

**DGKS**

**DRUŠTVO GRAĐEVINSKIH  
KONSTRUKTERA SRBIJE**

**14. KONGRES**

**NOVI SAD  
24-26. SEPTEMBAR**

**2014.**

**14  
K  
O  
N  
G  
R  
E  
S**

**2014**

**U SARADNJI SA:**



**GRAĐEVINSKIM FAKULTETOM  
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

**MINISTARSTVOM PROSVETE,  
NAUKE I TEHNOLOŠKOG RAZVOJA  
REPUBLIKE SRBIJE**



**INŽENJERSKOM KOMOROM  
SRBIJE**

**ZBORNIK  
RADOVA**



**CHINA ROAD AND BRIDGE  
CORPORATION SERBIA BRANCH**

*Iva Despotović<sup>1</sup>*

## **UPOTREBA RECIKLIRANOG AGREGATA KAO ZNAČAJAN DOPRINOS EKOLOŠKOM GRAĐEVINARSTVU**

### **Rezime:**

*Koncept održivog razvoja, koji pored socioloških i ekonomskih aspekata, obuhvata uštedu energije, zaštitu okoline i očuvanje neobnovljivih prirodnih resursa, predstavlja strateško opredeljenje mnogih privrednih grana, među kojima se poseban doprinos očekuje od građevinarstva. Nedostatak prirodnog agregata u urbanim sredinama i sve veće rastojanje između nalazišta kvalitetnog prirodnog agregata i gradilišta prisilili su graditelje na razmatranje mogućnosti zamene prirodnog agregata recikliranim, čije su osobenosti predmet ovog rada.*

*Ključne reči: reciklirani agregat, ekološko gradjevinarstvo*

## **USE OF RECYCLED AGGREGATE AS A SIGNIFICANT CONTRIBUTION TO ENVIRONMENTAL CONSTRUCTION**

### **Summary:**

The concept of sustainable development, which in addition to social and economic aspects, includes energy saving, environmental protection and the conservation of exhaustible natural resources, is a strategic goal of many economic sectors including the particular contribution expected from the construction. Lack of natural aggregates in urban areas and increasing the distance between the sites of high quality natural aggregate and construction site, forced developers to consider the possibility of replacing natural aggregates with recycled, whose characteristics are the subject of this paper.

*Key words: recycled aggregate, environmental construction*

---

<sup>1</sup> Mr. predavač, Visoka građevinsko geodetska škola, Beograd

## 1 UVOD

Građevinski otpad koji se javlja kao posledica građenja novih i rušenja postojećih objekata je jedan od najvećih ekoloških problema u zemljama Evropske unije, kao i u mnogim razvijenim zemljama sveta. Procenjeno je, da oko 40% otpada nastalog rušenjem čini beton, 30% keramika, 10% drvo, 5% plastika, 5% metal i 10% različiti ostaci [6]. Uobičajeni metod "upravljanja" građevinskim otpadom u bliskoj prošlosti bio je njegovo odlaganje na deponije. Na taj način stvorene su ogromne deponije građevinskog otpada, koje zauzimaju zemljište i predstavljaju ekološki problem, zato što su potencijalni zagađivači životne sredine. Beton je već decenijama najkorišćeniji materijal na svetu, posle vode, a interesantan je podatak da je godišnja proizvodnja betona u svetu dostigla vrednost, koja se može izraziti sa jednom tonom betona po stanovniku planete [8]. Kada se uzme u obzir podatak da  $1\text{m}^3$  betona sadrži više od  $1\text{m}^3$  agregata, onda sve prisutniji trend prekomerne potrošnje agregata otvara pitanje iscrpljivanja prirodnih resursa agregata i potrebe pronalazanja novih mogućnosti za dobijanje agregata. Kao održivo rešenje za probleme građevinskog otpada i iscrpljivanje nalazišta prirodnih agregata, nametnuo se postupak recikliranja deponovanih građevinskih materijala, u prvom redu betona. Recikliranje i očuvanje prirodnih resursa su bezrezervno prihvaćeni od strane građevinske industrije, ali pozitivni efekti takvog pristupa su donekle ograničeni, zato što nisu obezbeđeni svi uslovi za primenu. To se prvenstveno odnosi na nedostatak: prostora i opreme za sortiranje građevinskog šuta, iskustva u postupcima recikliranja otpadnih materijala, obučanih radnika i kontrolora, znanja o tržištu sekundarnih materijala, zakonske regulative u oblasti zaštite životne sredine, itd [4].

## 2 TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE RECIKLIRANOG AGREGATA

Postrojenja za proizvodnju recikliranog agregata (reciklažna ili drobilna postrojenja) u suštini se ne razlikuju značajno od postrojenja za proizvodnju prirodnog drobljenog agregata. Suština tehnološkog postupka je da se od komada otpadnog betona drobljenjem proizvede zrnasti materijal određenih veličina zrna, što znači da su dve osnovne operacije drobljenje i prosejavanje. U zavisnosti od kontaminiranosti otpadnog materijala i namene agregata koji se proizvodi, tehnološki proces se još sastoji od odvajanja metalnog materijala magnetnim separatorom, ručnog ili mehaničkog uklanjanja stranih materija i pranja ili vazdušnog prodivavanja finalnog proizvoda.

Proizvodnja recikliranog agregata od otpadnog betona počinje praktično rušenjem objekta. Od suštinskog značaja je selektivno rušenje objekta, da bi se u što je moguće većoj meri smanjilo mešanje raznovrsnog otpada (beton, opeka, drvo, staklo..). Ukoliko se ovo ne uradi tokom rušenja, sortiranje raznovrsnog otpada i odvojeno skladištenje se mora izvršiti u reciklažnom postrojenju. Na mestu rušenja još je potrebno usitniti velike otpadne komade na veličinu od 0.4 m do 0.8 m, što se obično radi pulverzajzerima i hidrauličkim čekićima [8]. Reciklažna postrojenja se dele na stacionarna i mobilna. Izgled jednog savremenog mobilnog postrojenja je prikazan na slici 1. Postrojenje se sastoji od: koša za prihvatanje otpadnog materijala, uređaja za drobljenje, transportne trake, magnetnog separatora i sita za odvajanje na različite frakcije. Osnovni nedostaci ove metode su: nemogućnost višestepenog drobljenja, pranja i prodivavanja agregata. Zato se ova postrojenja obično koriste uslučaju rušenja i ponovne upotrebe recikliranog agregata na istom mestu. Postrojenje na slici je kapaciteta 45t/h [10].



*Slika 1 – Mobilno reciklažno postrojenje [10]*

Za razliku od mobilnih, stacionarna reciklažna postrojenja se prave kao centri za recikliranje u gusto naseljenim područjima, sa kapacitetom od oko 200000 tona agregata godišnje. U ovim postrojenjima nivo obrade otpadnog materijala nije ograničen, moguća je kontrola kvaliteta, te se mogu dobiti reciklirani agregati različitog kvaliteta. Na slici 2 je prikazano tipično stacionarno postrojenje.



*Slika 2 – Stacionarno reciklažno postrojenje [11]*

Zrno recikliranog agregata dobijeno ovakvim postupkom recikliranja sastoji se od zrna (ili dela zrna) prirodnog agregata i cementnog maltera originalnog betona, koji ga delimično ili potpuno obavija. Prisustvo starog cementnog maltera, koji je manje zapreminske težine i veće poroznosti od zrna prirodnog agregata, značajno utiče na niz fizičko-mehaničkih svojstava kako recikliranog agregata, tako i betona na bazi recikliranog agregata. Odnosno, uslovljava "lošija" svojstva recikliranog u odnosu na prirodni agregat. Zbog toga su se u svetu u poslednjih nekoliko godina razvila istraživanja u smislu unapređenja tehnologije recikliranja i dobijanja recikliranog agregata koji bi po svojstvima, odnosno kvalitetu, bio praktično identičan prirodnom agregatu. Radi uklanjanja cementnog kamena sa zrna agregata razvijeno je nekoliko naprednih tehnologija recikliranja pre svega u Japanu. Jedna od tih tehnologija je takozvana "metoda zagrevanja i struganja". Na ovaj način, dobija se 35% do 45 % čistog krupnog agregata, 30% do 35% čistog sitnog i 18% do 35% finog praha od cementnog maltera u zavisnosti od temperature zagrevanja (300-700°C).

Druga tehnologija je hemijski tretman klasično proizvedenog recikliranog agregata. Prethodnim potapanjem recikliranog agregata u blage rastvore hlorovodonične, sumporne ili fosforne kiseline moguće je odstraniti deo cementnog maltera i poboljšati svojstva agregata, bez značajnijeg povećanja sadržaja hlorida i sulfata u njemu. Pomenuta procedura se sastoji iz potapanja recikliranog agregata u kiselu sredinu u trajanju od 24h pri temperaturi od oko 20°C, a zatim se vrši ispiranje destilovanom vodom kako bi se u najvećoj mogućoj meri uklonile primenjene kiseline. Pre samog spravljanja betona agregat stoji u vodi 24h. Da se ne bi smanjio kvalitet agregata (pH vrednost) koncentracija kiseline u rastvoru treba da bude oko 0.1 mol. Ovim postupkom je moguće smanjiti upijanje vode kod recikliranog agregata za 7–12% [5,3]. Sve navedene napredne tehnologije recikliranja, odnosno poboljšanja kvaliteta, iako omogućavaju proizvodnju kvalitetnog recikliranog agregata potpuno ekvivalentnog prirodnom, nemaju za sada širu primenu jer su značajno skuplje od tradicionalnih tehnologija. Metode sa termičkim tretmanom agregata su i energetski zahtevnije, što dovodi u pitanje korist od recikliranja i povoljan uticaj na zaštitu životne sredine [7].

### 3 TEHNIČKA REGULATIVA ZA RECIKLIRANI BETON

Tehnička regulativa u koju spadaju pravilnici, standardi, tehnička uputstva ili preporuke vezano za klasifikaciju, kriterijume koje mora da ispuni i primenu recikliranog agregata se razlikuje po zemljama, ali se generalno uočava njen manjak posebno u oblasti konstrukcijskih betona.

#### 3.1 VELIKA BRITANIJA (10pt, bold, ALL CAPS, 12pt before, 6pt after)

Evropskom normom BS EN 12620 iz 2002 godine su definisani agregati koji se koriste za spravljanje betona uz napomenu da se može koristiti reciklirani agregat koji ispunjava propisane uslove. Standard BS 8500 – 2 iz 2006 godine detaljnije definiše reciklirani betonski agregat (RAC) i reciklirani agregat (RA) (tabele 1 i 2):

**Tabela 1: Zahtevi za kvalitet krupnog RCA i RA u betonu**

Maksimalni sadržaj primesa (u masenim procentima)						
Tip agregata	Opeka	Sitne čestice (d≤0.063 mm)	Laki materijali <sup>B)</sup>	asfalt	Ostale strane materije	Sulfati (SO <sub>3</sub> )
RCA <sup>A),C)</sup>	5	5	0.5	5	1	1
RA	100	3	1	10	1	<sup>D)</sup>

<sup>A)</sup> Kada se materijal dobija recikliranjem betona poznatog sastava koji nije korišćen, (višak prefabrikovanih elemenata ili neiskorišćen svež beton) i koji nije zagađen tokom skladištenja i obrade, zahtevi koji treba da se ispune se odnose na granulometrijski sastav i sadržaj sitnih čestica

<sup>B)</sup> Materijali sa zapreminskom masom manjom od 1000 kg/m<sup>3</sup>

<sup>C)</sup> Odredbe za RCA se mogu primeniti i na mešavinu prirodnog i recikliranog krupnog agregata

<sup>D)</sup> Odgovarajuće granične vrednosti i procedure ispitivanja treba da budu određene od slučaja do slučaja

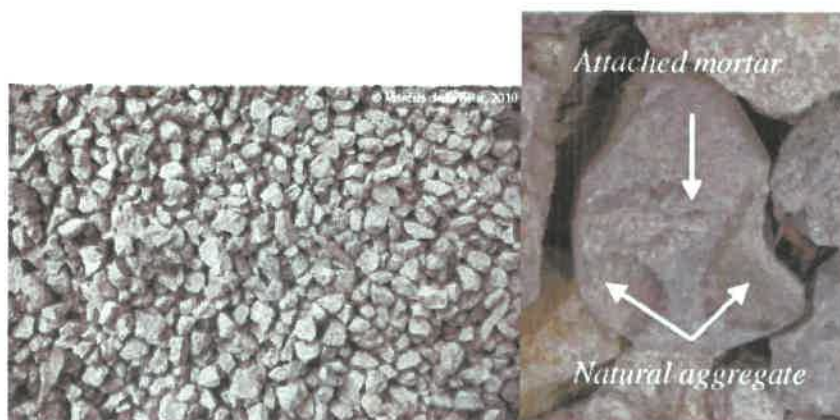
**Tabela 2: Ograničenja u primeni betona koji sadrži krupan reciklirani agregat**

Tip agregata	Maksimalna klasa čvrstoće <sup>A)</sup>	Klase izloženosti <sup>B)</sup>
RCA <sup>A)</sup>	C40/50	X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XF1

- <sup>A)</sup> Ako je materijal dobijen recikliranjem betona poznatog sastava koji nije korišćen i koji nije zagađen tokom skladištenja i obrade, može se projektovati bilo koja klasa čvrstoće
- <sup>B)</sup> Krupan RCA agregat može da se koristi i za betone u drugim klasama izloženosti ukoliko se dokaže da je predmetni beton odgovarajući za razmatrane uslove sredine (na pr. otporan na cikluse smrzavanja i odmrzavanja, otporan na dejstvo sulfata, itd.)

Jedna od odredaba standarda je ograničenje sadržaja krupnog agregata od recikliranog betona i krupnog recikliranog agregata na 20% kod betona klase čvrstoće od C20/25 do C40/50 (definicija klasa prema Evrokodu 2) [2].

## 4 SVOJSTVA AGREGATA OD RECIKLIRANOG BETONA



*Slika 3 – Izgled recikliranog agregata [12]*

Agregat od recikliranog betona (slika 3) se sastoji od originalnog agregata i sloja maltera preostalog od starog betona. Fizička i mehanička svojstva recikliranog agregata zavise kako od svojstava, tako i od količine preostalog maltera. Naime, poznato je da je "zalepljeni" malter oko zrna agregata porozan materijal, čija poroznost zavisi od vodocementnog faktora betona koji je recikliran. Na količinu malterske komponente dominantno utiču proces drobljenja (usitnjavanja) "starog" betona i dimenzije recikliranog agregata. Količina cementnog maltera u recikliranom agregatu kreće se od 25% do 65% (izraženo u zapreminskim procentima) i razlikuje se po pojedinim frakcijama – što je sitnija frakcija, veća je količina cementnog maltera.

*Upijanje vode* je svojstvo po kome se reciklirani agregat najviše razlikuje u odnosu na prirodni i zavisi od kvaliteta i debljine "zalepljenog" malterskog sloja oko zrna agregata. Upijanje vode krupnog recikliranog agregata kreće se od 3.5% do 10%, a sitnog od 5.5% do 13%. Poređenja radi, prirodni rečni i drobljeni agregati imaju upijanje vode oko 1%. Povećano upijanje vode

recikliranog agregata utiče na konzistenciju betona i na neka svojstva očvrstlog betona koja su bitna za trajnost (upijanje vode, otpornost na mraz, karbonizacija itd.). Pojedini istraživači, zbog toga, predlažu da se limitira učešće recikliranog agregata na 20-30% da bi se obezbedio uslov da upijanje vode ukupne količine agregata bude manje od 5%, kako bi se osigurala kvalitetna proizvodnja betona za konstrukcijsku primenu.

Zbog prisustva cementnog maltera, koji ima manju zapreminsku masu od zrna prirodnog agregata, *zapreminska masa* zrna recikliranog agregata manja je od zapreminske mase zrna prirodnog agregata u proseku za 10%.

*Oblik i tekstura* recikliranog agregata zavise od vrste drobilice i mogu nepovoljno uticati na obradljivost betona sa recikliranim agregatom u odnosu na beton spravljen sa prirodnim rečnim agregatom.

*Otpornost prema drobljivosti i habanju* recikliranog agregata je manja od otpornosti prirodnog, pri čemu se razlike kreću u širokom granicama od 0% do 70%, u zavisnosti od kvaliteta originalnog betona.

Bez obzira na određene manje razlike u pogledu svojstava agregata od recikliranog betona, generalno reciklirani agregat u odnosu na prirodni agregat ima sledeća svojstva:

veće upijanje vode, manju zapreminsku masu, veće habanje, veću drobljivost, veću količinu prašinstih čestica, veći sadržaj organskih materija i moguć sadržaj hemijski škodljivih materija. Zbog mogućih varijacija u kvalitetu recikliranog agregata i generalno lošijeg kvaliteta u odnosu na prirodni agregat, mnoge zemlje koje su uvele u svoju praksu upotrebu recikliranog agregata, obavezuju proizvođače betona da pre upotrebe recikliranog agregata provere njegova svojstva. U nedostatku standarda u kome su specificirani zahtevi i uslovi kvaliteta za agregat od recikliranog betona, mogu se koristiti standardi za normalni - standardni agregat za proizvodnju betona. U zemljama EEZ je to standard EN 12620:2002 [7]. Glavna primena agregata od recikliranog betona je i dalje u putarstvu za različita nasipanja kao i sve više u konstrukcijskom betonu.

## 5 SOPSTVENO EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE

Za potrebe eksperimentalnog ispitivanja su napravljene tri vrste trofrakcijskog samougrađujućeg betona: etalon E, čiji je sastav prikazan u tabeli 3; beton P50, kod koga je frakcija 8/16 zamenjena istom količinom recikliranog agregata i beton P100, kod koga su i frakcija 4/8 i frakcija 8/16, dakle sav krupan agregat, zamenjene recikliranim betonom [1]. Pri određivanju sastava samougrađujućeg betona korišćene su Okamurine preporuke da krupan agregat treba da učestvuje sa 30% u ukupnoj zapremini betona, a sitan sa 40% u zapremini maltera. Predviđena je uobičajena količina cementa od 400 kg/m<sup>3</sup>. Vodopraškasti faktor je smanjen sa preporučenih 0.8-1.1 na 0.73, jer je urađena proba sa 0.9 dala veliko izdvajanje vode (bleeding) i rasprostiranje. Da bi se zadržala konzistencija etalona kod betona P50 i P100 je povećana količina vode na 178 litara i 186 litara, odnosno vodocementni faktor sa 0.41 na 0.43 i 0.45. Potreba da se poveća količina vode je očekivana posledica primene recikliranog agregata koji više upija vodu zbog prisustva starog cementnog maltera sa značajnom poroznošću. Za spravljanje betona sa recikliranim agregatom dostupna literatura [3,9] preporučuje primenu tzv. Two Stage Mixing Approach postupka. Reč je o tome da se ukupna količina potrebne vode podeli na dva dela i dozira po fazama. U toku vezivanja i očvršćavanja

nova cementna pasta najpre reaguje sa starom pastom na zrnima recikliranog agregata što zahteva deo vode koji ulazi u sastav betonske mešavine. Ovo za posledicu ima redukciju u formiranju  $C_3S_2H_3$ , etringita, CH i  $C_6S_3H$  što će izazvati smanjenje čvrstoće betona. Postupnim dodavanjem vode omogućeno je formiranje ovih kristala unutar mikrostrukture čime se delimično redukuju i poroznost i nastanak mikroprslina i dobijaju bolje karakteristike betona. Rezultati dobijeni ispitivanjem čvrstoće pri pritisku su prikazani u tabeli 4.

**Tabela 3: Sastav betona**

	zapremina za $1m^3$ (l)	masa za $1m^3$ (kg)
količina filera	96.58	260
količina cementa	136.53	409.6
količina peska 0-4 mm	257	676
količina frakcije 4-8 mm	162.1	429.6
količina frakcije 8-16 mm	162.1	429.6
količina vode	170	170
količina aditiva Superfluid M21M	3.5	4.0

**Tabela 4: Rezultati ispitivanja čvrstoće pri pritisku**

Vrsta betona	Zapreminska masa ( $kg/m^3$ )	$f_{p,2}$ ( $N/mm^2$ )	$f_{p,7}$ ( $N/mm^2$ )	$f_{p,28}$ ( $N/mm^2$ )
E	2410	27.27	48.67	49.48
P50	2359	26.60	44.59	47.56
P100	2328	25.00	43.37	45.25

## 5 ZAKLJUČCI

- Velika eksploatacija prirodnog agregata ozbiljno je ugrozila rečne eko-sisteme, tako da je na nekim mestima i zabranjena. Pored ovoga sve veća udaljenost prirodnih nalazišta od mesta gradnje svakako utiče na cenu materijala. Sa druge strane, u urbanim sredinama postoje znatne količine betonskog otpada koji nastaje prilikom izgradnje ili rušenja starih objekata te je prisutan problem deponovanja ovakvog materijala. Razvijene, ekološki svesne zemlje, mnogo polažu na recikliranje sirovina i za odlaganje na deponije (koje oduzimaju korisno zemljište) naplaćuju novčane kazne. Drobljenjem betonskog otpada dobija se reciklirani agregat koji se može „vratiti“ u proizvodnju.

- Prilikom projektovanja betonskih mešavina, od velike koristi je poznavati poreklo recikliranog agregata, što je prvobitni beton bio kvalitetniji to će i novospravljeni imati bolje karakteristike. Poželjno je i da agregat bude spravljen od betona iste marke kako bi mu kvalitet bio što je moguće ujednačeniji.

- Ključna osobina recikliranog agregata je veće upijanje vode u odnosu na prirodni, što je posledica zaostalog cementnog kamena. Da bi se primenila postojeća receptura za beton i postigli isti rezultati kao i sa prirodnim agregatom, neophodno je povećati količinu vode.

- Potrebna količina vode se može nadoknaditi ili merenjem upijanja vode recikliranog agregata u prvih trideset minuta, ili njegovim zasićenjem prethodnim potapanjem, ili eksperimentalno, do postizanja iste konzistencije betona, što je u ovom radu bio slučaj.



- Povećanje procenta recikliranog agregata smanjuje zapreminsku masu betona, što je očekivana posledica njegove veće poroznosti.
- Kvalitet upotrebljenog recikliranog agregata direktno utiče na čvrstoću pri pritisku. Ukoliko se upotrebi kvalitetan agregat, ujednačenog sastava, razlike u čvrstoći pri pritisku između etalona i betona sa čak 100 % krupnog recikliranog agregata mogu da budu male, kao što je to bio slučaj u ovom radu.

## LITERATURA

- [1] Despotović I.: *Svojstva i tehnologija samougrađujućeg betona sa posebnim osvrtom na mogućnost upotrebe recikliranog agregata za njegovo spravljanje*, magistarski rad, Građevinsko arhitektonski fakultet, Niš 2009, str.87.
- [2] Ignjatović I.: *Granična nosivost AB grednih nosača od betona sa recikliranim agregatom*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd, 2013.
- [3] Jevtić D., Zakić D., Savić A.: *Specifičnosti tehnologije spravljanja betona na bazi recikliranog agregata*. Materijali i konstrukcije 52; 2009; str. 52-62.
- [4] Malešev M., Radonjanin V., Marinković S.: *Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production*. Sustainability 2010, 2, str. 1204-1225.
- [5] Murali G., Vivek Vardhan C.M., Rajan G., Janani G.J., Shifu Jajan N., Ramya sri R.: *Experimental study on recycled aggregate concrete*. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 2, Issue 2, Mar-Apr 2012, pp.407 – 410.
- [6] Oikonomou N.: *Recycled concrete aggregates*. Cement & Concrete Composites 27 (2005), pp. 315–318.
- [7] Radonjanin V., Malešev M., Marinković S.: *Mogućnosti primene starog betona kao nove vrste agregata u savremenom građevinarstvu*. ZAŠTITA MATERIJALA 51 (2010) broj 3, str. 178 – 188.
- [8] Radonjanin V., Malešev M., Marinković S., Ab Maly a.: *Green recycled aggregate concrete*. Construction and Building Materials 47 (2013), pp. 1503–1511.
- [9] Terzić A., Pavlović Lj.: *Primena mikroskopskih metoda u analizi mikrostrukture različitih tipova betona sa recikliranim agregatom*. Materijali i konstrukcije 52; 2009; str. 34-39.
- [10] [www.concreterecycling.org](http://www.concreterecycling.org)
- [11] [www.designboom.com](http://www.designboom.com)
- [12] [www.masterbuilder.co.in](http://www.masterbuilder.co.in)

## ZAHVALNOST

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije u okviru tehnološkog projekta TR 36017 pod nazivom: "Istraživanje mogućnosti primene otpadnih i recikliranih materijala u betonskim kompozitima, sa ocenom uticaja na životnu sredinu, u cilju promocije održivog građevinarstva u Srbiji".