
DGKS

DRUŠTVO GRAĐEVINSKIH
KONSTRUKTERA SRBIJE

SIMPOZIJUM

VRNJAČKA BANJA
19-21. SEPTEMBAR

2012.

**S
I
M
P
O
Z
I
J
U
M**

2012

U SARADNJI SA:



GRAĐEVINSKIM FAKULTETOM
UNIVERZITETA U BEOGRADU



INŽENJERSKOM KOMOROM
SRBIJE

ZBORNİK RADOVA

PUT INŽENJERING

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

69(082)

624(082)

ДРУШТВО грађевинских конструктора Србије.
Симпозијум (2012 ; Врњачка Бања)

Zbornik radova / DGKS Društvo
građevinskih konstruktera Srbije, simpozijum,
Vrnjačka Banja, 19-21. septembar, 2012. ;
[urednici Miloš Lazović, Boško Stevanović]. -
Beograd : Društvo građevinskih konstruktera
Srbije : Grafički centar, 2012 (Beograd :
Grafički centar). - 348 str. : ilustr. ; 25
cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 300. -
Napomene uz tekst. - Bibliografija uz većinu
radova. - Summaries.

ISBN 978-86-85073-15-1 (GC)

а) Грађевинарство - Зборници
COBISS.SR-ID 193278476

Izdavač: **Društvo građevinskih konstruktera Srbije**
Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/1

Urednici: prof. dr **Miloš Lazović**
prof. dr **Boško Stevanović**

Tehnička
priprema: **Saška - Stoja Todorović**

Priprema
za štampu: **Nebojša Ćosić**

Štampa: **DC Grafički centar**

Tiraž: 300 primeraka
Beograd, septembar 2012.

Dragica Lj. Jevtić¹, Dimitrije M. Zakić², Aleksandar R. Savić³, Aleksandar V. Radević⁴

PROMENA SVOJSTAVA MALTERA UPOTREBOM RECIKLIRANE GUME

Rezime: U radu su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja na malterima sa recikliranim gumenim agregatom. U malterima je variran sadržaj gume u ukupnoj zapremini agregata (10 do 60%). U svežem stanju ispitivana su zapreminska masa, procenat uvučenog vazduha i konzistencija, a u očvrslom čvrstoća pri savijanju i pritisku, atezija, modul elastičnosti i otpornost matera na dejstvo mraza. Rezultati ispitivanja pokazuju da se reciklirana guma može koristiti u malterima kao zamena dela agregata i da je moguće postići bolja svojstva u smislu trajnosti, istovremeno zadržavajući zadovoljavajući nivo mehaničkih svojstava.

Ključne reči: malteri, reciklaža, gumeni agregat, čvrstoća, otpornost na mraz.

THE CHANGE OF PROPERTIES OF MORTARS WITH THE USE OF RECYCLED RUBBER

Summary: This paper presents the results of experimental research conducted on mortars with recycled rubber aggregate. The content of recycled rubber aggregate varied in total volume of aggregate (10 to 60%). Fresh mortar tests included: density, percentage of entrained air and mortar flow, while tests on hardened mortars included flexural and compressive strength, modulus of elasticity and adhesion. Freeze-thaw resistance of these composites was also tested. Test results show that the recycled rubber can be used in mortars as a replacement for aggregate, and that achieving better properties in terms of durability, while maintaining a satisfactory level of mechanical properties, is possible.

Key words: mortars, recycling, rubber aggregate, strength, freeze-thaw resistance.

¹ Professor, B.Sc.M.Sc.Ph.D., Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, SERBIA, dragica@imk.grf.bg.ac.rs,

² Assistant professor, B.Sc.M.Sc.Ph.D., Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, SERBIA, dimmy@imk.grf.bg.ac.rs,

³ Teaching fellow, Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, SERBIA, sasha@imk.grf.bg.ac.rs,

⁴ Teaching assistant, Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, SERBIA, aradevic@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Savremena građevinska industrija bazira se na produkciji velikih količina kompozita tipa betona i maltera. Sastav, tehnologija spravljanja, način upotrebe i ugrađivanja ovih kompozita razlikuju se u zavisnosti od konkretne oblasti primene materijala.

Sa druge strane, ljudsko društvo generiše sve veće količine otpada, a shodno tome problem njegovog deponovanja postaje sve ozbiljniji [1]. Za izvesne vrste otpada (papir, razni metali itd.) već su pronađena više ili manje održiva rešenja koja omogućuju njihovu reciklažu i ponovnu upotrebu. Neke druge vrste materijala potrebno je reciklirati specijalnim, ponekad i izuzetno složenim procesima, da bi se ponovo stvorila njihova upotrebna vrednost i omogućila njihova ponovna primena. Istrošeni i upotrebljeni (otpadni) pneumatici vozila spadaju u takve materijale.

Problem otpadnih pneumatika dodatno je povećan činjenicom da oni na deponijama zauzimaju srazmerno velik prostor u odnosu na svoju masu. Ovaj otpadni materijal se uklanja sa deponija tako što se upotrebljava u svojstvu energenta (zbog svoje visoke kalorijske vrednosti – oko 30.2 MJ/kg za automobilske gume), jedan deo se revitalizira i ponovo upotrebljava u istom svojstvu (za nove pneumatike raznih vozila), dok se velika količina apsorbuje u građevinskoj industriji [2].

Zahvaljujući svojim povoljnim svojstvima kao što su elastičnost, trajnost, otpornost na cikluse smrzavanja i odmrzavanja, gumeni granulati već imaju veliku primenu u niskogradnji. Već nekoliko decenija reciklirana guma se koristi kao dodatak asfaltima u izgradnji puteva, obzirom da se upotrebom takvih kompozita ostvaruje niz prednosti: smanjenje buke, puta kočenja, povećanje otpornosti na dejstvo mraza, kao i duži upotrebni vek kolovoza uz povećanu otpornost na pojavu pukotina na većem temperaturnom rasponu. Kompoziti na bazi gumenog granulata takođe se koriste za izradu galanterije za putnu industriju: parking i stubići za signalizaciju, ivičnjaci, pružni prelazi, pragovi, saobraćajne barijere, itd. Gumeni granulati, takođe, zbog napred navedenih svojstava, našli su veliku primenu pri izradi elemenata za železnice kao što su gumeni paneli, pragovi, ublaživači brzina i dr. [3, 4].

Upotreba recikliranog gumenog agregata u betonima i malterima (frakcionisanog u standardne frakcije, poput prirodnog agregata) datira još iz sedamdesetih godina prošlog veka. Međutim, proučavanje njihovih fizičko-mehaničkih svojstava i plasiranje ovih kompozita u oblastima gde mogu da daju svoj maksimum još je u početnoj fazi.

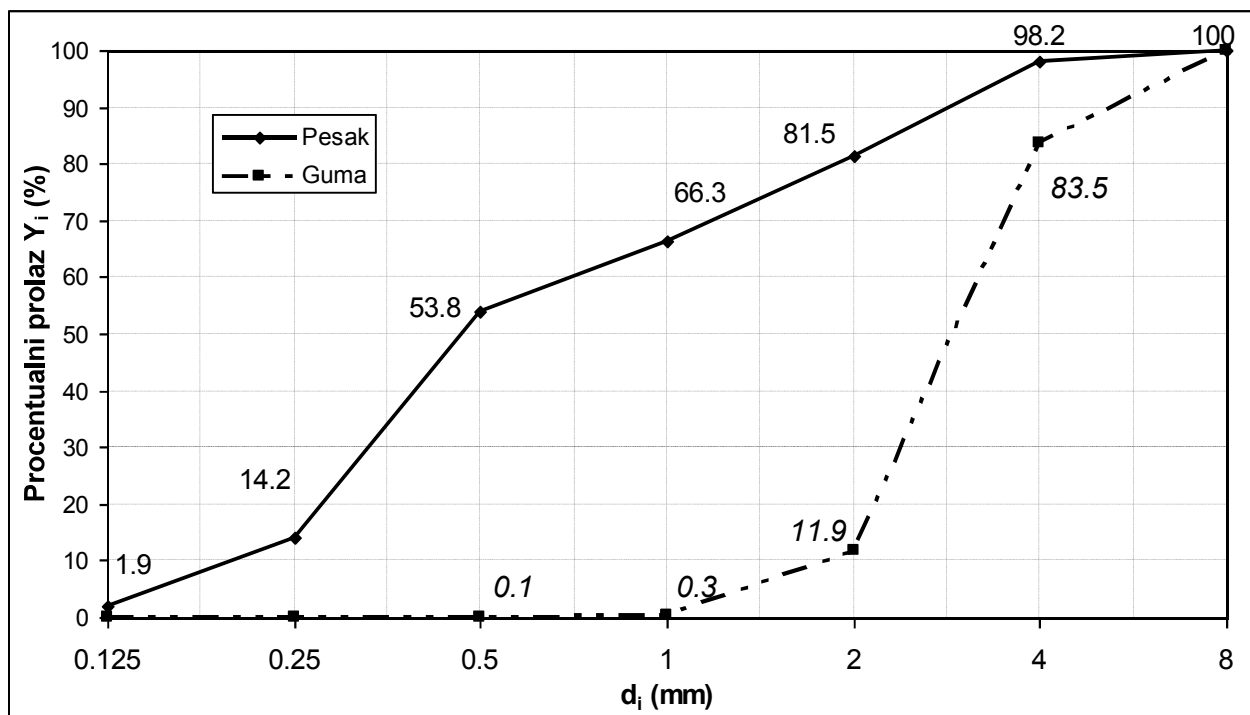
Jedna od potvrđenih prednosti takve primene gumenog agregata je unapređenje trajnosti kompozita koji sadrže gumeni agregat. Postoji nekoliko istraživanja sprovedenih u cilju utvrđivanja mogućnosti postizanja optimalnog sastava betonske mešavine sa dodatkom gume, koja poseduje maksimalnu otpornost na dejstvo mraza, uz istovremeno zadržavanje čvrstoće kompozita u zadovoljavajućim granicama [5].

2. MATERIJALI

Rezultati prikazani u ovom radu predstavljaju deo obimnijih eksperimentalnih istraživanja, sprovedenih u Laboratoriji za materijale Instituta za materijale i konstrukcije Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Predmetna ispitivanja imala su za cilj optimizaciju sastava različitih mešavina cementnih kompozita, odnosno postizanje najboljih performansi u smislu trajnosti, uz istovremeno očuvanje fizičko-mehaničkih svojstava na zadovoljavajućem nivou.

Upotrebljen je cement tipa CEM II, PC 35M (V-L-S) 42.5 N "Holcim", Novi Popovac, sa specifičnom masom od 2960 kg/m^3 i sa zapreminskom masom u rastresitom stanju u iznosu od 890 kg/m^3 .

Prirodni rečni agregat "Moravac", proizveden u separaciji "Branko Moravac", sa veličinom zrna između 0/4 mm (pesak) je korišćen prilikom predmetnih ispitivanja. Granulometrijski sastav upotrebljenog agregata prikazan je na slici 1. Utvrđene su i specifična i zapreminska masa peska, u iznosu od 2617 kg/m^3 i 1640 kg/m^3 , respektivno.



Slika 1. Granulometrijske krive upotrebljenih agregata

Granulometrijska kriva gumenog agregata (proizvedenog od strane firme "Tigar" iz Pirot) je takođe prikazana na slici 1. Zapreminska masa zrna agregata i zapreminska masa gumenog agregata u rastresitom stanju (određene prema [6]) iznosile su 1150 kg/m^3 i 470 kg/m^3 , respektivno.

3. REZULTATI

Pored kontrolne, referentne mešavine E, napravljene bez dodatka gumenog agregata, spravljeno je još šest serija maltera (G1, G2, G3, G4, G5 i G6), sa sadržajem gume koji je varirao u rasponu od 10% do 60% iste zapremine prirodnog agregata (pesak), videti tabelu 1. Sve serije maltera su napravljene sa istim masenim odnosima komponenti, karakterističnim za standardni cementni malter, tj agregat:cement = 3:1 i voda: cement = 1:2. Sastav malterskih mešavina je za sve serije prikazan u tabeli 1.

Količine prikazane u tabeli 1 predstavljaju količine sračunate za zapreminu jednog trodelnog kalupa, odnosno za tri standardne prizme $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ cementnog maltera.

Tabela 1. Sastav malterskih mešavina

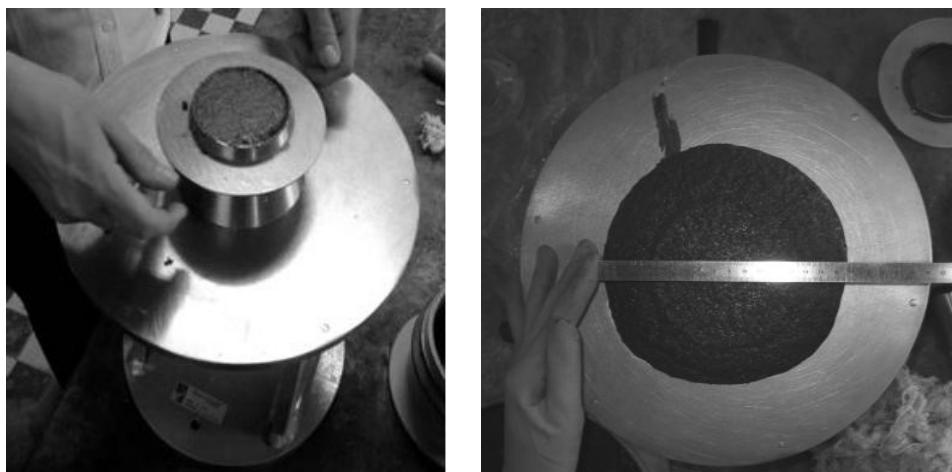
Serija	Sadržaj gume	Voda	Cement	Guma	Pesak
	%(vol)	m_v (g)	m_c (g)	m_g (g)	m_p (g)
<i>E</i>	0	225	450	-	1350.0
<i>G1</i>	10	225	450	35.2	1227.0
<i>G2</i>	20	225	450	64.5	1125.0
<i>G3</i>	30	225	450	89.3	1038.0
<i>G4</i>	40	225	450	110.5	964.3
<i>G5</i>	50	225	450	129.0	900.0
<i>G6</i>	60	225	450	145.1	843.8

Za spravljanje maltera je upotrebljena laboratorijska mešalica RILEM/CEM, prema sledećoj proceduri: prvo su mešani voda i cement u trajanju od 30 sekundi, a nakon ovoga, za serije sa gumenim agregatom, dodat je gumeni agregat u toku narednih 30 sekundi, i na kraju prirodni rečni agregat. Celukupan proces mešanja je trajao 120 sekundi za sve mešavine. Nakon mešanja, malteri su ugrađeni u kalupe, pomoću standardnog vibrostola. Nakon ugrađivanja, uzorci su negovani na standardni način, prema [7].

Fizičko-mehanička svojstva maltera napravljenih sa gumenog agregata upoređena su sa odgovarajućim osobinama referentnog maltera, označenog sa E. Ispitivanja maltera u svežem stanju obuhvatila su sledeća svojstva: zapreminska masa (γ_{sv}), razlivanje (d) i procenat (Δr) uvučenog vazduha. Ova svojstva su prikazana u tabeli 2, za sve serije. Procenat uvučenog vazduha je određen u skladu sa standardom [8], a konzistencija u svemu prema [9], uz korišćenje potresnog stočića (sl. 2).

Tabela 2. Svojstva maltera u svežem stanju

Serija:	<i>E</i>	<i>G1</i>	<i>G2</i>	<i>G3</i>	<i>G4</i>	<i>G5</i>	<i>G6</i>
γ_{sv} (g/cm ³)	2.290	2.262	2.182	2.108	2.107	2.104	2.068
d (mm)	156	165	177	180	181	182	182
Δp (%)	4.25	4.00	4.50	4.35	4.50	4.60	5.60



Slika 2. Metoda potresnog stočića za utvrđivanje konzistencije maltera

Fizičko-mehanička ispitivanja maltera u očvrslom stanju (sprovedena pri starosti od 28 dana) obuhvatila su sledeća svojstva: zapreminsku masu (γ_{28}), čvrstoću pri savijanju (f_s) i pritisku (f_p), ateziju (f_{ad}) i modul elastičnosti (E); oni su prikazani u tabeli 3.

Prilikom ispitivanja adhezije su upotrebljene betonske ploče dimenzija 40x40x5cm, u svojstvu podloge. Nakon pripreme, sveže malterske mešavine su ručno nanete na površinu ploča, u sloju od 3 cm. Betonske ploče su prethodno očišćene pomoću čelične četke i natopljene vodom jedan sat pre nanošenja maltera. Nega nanetog maltera je vršena tokom narednih 28 dana pokrivanjem vlažnom tkaninom. Adhezija je testirana pomoću "Pull-off" uređaja proizvedenog od strane firme "Controls", brzinom od 0.5kN/s \pm 0.1kN/s.

Tabela 3. Svojstva očvrsljih maltera pri starosti od 28 dana

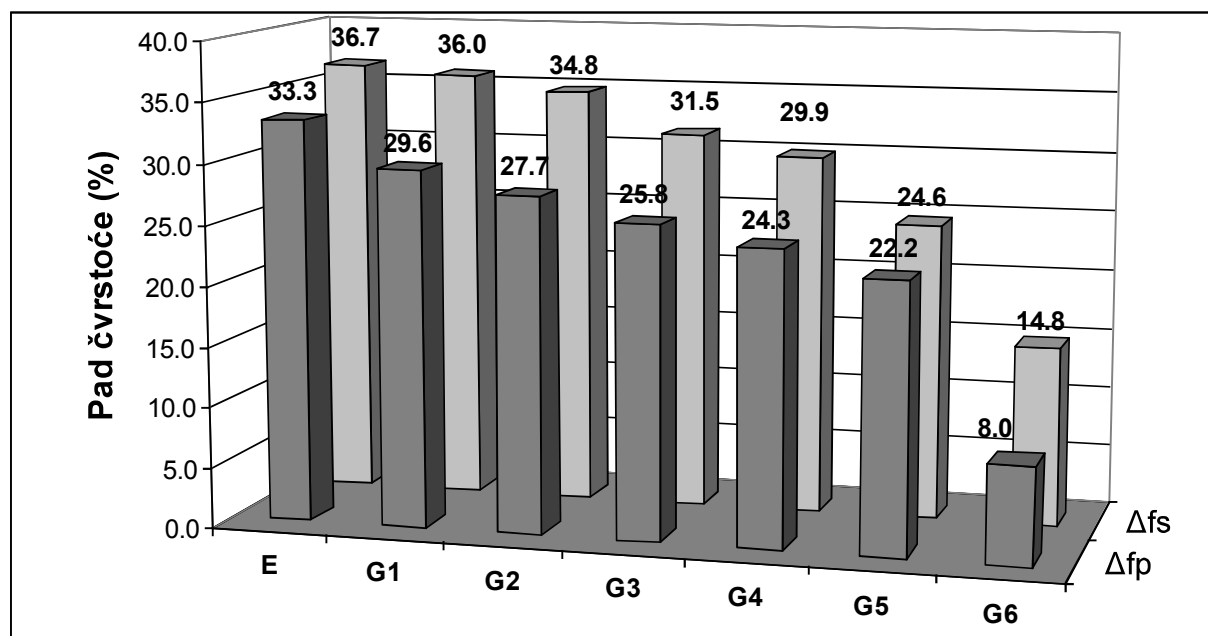
Seriya:	E	$G1$	$G2$	$G3$	$G4$	$G5$	$G6$
γ_{28} (g/cm ³)	2.143	2.130	2.080	1.990	1.970	1.970	1.890
f_s (MPa)	7.63	7.38	6.50	5.88	5.63	5.00	4.37
f_p (MPa)	46.6	39.8	32.8	29.4	20.6	18.8	16.6
f_{ad} (MPa)	2.22	2.03	1.99	1.81	1.79	1.72	1.59
E (GPa)	25.6	23.0	22.4	21.6	20.1	19.5	19.2

Osim navedenih ispitivanja, na predmetnim malterima je pri starosti od 28 dana vršeno i ispitivanje trajnosti, u vidu otpornosti na dejstvo mraza. Uzorci napravljeni od svih sedam mešavina maltera su najpre zasićeni vodom, a zatim izloženi ciklusima zamrzavanja (u trajanju od 4 sata na temperaturi od -20°C) i odmrzavanja (još 4 sata na +20°C). Nakon 15 ovakvih ciklusa utvrđene su čvrstoće uzoraka koji su izlagani predmetnom tretmanu i uzoraka koji su sve vreme čuvani u vodi na +20°C (etalona). Ovi rezultati su prikazani u tabeli 4, zajedno sa rezultatima etalona. Zbog stanja uzoraka serije E i G1, u njihovom slučaju je bilo nemoguće dobiti rezultate ispitivanja. Već je vizuelna inspekcija tretiranih uzoraka otkrila pozitivan uticaj upotrebe gumenog agregata.

Tabela 4. Rezultati ispitivanja dejstva mraza na uzorke maltera sa dodatkom gume

	Savijanje [MPa]		Pritisak [MPa]	
	Etaloni	Izloženi uzorci	Etaloni	Izloženi uzorci
E	7.9	5.0	52.3	34.9
G1	7.5	4.8	44.2	31.1
G2	6.9	4.5	37.5	27.1
G3	6.1	4.2	33.0	24.5
G4	4.8	3.4	28.5	21.6
G5	4.7	3.5	26.1	20.3
G6	3.4	2.9	17.3	16.0

Na bazi rezultata prikazanih u tabeli 4, sračunate su vrednosti pada čvrstoće u odnosu na uzorke koji nisu izlagani ciklusima. Ovaj pad čvrstoće prikazan je grafički na slici 3.



Slika 3. – Pad čvrstoće (pri pritisku i pri savijanju) maltera izloženih cikličnom dejstvu mraza

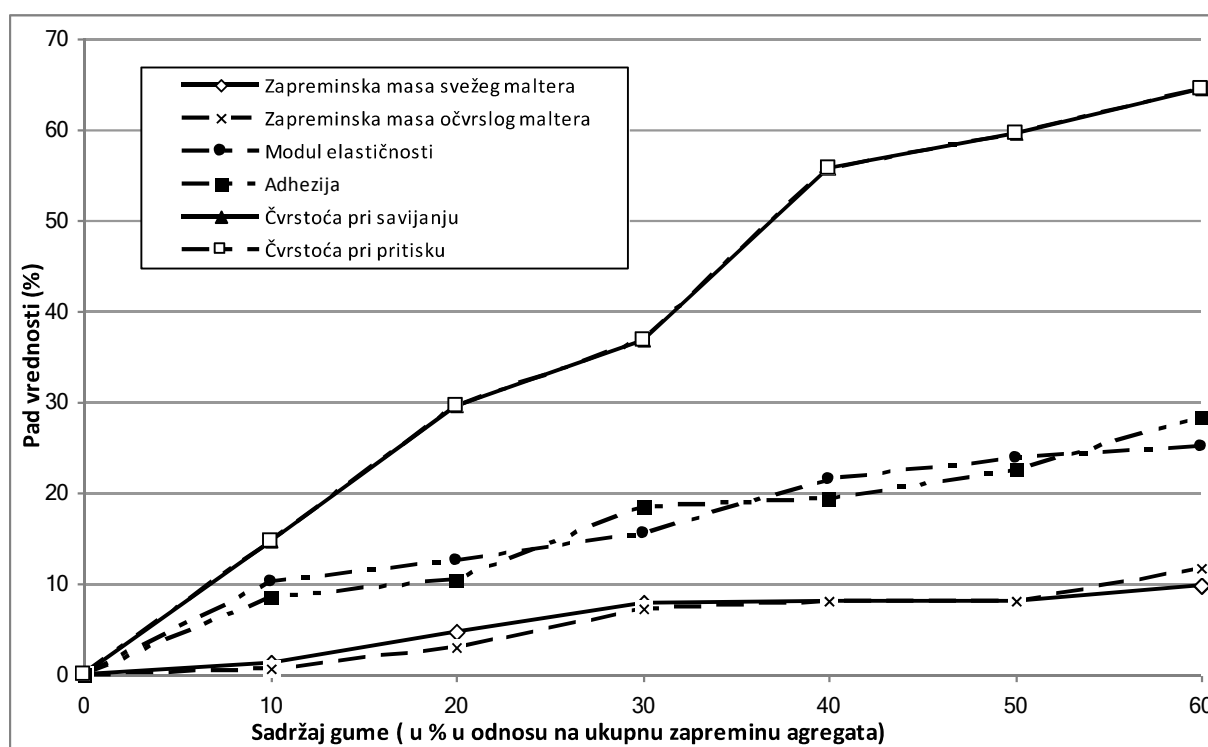
4. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja fizičko-mehaničkih svojstava maltera sa dodatkom gumenog agregata. Sadržaj gumenog agregata varirao je u granicama od 0% (za etalon) do zamene 60% zapremine upotrebljenog prirodnog rečnog agregata (peska). Dobijeni rezultati su pokazali pad vrednosti svih istraživanih svojstava osim otpornosti na

dejstvo mraza. Ovaj pad je prikazan na slici 4, za sve parametre osim trajnosti, pri starosti od 28 dana.

Što se tiče fizičkih svojstava, zapreminska masa u svežem i očvrslog stanju opale su do oko 10% sa povećanjem sadržaja gumenog agregata, dok su razlivanje i sadržaj vazduha blago povećani. Kod modula elastičnosti pad je iznosio oko 25%.

U pogledu mehaničkih svojstava, najveći pad je zapažen kod čvrstoće pri savijanju i pri pritisku. Sprovedena ispitivanja su pokazala da je zamena od 60% (zapreminski) agregata u cementnom malteru gumenim agregatom dovela do smanjenja od 64,4% čvrstoće pri pritisku maltera, pri starosti od 28 dana. U pogledu mehaničkih osobina, pad adhezije bio je najmanji, i iznosio je 28,4% za seriju sa 60% gume (zapreminski). Pored toga, iz tabele 3 je očigledno da su sve vrednosti adhezije prelazile uobičajeni minimum od 1,5 MPa. Sve osobine izgleda da padaju gotovo linearno, u skladu sa rezultatima istraživanja sprovedenih od strane drugih istraživača [10, 11, 12].



Slika 4. Promena svojstava maltera sa gumenim agregatom

Što se otpornosti na mraz ispitivanih maltera tiče, pad čvrstoće kod etalona iznosio je 33.3% i 36.7% za čvrstoću pri pritisku i savijanju, respektivno, dok je kod maltera sa dodatkom gume taj pad samo 8.0% i 14.8%. Ukoliko bi se dozvolio pad čvrstoće od 25%, sa slike 3 se vidi da bi posle tretmana izlaganja dejstvu mraza samo malteri sa 50% i 60% gume zadovoljili taj kriterijum. To je posledica činjenice da guma omogućuje svojevrsnu elastičnu relaksaciju unutrašnjih pritisaka koji se javljaju usled širenja leda u malteru.

Sa inženjerske tačke gledišta, jasno je da upotreba reciklirane gume u svojstvu agregata u malterima i betonima može biti uspešna u izvesnoj meri, u pogledu fizičko-mehaničkih svojstava [13]. Smanjena zapreminska masa pruža mogućnost da se projektuju laki betoni i malteri. Imajući u vidu druge prednosti ovih kompozita (npr. zvučna i toplotna izolacija,

otpornost na mraz, otpornost na udar), postoji realna mogućnost njihove primene u određenim slučajevima, nakon postizanja optimalnog balansa između sadržaja gumenog agregata s jedne strane, i prihvatljivog nivoa fizičko-mehaničkih svojstava dobijenih kompozita sa druge.

S obzirom da cementni kompoziti sa dodatkom gumenog agregata imaju odličnu apsorpciju vibracija, visoku apsorpciju zvuka, nižu osetljivost na temperaturne promene, ovi kompoziti sa dodatkom reciklirane gume takođe imaju primenu u izradi obloga za izolaciju krovova, zvučnih barijera u građevinarstvu, voodtopornih membrana, podloga za sportske terene i dečja igrališta, popločavanje šetališta, bašta, prostora oko bazena, itd.

6. ZAHVALNOST

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja 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".

LITERATURA

- [1] United Nations. 1987., *Report of the World Commission on Environment and Development*, General Assembly Resolution 42/187, 11 December 1987.,
- [2] Stanojević, D. D., Rajović, M. B., Rajković, D.V., *Management of used tires, accomplishments in the world, and situation in Serbia*, Hem. Ind. 65, 2011, 627-738 (In Serbian),
- [3] R.M. Mercedes, J.S.C. Astorqui and M.G. Cortina, *Viability analysis and constructive applications of lightened mortar (rubber cement mortar)*, Constr Build Mater 21 (2007), pp. 1785–1791.
- [4] D. Raghavan, H. Huynh and C.F. Ferraris, *Workability, mechanical properties and chemical stability of a recycled tyre rubber-filled cementitious composite*, J Mater Sci 33 (1998), pp. 1745–1752.
- [5] Richardson, A., Coventry, K., Ward, G., *Freeze/thaw protection of concrete with optimum rubber crumb content*, J. of Cleaner Prod. 23, 2012, 96-103,
- [6] SRPS B.B8.031:1982 "Crushed aggregate - Determination of particle density and water absorption",
- [7] SRPS EN 196 -1 "Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength",
- [8] SRPS B.C8.050:1981 "Air content of hydraulic cement mortar"
- [9] SRPS EN 1015-3:2008 "Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)"
- [10] J. C. Pais, P. A. A. Pereira, *The improvement of pavement performance using asphalt rubber hot mixes*, International Symposium on Highway and Bridge Engineering, Romania (2007).
- [11] M. C. Zanetti, G. Genon, *Recycle of used tyres: Cryogenic disintegration and reuse of the obtained products*, Sustainable Waste Management and Recycling: Challenges and Opportunities. Volume 3, Used/Post-Consumer Tyres, (2004) 119-126.
- [12] R. Siddique, *Waste Materials and By-Products in Concrete*, Scrap Tires, Chapter 4, Springer; 1 edition, (2007) 121-145.
- [13] Jevtić D, Zakić D, Savić A: *Investigation of cement based composites made with recycled rubber aggregate*, Hemijska industrija, 2012, DOI:10.2298/HEMIND111203010J