

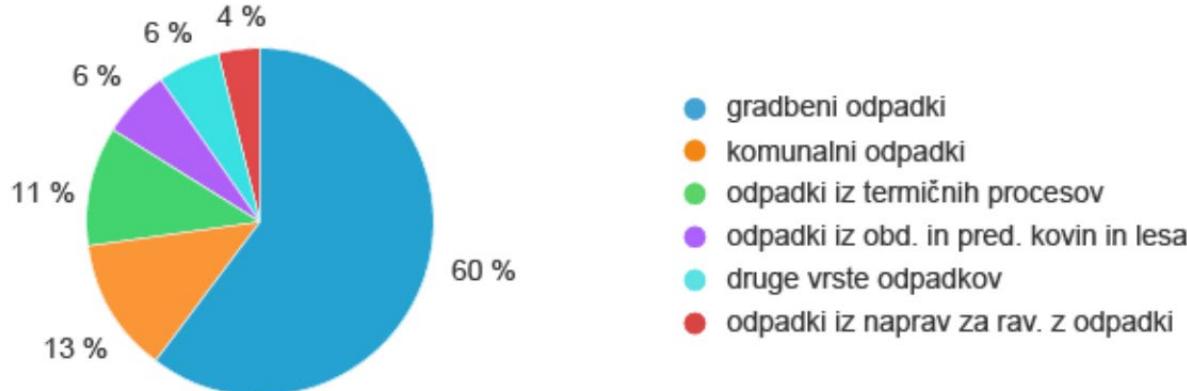
UPORABA RECIKLIRANIH MATERIALOV V BETONIH

dr. Anka ILC, univ.dipl.inž.grad.

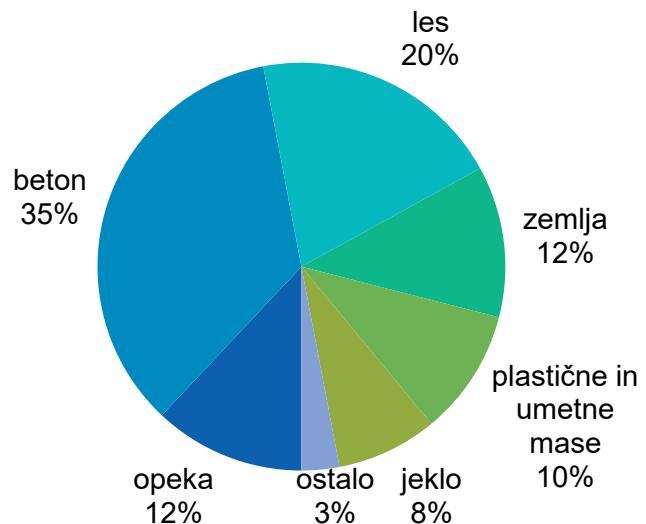
Integralno projektiranje in trajnostna gradnja kot ključna nosilca trajnostnega in krožnega gradbenega gospodarstva, 23.10.2023

ODPADKI V GRADBENIŠTVU

Vrste nastalih odpadkov, Slovenija, 2019



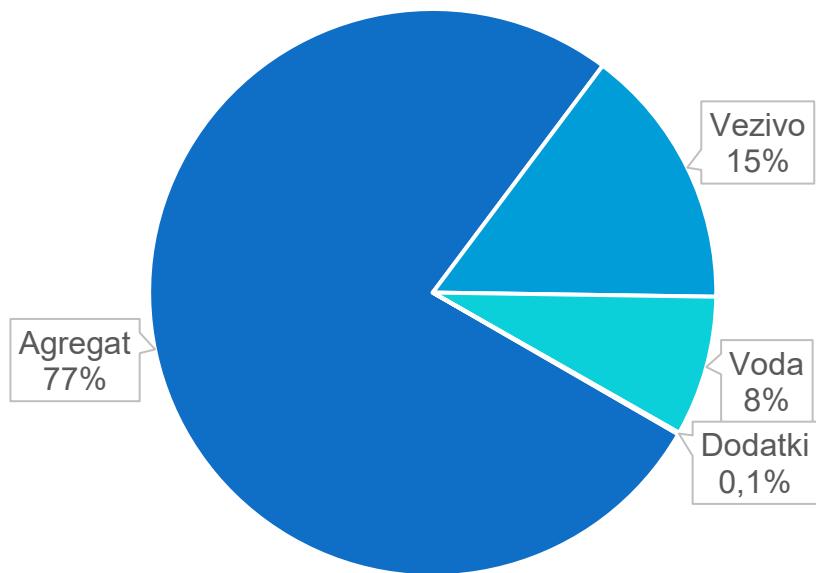
Vira: ARSO, SURS



Vir: B. Kerkhoff in E. Siebel: Properties of concrete with recycled aggregates: 2004.

BETON

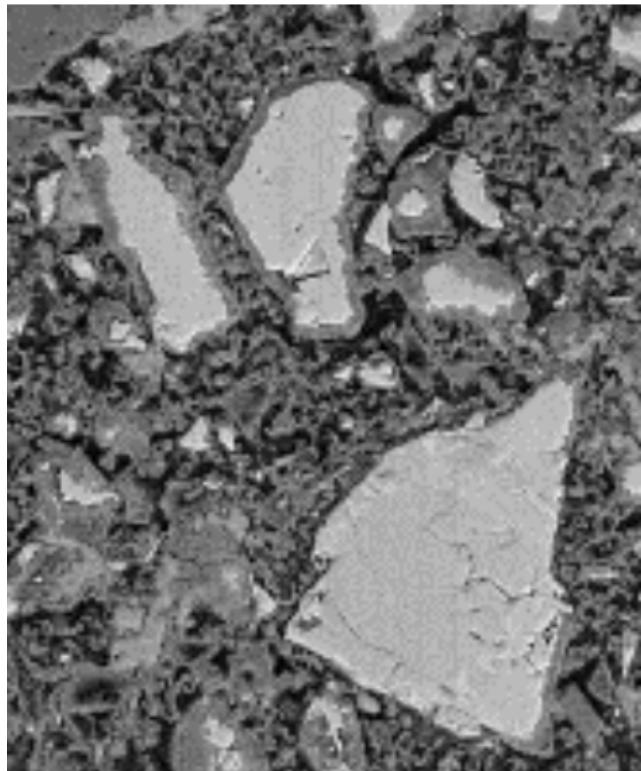
Sestava tipične betonske mešanice
(masni deleži)



Reciklirane materiale lahko v betonu uporabimo kot:

- Agregat:
 - Recikliran agregat iz odpadnega betona,
 - Žlindra,
 - Material iz izkopa tunelov.
- Vezivo:
 - Elektrofiltrski pepel,
 - Črna žlindra,
 - Mikrosilika.
- Voda:
 - Odpadna voda iz proizvodnje betona.

RECIKLIRAN (BETONSKI) AGREGAT



Beton:

- 60 – 70 % volumna – zrna agregata,
- 30 – 40 % volumna – cementna pasta.

SESTAVA RECIKLIRANEGA AGREGATA

Vir: SIST EN 12620:2002.

Oznaka	Pomen
Rc (concrete)	Beton, betonski proizvodi, cementna malta in betonski zidaki
Ru (unbound material)	Nevezani agregat, naravni kamen, hidravlično vezani agregat
Rb (brick)	Zidaki iz gline in kalcijevega silikata, neplavajoči aeriran beton, keramika
Ra (asphalt)	Bitumenski materiali
Rg (glass)	Steklo
X (other)	Ostalo



Vir: Spletna stran Goriške opekarne.

PRIPOROČILA GLEDE UPORABE GROBEGA RECIKLIRANEGA AGREGATA (SIST EN 206:2016, DODATEK E)

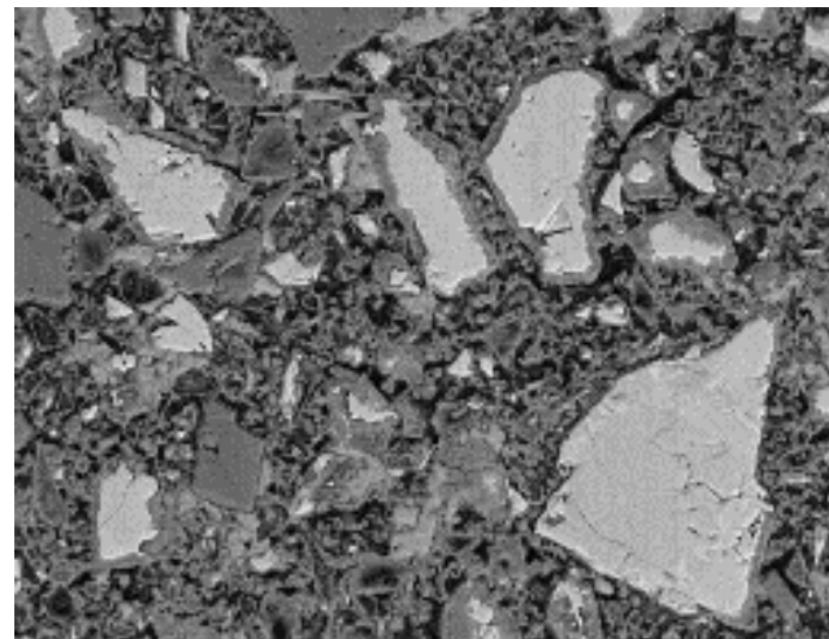
	Tip A	Tip B
Zahteve glede sestave		
Delež sestavine Rc (beton, betonski proizvodi, malta in betonski zidaki)	≥ 90 % mase (Rc_{90})	≥ 50% mase (Rc_{50})
Delež sestavin Rc in Ru (nevezani agregat, naravni kamen, hidravlično vezani agregat)	≥ 95 % mase (Rcu_{95})	≥ 70% mase (Rcu_{70})
Delež sestavine Rb (zidaki iz gline in kalcijevega silikata, neplavajoči aeriran beton, keramika)	≤ 10 % mase (Rb_{10-})	≤ 30 % mase (Rb_{30-})
Delež sestavine Ra (bitumenski materiali)	≤ 1 % mase (Ra_{1-})	≤ 5 % mase (Ra_{5-})
Delež sestavin Rg (steklo) in X (drugo)	≤ 1 % mase (XRg_{1-})	≤ 2 % mase (XRg_{2-})
Zahteve glede lastnosti		
Indeks ploščatosti (Flakiness indeks)	≤ 50 % (FI_{50})	≤ 50 % (FI_{40})
Odpornost proti drobljenju (Los Angeles)	≤ 50 (LA_{50})	≤ 50 (LA_{50})
Gostota suhih delcev	≥ 2100 kg/m ³	≥ 1700 kg/m ³
Vsebnost vodotopnega sulfata	≤ 0,7 % mase ($SS_{0,7}$)	≤ 0,7 % mase ($SS_{0,7}$)
Vpliv vodotopnih snovi iz agregata na začetni čas vezanja	≤ 40 min (A_{40})	≤ 40 min (A_{40})
Največji dovoljeni delež nadomestitve grobega agregata		
Razred izpostavljenosti X0	50% mase agregata	50% mase agregata
Razreda izpostavljenosti XC1, XC2	30% mase agregata	20% mase agregata
Razredi izpost. XC3, XC4, XF1, XA1, XD1	30% mase agregata	0
Vsi ostali razredi izpostavljenosti	0	0

VPLIV UPORABE RECIKLIRANEGA AGREGATA NA LASTNOSTI BETONA:

- Gostota betona se zmanjša,
- Poroznost betona se poveča,
- Konsistencija betona se zmanjša,
- Vpliv na tlačno trdnost je odvisen od vrste uporabljenega recikliranega agregata,
- Deformabilnost se poveča.

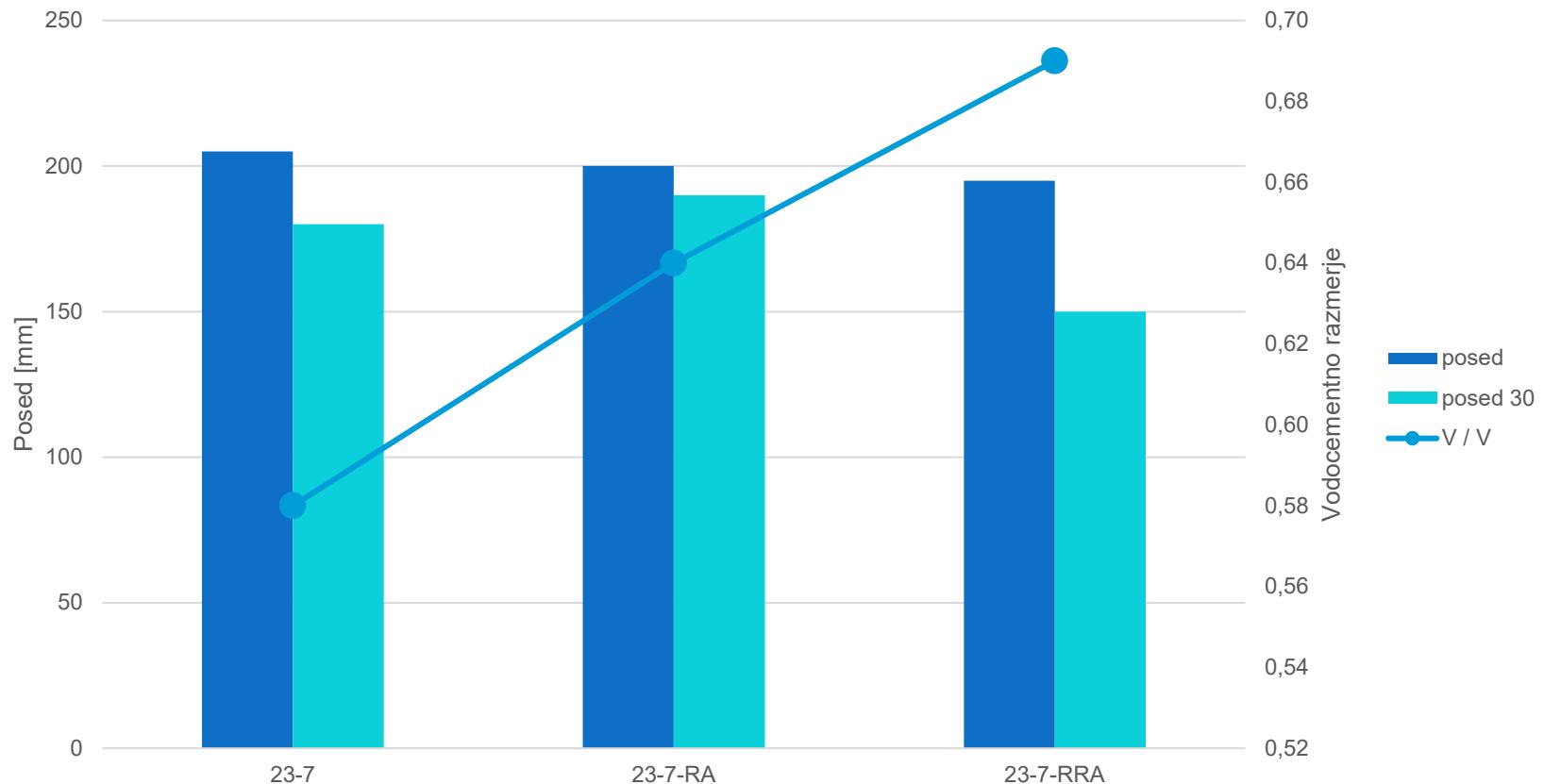
Ukrep:

Uporaba le grobih frakcij agregata.



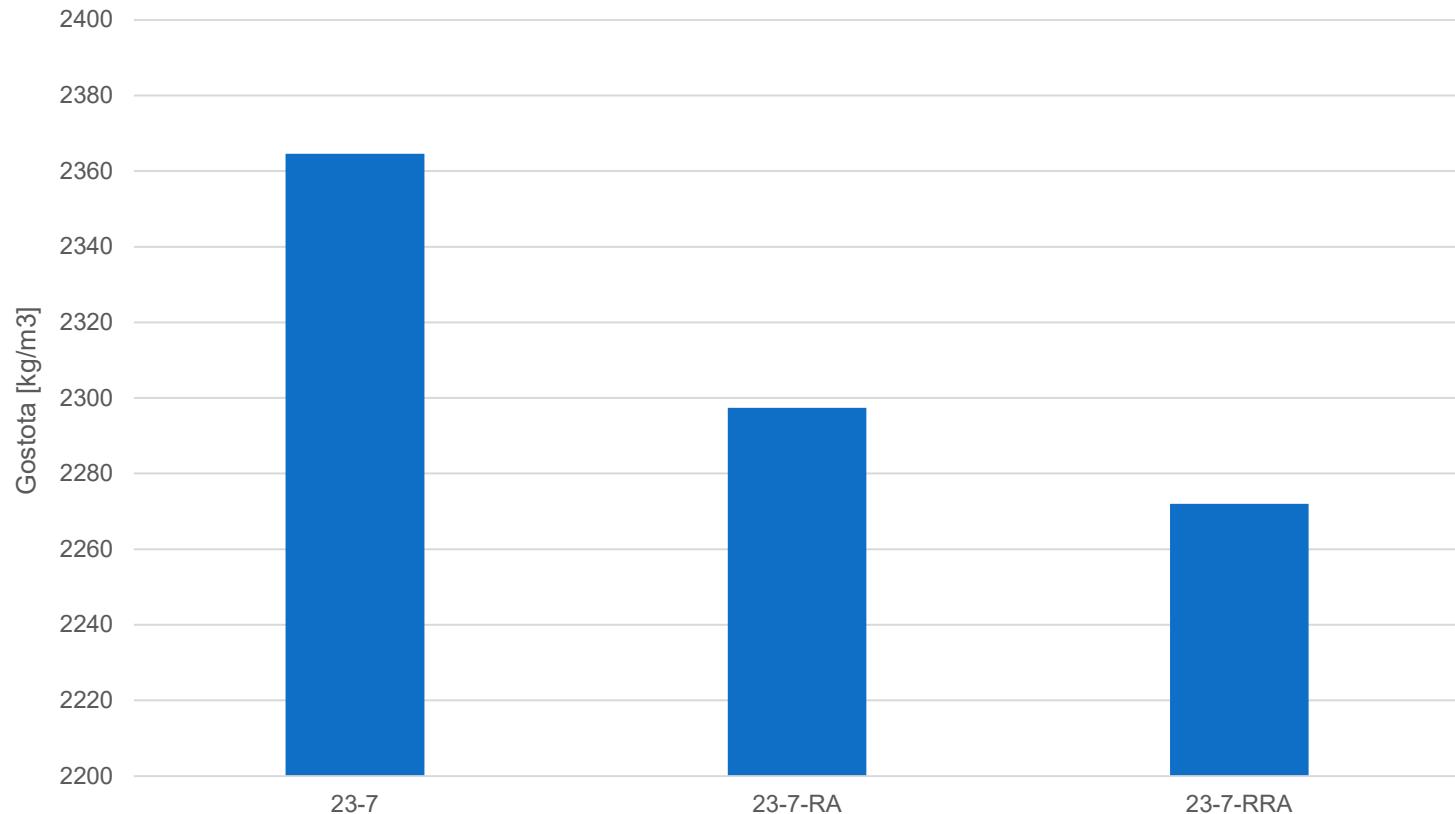
LABORATORIJSKI POSKUS – SVEŽI BETON

- 23-7 Etalon,
- 23-7 RA – mešanica s 30 % recikliranega agregata,
- 23-7 RRA – mešanica s 30 % recikliranega agregata iz betona z RA



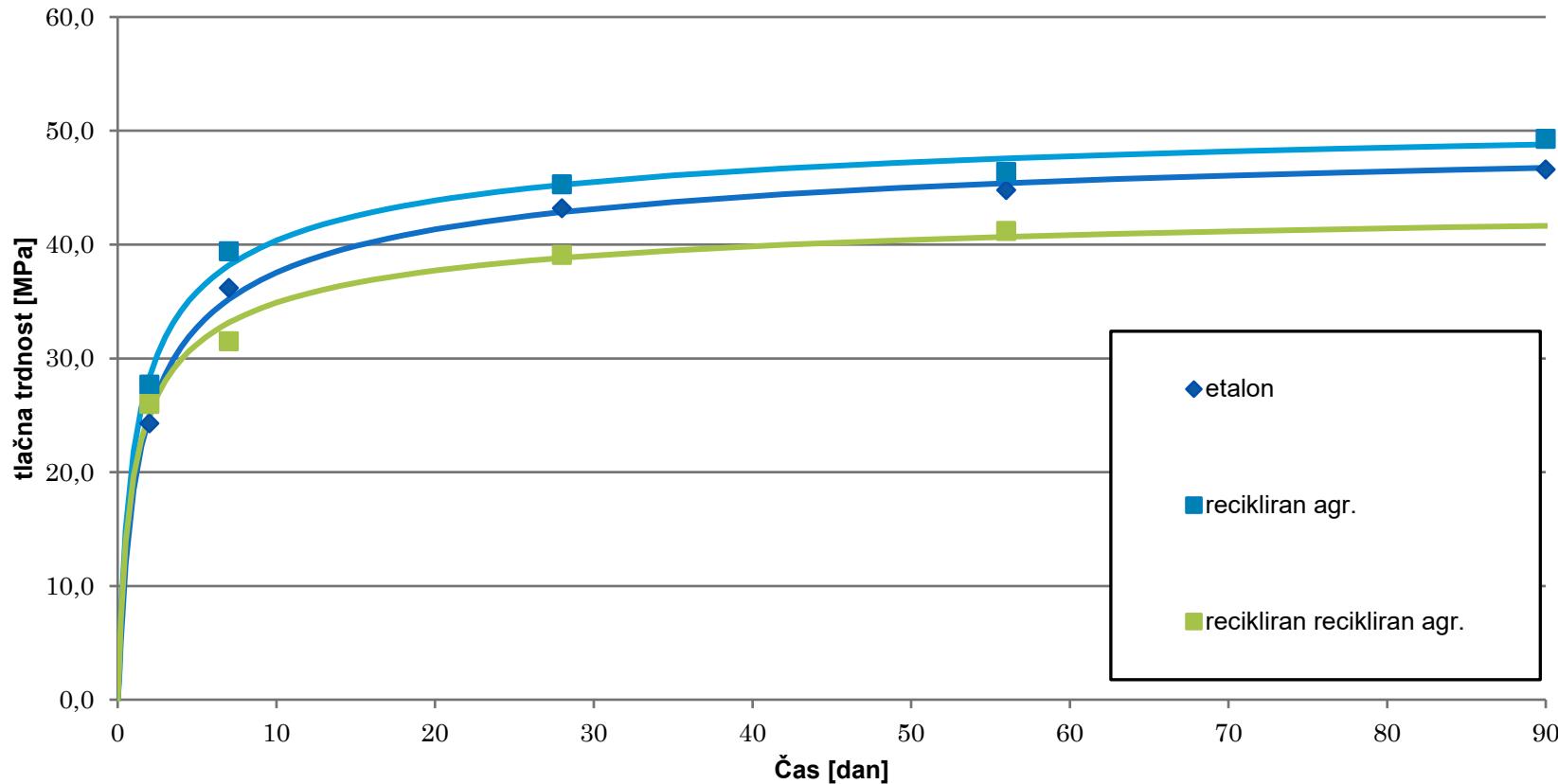
LABORATORIJSKI POSKUS - GOSTOTA

- 23-7 Etalon,
- 23-7 RA – mešanica s 30 % recikliranega agregata,
- 23-7 RRA – mešanica s 30 % recikliranega agregata iz betona z RA



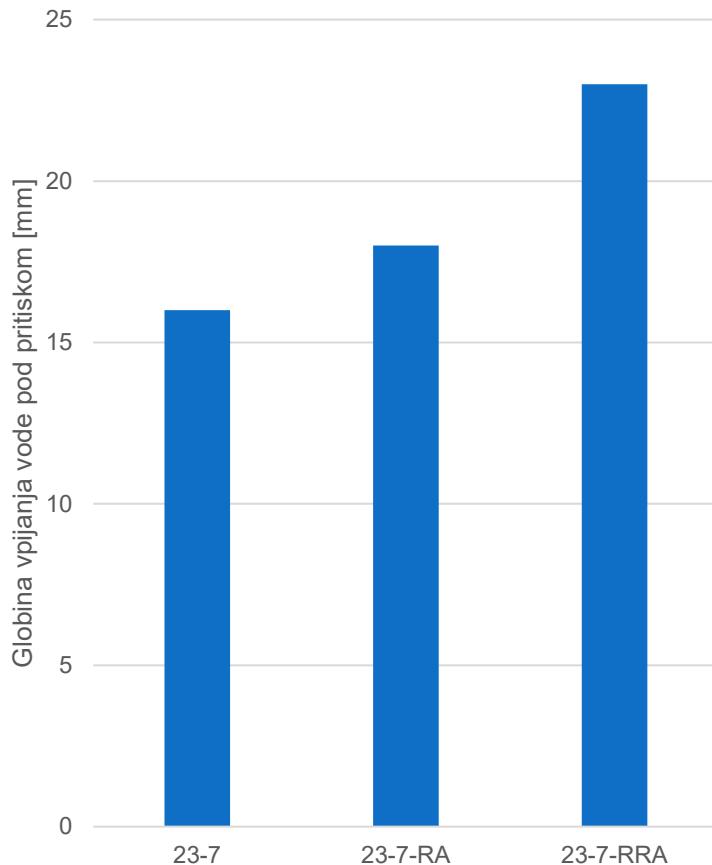
LABORATORIJSKI POSKUS – TLAČNA TRDNOST

- 23-7 Etalon,
- 23-7 RA – mešanica s 30 % recikliranega agregata,
- 23-7 RRA – mešanica s 30 % recikliranega agregata iz betona z RA



LABORATORIJSKI POSKUS – TRAJNOST

- 23-7 Etalon,
- 23-7 RA – mešanica s 30 % recikliranega agregata,
- 23-7 RRA – mešanica s 30 % recikliranega agregata iz betona z RA



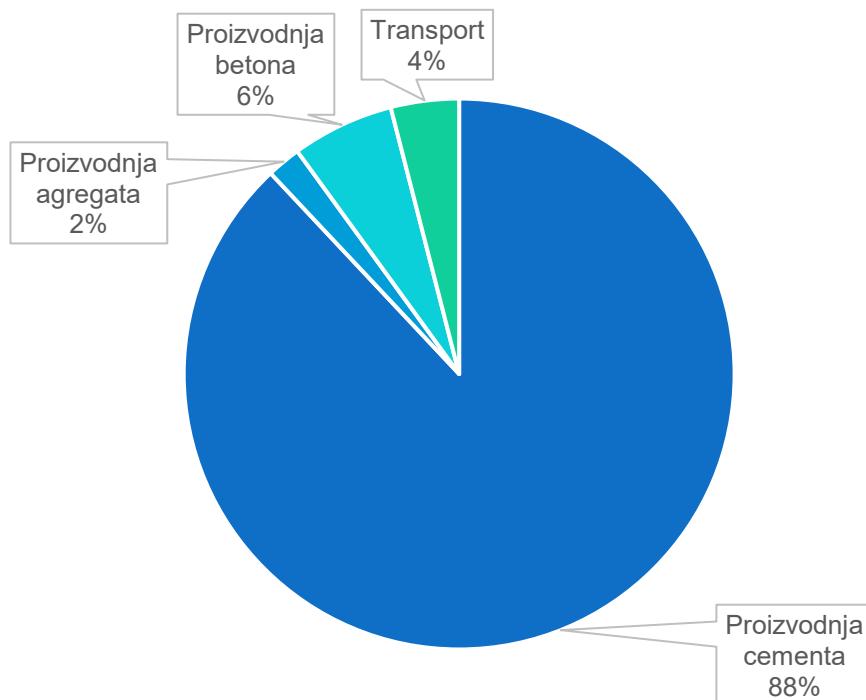
Oznaka mešanice	23-7	23-7-RA
Opis	Etalon	Recikliran agregat
Število ciklov	Relativni dinamični modul [%]	
0	100	100
25	100,3	99
50	100	99,9
75	100	99,2
100	99,9	100
125	100,3	99,9
150	100,7	99,9

ZAKLJUČKI POSKUSA

- Uporaba recikliranega agregata je možna, a se z njo rahlo poslabšajo nekatere lastnosti betona.
- Za zahtevne betone uporaba recikliranega agregata ni smiselna, za manj zahtevne betone pa je povsem možna.

Delež emisij CO₂ v betonu

(Vir: Whimpenny: Low carbon concrete – options for the next generation of infrastructure)

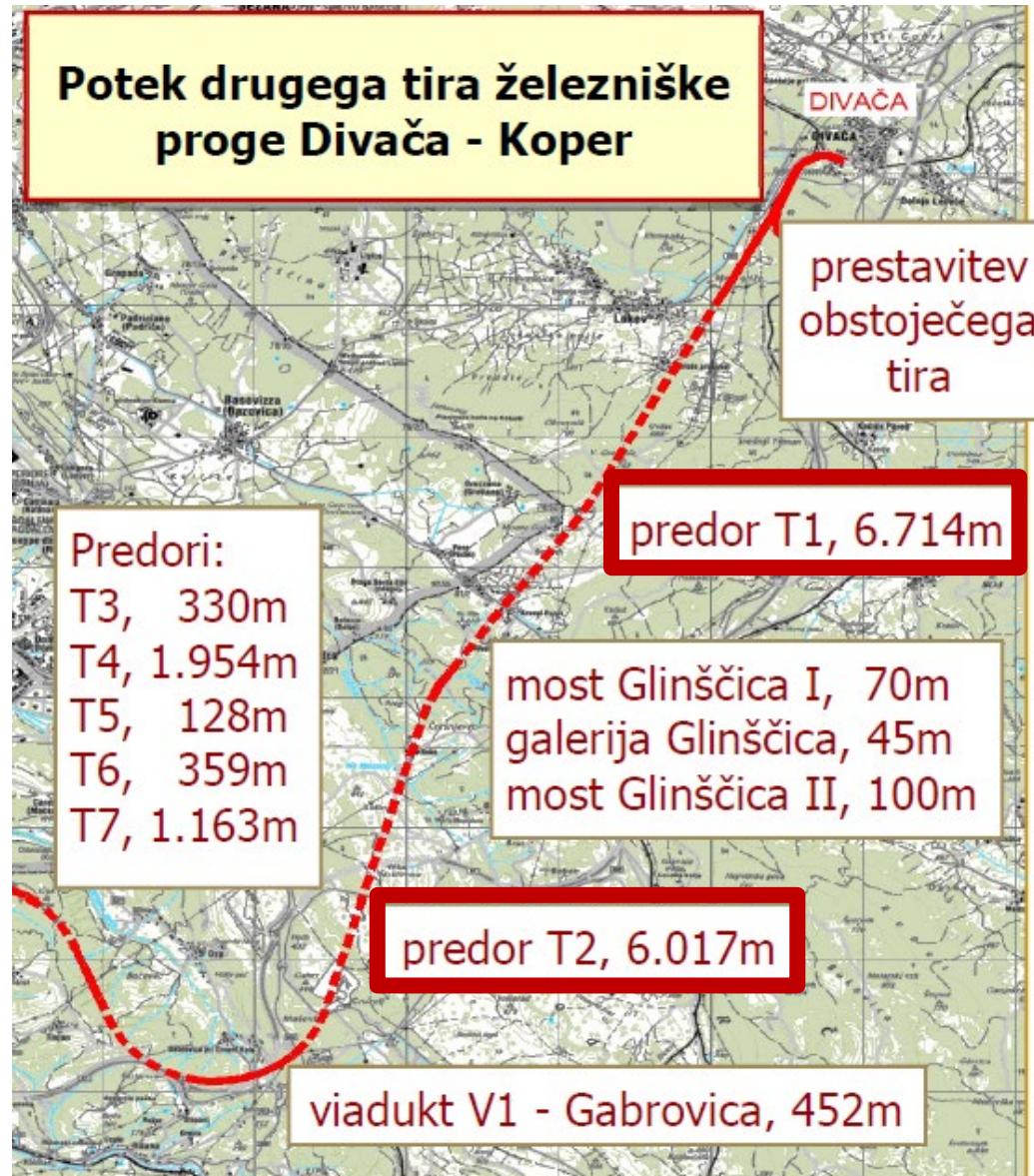


MATERIAL IZ IZKOPA TUNELOV

Možna uporaba agregata, ki je iz primerne vrste kamnine.

Geološka sestava tal se po prostoru spreminja.

Z doslednim ločevanjem ustrezne kamnine lahko ob uporabi primernih dodatkov pripravimo kvaliteten beton.



ORGANIZACIJSKI VIDIK UPORABE RECIKLIRANEGA AGREGATA

Zaradi omejene količine mest za aggregate na betonarnah je kombiniranje več različnih vrst agregata za beton zahtevno.

Če betonarna na dan zmeša 200 m³ betona, za to potrebuje cca 400 ton agregata.

Če tovornjak prekucnik pelje 20 ton materiala, to pomeni cca 20 tovornjakov materiala na dan.



VEZIVA IZ RECIKLIRANIH MATERIALOV V SLOVENIJI

- **Elektrofiltrski pepel** je ime za drobne delce, ki so zajeti iz izpušnih plinov, nastalih pri kurjenju premoga v termoelektrarnah
- **Mleta plavžna žlindra** je stranski proizvod pri proizvodnji železove rude.
- **Mikrosilika** je ultrafin prah, ki nastaja kot stranski proizvod iz proizvodnje silicia in ferosilicijske zlitine.



RECIKLIRANI MATERIALI V CEMENTIH

Oznaka	Delež klinkerja [%]	Druge sestavine [%]
CEM I	95 – 100	-
CEM II/A	80 - 94	S – žlindra, D – mikrosilika, P in Q – pucolani,
CEM II/B	65 – 79	V in W – elektrofiltrski pepel,
CEM II/C	50 – 64	T – žgani skrilavec, L in LL - apnenec
CEM III/A	35 – 64	36 – 65 % žlindre
CEM III/B	20 – 34	66 – 80 % žlindre

Vir: SIST EN 197-1:2002, SIST EN 197-5:2021.

UPORABA RECIKLIRANE VODE

Za proizvodnjo 1 m³ betona betonarna potrebuje cca 400 l vode (zamesna voda + pranje). Če betonarna na dan zmeša 200 m³ betona, to pomeni 80 m³ vode na dan.



SIST EN 1008:2003 Voda za pripravo betona.



POVZETEK

- Uporaba nekaterih recikliranih materialov v betonu že uspešno poteka:
 - EPF, črna žlindra in mikrosilika kot vezivo,
 - Uporaba materiala iz izkopa na drugem tiru.
- Uporaba nekaterih recikliranih materialov poslabša lastnosti betona. Njihova uporaba je smiselna do te mere, da se zaradi nje ne poveča potreba po cementu v mešanici. Uporaba takih materialov v zahtevnih betonih ni smiselna.
- Uporaba recikliranih materialov spremeni lastnosti betona in lahko zahteva uporabo različnih dodatkov. Pred proizvodnjo je nujno treba pripraviti začetni tipski preskus mešanice.