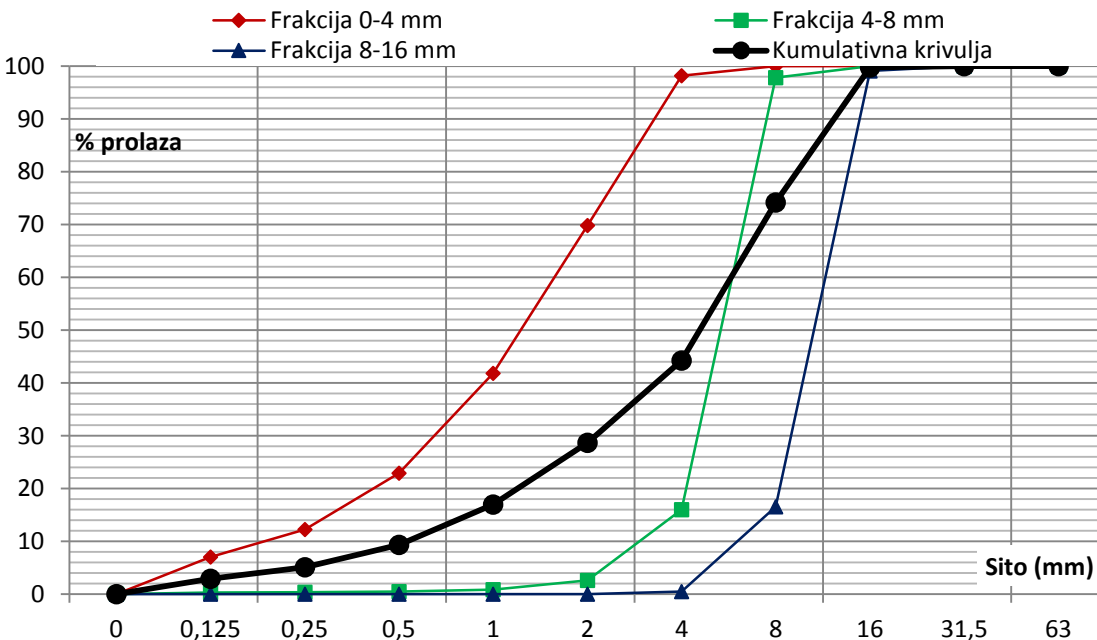
- Agregat, epoksidno vezivo

▪ Izrađene su betonske mješavine:

- M1 – referentni beton
- M2 – polimerom modificirani beton
- M3 – polimer beton

## Kumulativna krivulja agregata

Frakcija (mm)	Udio (%)	Sito (mm)									
		0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	63
0-4	40	2,82	4,91	9,18	16,74	27,93	39,27	40	40	40	40
4-8	30	0,09	0,12	0,15	0,27	0,78	4,8	29,18	30	30	30
8-16	30	0	0	0	0	0	0,16	4,97	29,72	30	30
$\Sigma$	100	2,91	5,13	9,33	17,01	28,71	44,23	74,15	99,72	100	100



Granulometrijska krivulja  
prosijavanja agregata

**Sastav betonske mješavine M1**

Komponenta		Masa (kg)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (dm <sup>3</sup> )
Cement		<b>400</b>	<b>3,05</b>	<b>131,15</b>
Voda (gradski vodovod)		<b>140</b>	<b>1,0</b>	<b>140</b>
v/c		<b>0,35</b>	<b>/</b>	<b>/</b>
Agregat	0-4 mm 40 %	<b>766,70</b>	<b>2,75</b>	<b>278,80</b>
	4-8 mm 30 %	<b>575,03</b>	<b>2,75</b>	<b>209,10</b>
	8-16 mm 30 %	<b>575,03</b>	<b>2,75</b>	<b>209,10</b>
Zrak 3 %		<b>/</b>	<b>/</b>	<b>30</b>
Superplastifikator 0,5 %		<b>2,0</b>	<b>1,08</b>	<b>1,85</b>
<b>Σ</b>		<b>2458,75</b>	<b>2,46</b>	<b>1000</b>

## Sastav betonske mješavine M2

Komponenta		Masa (kg)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (dm <sup>3</sup> )
Cement		400	3,05	131,15
Voda (gradski vodovod)		112	1,0	112
v/c		0,35	/	/
Lateks 20% tekućeg dijela		28	1,05	26,67
Agregat	0-4 mm 40 %	768,16	2,75	279,33
	4-8 mm 30 %	576,13	2,75	209,50
	8-16 mm 30 %	576,13	2,75	209,50
Zrak 3 %		/	/	30
Superplastifikator 0,5 %		2,0	1,08	1,85
Σ		2462,41	2,46	1000

## Sastav betonske mješavine M3

Komponenta		Masa (kg)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (dm <sup>3</sup> )
Eposkid	komp. A 80 %	209,77	1,085	193,34
	komp. B 20 %	52,44	1,085	48,33
Agregat	0-4 mm 40 %	768,16	2,75	279,33
	4-8 mm 30 %	576,13	2,75	209,50
	8-16 mm 30 %	576,13	2,75	209,50
Zrak 6 %		/	/	60
Σ		2462,41	2,46	1000

## Rezultati ispitivanja konzistencije rasprostiranjem

Promjer (cm)	Betonska mješavina M1	Betonska mješavina M2
D1	39	37
D2	37,5	37
Dsr	38,25	37



Izgled nakon ispitivanja  
konzistencije

## Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće

Betonska mješavina M1		Betonska mješavina M2		Betonska mješavina M3	
Uzorak	Vrijednost sile	Uzorak	Vrijednost sile	Uzorak	Vrijednost sile
M1-1	1 120,00 kN	M2-1	1 065,00 kN	M3-1	365,00 kN
M1-2	1 190,00 kN	M2-2	765,00 kN	M3-2	565,00 kN
M1-3	1 120,00 kN	/	/	M3-3	330,00 kN
$F_{u,sr}$	1 143,33 kN	$F_{u,sr}$	915,00 kN	$F_{u,sr}$	420,00 kN
$f_{ck,sr}$	50,82 MPa	$f_{ck,sr}$	40,67 MPa	$f_{ck,sr}$	18,67 MPa

## Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem

Betonska mješavina M1		Betonska mješavina M2		Betonska mješavina M3	
Uzorak	Vrijednost sile	Uzorak	Vrijednost sile	Uzorak	Vrijednost sile
M1-1	24,80 kN	M2-1	18,00 kN	M3-1	18,00 kN
M1-2	28,10 kN	M2-2	25,00 kN	M3-2	28,00 kN
$F_{u,sr}$	26,45 kN	$F_{u,sr}$	21,50 kN	$F_{u,sr}$	23,00 kN
$f_{ck,sr}$	9,92 MPa	$f_{ck,sr}$	8,06 MPa	$f_{ck,sr}$	8,63 MPa



# BETON OD RECIKLIRANOG AGREGATA

SVEUČILIŠTE  
JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
U OSIJEKU



JOSIP JURAJ STROSSMAYER  
UNIVERSITY OF OSIJEK

- Reciklirani agregat je nastao separacijom i drobljenjem građevinskog otpada
- Sastavni dio betona
- Umjetni materijal



Reciklirani agregat

- Koristi se za proizvodnju betona kao zamjena prirodnom ili umjetnom agregatu
- Riješava se problem smetlišta i divljih odlagališta
- Smanjuje se potreba za eksploatacijom sirovina iz netaknute prirode u svrhu proizvodnje građevinskog materijala



Divlje odlagalište

## Najčešća upotreba građevinskog otpada:

- Materijal za nosive slojeve cesta, staza, parkirališta
- Materijal za nasipavanje, drenažu i kamenozaštitu
- Dodatak za nove asfaltne mješavine
- Dodatak raznim vrstama betona i mortova
- Materijal za izradu betonskih elemenata i sklopova



Betonski elementi

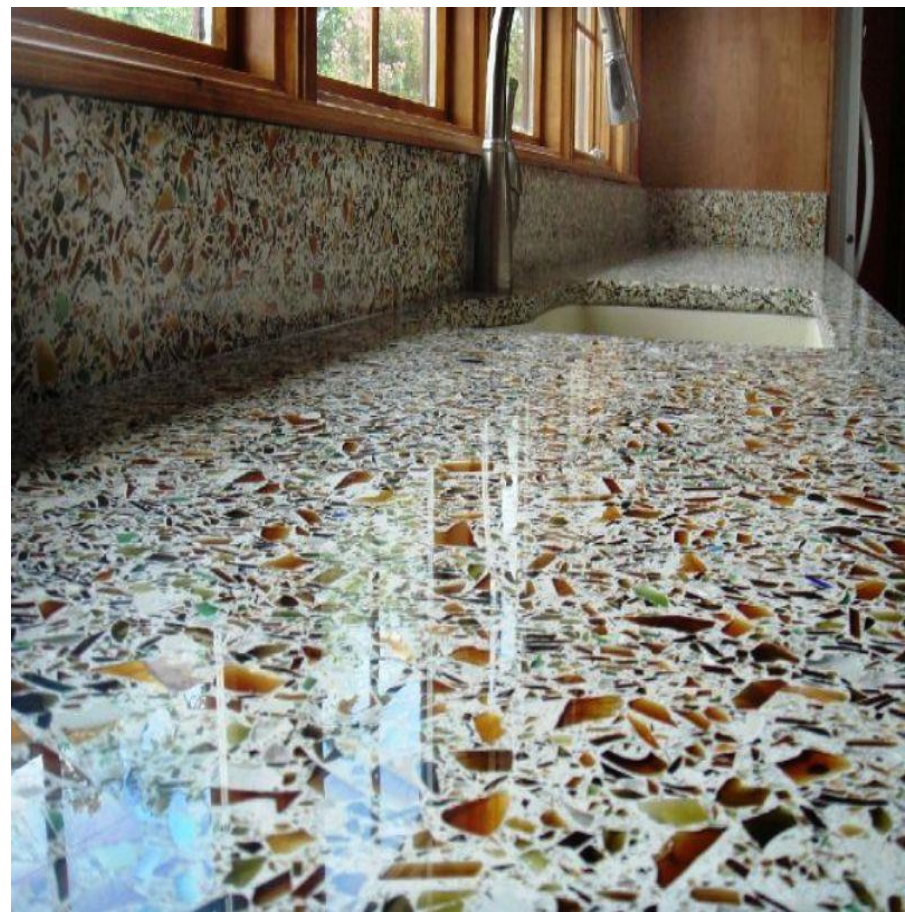


Nasipavanje ceste

## STAKLO KAO AGREGAT



Kuhinjski stol



Kuhinjska radna ploča

## PROIZVODNJA RECIKLIRANOG AGREGATA

Materijal dobiven rušenjem zidanih konstrukcija

Uključuje razne vrste materijala poput:

- Lakih betona
- Opeke
- Kamena
- Raznih vrsta materijala

Rušenje konstrukcije



## Proces dobivanja recikliranog agregata

Osnovni ciljevi reciklaže (recycling) i ponovne primjene (re-use) građevinskog otpada su:

- Smanjenje velikih količina otpada koji nastaju rušenjem, rekonstrukcijom i izgradnjom građevina, a koji bi završio na deponiji
- Očuvanje mineralnih resursa koji bi bili utrošeni za potpuno nove građevinske proizvode

- Materijal sitniji od 10 mm sadrži štetne tvari kao što je gips, te se odstranjuje prije primarnog drobljenja
- Materijal krupniji od 40 mm, odlazi na sekundarno drobljenje
- Sav zdrobljeni materijal se pere, kao bi se odstranili štetni sastojci kao što su palstika, papir, drvo i gips
- Poslije drobljenja, pečenja i separacije materijal krupniji od 4 mm se koristi kao agregat



Frakcije agregata



- Od sitne frakcije se mogu proizvoditi nove opeke (čvrstoće pri pritisku 10 - 15 MPa)
- Pečenjem sitne frakcije na min 900 °C aktivira se kalcijum karbonat iz starog cementnog kamena i opeke
- Oblikovanje se vrši pri pritisku od 200 - 300 bara



Opeka

## Drobljenje agregata

- Istraživanja pokazuju da se najbolji granulometrijski sastav dobiva primjenom čeljusnih drobilica
- Za dobivanje zadovoljavajuće granulometrijske krivulje drobljenog agregata na bazi reciklirane opeke moguće je koristiti ili jednu ili dvije drobilice



Čeljusna drobilica

- Korištenje udarnih drobilica je preporučljivo za dobivanje recikliranog agregata za ceste



Udarna drobilica



Otpad za drobljenje

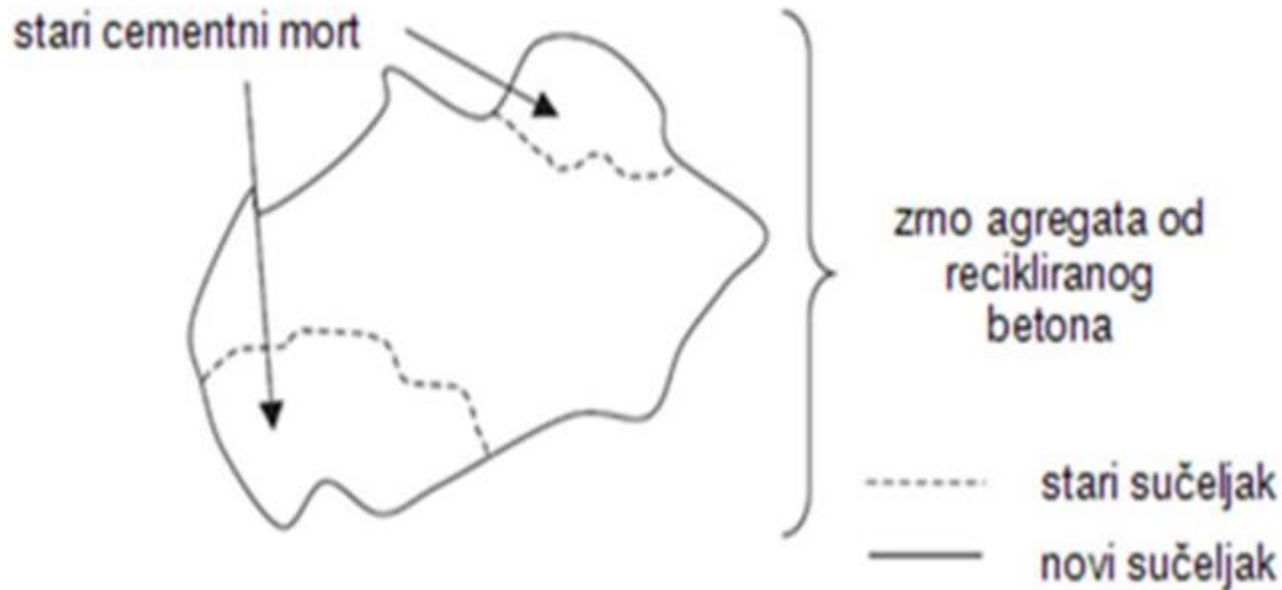
## PROJEKTIRANJE SASTAVA BETONA

Reciklirani agregat za beton je građevinski materijal koji ima sljedeći sastav:

- Drobljeni beton (frakcije 4/16(32) mm) > 95 % (mase)
- Mineralni sastojci (npr. opeka ) i asfalt  $\leq 5\%$  (mase)
- Nemineralni sastojci  $\leq 0.2\%$  (mase)
  
- Mješavina s recikliranim agregatom (sitne i krupne frakcije) traži 15 % više vode

Pri spravljanju betona od recikliranog agregata koji je dobiven preradom «starog» beton preporučuje se:

- Sitne reciklirane frakcije zamijeniti prirodnim pijeskom radi bolje obradivosti recikliranog betona i manjeg w/c faktora
- Zrna recikliranog agregata  $< 2$  mm odstraniti da bi se smanjio gubitak čvrstoće (tlačne i vlačne)
- Reciklirani agregat prije spravljanja betonske mješavine izmiješati u suho da bi se poboljšao oblik zrna odnosno na taj način se odstranjuje «stari» cementni mort



### Zrno agregata od recikliranog betona

- Štetni sastojci mogu utjecati na smanjenje čvrstoće i do 15%
- U štetne sastojke spadaju grude gline, gips, hloridi, organske materije, staklo, metal, drvo, papir

## Voda

- Za postizanje iste konzistencije kao kod običnog betona pri upotrebi recikliranog agregata i prirodnog pijeska količinu vode je potrebno povećati oko 5 %
- Ako se upotrebljava recikliran i sitan i krupan agregat razlika u potrebnoj vodi je oko 15 %
- Drobljena opeka je veoma porozan materijal
- Upijanje vode se kreće u granicama od 15 - 24 %



Drobljena opeka



- Da bi se postiglo ravnomjerno zasićenje agregata potrebno je na gradilištu imati odgovarajuću opremu
- U zimskim mjesecima mora se obratiti pažnja na mogućnost smrzavanja opreme za prskanje

### Postoje 3 načina doziranja vode:

- Pri proračunu uzeti u obzir povećanje potrebne količine vode za vrijednost koja odgovara upijanju poslije 30 minuta
- Zasititi agregat prethodnim kvašenjem
- Dodati vodu na gradilištu da se dobije beton bolje obradljivosti

## Cement

- Pri upotrebi recikliranog krupnog agregata i prirodnog pijeska količinu cementa je potrebno povećati oko 5 % ako se želi postići čvrstoća kao kod običnog betona
- Ako se upotrebljava recikliran i krupni i sitni agregat to povećanje iznosi oko 15 %
- Preporučuje se uporaba čistog portland cementa



Čisti portland cement

## Vodocementni omjer

- Potrebno je razlikovati ukupan i efektivan vodocementni odnos
- Efektivan vodocementni odnos predstavlja efektivne i ukupne vode
- Efektivna voda se dobija kada se od ukupne oduzme apsorbirana voda
- Mjerilo apsorbirane vode je ona količina vode koju agregat upije poslije 30 minuta

## **SVOJSTVA BETONA NA BAZI RECIKLIRANOG AGREGATA**

- Problem koji se javlja pri upotrebi recikliranog agregata u proizvodnji novog betona je mogućnost da štetni sastojci zajedno s recikliranim materijalom budu sastavni dio novog betona i u njemu uzrokuju štetan utjecaj na čvrstoće i trajnost
- Neki od štetnih sastojaka mogu biti npr. bitumen, mort, gips, organske tvari, kloridi i sulfati, zemlja, glina i slično

## Svojstva svježeg betona

- Volumna masa svježeg recikliranog betona izravno ovisi o volumnoj masi zrna recikliranog agregata
- Reciklirani agregati imaju niže vrijednosti volumne mase od prirodnih agregata, kod primjene recikliranih agregata treba računati sa 3-10 % nižom vrijednosti volumne mase svježeg betona od normalnih betona
- Mala volumna masa zrna je naročito izražena kod recikliranih agregata s velikim udjelom opeke (jako porozan materijal), pa je volumna masa svježeg betona manja i za 15%

## Svojstva očvrslog betona

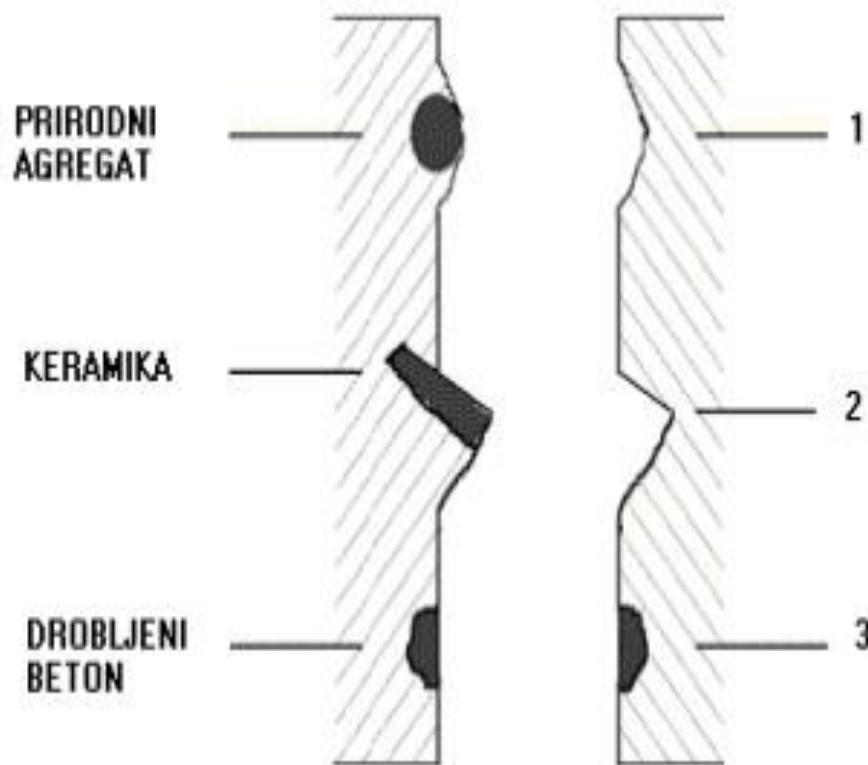
- Općenito za reciklirane betone vrijedi da je rasipanje rezultata, naročito kod čvrstoća, jako veliko
- Rasipanja su veća što je reciklirani agregat nehomogeniji
- Najveće rasipanje rezultata je kod agregata dobivenih preradom građevinske šute
- Pad tlačne čvrstoće recikliranog betona u odnosu na izvorni beton se može smanjiti povećavanjem količine cementa ili smanjenjem w/c-omjera

- Pad tlačne čvrstoće je 10-30 %
- Da bi se postigla ekvivalentna tlačna čvrstoća kao kod izvornog betona potrebno je staviti 10-15 % više cementa u betonsku mješavinu ili smanjiti w/c-omjer dodatkom aditiva
- Reciklirani betoni mogu postići jednake vrijednosti tlačne čvrstoće kao i obični betoni ako je čvrstoća agregata zadovoljavajuća, tj. čvrstoća agregata je veća ili približna čvrstoći cementnog kamena



Struktura betona

Analiziranjem plohe loma kod uzoraka recikliranog betona uočeno je da se javljaju sljedeći tipovi sloma:



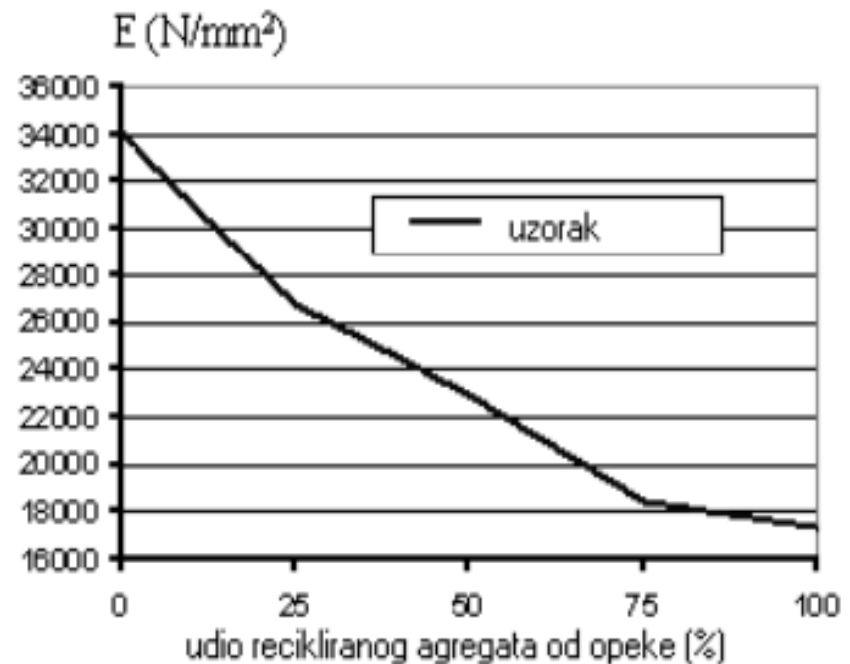
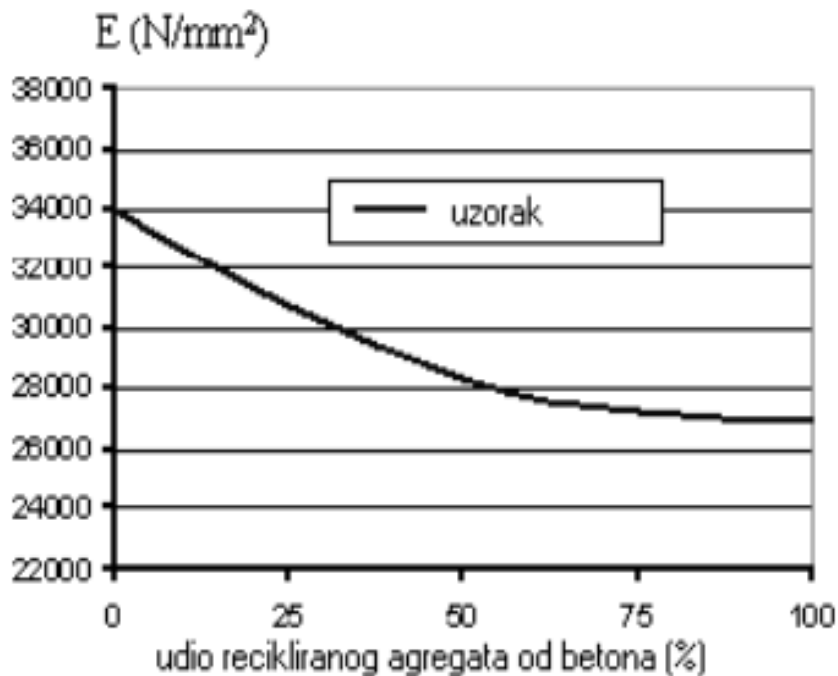
Tipovi sloma kod recikliranih betona



- I - ploha sloma prolazi kroz cementni kamen i kontaktnu zonu sa zrnima agregata
- II - ploha sloma prolazi kroz kontaktnu zonu cementni kamen-površina zrna agregata i karakterističan je za reciklirane betone s agregatom dobivenim iz građevinske šute
- III - ploha sloma prolazi kroz cementni kamen i zrno agregata. Ovaj tip sloma se javlja u slučaju da su cementni kamen i agregat približne čvrstoće. Znak je i dobre prionljivosti zrna agregata, ali je ujedno i pokazatelj male čvrstoće agregata i javlja se kada se koristi drobljeni beton kao agregat

- Vlačna čvrstoće recikliranog betona u usporedbi s običnom manja je za 20 – 40 %
- Rasipanje rezultata se događa zbog variranja količine «starog» cementa koji je zalijepljen za zrna recikliranog agregata
- Pri opterećivanju recikliranog betona dolazi do preuranjenog sloma ispitnog tijela upravo zbog mikropukotina na površini zrna, koje su slabe točke u strukturi betona

Pri zamjeni prirodnog agregata recikliranim modul elastičnosti opada za oko 20 % a kod zamjene recikliranom opekom oko 50 %



Utjecaj vrste i udjela recikliranog agregata od betona u betonu na modul elastičnosti

Utjecaj vrste i udjela recikliranog agregata od opeke u betonu na modul elastičnosti