



**DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE  
MATERIJALA I KONSTRUKCIJA SRBIJE**



**INSTITUT IMS AD, BEOGRAD**



**UNIVERZITET U BEOGRADU  
GRADEVINSKI FAKULTET**



**INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE**

**Konferencija**

**SAVREMENI MATERIJALI I  
KONSTRUKCIJE SA REGULATIVOM**

**Zbornik radova**



DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE MATERIJALA I KONSTRUKCIJA SRBIJE

Konferencija  
SAVREMENI MATERIJALI I KONSTRUKCIJE SA REGULATIVOM

Beograd, 17. jun 2016.

Nenad Ristić<sup>1</sup>, Zoran Grdić<sup>2</sup>, Gordana Topličić-Čurčić<sup>3</sup>,  
Dušan Grdić<sup>4</sup>, Iva Despotović<sup>5</sup>

UDK: 691.328.5  
66.972.16

## SVOJSTVA SAMOUGRADJUJUĆEG BETONA SPRAVLJENOG SA DODATKOM OTPADNIH MATERIJALA KAO MINERALNOG DODATKA

**Rezime:** Veliki problem održavanja zdrave životne sredine predstavlja otpad nastao industrijskom proizvodnjom ili odlaganjem dobrih proizvoda koji su izgubili upotrebnu vrednost. Beton kao kompozitni materijal je pogodan za primenu otpadnih materijala kao jedna od komponenti u njegovom sastavu. Otpadni materijali se u betonu mogu koristiti kao delimična zamena cementa, delimična zamena agregata ili kao ojačanje betonskog kompozita. U ovom radu je prikazano istraživanje uticaja usitnjenog recikliranog stakla od katodnih cevi, flotacijske jalovine iz ružičana bakra, elektrofilerskog pepela, crvenog mulja i krečnjačkog fivera kao mineralnog dodatka na svojstva svežeg i očvrstlog samougradjujućeg betona.

**Cljučne reči:** samougradjujući beton, otpadni materijali, reciklirano staklo od katodnih cevi, flotacijska jaloovina, elektrofilerski pepeo, crveni mulj, krečnjački fiver

## PROPERTIES OF SELF COMPACTING CONCRETE MADE WITH ADDITION OF WASTE MATERIALS AS MINERAL ADMIXTURE

**Abstract:** Waste materials generated by industrial production and disposal of no longer working products are large problem when maintenance of healthy environment is concerned. Since concrete is a composite material, waste materials can suitably be used in its composition. Waste materials in concrete can be used as partial substitution of cement, partial substitution of aggregate or as reinforcement of concrete composite. In this paper, the research of effects of milled recycled glass from cathode tubes, flotation tailings from a copper mine, fly ash, red mud and limestone filler as mineral admixtures on properties of fresh and hardened self compacting concrete.

**Key words:** self compacting concrete, waste materials, recycled cathode ray tube glass, flotation tailings, fly ash, red mud, limestone filler

- <sup>1</sup> Docent, dr, Univerzitet u Nišu, Građevinsko arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva br. 14, Niš, Srbija, e-mail: [nenad.ristic@graf.ni.ac.rs](mailto:nenad.ristic@graf.ni.ac.rs)
- <sup>2</sup> Profesor, dr, Univerzitet u Nišu, Građevinsko arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva br. 14, Niš, Srbija, e-mail: [zoran.grdic@graf.ni.ac.rs](mailto:zoran.grdic@graf.ni.ac.rs)
- <sup>3</sup> Vanredni profesor, dr, Univerzitet u Nišu, Građevinsko arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva br. 14, Niš, Srbija, e-mail: [gordana.toplicic@graf.ni.ac.rs](mailto:gordana.toplicic@graf.ni.ac.rs)
- <sup>4</sup> Asistent, master, Univerzitet u Nišu, Građevinsko arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva br. 14, Niš, Srbija, e-mail: [dušan.grdic@graf.ni.ac.rs](mailto:dušan.grdic@graf.ni.ac.rs)
- <sup>5</sup> Dr, Visoka građevinsko-geodetska škola, Hajduk Stankova br. 2, Beograd, e-mail: [ivickad@gmail.com](mailto:ivickad@gmail.com)

Rudarsko-topioničarskog basena Bor, crveni mulj je iz Kombinata aluminijuma u Podgorici nastao u Bayerovom procesu dobijanja aluminijuma. Reciklirano katodno staklo je pruzeto iz preduzeća „E-reciklaža“ Niš i usinjeno laboratorijskim mlinom. Od hernijskih dodataka u mešavinama korišćen je superplastifikatori Sika Viscocrete 5380.

## 2.2. Sastav betonskih mešavina

Za potrebe eksperimentalnog istraživanja napravljeno je ukupno pet različitih mešavina samougrađujućeg betona i to: mešavina sa dodatkom krečnjačkog filera kao mineralnog dodatka (mešavina sa oznakom KF), mešavina sa dodatkom usitnjenog recikliranog stakla od katodnih cevi (RS), mešavina sa dodatkom elektrofilterskog pepela (EP), mešavina sa dodatkom flotacijske jalovine (FJ) i mešavina sa dodatkom crvenog mulja (CM). Betonske mešavine se razlikuju samo po vrsti primenjenog mineralnog praskastog dodatka. Svi ovi dodaci su finiji od 0,125 mm, jer su prosejani na odgovarajućem situ. Procentualni udeo zapremine komponenti u 1 m<sup>3</sup> betona je isti kod svih betonskih mešavina. Sve betonske mešavine su spravljene tako da imaju približno isto rasprostiranje (oko 650 mm) prilikom ispitivanja fluidnosti betona. Ovaj uslov je ispunjen variranjem količine superplastifikatora. Sastavi betonskih mešavina za 1 m<sup>3</sup> betona dati su u tabeli 1.

Vrsta materijala	Procent zapremine u 1m <sup>3</sup> [%]		Zapremina u 1m <sup>3</sup> [m <sup>3</sup> ]		Specifična masa [kg/m <sup>3</sup> ]		Masa u 1m <sup>3</sup> [kg]	
Cement	12,7		0,127		3150		400	
Voda	18,15		0,1815		1000		181,5	
Sitni agregat	0/4 mm	29,62	0,2962	2620		776		
		4/8 mm	11,58	0,1158	2650		307	
Krupni agregat	8/16 mm	31,69	0,3169	2650		533		
			20,11	0,2011	2650		533	
Pretpost. sadržaj vazduha		2,0	0,02	-		-		
KF	Krečnjački filer	5,5	0,055	2720		150		
	Superplastifikator	0,45	0,0045	1100		4,95		
RS	Reciklirano staklo	5,5	0,055	2840		156		
	Superplastifikator	0,40	0,0040	1100		4,40		
EP	Elektrofilter, pepeo	5,5	0,055	2130		117		
	Superplastifikator	0,50	0,0050	1100		5,50		
FJ	Flotacijska jalovina	5,5	0,055	3150		173		
	Superplastifikator	0,43	0,0043	1100		4,68		
CM	Crveni mulj	5,5	0,055	2710		149		
	Superplastifikator	0,80	0,008	1100		8,80		

Tabela 1. Sastav betonskih mešavina korišćenih u eksperimentu za 1m<sup>3</sup>

## 2.3. Vrste ispitivanja sprovedenih na svežem i očvrslom betonu

Na svežem betonu sprovedena su sledeća ispitivanja: zapreminska masa prema standardu SRPS EN 12350-6:2010 [25], sadržaj vazduha u betonu prema SRPS EN 12350-7:2010 [26], ispitivanje rasprostiranja sleganjem i ispitivanje rasprostiranja T<sub>500</sub> prema standardu SRPS EN 12350-8:2012 [27], ispitivanje sposobnosti zaoblizanja prepreka pomoću L – kutije prema standardu SRPS EN 12350-10:2012 [28] i ispitivanje segregacije pomoću sita prema standardu SRPS EN 12350-11:2012 [29].

Na očvrslom betonu od fizičkih karakteristika ispitana je zapreminska masa betona u vodosasićenom stanju prema standardu SRPS EN 12390-7:2010 [30] na kockama ivice 15cm pri starosti betona od 2, 7 i 28 dana. Takođe, merena je i brzina prolaska ultrazvučnog impulsa prema standardu SRPS EN 12504-4:2008 [31] na kockama ivice 15cm pri starosti od 28 dana.

Ispitivana su i mehanička svojstva betona od kojih je najznačajnija čvrstoća pri pritisku. Ova karakteristika je ispitana u skladu sa standardom SRPS EN 12390-3:2010 [32] na epruvetama oblika kocke ivice 15cm pri starosti od 2, 7 i 28 dana. Vršeno je ispitivanje čvrstoće pri savijanju na epruvetama oblika prizme dimenzija 10×10×40 cm pri starosti od 28 dana prema standardu SRPS EN 12390-5:2010 [33]. Takođe je urađeno ispitivanje čvrstoće pri zatezanju cepanjem (Brazilski opt) na cilindričnim uzorcima prenika Ø15 cm i dužine 30 cm pri starosti od 28 dana prema standardu SRPS EN 12390-6:2012 [34]. Određena je veličina otkoka sklerometrom prema standardu SRPS EN 12504-2:2008 [35] na kockama ivice 15 cm pri starosti od 28 dana. Ispitivanje čvrstoće pri zatezanju čupanjem „Pull-off“ metodom urađeno je na kockama ivice 15 cm pri starosti od 28 dana prema standardu SRPS EN 1542:2010 [36].

Osnovni cilj ovog istraživanja jeste ispitivanje mogućnosti primene otpadnih materijala kao mineralnog dodatka za spravljane samougrađujućeg betona. Stoga se betonska mešavina sa krečnjačkim filerom (KF) može smatrati etalonom sa kojim se upoređuju mešavine sa dodatkom sprasšenog recikliranog stakla od katodnih cevi, elektrofilterskog pepela, flotacijske jalovine i crvenog mulja.

## 3. REZULTATI ISPITIVANJA

Rezultati ispitivanja karakteristika betona u svežem i očvrslom stanju dati su u tabelama 2 i 3. U tabelama su date srednje vrednosti dobijenih rezultata ispitivanja.

Karakteristika	Jedinica mere	Rezultat ispitivanja				
		KF	ST	EP	FJ	CM
Zapreminska masa	kg/m <sup>3</sup>	2375	2390	2340	2385	2365
Sadržaj vazduha	%	2,0	0,8	2,9	2,8	2,6
Rasprostiranje T <sub>500</sub>	s	3,5	4,5	7,0	6,0	6,5
Ispitivanje rasprostiranja sleganjem	mm	650	660	640	660	640
Ispitivanje pomoću L – kutije H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	(mm/mm)	0,94	0,95	0,91	0,92	0,87
Ispitivanje segregacije pomoću sita	%	14,0	12,8	5,6	6,8	6,0

Tabela 2. Rezultati ispitivanja karakteristika betona u svežem stanju

Metoda određivanja odskočnog broja upotrebom sklerometra se zasniva na merenju površinske tvrdoće betona na osnovu koje se na vrlo jednostavan način može odrediti orijentaciona vrednost čvrstoće pri pritisku. Veličina odskočka sklerometra zavisi i od rasporeda i udaljenosti krupnih zrna agregata od površine betona. Na osnovu rezultata ispitivanja iz tabele 3, najveću vrednost odskočka sklerometra pokazala je mešavina EP koja je za 7,6% veća od etalona KF, dok je najmanju vrednost imala mešavina CM koja je za 3,4% manja od KF. Mešavina RS imala je za 4,1% veću vrednost odskočka sklerometra u odnosu na KF, a mešavina FJ za 2,6% manju od KF.

Na osnovu rezultata ispitivanja samougradjujećih betona sa dodatkom otpadnih materijala može se zaključiti da dodatak ovih materijala bitno ne utiče na smanjenje kvaliteta performansi betona u svežem i očvrstlom staju. Može se reći da čak i doprinos poboljšanju pojedinih svojstava betona koji su prikazani u ovom radu. Otpadni materijali poput elektrofilerskog pepela, recikliranog stakla i flotacijske jalovine pokazuju povoljansku aktivnost, te se može očekivati da performanse betona sa ovim dodacima u kasnijem periodu starosti budu još bolje. Posebnu pažnju treba obratiti na trajnost betonskih mešavina sa dodatkom otpadnih materijala poput recikliranog stakla od katodnih cevi, elektrofilerskog pepela, flotacijske jalovine i crvenog mulja. Dalja istraživanja treba usmeriti na tu stranu, budući da se dokazivanjem neugrožavanja trajnosti zaokružuje celina o mogućnosti primene ovih materijala u izradi betona.

## ZAHVALNOST

Ovaj rad predstavlja deo istraživanja objavljenog u okviru projekta TR 36017 – „Istraživanje mogućnosti primene otpadnih i recikliranih materijala u betonskim kompozitima, sa ocenom uticaja na životnu sredinu, u cilju promocije održivog građevinarstva u Srbiji”, koji je podržalo Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije. Duboko smo zahvalni zbog te podrške.

## 5. REFERENCE

- [1] Nina Štimmer N., Banjad Pećur I.: Mix design for self compacting concrete, *Gradjevinar* 4 (2009) 321-329
- [2] Ahari R.S., Erdem T.K., Ramyar K.: Effect of various supplementary cementitious materials on rheological properties of self-consolidating concrete, *Construction and Building Materials* 75 (2015) 89–98
- [3] Mahomackova E., Pavhkova M., Grzeszczyk S., Rovnanikova P., Cemy R.: Hydric, thermal and mechanical properties of self-compacting concrete containing different fillers, *Construction and Building Materials* 22 (2008) 1594–1600
- [4] Despotović I.: Uticaj različitih mineralnih dodataka na osobine samougradjućih betona, *Doktorska disertacija, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu* (2014)
- [5] Hannesson G., Kuder K., Shogren R., Lehman D.: The influence of high volume of fly ash and slag on the compressive strength of self-consolidating concrete, *Construction and Building Materials* 30 (2012) 161–168
- [6] Siddique R.: Properties of self-compacting concrete containing class F fly ash, *Materials and Design* 32 (2011) 1501–1507
- [7] Kharthi J.M.: Performance of self-compacting concrete containing fly ash, *Construction and Building Materials* 22 (2008) 1963–1971

- [8] Sukumar B., Nagamani K., Srinivasa Raghavan R.: Evaluation of strength at early ages of self-compacting concrete with high volume of fly ash, *Construction and Building Materials* 22 (2008) 1394–1401
- [9] Shi C., Mayer C., Bahwood A.: Utilization of copper slag in cement and concrete, *Resources, Conservation and Recycling* 52 (2008) 1115–1120
- [10] Onuaguluchi O., Eren O.: Copper tailings as a potential additive in concrete: Consistency, strength, and toxic metal immobilizer, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences* 19 (2012) 79-86
- [11] Onuaguluchi O., Eren O.: Cement mixtures containing copper tailings as an additive: durability properties, *Materials Research* 15 (2012) 1029-1036
- [12] Zlatičanin B., Vučković M., Krgović M., Bošković I., Ivanović M., Zejak R.: Karakteristike geopolimera na bazi crvenog mulja kao komponente sirovinske mešavine, *Zaštita Materijala* 53 (2012) broj 4, p.p. 292-298, UDC:669.712.1.068-03.6.8.
- [13] Kadović M.V., Klačinja M. T., Blagojević N.Z., Rajko Vasiljević R., Jačimović Ž.K., Trehan tečne faze sa deponije crvenog mulja u kombinatu aluminijuma Podgorica, *Hemijaska industrija*, 58(4) 2004, p.p. 186-190
- [14] Liu R.X., Poon C.S.: Utilization of red mud derived from bauxite in self-compacting concrete, *Journal of Cleaner Production* 112 (2016) p.p. 384-391.
- [15] Shetty K.K., Nayak G., Vijayan V.: Effect of red mud and iron ore tailing on the strength of self compacting concrete, *European Scientific Journal* July 2014 edition vol.10, No.21 ISSN: 1857-7881 (Print) e - ISSN 1857-7431.
- [16] Gomez-Soberton J.: Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: An experimental study, *Cement and Concrete Research* 32 (2002), pp. 1301-1311
- [17] Persson B.: Internal frost resistance and salt frost scaling of self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research* 33 (2002), pp. 373-379
- [18] Levy S.M., Helene P.: Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development, *Cement and Concrete Research* 34 (2003), pp. 1975-1980
- [19] Ali E.E., Al-Tersawy S.H.: Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in self compacting concrete, *Construction and Building Materials* 35 (2012) 785–791
- [20] Kou S.C., Poon C.S.: Properties of self-compacting concrete with recycled glass aggregate, *Construction and Building Materials* 31 (2009) 107–113
- [21] Sua-lam G., Makul N.: Use of limestone powder to improve the properties of self compacting concrete produced using cathode ray tube waste as fine aggregate, *Applied Mechanics and Materials* Vols. 193-194 (2012), pp. 472-476
- [22] SRPS EN 197-1:2013 Cement – Deo 1: Sastav, specifikacije i kriterijumi usaglasenosti za obične cemente, Institut za standardizaciju Srbije, 2013
- [23] SPPS EN 206-1:2011 Beton – Deo 1: Specifikacije, performance i usaglasenosti za standardizaciju Srbije, 2011
- [24] SRPS EN 12670:2010 Agregati za beton, Institut za standardizaciju Srbije, 2010
- [25] SRPS EN 12350-6:2010 Ispitivanje svežeg betona - Deo 6: Zapreminska masa, Institut za standardizaciju Srbije, 2010
- [26] SRPS EN 12350-7:2010 Ispitivanje svežeg betona - Deo 7: Sadržaj vazduha - Metode pritiska, Institut za standardizaciju Srbije, 2010
- [27] SRPS EN 12350-8:2012 Ispitivanje svežeg betona – Deo 8: Samougradjući beton – Ispitivanje raspoređivanja sleganjem, Institut za standardizaciju Srbije, 2012
- [28] SRPS EN 12350-10:2012 Ispitivanje svežeg betona – Deo 10: Samougradjući beton - Ispitivanje pumpu L-kućije, Institut za standardizaciju Srbije, 2012
- [29] SRPS EN 12350-11:2012 Ispitivanje svežeg betona – Deo 11: Samougradjući beton – Ispitivanje segregacije pomoću sifla, Institut za standardizaciju Srbije, 2012
- [30] SRPS EN 12390-7:2010 Ispitivanje očvrstlog betona – Deo 7: Zapreminska masa očvrstlog betona, Institut za standardizaciju Srbije, 2010