

BETON OD RECIKLIRANOG AGREGATA

mr.sc. Dragan Kovač dipl.ing.građ.
CAPITAL ING d.o.o. Zagreb

SADRŽAJ

- UVOD
- KORIŠTENJE BETONA OD RECIKLIRANOG AGREGATA
- VAŽEĆE SPECIFIKACIJE I PREPORUKE IZ PODRUČJA RECIKLAŽE BETONA
- MEHANIČKA I TRAJNOSNA SVOJSTVA BETONA OD RECIKLIRANOG AGREGATA
- EKPERIMENTALNO ISPITIVANJE
- ANALIZA REZULTATA
- ZAKLJUČAK

UVOD

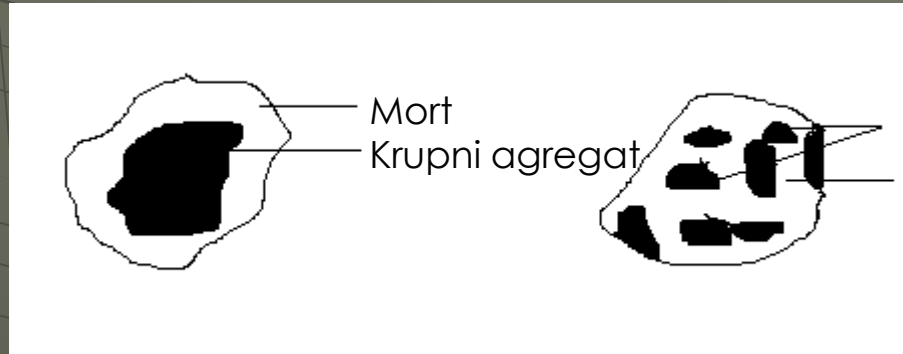
ANALIZA SVIH POSTOJEĆIH ZNANJA
NA TEMU RECIKLAŽE BETONA

EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE

OSNOVNI POJMOVI O RECIKLIRANOM BETONU

- ◆ Velike količine materijala nastaju rušenjem-tema su beton i armirani beton koji nisu otpad jer se mogu reciklirati korištenjem kao agregata za spravljanje novog betona te u cestogradnji
- ◆ Ekonomski uvjeti razvoja sustava reciklaže (isteci uporabe objekata, prirodne katastrofe, požari, potresi, poplave, zaštita okoliša i održivi razvoj , veći troškovi i manjak zona pozajmišta prirodnog materijala, pooštrenje zakonskih propisa za odlaganje, u urbanom okruženju manjak deponija itd.)
- ◆ U zemljama EU uporaba zdrobljenog betona za izradu novog betona je već postao ustaljen proces. U nas jedino u cestogradnji
- ◆ U Hrvatskoj do sada nije provedeno ispitivanje vezano na beton od recikliranog agregata
- ◆ Mehanička svojstva betona od recikliranog agregata su lošija od svojstava tzv. normalnog betona, uzrok lošijim svojstvima je zadržani mort na agregatu (pad svojstava betona)
- ◆ Cilj rada je određivanje svojstava betona sa kombiniranim udjelima prirodnog i recikliranog agregata (postoci 0, 30, 50, 70 i 100%)
- ◆ Tehnologija prikupljanja i obrade otpada (reciklažna dvorišta)

SITNI I KRUPNI RECIKLIRANI AGREGAT



Sitni agregat
Mort



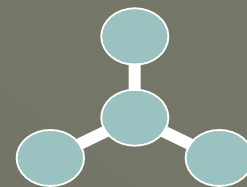
Veći sadržaj morta na agregatu znači lošija mehanička svojstva betona od recikliranog agregata

PODRUČJE PRIMJENE RECIKLIRANOG BETONA- CESTOGRADNJA I KONSTRUKCIJE

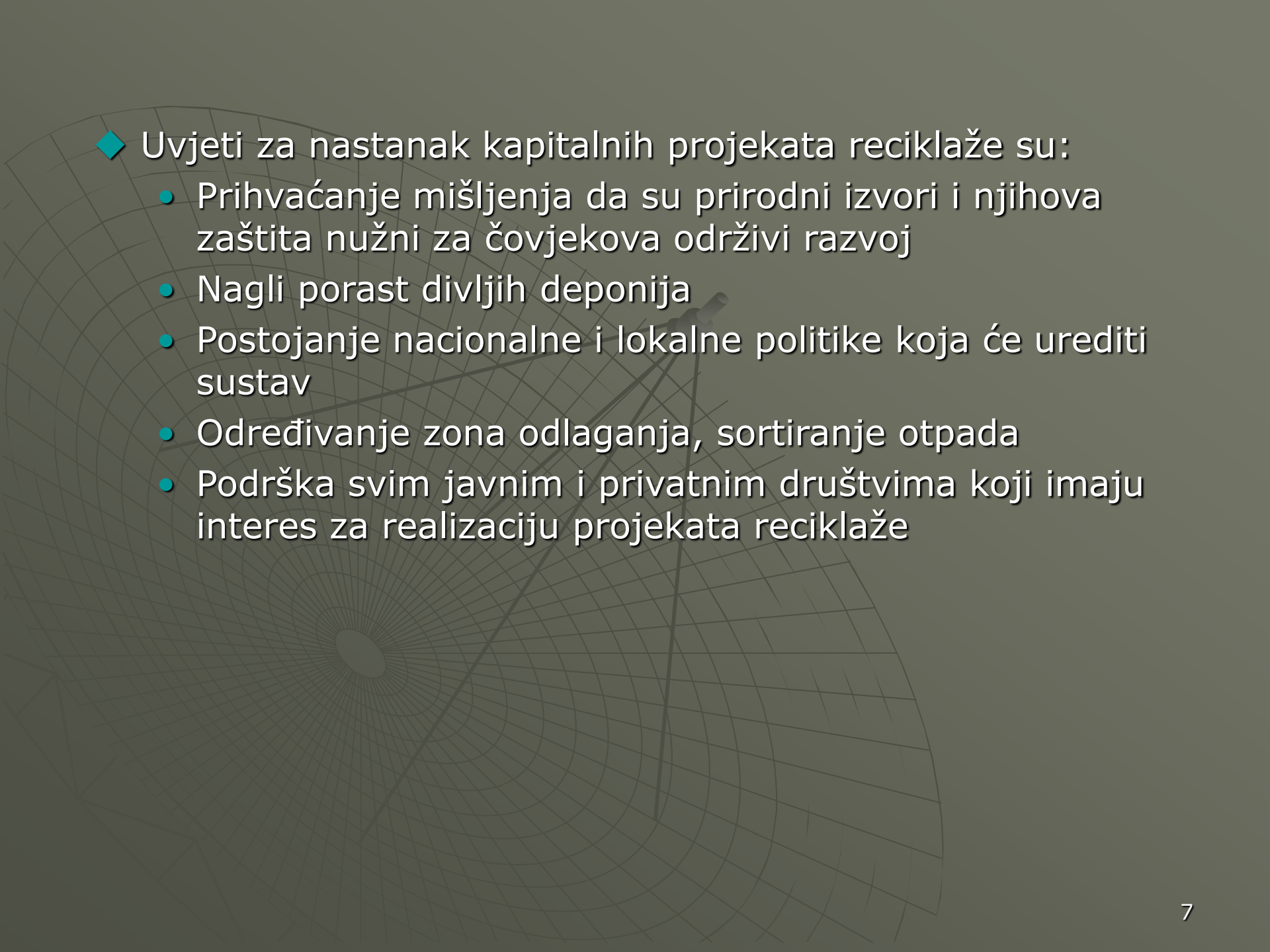
- ◆ Izvođači pokretači razvoja reciklaže - Zagreb
- ◆ Na slikama deponij srušenog betonskog otpada u Zagrebu
- ◆ Kupovina pokretnih drobilica
- ◆ Ekonomska isplativost



PROCESI RECIKLAŽE



- ◆ Na porast količine materijala za reciklažu utječe:
 - Porast broja objekata zbog isteka roka uporabe
 - Porast broja objekata predviđenih za rekonstrukcije i rušenja zbog prenamjena
 - Potreba za razvojem novih konstrukcija i materijala
 - Djelovanje prirodnih nepogoda (potresi, poplave)
 - Ekonomska isplativost
- ◆ Dodatni razlozi za nužnost reciklaže su:
 - Oštriji propisi i uvjeti odlaganja (uvjeti koje zahtjevaju standardi EU)
 - Porast troškova odlaganja na odlagalištima
 - Dodatni nameti na pozajmišta, prirodni materijal, troškove prijevoza posebno u većim gradovima
 - Zakonska obveza reciklaže bez mogućnosti odlaganja
 - Zaštita okoliša i održivi razvoj

- 
- ◆ Uvjeti za nastanak kapitalnih projekata reciklaže su:
 - Prihvatanje mišljenja da su prirodni izvori i njihova zaštita nužni za čovjekova održivi razvoj
 - Nagli porast divljih deponija
 - Postojanje nacionalne i lokalne politike koja će urediti sustav
 - Određivanje zona odlaganja, sortiranje otpada
 - Podrška svim javnim i privatnim društvima koji imaju interes za realizaciju projekata reciklaže

MOGUĆE PODRUČJE PRIMJENE RECIKLIRANOG BETONSKOG AGREGATA

◆ Agregat od zdrobljenog betona moguće je koristiti kod:

- Stabiliziranih i nestabiliziranih slojeva kolničkih konstrukcija
- Asfalt betona
- Agregata za drenažu
- Kao materijal za podlogu i zatrpavanje instalacijskih rovova
- Materijal za duboke nasipe
- Zamjenske posteljice prometnica
- Izvedbu bankina
- Obloge pokosa i nasipa u cestogradnji
- Podložnih betona u visokogradnji
- Nekonstruktivnih betonskih elemenata

- Privremenih građevina i konstrukcija
- Različitih oblika dubokog i plitkog temeljenja
- Stabiliziranja tla , pokosa i klizišta
- Zaštita građevinskih jama (npr: jet grouting, dijafragme, piloti, ispune)
- Podloge temelja
- Svih betonskih konstruktivnih elemenata bez dodatnih zahtjeva za beton
- Izgradnje hidrotehničkih objekata



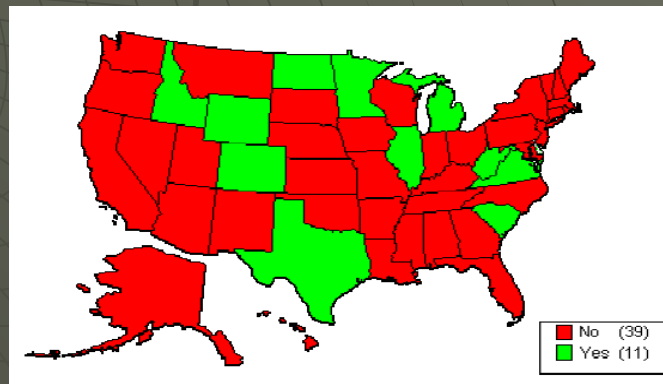
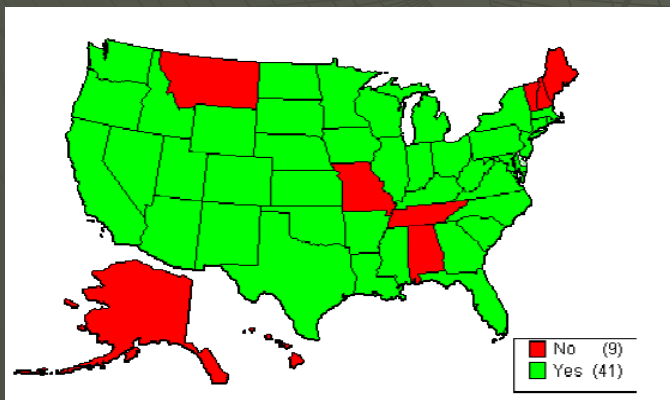
◆ PODACI O KORIŠTENJU U NEKIM EUROPSKIM ZEMLJAMA

Država	Godina	Materijal	U milionima tona	
			Proizvedeno	Iskorišteno
Švedska	1999	Stari asfalt	0.8	0.76
		Grad. otpad	1.5-2.0	Neznatne količine
Danska	1997	Srušeni beton	1.06	0.9
		Srušeni asfalt	0.82	0.82
		Opečni materijal	0.48	0.33
		Stari asfalt	12	6
Njemačka	1999	Cestovni otpad	20	11
		Grad.otpad	23	4
		Srušeni asfalt	10.7	10.7
		Opečni materijal	9.2	9.2

- ◆ Reciklirani betonski agregat je specifičan, a odlikuje ga nepoznavanje izvornog sastava materijala, i to: starost betona, petrografske karakteristike, fizikalna svojstva (upijanje vode, gustoća, sadržaj klorida, sadržaj nečistoća, mehaničke karakteristike, svojstva vezana na trajnost itd).

CESTOGRADNJA

RECIKLIRANI KONSTRUKCIJSKI BETON



RAŠIRENOST
PRIMJENE REC.
AGREGATA U SAD-U

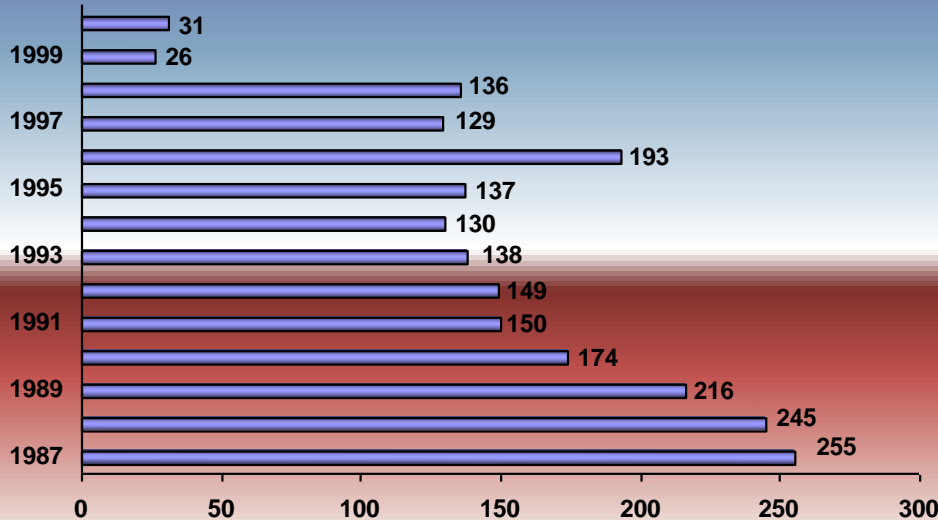
PODACI O KORIŠTENJU RECIKLIRANOG MATERIJALA U JAPANU

- ◆ U Japanu se godišnje proizvede 35 mil.tona betonskog otpada
- ◆ Rast postotka uporabe recikliranog materijala
- ◆ Smanjenje ukupne količine proizvedenog otpada

Godina	1990		1995		2000	
Vrsta otpada	Proizvedeno x 10 ⁶ tona	Reciklirano (%)	Proizvedeno x 10 ⁶ tona	Reciklirano (%)	Proizvedeno x 10 ⁶ tona	Reciklirano (%)
Betonski otpad	25.4	48	36.0	65	35.0	96
Asfalt beton	17.6	48	36.0	81	30.0	98
Građevno drvo	7.5	31	6.0	40	5.0	38
Mulj i blato	14.0	8	10.0	14	8.0	41
Miješani otpad	1.5	14	10.0	11	5.0	9
Ostali otpad	1.5	40	1.0	-	2.0	-
Ukupno	75.9	-	99.0	58	85.0	85

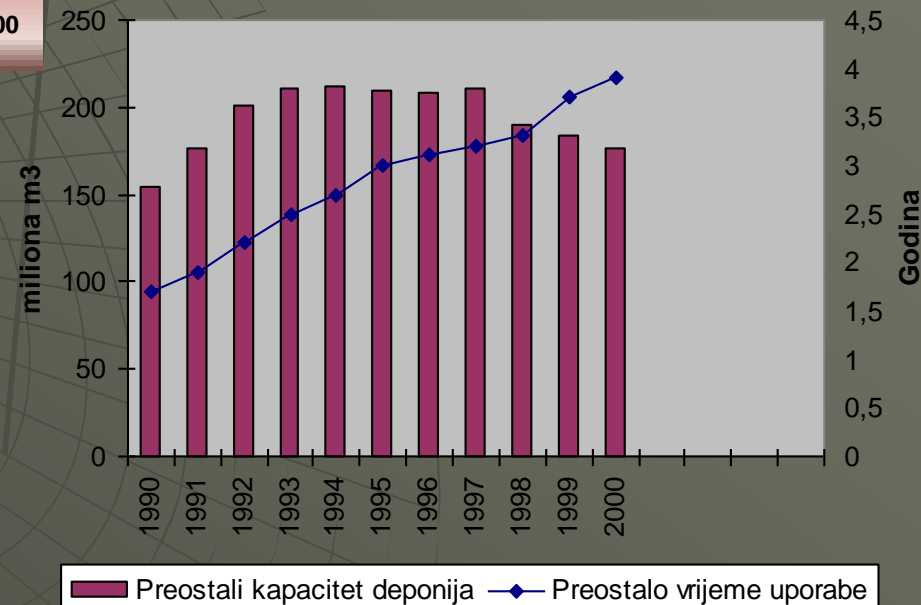
PODACI O BROJU KAPACITETU I VREMENU UPORABE DEPONIJA OTPADA U JAPANU

Broj novih deponija



■ Smanjenje broja novih deponija

■ Blago smanjenje preostalog kapaciteta ali povećanje preostalog vijeka uporabe



Prvo drobljenje (grubo)

Prosijavanje-vibracijski stol (60-70 mm)

Ručno ili mehaničko odvajanje (armatura, drvo, plastika, papir)

Drugo drobljenje uz odvajanje metala magnetom

Prosijavanje – vibracijski stol

Treće drobljenje uz odvajanje metala magnetom

Prosijavanje – vibracijski stol

Pranje uz odstranjivanje lakog materijala

Zračni separator-sitne čestice

TEHNOLOGIJA RECIKLAŽE I RECIKLAŽNA DVORIŠTA

- ◆ Rušenje betonskog objekta
- ◆ Prijevoz na deponij (reciklažno dvorište)
- ◆ Mehanička obrada agregata
- ◆ Dobivanje agregata u željenoj frakciji



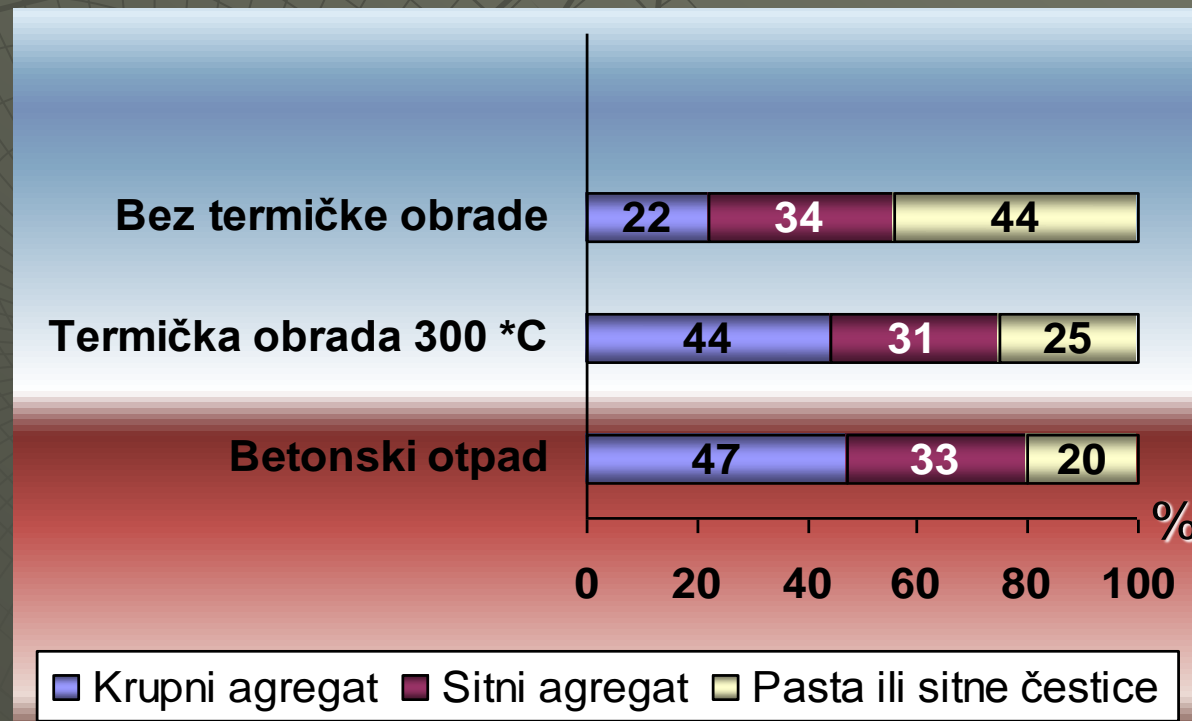
KORIŠTENJE BETONA OD RECIKLRANOG AGREGATA



PROCES
RECIKLAŽE
BETONA

TERMIČKE OBRADRE RECIKLIRANOG AGREGATA

- ◆ Metoda zagrijavanja na 300 C 60 min
- ◆ Manja količina morta (pucanje veze mort-agregat)
- ◆ Zbog manje morta manja apsorpcija vode
- ◆ Postrojenja postoje u Japanu (kapacitet 300 kg/sat)
- ◆ Dobivanje agregata u željenoj frakciji



U LITERATURI JE MOGUĆE PRONAĆI OKVIRNE GRANIČNE VRIJEDNOSTI ZA RECIKLIRANI BETONSKI AGREGAT

Test metoda	Granična vrijednost
Gustoća (kg/m ³)	min 2.2
Apsorpcija vode (%)	max 3.0
Nečistoće (%)	max 1.0
Organski materijal (%)	max 0.5
Sulfatni spojevi (%) kao SO ₃	max 1.0
Granulometrijski sastav	krivulje
Sadržaj agregata < 4mm (%)	max 5.0
Sadržaj agregata <0.063 mm(%)	max 2.0
LA abrazijski test (%)	max 40.0
Sadržaj lakih agregata (%)	max 3.0
Gubitak mase (%)	max 10.0
Ekvivalent pijeska (%)	min 80

Ključna svojstva su:

- ◆ Gustoća
- ◆ Apsorpcija vode
- ◆ LA test

Kemijski element	Granična vrijednost (µg/l)
As	50
Pb	100
Cd	5
Cr	100
Cu	200
Ni	100
I	3
Zn	400

MATERIJALI I SPOJEVI U RECIKLIRANOM AGREGATU I NJIHOV UTJECAJ NA SVOJSTVA NOVOG BETONA

MATERIJAL ILI SPOJ	UTJECAJ NA NOVI BETON	OPASKA
BITUMEN	Smanjuje tlačnu čvrstoću	Količinu ograničiti na < 1.0%
GIPS	Porozna struktura betona i korozija	Koristiti sa sulfatno otpornim cementom
DRVO, PAPIR, PLASTIKA	Nestabilnost pri sušenju, vlaženju i smrzavanju	Njihovo prisustvo umanjuje gustoću agregata
KLORIDI	Korozija armature	Prisustvo ograničeno kao i kod izvornog betona. Prema ACI, <0.15% topivih klor iona/na masu cementa
PLASTIFIKATORI I AERANTI	Nema	-
METALI	Mogu obojiti ili uništiti površinu betona	U procesu reciklaže odvajaju se magnetima
ZEMLJA	Kao i kod prirodnog agregata	-
STAKLO	Ne utječe u manjim količinama	Približno ista gustoća kao betona pa se u procesu reciklaže teže odvaja
OPEKA	Umanjuje svojstva trajnosti betona	Sadržaj opeke < 5% ne utječe na svojstva betona
RADIOAKTIVNE TVARI I OTROVI	Nepoželjni i zabranjeni	Mogući u agregatu od rušenja industrijskih postrojenja
BETON SA VISOKOALUMINATNIM CEMENTOM	Umanjuje svojstva trajnosti betona	Ne preporučuje se za korištenje

PRIMJERI KAPITALNIH PROJEKATA S PRIMJENJENOM RECIKLAŽOM

- ◆ Iskustva iz Japana:
 - Nužnost ishodađenja posebne dozvole za sva rušenja $> 80 \text{ m}^2$
 - Projekt rušenja i način zbrinjavanja otpada je nužan za objekte $> 500 \text{ m}^2$
 - Nužnost izrade projekta reciklaže za sve objekta čije gradnja ima vrijednost veću od 5 mil.kuna
 - Nužnost izrade projekta reciklaže za sve javne objekte čija gradnja ima vrijednost veću od 250.000 kuna

- Izgradnja kompleksa Wetland Park (slike)
 - Izgradnja novih objekata površine cca 10.000 m²
 - Izveden pilot projekt korištenja betona od recikliranog agregata
 - Ukupno ugrađeno 13.000 m³ betona od recikliranog agregata
 - Dobivena tražena čvrstoća od 35 N/mm² sa korištenjem 20% recikliranog agregata u svakoj mješavini



NORVEŠKA RECIKLIRA 20% BETONSKOG OTPADA

- ◆ Norveška je zemlja sa 4.5 mil. stanovnika te proizvodi 1.1 miliona tona betonskog i opečnog otpada. Od te količine se 20 % reciklira



**RUŠENJE AB
KONSTRUKCIJE**

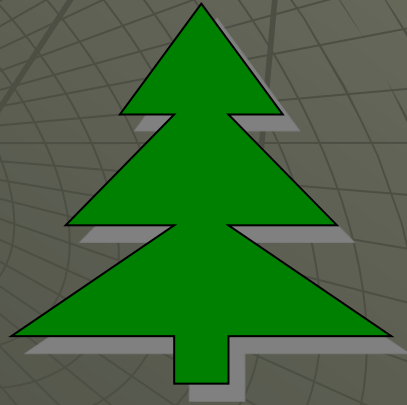
**KORIŠTENJE
RECIKLIRANOG
AGREGATA ZA
ZATRPAVANJE
ROVOVA**



**KORIŠTENJE
BETONA OD
RECIKLIRANOG
AGREGATA ZA
IZRADU NOVIH
BETONSKIH
KONSTRUKCIJA**

SPECIFIKACIJE I PREPORUKE ZA BRA

- ◆ ISKUSTVA IZ JAPANA
- ◆ VAŽEĆI PROPISI PO NIZOZEMSKOJ REGULATIVI
- ◆ EUROPSKE PREPORUKE ZA RECIKLIRANI AGREGAT
- ◆ AMERIČKE PREPORUKE ZA RECIKLIRANI AGREGAT



ISKUSTVA IZ JAPANA

- ◆ Istraživanja u Japanu sežu još u 70-te godine prošlog stoljeća
- ◆ Preporuke za reciklirani betonski agregat donijelo je japansko Ministarstvo graditeljstva

- ◆ Preporukama se definiraju klase agregata ovisno o gubitku mase i apsorpciji vode

Klase betona	Krupni reciklirani agregat			Sitni reciklirani agregat	
	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	Klasa 1	Klasa 2
Apsorpcija vode (%)	< 3	< 3	< 5	< 5	< 10
Gubitak mase (%)	< 12	< 40*	< 12	-	< 10

- ◆ Za ciljanu tlačnu čvrstoću daje se klasa agregata i njegov tip

Klasa recikliranog betona	Krupni agregat	Sitni agregat	Projektirana čvrstoća (MPa)
I	Reciklirani krupni agregat 1 klase	Prirodni agregat	> 20
II	Reciklirani krupni agregat 2 klase	Prirodni ili reciklirani agregat	> 16
III	Reciklirani krupni agregat 3 klase	Reciklirani agregat	< 16

- ◆ Ovisno o klasi agregata definiraju se tipovi konstrukcija kod kojih je moguće koristiti beton spravljen od recikliranog betonskog agregata

Klasa recikliranog betona	Krupni agregat	Sitni agregat	Konstrukcije i objekti
I	BRA 1 klase	Prirodni agregat	Podkonstrukcije mostova, potporni i zaštitni zidovi, tunelogradnja
II	BRA 2 klase	Prirodni ili reciklirani sitni agregat 1 klase	Betonski blokovi, cestovne podloge i temelji, drenažni kanali, temelji rezervoara, betonske ispune, obloge pokosa, gravitacijski temelji mostova, valobrani, stabilizacije protiv erozije
III	BRA 3 klase	Reciklirani sitni agregat 2 klase	Betonske podpodloge, izravnavajuće podloge, betonske ispune, nekonstruktivni elementi

VAŽEĆI PROPISI PO NIZOZEMSKOJ REGULATIVI NEN 5905

- ◆ Propisi uvjetuju korištenje samo za agregate gustoće $> 2100 \text{ kg/m}^3$. Za razliku od preporuka iz Japana ne uvjetuje se apsorpcija vode, ali se uvjetuje LA test
- ◆ Definiraju se tri tipa recikliranog agregata (betonski, opečni i miješani) odnosno tri klase agregata
- ◆ Napredak u zakonskoj regulativi utjecao je na rast reciklaže do čak **80% proizvedenog otpada**

- KLASA 1 – RECIKLIRANI BETONSKI AGREGAT
 - ◆ Više od 90% materijala mora biti bet. agregat sa gustoćom $> 2100 \text{ kg/m}^3$
 - ◆ LA test mora biti $< 40 \%$
 - ◆ Količina štetnih sastojaka $< 1\%$
- KLASA 2 – RECIKLIRANI MIJEŠANI AGREGAT
 - ◆ Više od 50% materijala mora biti bet. agregat sa gustoćom $> 2100 \text{ kg/m}^3$
 - ◆ LA test mora biti $< 50 \%$
 - ◆ Količina štetnih sastojaka $< 1\%$
- KLASA 3 – RECIKLIRANI OPEČNI AGREGAT
 - ◆ Mora biti produkt rušenja koji uključuje sortiranje
 - ◆ Koristiti ga parcijlano tj. sa udjelom manjim od 10%

EUROPSKE PREPORUKE ZA RECIKLIRANI AGREGAT

- ◆ Definiraju tri tipa agregata (opečni, betonski i miješani-20% opeka i 80% beton)
- ◆ Klasifikacija agregata uvjetuje gustoća i apsorpcija vode

GUSTOĆA RECIKLIRANOG MATERIJALA	Tip I	Tip II	TIP III	Test metode
<i>Gustoća (kg/m³)</i>	1500	2000	2400	EN 1097-6
SSD gustoća < 2200 kg/m ³ (%)	-	10	10	EN 1744-1 modificirano kao ASTM 123
SSD gustoća < 1800 kg/m ³ (%)	10	1	1	EN 1744-1 modificirano kao ASTM 123
SSD gustoća < 1000 kg/m ³ (%)	1	0.5	0.5	EN 1744-1 modificirano kao ASTM 123
Maksimalna težina (%) stranih materijala kao: metali, staklo, asfalt itd	5	1	1	EN 933-7

APSORPCIJA VODE	Tip I	Tip II	Tip III	Test metoda
Maksimalna apsorpcija vode (%)	20	10	3	EN 1097-6

AMERIČKE PREPORUKE ZA RECIKLIRANI AGREGAT

- ◆ Preporuke za korištenje u cestogradnji i za spravljanje novog betona su razdvojene
- ◆ U preporukama je prikazan popis normi svojstava koje mora ispuniti reciklirani agregat. Poseban naglasak je dan na ispitivanja koja se tiču trajnosti betona

Klasa agregata	Glinene grudve i trošna zrna (< od u %)	Čert s gustoćom < 2.4 g/cm ³ (< od u %)	Glina, trošna zrna i čert s gustoćom < 2.4 g/cm ³ (< od u %)	Ostale tvari (< od u %)	Ugljen i lignit (< od u %)	Zahtjevi trajnosti	Natrij sulfat test gubitka mase
A	3	3	3	0.3	0.5	LA abrazijski test	otpornost
B	5	5	5	0.3	0.5	-II-	otpornost
C	5	8	8	0.3	0.5	-II-	otpornost

OPĆENITO O SVOJSTVIMA BETONA OD RECIKLIRANOG AGREGATA

- ◆ Zadržani mort na recikliranom agregatu utječe na lošija svojstva betona. Što je frakcija manja to je utjecaj veći, jer je veći udio morta i nečistoća. Mort je manje gustoće od prirodnog agregata
- ◆ Generalna ocjena kvalitete betona od recikliranog agregata otežana je zbog znatne varijacije ulaznog produkta-zdrobljenog betona.
- ◆ Zbog zadržanog morta veća je apsorpcija vode-beton traži veću količinu vode za istu obradivost-povećanje v/c omjera
- ◆ Smanjenje tlačne čvrstoće je u rasponu od 10 do 30 %
- ◆ Veće su vrijednosti skupljanja (20-50%) i puzanja (20-60%)
- ◆ Tlačna čvrstoća betona od recikliranog agregata je veća ako je veća tlačna čvrstoća zdrobljenog betona (v/c omjer)
- ◆ Sa smanjenjem tlačne čvrstoće raste deformacija pri slomu BRA, uz smanjenje modula elastičnosti (i do 50%)



- ◆ Beton od recikliranog agregata ima manju otpornost na smrzavanje te veću poroznost
- ◆ Zbog većeg udjela morta na agregatu veće je i skupljanje betona (i do 60%)
- ◆ Zbog većeg udjela starog morta smanjena je i otpornost na habanje
- ◆ Gledano mikrostrukturalno BRA ima 6 sučeljaka (interface-a). Kritično mjesto je spoj novog i starog morta na bet. agregatu
- ◆ Varijacije u vrijednostima svojstava svježeg i očvrslog BRA su veće od varijacija kod normalnog betona



SVOJSTVA BETONA SA KOMBINIRANIM UDJELIMA PRIRODNOG I RECIKLIRANOG AGREGATA

- ◆ ISTRAŽIVANJA U TURSKOJ- I.B. TOPCU, S.ENGEL
- ◆ ISTRAŽIVANJA KINESKIH ZNANSTVENIKA-J.XIAO,
J.LI, C.ZHANG
- ◆ REZULTATI ISTRAŽIVANJA-RUHL I ATKINSON
- ◆ ANALIZE SVOJSTAVA PO RADONJANINU I
MALEŠEVU

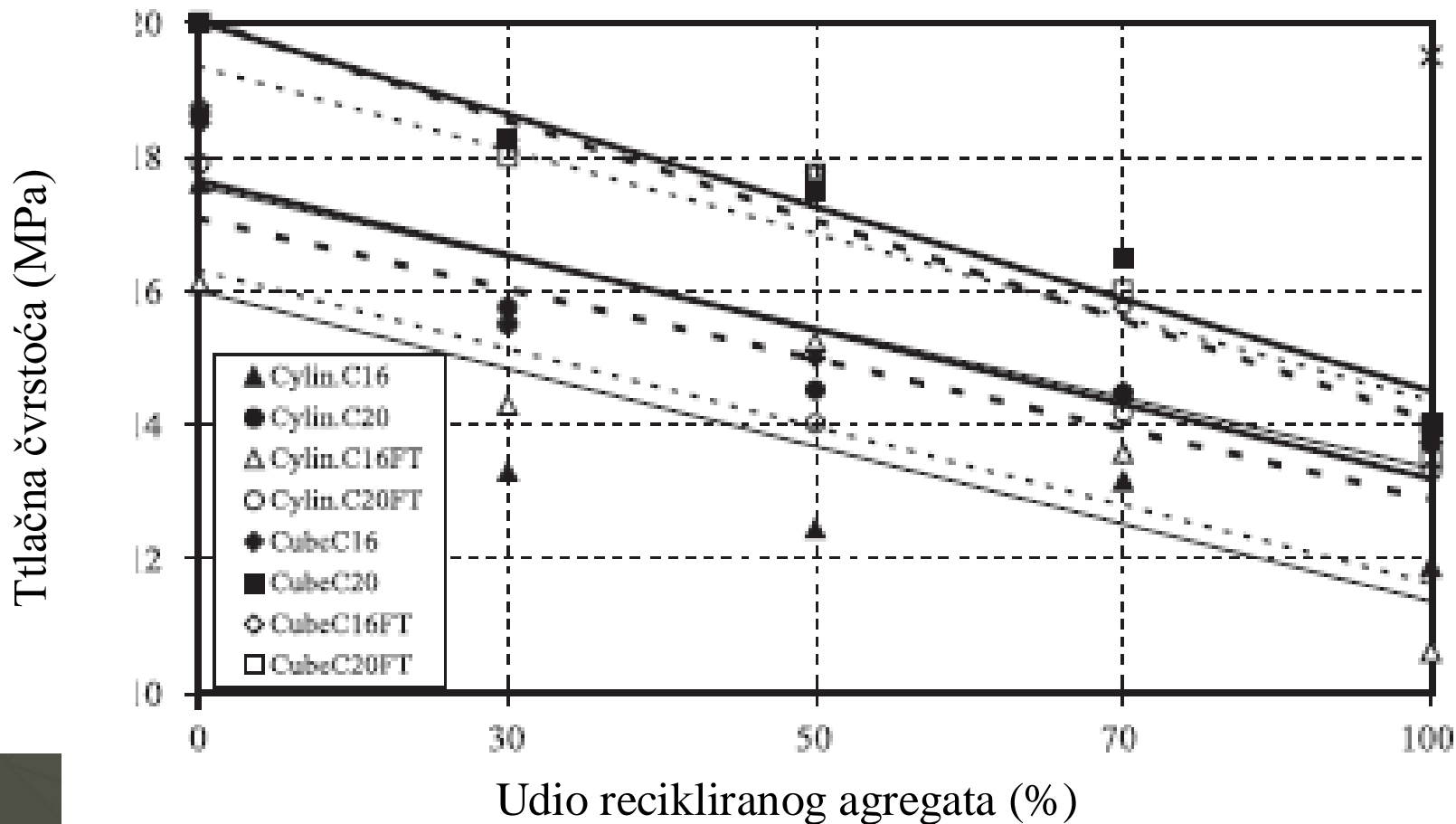
ISTRAŽIVANJA U TURSKOJ – I.B.TOPCU I S.ENGEL

- ◆ Ispitivanje svojstava sa udjelima recikliranog agregata od 30, 50, 70 i 100 % te pitanje da li se sa srušenim betonom klase C14 kao agregatom može proizvesti beton klase C16 i C20
- ◆ Svojstva ulaznih komponenti: reciklirani agregat gustoće 2470 kg/m³ i apsorpcije vode 7%.
- ◆ Granulometrijska krivulja ciljana između A32 i B32
- ◆ V/c omjer konstantna veličina

	v/c	Cement (kg za 1 m ³)	Voda (kg za 1 m ³)	Pijesak		Krupni agregat		Reciklirani agregat		Modul finoće
				kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	%	
C16 BRA 0	0.639	327	209	901	50	914	50	-	-	4.78
C16 BRA 30	0.639	316	202	549	30	743	40	510	30	4.96
C16 BRA 50	0.635	310	197	370	20	564	30	860	50	5.07
C16 BRA 70	0.638	307	196	371	20	188	10	1205	70	5.12
C16 BRA 100	0.637	289	184	-	-	-	-	1764	100	5.4

- ◆ Kod betona sa 100% udjelom rec. agregata dolazi do:
 - Smanjenja konzistencije od 15 do 20 %
 - Smanjenja gustoće betona od 6 %
 - Pada tlačne čvrstoće u rasponu od 24 do 33%
 - Pada čvrstoće na savijanje u iznosu od 13%
 - Neznatnog pada otpornosti na cikluse smrzavanja i odmrzavanja
- ◆ Korištenjem srušenog betona klase C14 moguće je bez poboljšanja dobiti beton klase C16 i C20 ali sa udjelom recikliranog agregata < 30%

- ◆ Pad tlačne čvrstoće ovisno o udjelu recikliranog agregata (za udjel <30% pad je manji od 10%)



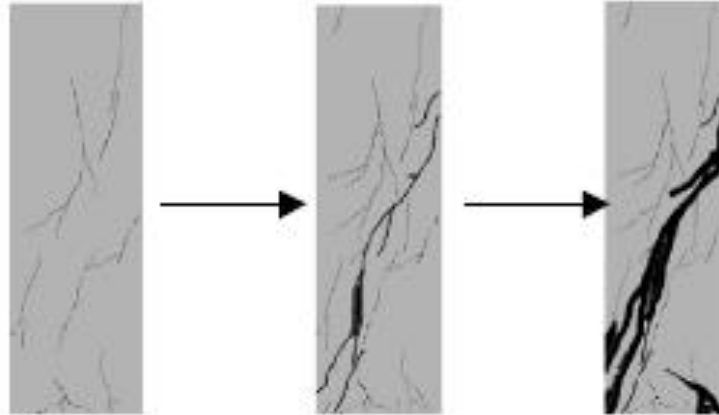
ISTRAŽIVANJA KINESKIH ZNANSTVENIKA-J.XIAO, J.LI, C.ZHANG

- ◆ Ispitivanje svojstava tlačne čvrstoće i modula elastičnosti sa udjelima recikliranog agregata od 30, 50, 70 i 100 %
- ◆ Korišten reciklirani agregat u dvije frakcije (4-16 mm-60% i 16-32 mm-40%)

Oznaka	Udio BRA (%)	v/c	Cement (kg)	Pijesak (kg)	Agregat (kg)	Reciklirani agregat (kg)	Voda (l)
NC	0	0.43	430	555	1295	-	185
BRA 30	30	0.43	430	534	872	374	185
BRA 50	50	0.43	430	522	609	609	185
BRA 70	70	0.43	430	510	357	832	185
BRA 100	100	0.43	430	492	-	1149	185

Agregat	Frakcija (mm)	Gustoća (kg/m ³)	Apsorpcija vode (%)	Indeks loma
Prirodni	5-31.5	2820	0.4	4.04
Reciklirani	5-31.5	2520	9.25	15.2

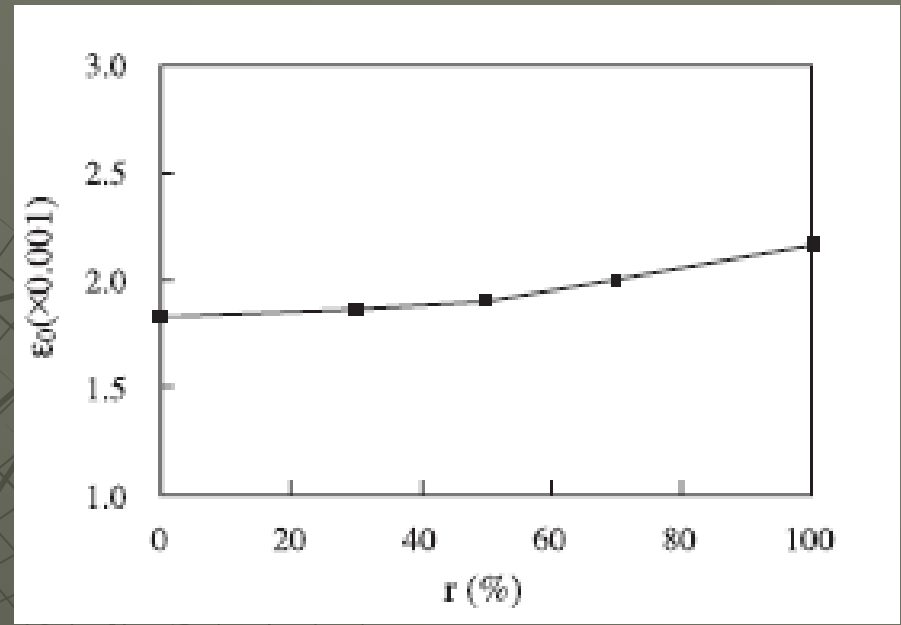
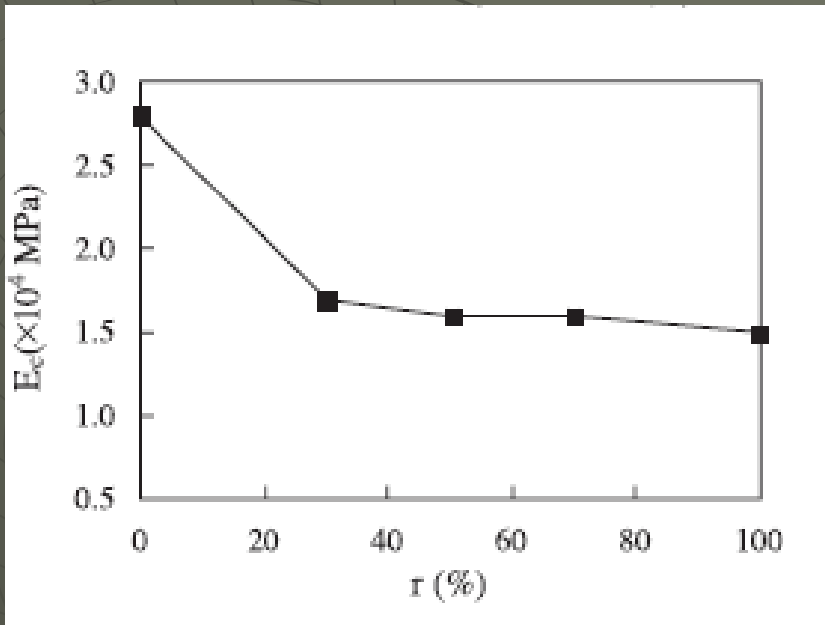
◆ Razvoj pukotina i ispitivani uzorci



(a) Failure process of recycled aggregate concrete prisms



◆ Pad modula elastičnosti i rast deformacije



- ◆ Brži razvoj pukotina i raniji slom uzorka
- ◆ Kut sloma veći kod recikliranog agregata
- ◆ Pad ME od 45% i rast deformacije od 20% kod BRA 100
- ◆ Pad tlačne čvrstoće od 5 % kod BRA 30

APROKSIMATIVNI ANALITIČKI MODELI

- ◆ Na temelju provedenog exp. ispitivanja dani su analitički modeli veze σ - ε , za dvije razine deformacije

$$\bar{\sigma} = a\bar{\varepsilon} + (3-2a)\bar{\varepsilon}^2 + (a-2)\bar{\varepsilon}^3, \text{ za } \bar{\varepsilon} < 1, \text{ i}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\bar{\varepsilon}}{b(\bar{\varepsilon}-1)^2 + \bar{\varepsilon}}, \text{ za } \bar{\varepsilon} > 1 \quad (1)$$

$\bar{\varepsilon}$, $\bar{\sigma}$, a i b su konstante, $\bar{\varepsilon} = \varepsilon/\varepsilon_0$, $\bar{\sigma} = \sigma/\sigma_0$

$$a = 2.2 (0.748 r^2 - 1.231 r + 0.975)$$

$$b = 0.8 (7.6483 r - 1.142) \quad (2)$$

$$\varepsilon_0^n = 0.00076 + [(0.626 f_c^n - 4.33) \times 10^{-7}]^{0.5} \quad (3)$$

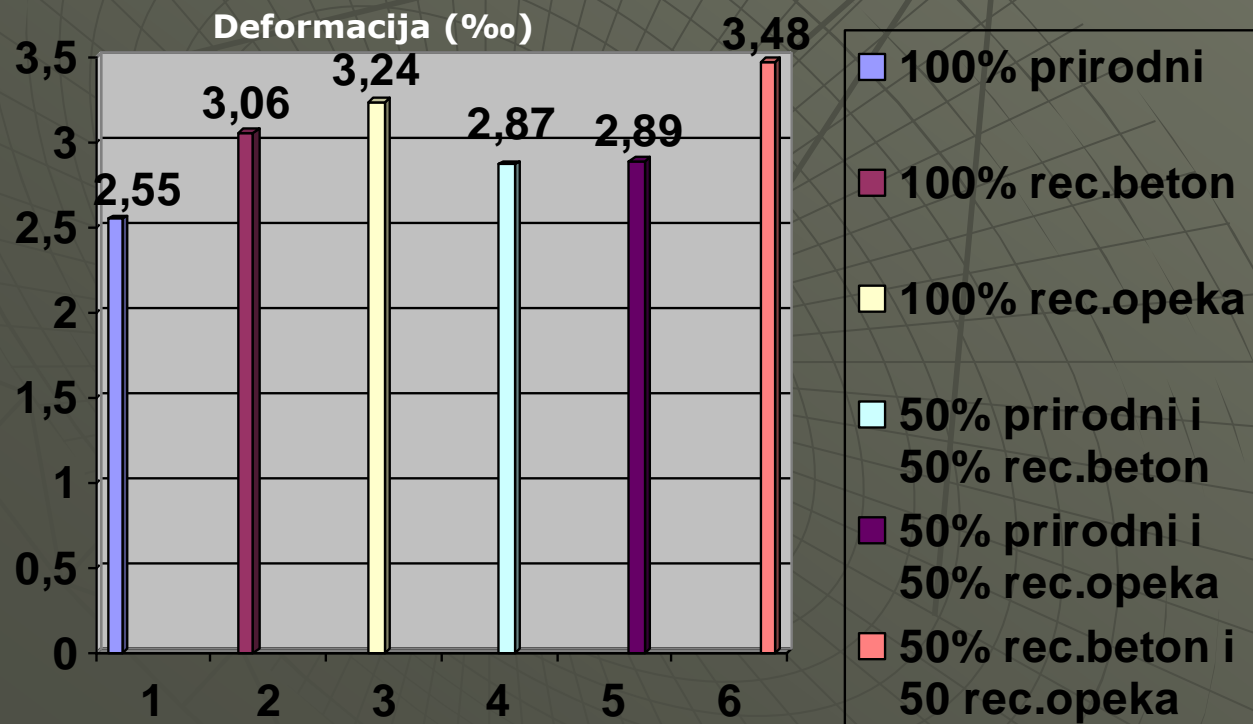
$$\varepsilon_0^r = \varepsilon_0^n \left(1 + \frac{r}{\beta} \right) \quad (4)$$

$$\beta = 65.715 r^2 - 109.43 r + 48.989 \quad (5)$$

- ◆ Analitički izrazi za:
 - ◆ Vršnu deformaciju za normalni beton
 - ◆ Vršnu deformaciju za beton s različitim udjelom recikliranog agregata
 - ◆ r – udjel recikliranog agregata u ukupnom agregatu

REZULTATI ISTRAŽIVANJA-RUHL I ATKINSON

- ◆ Ispitivanje svojstava deformacije pri maksimalnom naprežanju za beton od recikliranog betonskog i opečnog agregata
- ◆ Apsorpcija vode recikliranog betonskog agregata bila je u prosjeku 4 %, a opečnog 10%



- ◆ Rast deformacije od 20%
- ◆ Razlog je manji ME ulaznog produkta-agregata pa samim time i betona

ANALIZE SVOJSTAVA PO RADONJANINU I MALEŠEVU

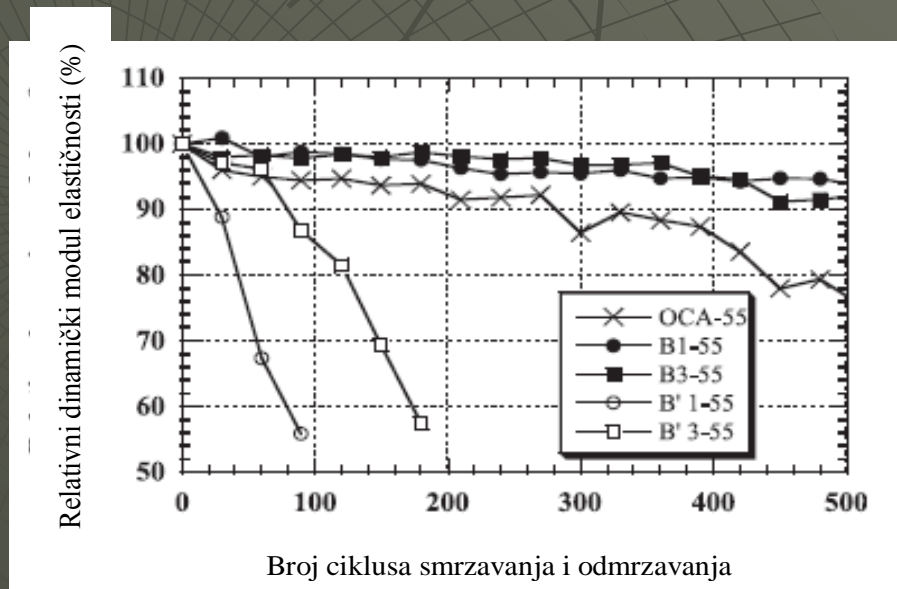
- ◆ Ispitivanje svojstava betona sa kombiniranim udjelima recikliranog agregata (0, 50 i 100%)

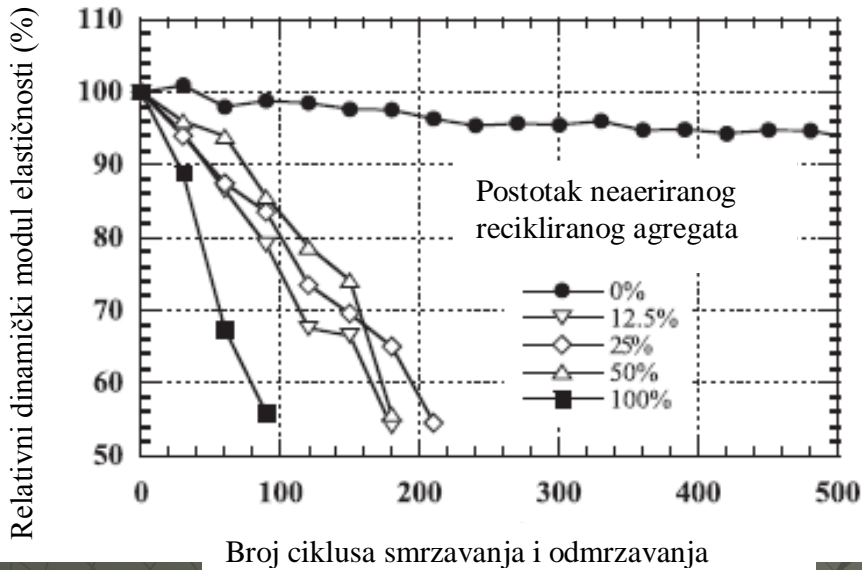
Vrsta betona	Tlačna čvrstoća (MPa)	Deformacija $\epsilon_{cs,28}$ (mm/m)	Upijanje vode (%)	Vodonepropusnost (mm)	Čvrstoća na cijepanje (MPa)	Čvrstoća na savijanje (MPa)	Otpornost na habanje (cm ³ /50cm)
RO 0	43.4	0.3387	5.61	26.27	2.66	5.4	13.4
RO 50	45.2	0.3060	6.87	17.67	3.2	5.7	15.58
RO 100	45.7	0.4067	8.05	34.67	2.78	4.2	17.18

- ◆ Tlačna čvrstoća ista ali uz rast deformacije
- ◆ Beton od recikliranog agregata zadovoljava zahtjeve vodonepropusnosti
- ◆ Pad vrijednosti čvrstoće na savijanje
- ◆ Pad otpornosti na habanje zbog povećanja udjela cementnog kamena u beonu od rec. agregata

OTPORNOST NA SMRZAVANJE

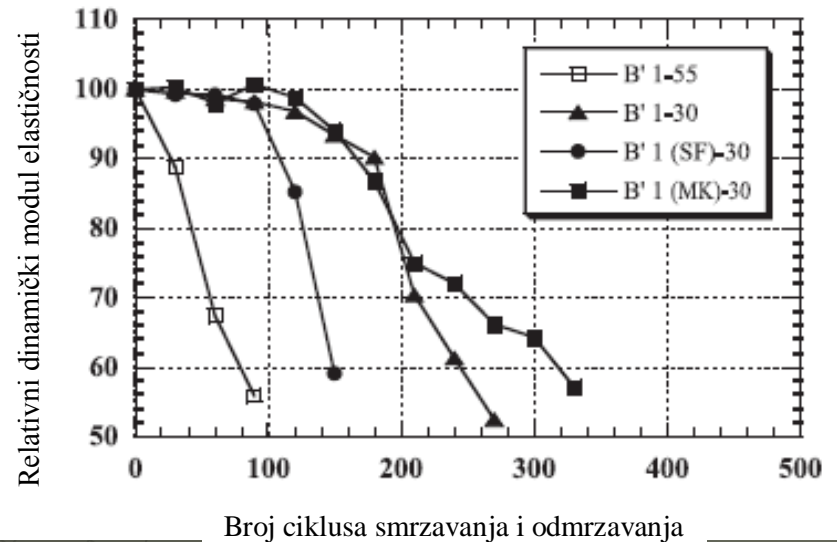
- ◆ Beton od recikliranog agregata ima manju otpornost na smrzavanje od klasičnog betona. Smanjenje otpornosti je neznatno uz korištenje 30% recikliranog agregata
- ◆ Ključno je da li je srušeni beton bio spravljen s dodacima aerantima. Ukoliko nije teško se postiže otpornost na smrzavanje u novom betonu bez obzira na poboljšanje receptura i različite dodatke
- ◆ Kritično je mjesto spoj novog morta i starog morta na recikliranom agregatu





◆ Otpornost na smrzavanje za različitim udjelima neaeriranog srušenog betona u recepturi novog

◆ Rast otpornosti na smrzavanje uporabom dodatka – silikatna prašina



SVOJSTVA TRAJNOSTI BRA

- ◆ Trajnosna svojstva BRA su lošija od svojstava klasičnog betona. Dolazi do povećanja poroznosti i skupljanja, smanjenja otpornosti na smrzavanje, kemijsku degradaciju, utjecaje klorida i sulfata
- ◆ Predlaže se korištenje dodataka ili udjela rec. agregata od 30%. U ovom slučaju moguće je proizvesti BRA zadovoljavajućih trajnosnih svojstava

Svojstvo betona	Beton od prirodnog agregata	Beton od recikliranog agregata	Beton od recikliranog agregata s dodatkom silikatne prašine
Tlačna čvrstoća (MPa)	30	18	21
Gustoća (kg/m ³)	2400	1800	2000
Ukupna poroznost (%)	12	23	19
Makro pore (%)	8	10	5
Mezo pore (%)	16	19	12
Mikro pore (%)	76	71	83



EKSPERIMENTALNI RAD OD IDEJE RECIKLAŽE BETONA DO ISPITIVANJA

- ◆ Temeljni pokretač razvoja reciklaže je razvoj tržišta građevinskih materijala i sirovina
- ◆ Nezaobilazni faktori su : zaštita okoliša, održivi razvoj i uštede pri korištenju recikliranih materijala
- ◆ U RH nije provedeno niti jedno eksperimentalno ispitivanje vezano na reciklirani beton
- ◆ Moji prvi susreti na temu reciklaže zdrobljenog betona bili su vezani na korištenje u cestogradnji (rušenja prometnih površina pri rekonstrukciji raskrižja Radnička-Heinzelova-Slavonska u Zagrebu-nemogućnost odlaganja)
- ◆ Rušenje podvožnjaka na Zagrebačkoj aveniji u Zagrebu (6000 m³ betona), bez planova o reciklaži ili zbrinjavanju otpada
- ◆ Zdrobljeni beton je recikliran te ponovno iskorišten u cestogradnji. Dobiveni materijal sam iskoristio za spravljenje i ispitivanje svojstava betona od recikliranog agregata

- ◆ Rušenje AB konstrukcije na Zagrebačkoj aveniji u Zagrebu



- ◆ Korištenje srušenog betona sa stvarnog objekta

- ◆ Cilj cijelog istraživanja je prilagodba važećoj zakonskoj regulativi i mogućim tehnologijama obrade koji egzistiraju u struci





- ◆ Deponirani srušeni armirani beton za dalju uporabu



TEHNOLOGIJA OBRADE RECIKLIRANOG AGREGATA



- ◆ Primarno drobljenje agregata do frakcije 63 mm

- ◆ Odvajanje armature specijaliziranim strojevima



- ◆ U svrhu dobivanja betona od recikliranog agregata u potrebnim frakcijama, 10-ak m³ recikliranog materijala je tretirano kroz drobilice na separaciji prirodnog materijala



- ◆ Sekundarna obrada betonskog agregata

◆ Rezultat sekundranog drobljenja recikliranog agregata



PROGRAM ISPITIVANJA I PRIPADAJUĆE NORME

- ◆ Tema istraživanja je određivanje svojstava betona sa kombinirani udjelima recikliranog agregata (0, 30, 50, 70 i 100%)
- ◆ Cilj istraživanja je pokazati da je moguće korištenje betona od recikliranog agregata posebno u slučaju njegovog reduciranog udjela udjela nu betonu (npr. 30%)
- ◆ Iz recepture je nužno isključiti najsitniju frakcija 0-4mm (mort i nečistoće). Istu je potrebno zamijeniti prirodnim pijeskom. Reciklirani agregata je uvijek $> 4\text{mm}$



- ◆ Frakcije recikliranog betonskog agregata

- ◆ Nelinerano doziranje agregata po frakcijama (udjeli 0-100%). Prvo uzimane krupnije frakcije pa sitne, cilj korištenje krupnog recikliranog agregata
- ◆ Ciljana tlačna čvrstoća je C25/30
- ◆ Konstantna veličina je v/c omjer

SVOJSTVA AGREGATA SUKLADNO TPBK

SVOJSTVO	PRIPADAJUĆA NORMA
Granulometrijski sastav	HRN EN 933-1
Sadržaj sitnih čestica	HRN EN 933-1
Otpornost na drobljenje	HRN EN 1097-3
Gustoće i upijanje vode	HRN EN 1097-3 i HRN EN 1097-6

SVOJSTVA SVJEŽEG BETONA

SVOJSTVO	PRIPADAJUĆA NORMA
Razred konzistencije	HRN EN 12350-2
Sadržaj pora	HRN EN 12350-7
Gustoća	HRN EN 12350-6
Temperatura betona i okoliša	HRN EN 12350-1

- ◆ Ispitana svojstva agregata i svježeg betona uz pripadajuće važeće norme

◆ Program ispitivanja očvrsllog betona

SVOJSTVO	BROJ UZORAKA ZA 1 MJEŠAVINU	DIMENZIJE UZORAKA	PRIPADAJUĆA NORMA
TLAČNA ČVRSTOĆA	6	Kocke 15x15x15 cm	HRN EN 12390-3
GUSTOĆA OČVRSLOG BETONA	6	Ispitat će se na kockama za tlačnu čvrstoću	HRN EN 12390-7
DUBINA PRODIRANJA VODE	3	Kocke 15x15x15 cm	HRN EN 12390-8
MODUL ELASTIČNOSTI	3	Prizme 10x10x40 cm	HRN U.M1.023 prEN 1341
SKUPLJANJE	3	Ispitat će se na prizmama za modul elastičnosti	HRN U.M1.029
PLINOPROPUSNOST	3	Valjci promjera 100 i visine 50 mm	HRN EN 933-4
RADNI DIJAGRAM σ - ϵ	3	Ispitat će se na prizmama za modul elastičnosti	HRN EN 12390
UKUPAN BROJ ISPITANIH UZORAKA: 27 x 6 mješavina = 162			
UKUPAN BROJ IZRAĐENIH UZORAKA: 15 x 6 mješavina = 90			

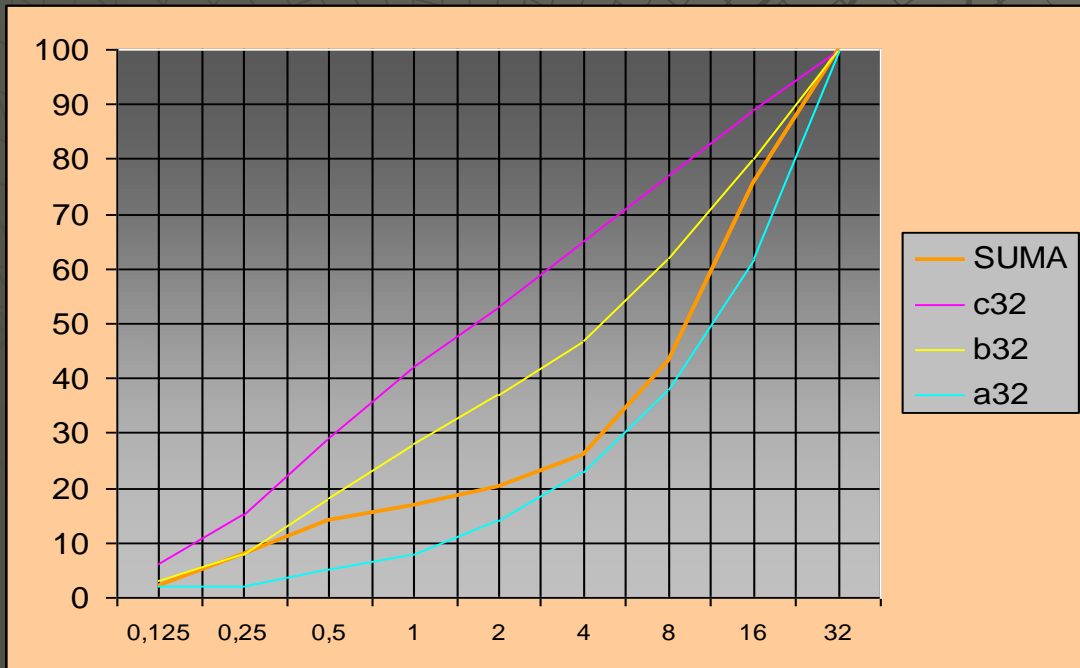
◆ Izrađeno ukupno 6 mješavina betona (5 mješavina sa varijacijom udjela recikliranog agregata 0, 30, 50, 70 i 100%) te mješavina poboljšanih svojstava

- ◆ Provedena su ispitivanja nekih svojstava samog agregata koja su poslužila i za projektiranje sastava betona
- ◆ Na temelju ispitanih granulometrijskih sastava svih frakcija određena je kumulativna granulometrijska krivulja za svaku mješavinu. Udjeli frakcija su određeni graničnim granulometrijskim linijama A32 i B32

GUSTOĆA I APSORPCIJA VODE AGREGATA

Svojstvo	Frakcije (mm)						
	0-4	4-8	8-16	16-32	RA 4-8	RA 8-16	RA 16-32
Prividna gustoća (ρ_a) g/cm ³	2,74	2,75	2,7	2,71	2,71	2,68	2,64
Gustoća zrna agregata (ρ_{rd}) g/cm ³	2,66	2,65	2,64	2,66	2,41	2,41	2,35
Gustoća zasićenog površinski suhog agregata (ρ_{ssd}) g/cm ³	2,70	2,69	2,66	2,68	2,52	2,53	2,46
Apsorpcija vode (w_{A24}) %	1,4	1,3	0,91	0,64	4,6	4,15	4,75

- ◆ Smanjenje gustoće RA 8 %, rast upijanja vode 3-7 puta



- ◆ Dobiveni udjeli frakcija
- ◆ 0-4 mm – 22%
- ◆ 4-8 mm – 12 %
- ◆ 8-16 mm – 22%
- ◆ 16-32 mm – 44%

- ◆ Ciljana klasa betona je C25/30 bez dodataka. Količina cementa etalonske mješavine BRA 0 uzeta u iznosu od 360 kg. Količina vode za ciljani razred konzistencije S3 određena je s 190 l. Određen v/c omjer 0,53 koji je zadržan konstantnim za sve mješavine

BRA100 SASTOJAK	MASA ZA 1 m ³	GUSTOĆA (kg/dm ³)	VOLUMEN ZA 1m ³ (dm ³)
CEMENT	360	3,1	116.13
VODA	190	1	190
VODOCEMENTNI OMJER	0,528	-	-
ZRAK 2,5 %	-	-	25
AGREGAT	1785,9	2,67	693,87
	2335,9	-	1000

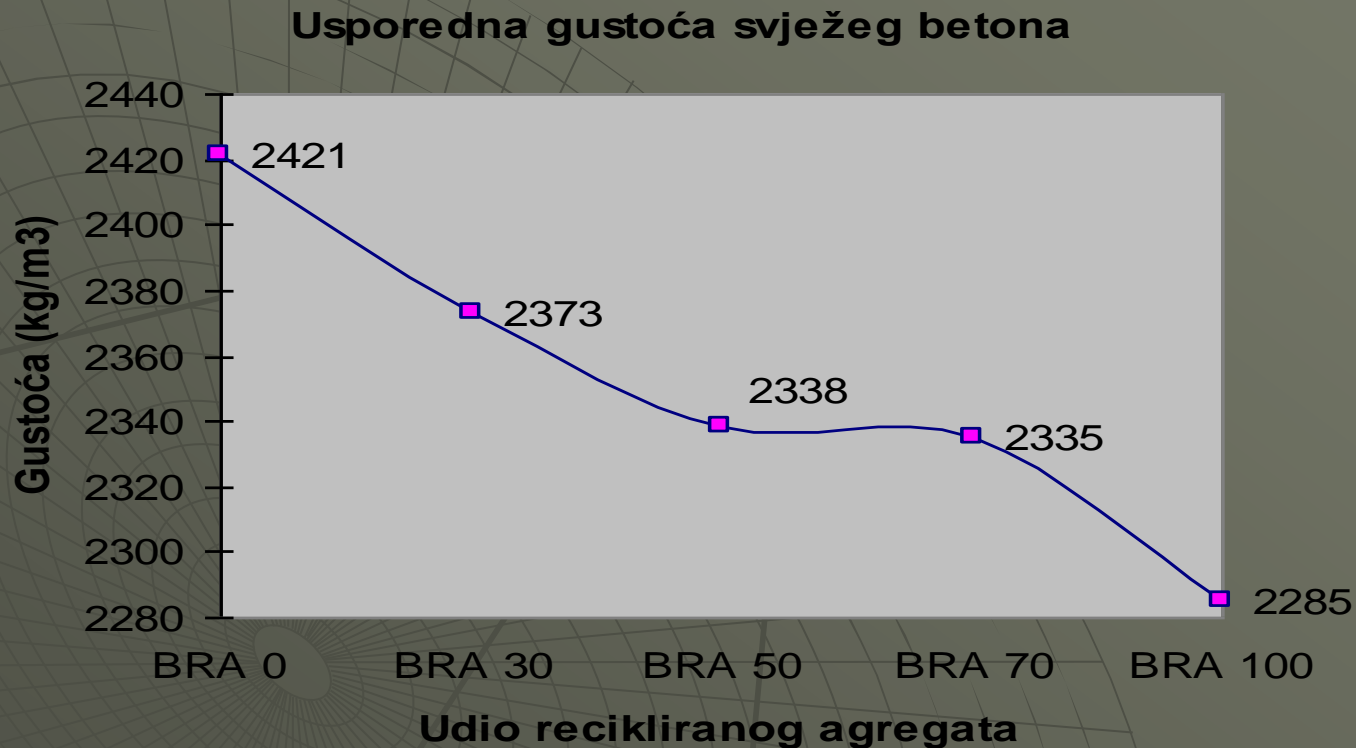
- ◆ Netom prije miješanja betona izvršena korekcija vode s obzirom na apsorpciju i vlažnost agregata. Navedeno je jako bitno s obzirom na povećane vrijednosti apsorpcije RA

◆ Miješanje betona i izrada uzoraka



ISPITIVANJE SVOJSTAVA SVJEŽEG BETONA

- ◆ Određivana je gustoća, sadržaj pora te konzistencija slijeganjem



- ◆ Budući da ulazni produkt-reciklirani agregat ima manju gustoću od prirodnog agregata manje je i gustoća svježeg i očvrslog betona od takvog agregata

Sadržaj pora



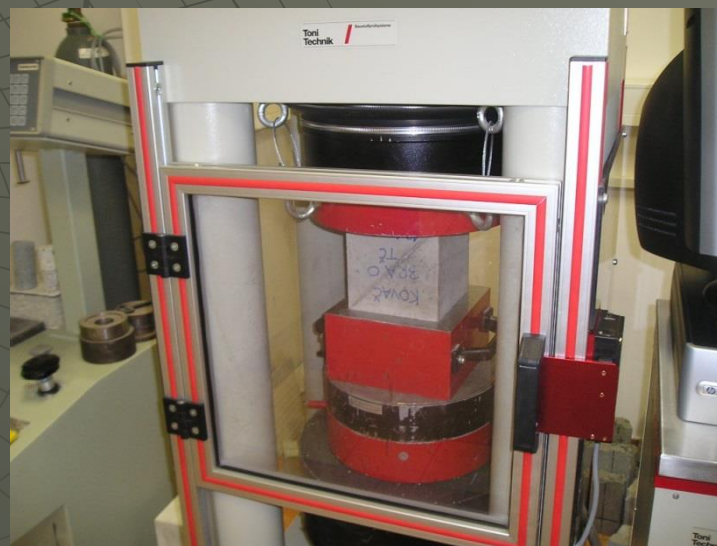
Obradivost betona



◆ Općenito gledano nema razlika u dobivenim vrijednostima konzistencije i sadržaja pora među mješavinama

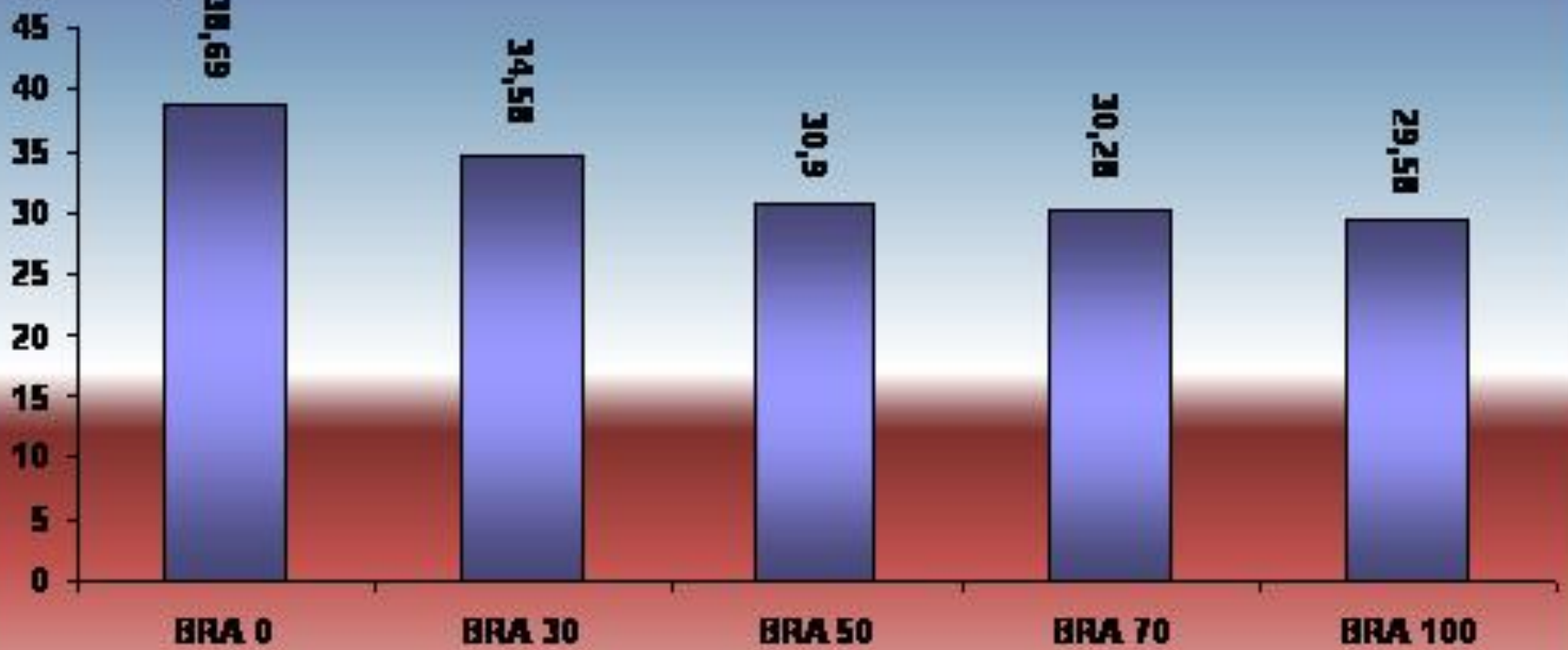
TLAČNA ČVRSTOĆA

- ◆ Uzorci kocki dimenzije 15 cm držani u lab. uvjetima 28 dana (vlažn. 95 %, $t=19^\circ$)
- ◆ Početni tlak na preši 0,5 MPa, brzina prirasta 0,5 MPa/s
- ◆ Pad vrijednosti 10 % za BRA 30, za BRA 100 24%
- ◆ Kod ostalih autora identični rezultati uz pad 10-40 %
- ◆ Sa povećanjem udjela recikliranog agregata - rast deformacije na klipu preše (od 8,5 ‰ do 9,8 ‰)
- ◆ Kod povećanja udjela recikliranog agregata veće osipanje rezultata tlačne čvrstoće i pripadajuće deformacije



Usporedna tlačna čvrstoća

Tlačna čvrstoća
(N/mm²)



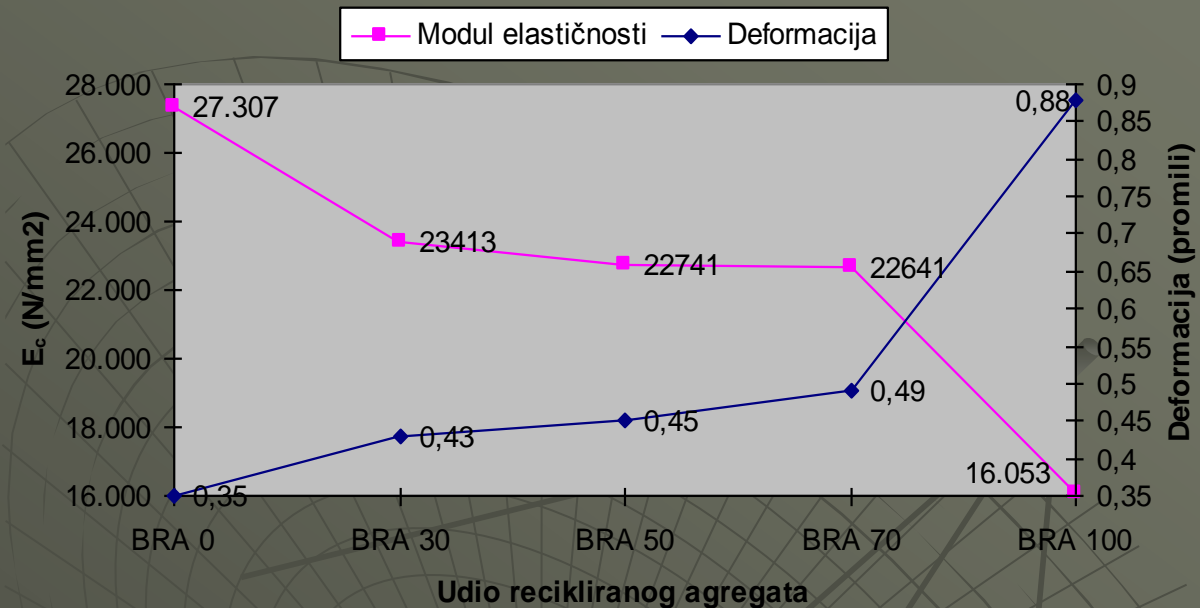
■ BRA 0 ■ BRA 30 ■ BRA 50 ■ BRA 70 ■ BRA 100

MODUL ELASTIČNOSTI

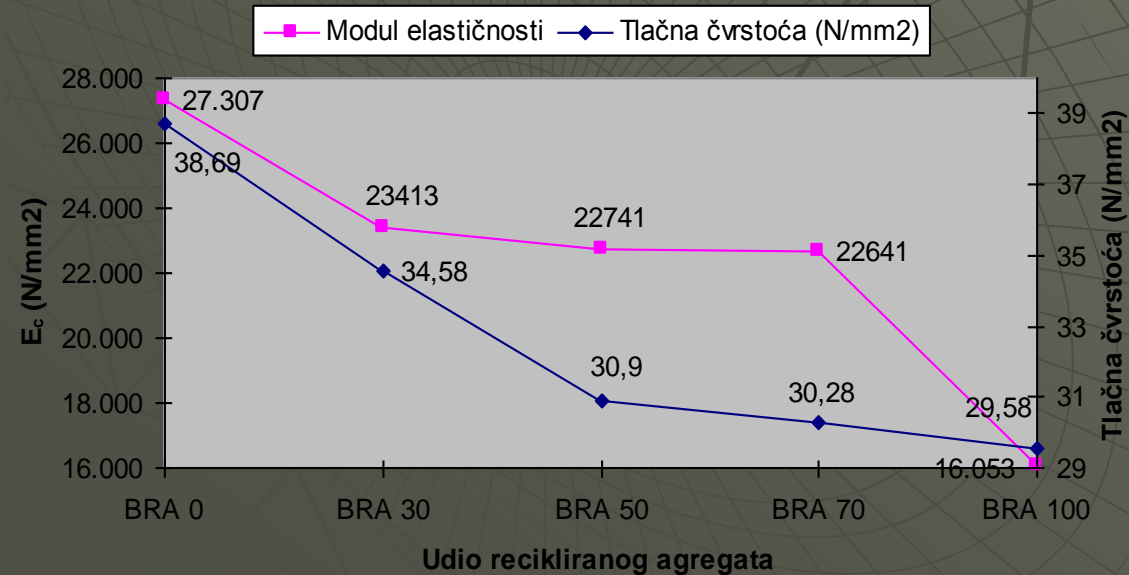
- ◆ Ispitivan na uzorcima prizmi dimenzije 10x10x40 cm nakon 28 dana, u 5 ciklusa sukladno HRN U.M1.023
- ◆ Početni tlak na preši 0,5 MPa, brzina prirasta 0,5 MPa/s
- ◆ Pad vrijednosti 14 % za BRA 30, za BRA 100 59%
- ◆ Kod ostalih autora identični rezultati uz pad 10-60 %
- ◆ Sa povećanjem udjela recikliranog agregata - rast deformacije (od 0,35 ‰ do 0,88 ‰)



Modul elastičnosti i pripadajuća deformacija



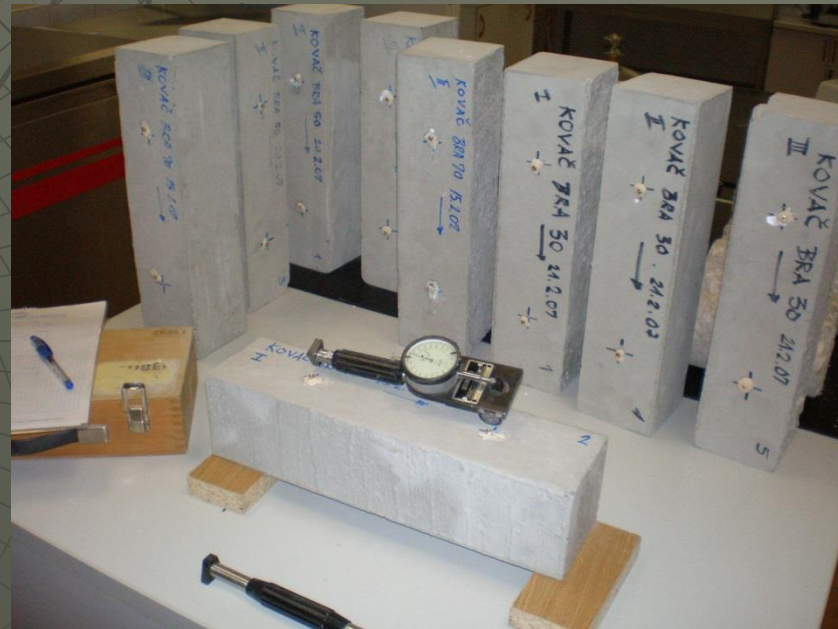
Modul elastičnosti i tlačna čvrstoća



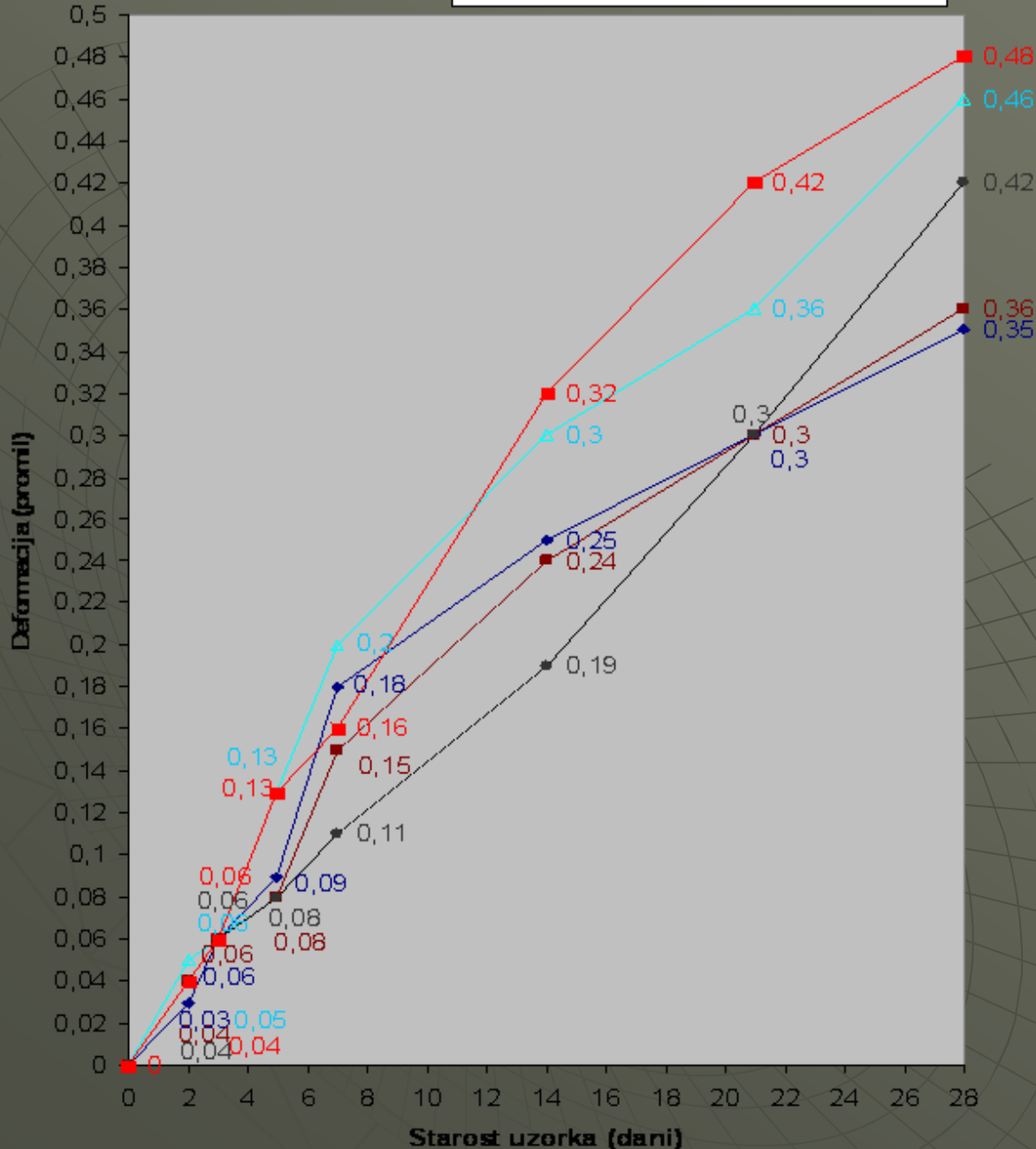
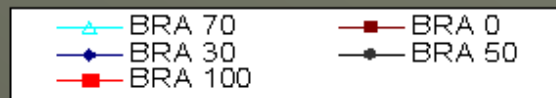
- ◆ Razlog padu svojstava je činjenica da reciklirani agregat kao ulazna komponenta ima bitno manji modul elastičnosti od konvencionalnog agregata
- ◆ Uz smanjenje tlačne čvrstoće dolazi do rasta pripadajuće deformacije
- ◆ Navedene rezultate potvrdit će i određivanje σ - ϵ dijagrama

REZULTATI PRAĆENJA SKUPLJANJA

- ◆ Ispitivano na uzorcima prizmi dimenzije 10x10x40 cm u periodu od 28 dana, sukladno HRN U.M1.029
- ◆ Vrijednosti skupljanja identične za BRA 0 i 30, za BRA 100 rast deformacije je iznosio 40%
- ◆ Kod prizmi BRA 100 zamijećene površinske pukotine odmah po raskalupljanju



Usporedno skupljanje



- ◆ Razlog većim vrijednostima skupljanja je veći udio morta u očvrslom betonu (zbog zadržanog morta na rec. agregatu)
- ◆ Skupljanje BRA 0 i BRA 30 je identično. Rast vrijednosti za BRA 100 iznosi 40%
- ◆ Ostali istraživači su dobivali slične rezultate. Radonjanin za BRA 0 0,33‰, a za BRA 100 0,41 ‰-rast deformacije 25%

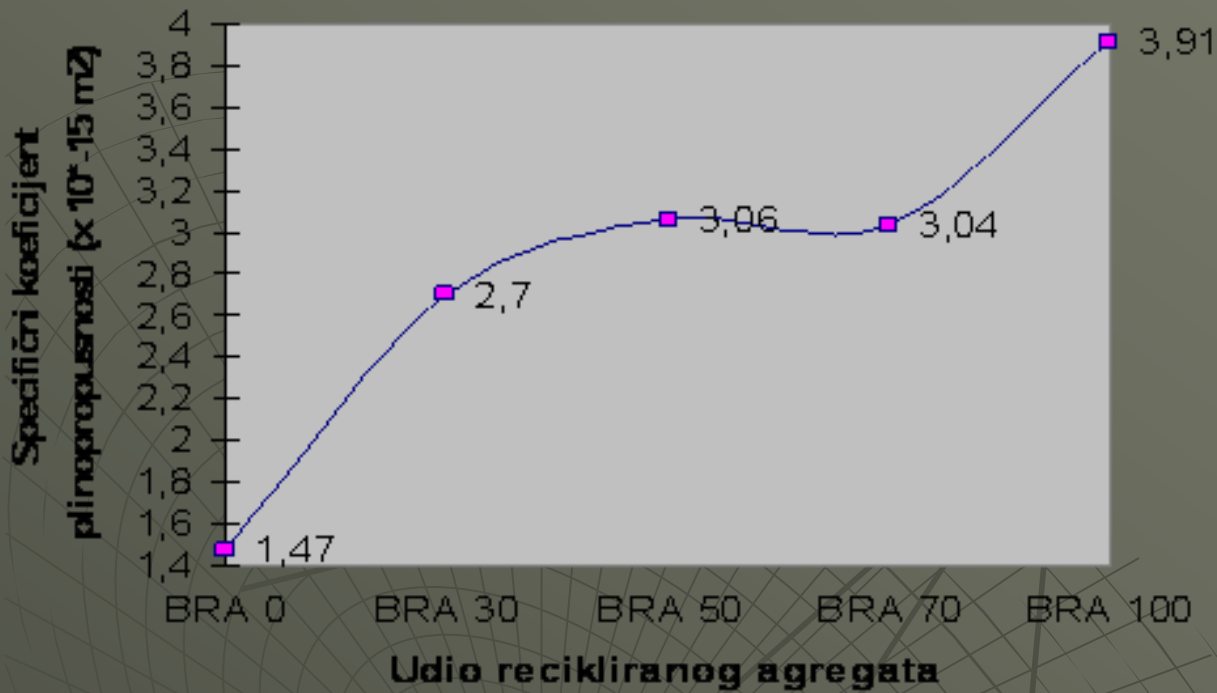
ISPITIVANJE PLINOPROPUSNOSTI

- ◆ Ispitivano na uzorcima valjaka dimenzije 100x50 mm , sukladno HRN EN 993-4
- ◆ Određivano je vrijeme prolaska plina (dušik) kroz uzorak pri različitim tlakovima. Za svaku mješavinu izrađena su tri uzorka. Izvršena su 4 mjerenja na 4 različita tlaka
- ◆ Specifični koeficijent plinopropusnosti je određen izrazom:

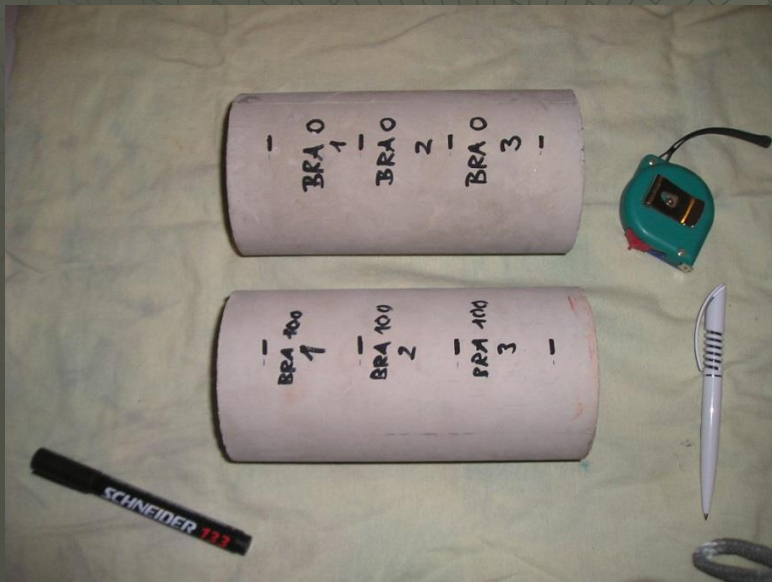
$$\mu = \eta \cdot \frac{h}{A} \cdot \frac{1}{p} \cdot q_v \cdot k_v ; \quad (\text{m}^2)$$

- ◆ η – dinamička viskoznost plina (Pa)
- ◆ h – visina uzorka (m)
- ◆ A – površina uzorka preko koje prolazi plin (m^2)
- ◆ Δp – razlika tlakova na površinama uzorka (Pa)
- ◆ q_v – količina plina koja je prošla kroz uzorak
- ◆ k_v – korekcijski faktor za utjecaj hlapljenja vode

Usporedna plinopropusnost



- ◆ Sa rastom udjela recikliranog agregata raste i plinopropusnost
- ◆ Specifični koeficijent plinopropusnosti je za BRA 100 2.5 puta veći od BRA 0



DUBINA PRODIRANJA VODE POD TLAKOM

- ◆ Ispitivano na kockama dimenzije 15 cm. Kocke su podvrgnute tlaku od 5 bara u trajanju od 72 sata, sukladno HRN EN 12390-8
- ◆ Nakon skidanja s uređaja kocke su prepolovljene cijepanjem te je izmjerena dubina prodora vode



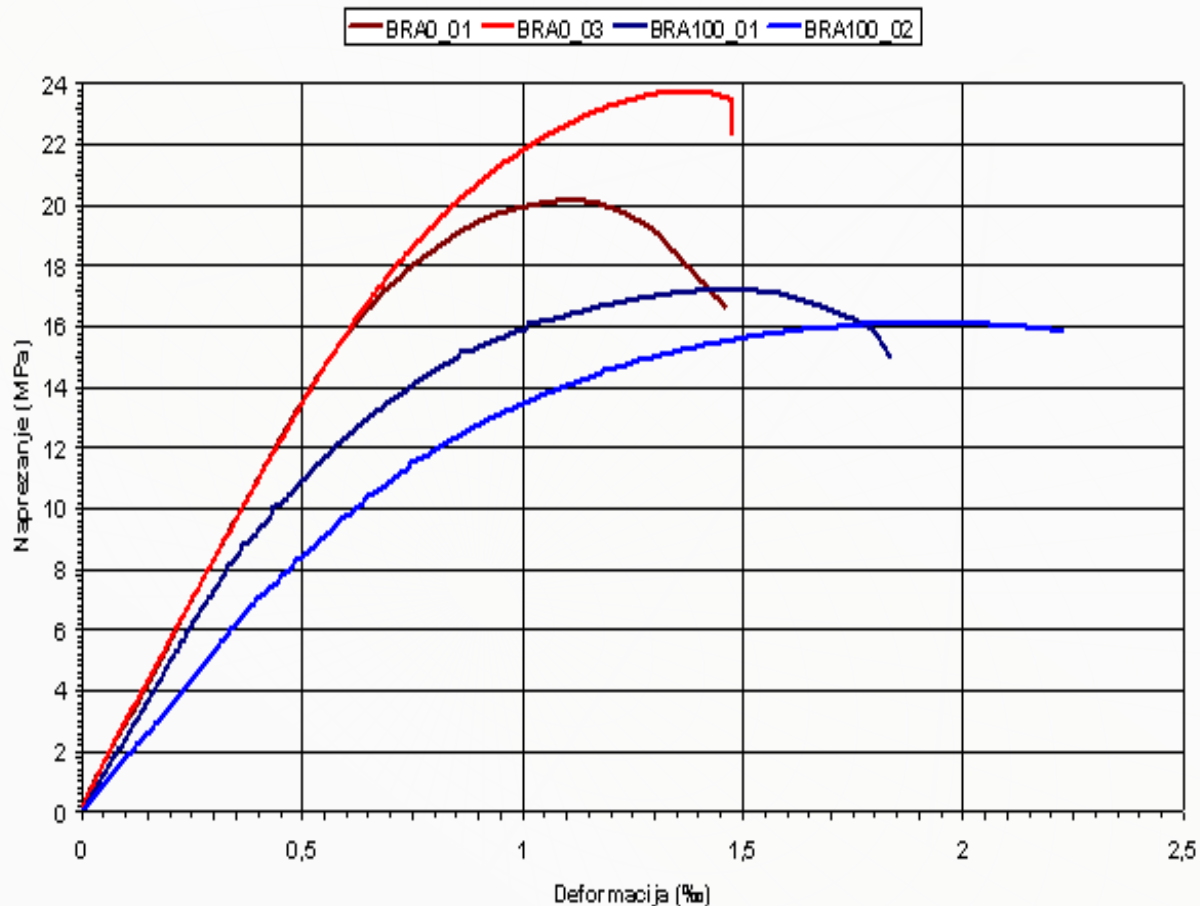
Usporedna DPV-e



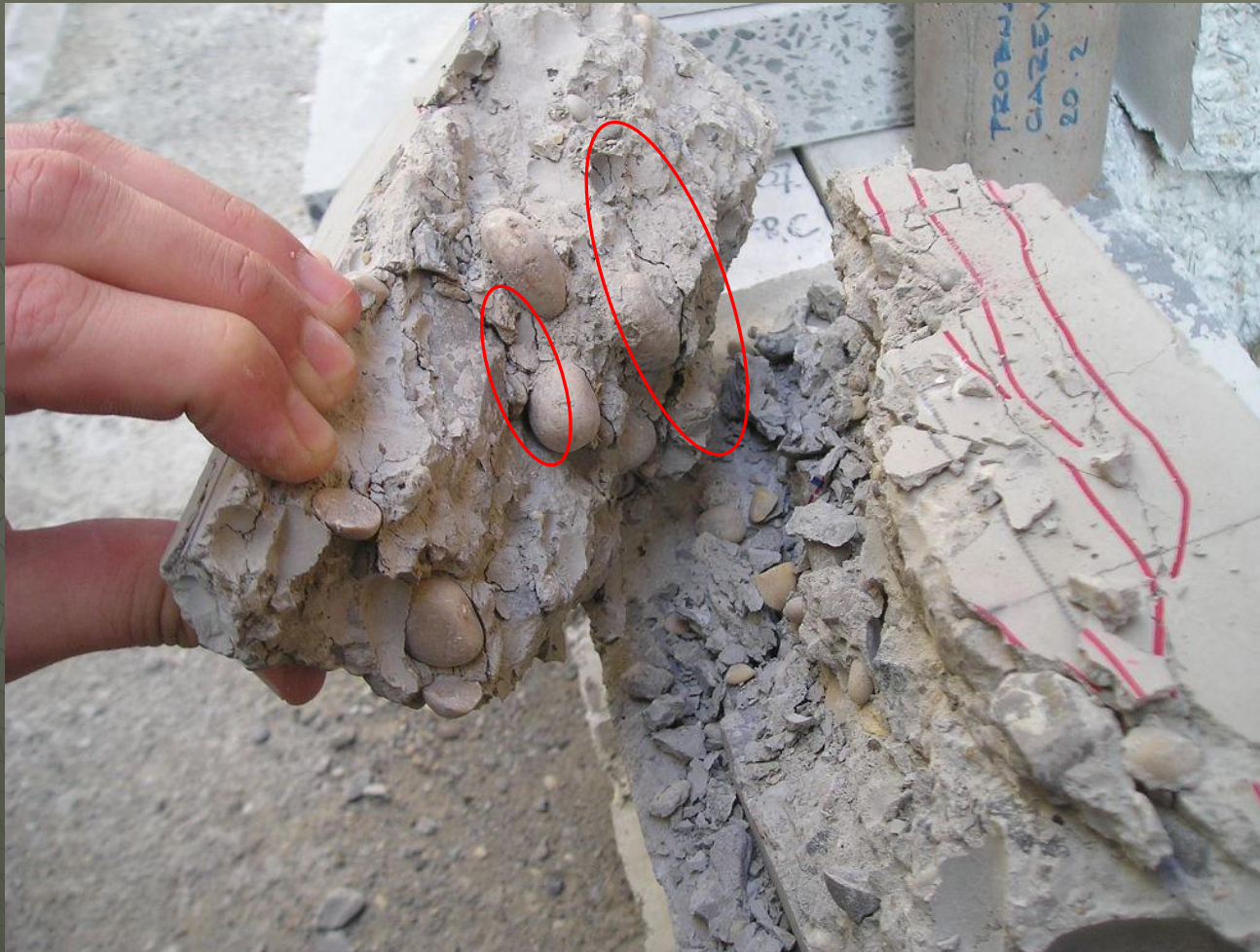
- ◆ Niti jedna receptura s recikliranim agregatom nije zadovoljila kriterij vodonepropusnosti (<30mm)
- ◆ Osnovni razlog navedenoj činjenici jest to da mješavine nisu slagane sa zahtjevom vodonepropusnosti (bez dodatka)
- ◆ Kod mješavine BRA 100 voda je prodrla gotovo kroz cijeli uzorak
- ◆ Kod drugih istraživača nisu zamijećene razlike u dubini prodiranja vode kod recikliranog u odnosu na beton od prirodnog agregata (Radonjanin)

ODREĐIVANJE DIJAGRAMA $\sigma - \varepsilon$

- Ispitivanje provedeno na prizmama 10x10x40 cm. Na svaku prizmu postavljena su dva tenzometra s mjernom duljinom od 10 cm



- Rastom udjela recikliranog agregata dolazi do:
 - Pada nagiba dijagrama
 - Pada vrijdnosti čvrstoće
 - Rasta vrijednosti deformacije



- ◆ Zamijećena pojava pukotina na kontaktu novog morta betona i starog morta na recikliranom agregatu

MOGUĆNOST POBOLJŠANJA SVOJSTAVA BETONA OD REC. AGREGATA

HRN EN 12390 - 3 : 2002		TLAČNA ČVRSTOĆA (KOCKE 15 x 15 x 15 cm)	
OZNAKA UZORKA	σ_m (N/mm ²)		
	BRA 70	BRA 70P	
KOCKA 1	-	41,38	
KOCKA 2	30,01	48,03	
KOCKA 3	29,13	48,52	
KOCKA 4	30,35	48,89	
KOCKA 5	29,33	52,58	
KOCKA 6	31,19	49,05	
SREDNJA VRIJEDNOST	30,28	48,08	

HRN EN 12390 3 : 2002		DUBINA PRODIRANJA VODE	
OZNAKA UZORKA	IZMJERENA DUBINA PRODORA VODE (mm)		
	BRA 70	BRA 70P	
KOCKA 1	82	27	
KOCKA 2	100	39	
KOCKA 3	86	25	
SREDNJA VRIJEDNOST	89	30	

- ◆ Beton do recikliranog agregata je pokazao relativno slabe rezultate praćenja skupljanja i dubine prodiranja vode
- ◆ Mješavina BRA 70 je izrađena ponovno, uz smanjenje v/c omjera sa 0,53 na 0,41 (dodatak superplastifikatora).
- ◆ Rezultat je rast tlačne čvrstoće i zadovoljenje kriterija vodonepropusnosti

- ◆ Radi smanjenja skupljanja reciklirani agregat je 24 sata prije miješanja potopljen u vodu. Cilj je bio da agregat upije vodu odmah, a ne u fazi očvršćavanja betona



- ◆ Prethodno potapanje recikliranog agregata je utjecalo na smanjenje vrijednosti skupljanja od 10%
- ◆ UPORABOM POBOLJŠANIH MJEŠAVINA I DODATAKA MOGUĆE JE ZADOVOLJITI TRAŽENA SVOJSTVA BETONA ČAK I UZ 100% UDJEL REC. AGREGATA

USPOREDBA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA S TEORIJSKIM MODELIMA-MODUL ELASTIČNOSTI

◆ Teorijski izrazi za modul elastičnosti na temelju poznate tlačne čvrstoće

Pripadajući propis	Teorijski izraz
ACI 318-02	$E_c = 4,73 \cdot \sqrt{f_c}$ (9)
ACI 363R-92	$E_c = 3.32 \cdot \sqrt{f_c} + 6.9$ (10)
Ukrainczyk [34]	$E_c = \frac{60 \cdot f_c}{27 + f_c}$ (11)
PBAB	$E_c = 9.25 \cdot \sqrt[3]{f_{ckk} + 10}$ (12)
EUROCODE 2	$E_c = 9.5 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8}$ (13)
Model Code 90	$E_{ci} = 22 \cdot \left(\frac{f_{ck} + 8}{10}\right)^{0.3}$ (14)
Model Code 90*	$E_{ci} = 11.026 \cdot f_c^{0.3}$ (15)

Oznaka uzoraka	Srednja tlačna čvrstoća kocke brida 15 cm (MPa)	Srednja tlačna čvrstoće kocke brida 20 cm (MPa)	Srednja tlačna čvrstoća valjka 15/30 cm (MPa)	Ispitana vrijednost modula elastičnosti na prizmi 10/40 cm (GPa)	ACI 318-02 (GPa)	ACI 363R-92 (GPa)	Ukrainczyk [34] (GPa)	PBAB (GPa)	EUROCODE 2 (GPa)	Model Code 90 (GPa)	Model Code 90* (GPa)
BRA0	38.69	36.76	32.24	27.31	26.85	25.75	32.65	33.32	32.55	33.4	31.26
BRA30	34.58	32.85	28.82	23.41	25.39	24.72	30.98	32.37	31.6	32.53	30.22
BRA50	30.9	29.36	25.75	22.74	24.00	23.75	29.29	31.46	31.76	31.69	29.21
BRA70	30.28	28.77	25.23	22.64	23.75	23.58	28.98	31.3	31.59	31.54	29.04
BRA100	29.58	28.1	24.65	16.05	23.48	23.38	28.63	31.12	31.39	31.37	28.83

- U slučaju betona od recikliranog agregata nije moguće koristiti teorijske izraze za procjenu modula elastičnosti na temelju pozante tlačne čvrstoće. Teorijski podaci daju bitno veće vrijednosti

Oznaka uzoraka	Ispitana vrijednost modula elastičnosti na prizmi 10/40 cm (Gpa)	ACI 318-02 (%)	ACI 363R-92 (%)	Ukrainczyk [34] (%)	PBAB (%)	EUROCODE 2 (%)	Model Code 90 (%)	Model Code 90* (%)
BRA0	27.31	-1.7	-5.7	+19.6	+22	+19.2	+22.3	+14.4
BRA30	23.41	+8.5	+5.6	+32.3	+38.3	+35	+38.9	+29.1
BRA50	22.74	+1.26	+4.4	+28.8	+38.3	+39.7	+39.4	+28.5
BRA70	22.64	+4.9	+4.2	+28	+38.3	+39.5	+39.3	+28.3
BRA100	16.05	+46.3	+45.6	+78.4	+93.9	+95.6	+95.5	+79.6

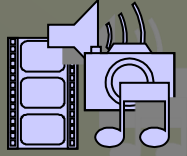
- Predloženi u sljedeći izrazi:

$$E_{\text{BRAi}} = \frac{E_c}{\left(1 + \frac{r_i}{\Delta}\right)}$$

$$E_c = a \cdot \sqrt[3]{f_c + b}$$

$$E_c = \frac{a \cdot f_c}{b + f_c}$$

ZAKLJUČAK



- ◆ U Hrvatskoj je moguće naći primjere korištenja recikliranog betonskog agregata, ali proces nije sustavan. U razvijenim zemljama isti se već dugo koristi. Postoje i specifikacije za korištenje
- ◆ Tehnološki proces obrade i korištenja recikliranog agregata tekao bi identično kako je prikazan o ovom radu. Prvi korak je napravljen
- ◆ Rezultati ispitivanja betona su pokazali da ga je moguće koristiti u praksi, a ne tretirati kao otpad
- ◆ Bez posebnih poboljšanja i uz uobičajeni sastav betona i količinu cementa moguće je dobiti beton klase C25/30
- ◆ Općeprihvaćeno stajalište za BRA je to da se isti treba koristiti za ispune, za radove u tlu, podzemne građevine itd. Ovaj rad je pokazao da je to pogrešno jer su upravo uvjeti okoliša u tim sredinama nepovoljni za BRA (vodonepropusnost, skupljanje, smrzanje). BRA treba koristiti u visokogradnji gdje se u većini slučajeva osim tlačne čvrstoće ne traže drugi zahtjevi za beton

- ◆ Kod korištenja recikliranog agregata sa udjelom manjim od 30% nije došlo do značajnog pada vrijednosti svojstava. Prednost navedenog slučaja je da se kao reciklirani agregat koristi jedna frakcija (npr 16-32mm) što olakšava tehnologiju
- ◆ Rad je pokazao da je moguće korištenje betona od rec. agregata i uz dodatne zahtjeve (vodonepropusnost, skupljanje, smrzavanje). Mješavine treba poboljšati potrebnim dodacima
- ◆ Doprinos rada je i u tome što je kroz cjelokupnu pripremu ispitivanja i samo ispitivanje prikazano kako bi korištenje ovog materijala trebalo izgledati u praksi sa posebnim osvrtima na tehnologiju i organizaciju rušenja i obrade materijala, postojeće propise, pripremu komponenti betona itd.
- ◆ Za daljnja istraživanja bi zasigurno bilo dobro: pokrenuti pilot projekt reciklaže te proizvesti i ugraditi beton od rec. agregata, detaljnije utvrditi σ - ε odnose tj. radne dijagrame, dugotrajne deformacije skupljanja i puzanja te otpornost na agresivno djelovanje okoliša. Na temelju opsežnijeg istraživanja mogli bi se točno odrediti analitički izrazi za procjenu modula elastičnosti iz poznate tlačne čvrstoće. Daljnje istraživanje moralo bi uključiti sve mogućnosti poboljšanja svojstava betona uz korištenje aditiva, eventualno mineralnih dodataka te raznih poboljšanih tehnologija izvedbe