

Društvo građevinskih konstruktora Srbije

15. KONGRES

ZLATIBOR, 6-8. SEPTEMBAR 2018.

ZBORNIK RADOVA SA NACIONALNOG KONGRESA DGKS

ДГКС АСЕС

U SARADNJI



POKROVITELJ



Република Србија
Министарство
просвете, науке и
технолошког развоја

SPONZORI



ŠIRBEGOVIĆ®
INŽENJERING

PUT INŽENJERING

ADING
sastojak svake građevine



ENERGOPROJEKT

MARTINI
GRADNJA D.O.O.



ARMONT™

CIP - Каталогизacija у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

624+69(082)

ДРУШТВО грађевинских конструктора Србије. Конгрес (15 ; 2018 ; Златибор)

Zbornik radova sa nacionalnog kongresa DGKS [Elektronski izvor] / Društvo građevinskih konstruktora Srbije, 15. kongres, 6-8. septembar 2018, Zlatibor ; [urednici Đorđe Lađinović, Zlatko Marković, Boško Stevanović]. - Beograd : Društvo građevinskih konstruktora Srbije, 2018 (Novi Sad : Grafički centar - GRID, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) : tekst, slika ; 12 cm

Sistemski zahtevi: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovnog ekrana. - Tiraž 250. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Bibliografija.

ISBN 978-86-6022-069-3

a) Грађевинарство - Зборници
COBISS.SR-ID [325101831](#)

Izdavač:	Društvo građevinskih konstruktora Srbije Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/I
Urednici:	prof. dr Đorđe Lađinović prof. dr Zlatko Marković prof. dr Boško Stevanović
Tehnički urednik:	doc. dr Jelena Dobrić
Tehnička priprema:	asist. Nina Gluhović asist. Marija Todorović
Grafički dizajn:	asist. Tijana Stevanović
Dizajn korica:	asist. Tijana Stevanović
Štampa:	Grafički centar – GRID Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu
Tiraž:	250 primeraka Beograd, septembar 2018.

POVODOM TRIDESETOGODIŠNICE POSTOJANJA
A ZA NAROČITE ZASLUGE I USPEHE POSTIGNUTE
U RAZVIJANJU I UNAPREĐENJU GRAĐEVINSKOG
KONSTRUKTERSTVA I DOPRINOS UZDIZANJU
STRUČNIH KADROVA

ukazom broj 38 od 29. aprila 1983. godine

PREDSEDNIŠTVO SFRJ

ODLIKOVALO JE

SAVEZ DRUŠTAVA GRAĐEVINSKIH
KONSTRUKTERA JUGOSLAVIJE

ORDENOM RADA SA SREBRNIM VENCEM

Organizacioni odbor Kongresa:

Predsedništvo DGKS:

prof. dr Đorđe Lađinović, predsednik,
Aleksandar Bojović, potpredsednik,
prof. dr Zlatko Marković, generalni sekretar,
prof. dr Boško Stevanović, sekretar,
prof. dr Dragoslav Stojić,
prof. dr Mira Petronijević,
prof. dr Snežana Marinković,
v. prof. dr Danijel Kukaras,
doc. dr Branko Milosavljević,
doc. dr Selimir Lelović,
Duško Tomić,
Goran Vukobratović,
Goran Tadić,
Đorđe Pavkov,
Lazar Marković,
Branko Knežević,
Gojko Grbić.

Naučni odbor Kongresa:

prof. dr György Balazs (Mađarska),
prof. dr Radu Banchila (Rumunija),
prof. dr Dubravka Bjegović (Hrvatska),
prof. dr František Wald (Češka Republika),
prof. dr Milan Veljković (Holandija),
v. prof. dr Mirjana Vukićević (Srbija),
prof. dr Tatjana Isaković (Slovenija),
prof. dr Miloš Knežević (Crna Gora),
prof. dr Đorđe Lađinović (Srbija),
prof. dr Asterios Liolios (Grčka),
prof. dr Jože Lopatič (Slovenija),
prof. dr Duško Lučić (Crna Gora),
prof. dr Snežana Marinković (Srbija),
prof. dr Zlatko Marković (Srbija),
prof. dr Goran Markovski (Makedonija),
doc. dr Branko Milosavljević (Srbija),
prof. dr Primož Može (Slovenija),
prof. dr Tihomir Nikolovski (Makedonija),
prof. dr Doncho Partov (Bugarska),
prof. dr Radenko Pejović (Crna Gora),
prof. dr Mira Petronijević (Srbija),
prof. dr Milenko Pržulj (Slovenija),
prof. dr Vlastimir Radonjanin (Srbija),

prof. dr Boško Stevanović (Srbija),
prof. dr Dragoslav Stojić (Srbija),
prof. dr David Fernández-Ordóñez (Španija),
prof. dr Radomir Folić (Srbija),
prof. dr Rüdiger Höffer (Nemačka),
prof. dr Meri Cvetkovska (Makedonija),
prof. dr Hugo Corres Peiretti (Španija).

Marina Aškrabić¹, Dimitrije Zakić², Aleksandar Savić³, Dragica Jevtić⁴, Enida Mušović⁵, Stefan Stanimirović⁶

KREČNI MALTERI SA DODATKOM RECIKLIRANE OPEKE NAMENJENI ZA RESTAURACIJU ISTORIJSKIH OBJEKATA

Rezime:

U radu su prikazani rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava krečnih maltera kod kojih je rečni agregat delimično zamenjen agregatom od reciklirane drobljene opeke sa 25, 50 i 75% (zapreminski), pri različitim zapreminskim odnosima kreča i agregata. Ispitivanja su vršena pri starostima od 7, 14, 28 i 56 dana. Čvrstoće pri pritisku pri starosti od 7 dana veće su za malterske mešavine sa dodatkom drobljene opeke u odnosu na referentne mešavine. Najveće vrednosti čvrstoće pri pritisku i adhezije za podlogu ostvarene su kod mešavine sa zapreminskim odnosima komponenata 1:3 i sa 75% učešća agregata od drobljene opeke i iznosile su redom 1,47 MPa i 0,21 MPa.

Ključne reči: istorijski malteri, kreč, drobljena opeka, adhezija, kompatibilnost, reciklaža

LIME RENDERS WITH ADDITION OF RECYCLED CRUSHED BRICK FOR RESTORATION OF HISTORICAL BUILDINGS

Summary:

Paper presents the investigation of physical and mechanical properties of lime mortars with crushed brick as a partial replacement (25, 50 and 75%) of natural aggregate, by volume. Tests were conducted on mixtures with different volumetric ratios of lime and aggregate at the ages of 7, 14, 28 and 56 days. Compressive strength at the age of 7 days was higher for the mixtures with addition of crushed brick, when compared to the referent mixtures. The highest values of compressive and pull-off strengths (1,47MPa and 0,21 MPa respectively) were measured for the mixture with volumetric ratio lime to aggregate of 1:3 and 75% of crushed brick aggregate.

Key words: historical mortars, lime, crushed brick, pull-off strength, compatibility, recycling

¹Asistent-student doktorskih studija, mast.inž.grad., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, amarina@imk.grf.bg.ac.rs

²V. prof, dr dipl.grad.inž., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, dimmy@imk.grf.bg.ac.rs

³Doc. dr dipl.grad.inž., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, savic.alexandar@gmail.com

⁴Prof. dr dipl.tehn.inž., Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, dragica@imk.grf.bg.ac.rs

⁵Mast.inž.grad., enidamusovic@hotmail.com

⁶Student master studija Građevinskog fakulteta, Univerzitet u Beogradu, stefan.stanimirovich@gmail.com

1. UVOD

Malteri na bazi kreča korišćeni su prilikom zidanja i malterisanja građevina tokom najvećeg dela razvoja ljudske civilizacije. Najstariji materijalni dokazi o proizvodnji kreča datiraju iz 11000 – 10000 godina pre n.e., a pronađeni su u jugoistočnoj Anadoliji, današnjoj Turskoj. Postoje podaci i da je u razdoblju od 6000. do 4000. godine pre n.e. kreč bio korišćen kao vezivo za zidanje opekama na području Palestine.

U Evropi jedna od prvih upotreba krečnih maltera bila je pri izradi podova 6200-5400 godina pre n.e. otkrivenih na lokalitetu Lepenski Vir.

Pored inertnih prirodnih agregata, u malterima je povremeno prisutna i drobljena opeka kao delimična ili potpuna zamena agregata u delovima konstrukcija ili na površinama koje su izložene vlažnim uslovima i uticajima sredine. Prvi dokazi o korišćenju dodataka na glinenoj bazi u krečnim malterima pronađeni su u vavilonskim građevinama 3000 godina p.n.e. Prvi dokumenti u kojima se pominje primena drobljene opeke u malterima su zapisi Catonea i Vitruvijusa iz perioda procvata Rimskog carstva.

Najveći razvoj maltera sa sprasenom opekama ili agregatom od drobljene opeke nastupio je u vreme Rimskog carstva, ali je praksa korišćenja ovih maltera nastavljena i u doba Vizantijskog carstva i Otomanske imperije, pa čak i do 19. veka. Primeri upotrebe ovakvih maltera su i crkva Svete Sofije u Istanbulu, srednjovekovni grad Rodos, crkve, manastiri i katedrale u Kijevu i Izraelu, kula u Baču. Pored njihove značajne karakteristike vodonepropustljivosti, ističe se i njihova uloga u izradi elemenata seizmički stabilnih zidanih konstrukcija. Ovi malteri su zatim korišćeni i na drugim kontinentima, npr. u Indiji i arapskim zemljama [1].

Autori koji su se bavili ispitivanjima istorijskih maltera iz različitih perioda i na različitim teritorijama (Grčka, Kipar, Portugalija, Italija, Turska, Srbija) pronašli su na više mesta maltere sa agregatom od drobljene opeke, a često i prisutne sitne čestice od istog materijala. U najvećem broju slučajeva prilikom hemijske analize, u ovim malterima je zabeleženo prisustvo proizvoda nastalih kao posledica hidraulične reakcije [2, 3]. Sitnije frakcije agregata od drobljene opeke imale su ulogu hidrauličkog dodatka, dok je ispitivanjem kontaktne zone između veziva i zrna drobljene opeke primećeno da njena širina iznosi oko 10 μm , da je kompaktna i da na njoj nije zabeleženo prisustvo većih pora [4, 5].

Iako su malteri na bazi kreča krajem 19. i tokom 20. veka skoro sasvim zamenjeni malterima sa hidrauličkim vezivima, pre svega na bazi cementa, ponovno interesovanje za ovaj tip maltera javlja se već u drugoj polovini 20. veka. U tom periodu je primećeno da je usled korišćenja maltera na bazi cementa prilikom intervencija na nekim od starih objekata, došlo do pojave novih oštećenja osnovnih materijala. Sa druge strane, iako je došlo do promena u tehnologiji proizvodnje građevinske keramike, postoje različiti pokušaji primene recikliranog agregata od drobljene opeke, posebno u betonskim i malterskim kompozitima [6]. Matias et al. [1] u svom preglednom radu sugerišu da prethodna istraživanja u najvećoj meri obuhvataju primenu drobljene keramike kao agregata u cementnim malterima, dok su istraživanja vezana za krečne maltere ređa i da ova saznanja nisu bila sistematizovana. Zaključci ovog preglednog rada su da je potrebno posvetiti posebnu pažnju razumevanju pojava u krečnim malterima sa agregatom ili filerom od opeke i reakcija koje se u ovom sistemu odvijaju. Temperature pečenja gline na kojima je najveća verovatnoća dobijanja keramičkog materijala sa

pucolanskim svojstvima, a posebno njihove najviše preporučene vrednosti, bliske su i temperaturama korišćenim u savremenoj proizvodnji keramičkih proizvoda.

Isti autori [2] istražili su upotrebu keramičkog otpada nastalog od 7 različitih proizvoda iz fabrika opeka i crepa, kao i fabrika za proizvodnju keramičkih pločica kao dodatka krečnim malterima. Rad je inspirisan činjenicom da zbog povećanih zahteva kvaliteta za keramičke proizvode, kao i visokih temperatura pečenja koje mogu da izazovu pojave prslina ili oštećenja, fabrike keramike proizvode određene količine otpada u vidu proizvoda koji nisu zadovoljili kriterijume proizvodnje, a nisu upotrebljeni u druge svrhe.

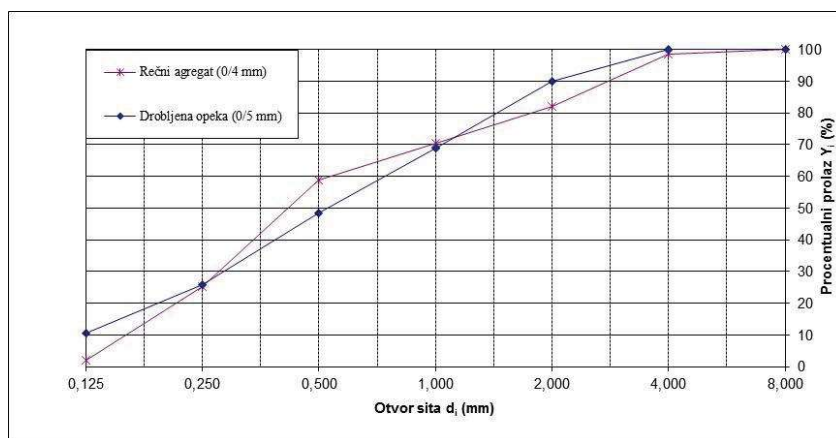
Zaključeno je da se dodavanjem drobljenog keramičkog otpada poboljšavaju mehaničke karakteristike krečnih maltera, kao i njihova otpornost na dejstvo mraza. Krečni malteri sa visokim sadržajem drobljene keramike i malteri sa prirodnim hidrauličkim krečom i niskim sadržajem drobljene keramike pokazali su najbolja svojstva. Upijanje vode se povećava, a paropropustljivost se smanjuje sa dodatkom drobljene keramike. Ove razlike nisu bile značajne u odnosu na referentne maltere.

Takođe, Corinaldesi [7] je spravljala mešavine sa hidrauličkim krečom i dva tipa agregata od drobljene opeke različitih granulacija 0-2 mm i 0-4 mm. Zaključeno je da malteri sa krupnijim agregatom od drobljene opeke imaju procentualno veći sadržaj makro pora koje omogućavaju bolju paropropustljivost uz smanjenje kapilarnog upijanja.

Pored vrste agregata, značajan uticaj na svojstva maltera ima i odnos veziva i agregata [5]. Prema navodima iz literature najčešće su korišćeni zapreminski odnosi između 1:4 i 1:2 [4].

2. MATERIJALI I MEŠAVINE

U radu su ispitivana fizičko-mehanička svojstva krečnih maltera kod kojih je rečni agregat delimično zamenjen agregatom od reciklirane drobljene opeke u količini od 25, 50 i 75% (zapreminski). Tri referentne mešavine spravljene su sa krečnim testom kao vezivom i prirodnim rečnim agregatom sa zapreminskim odnosima kreča (suve materije) i agregata 1:2, 1:3 i 1:4. Količina vode za svaku mešavinu određena je iz uslova dostizanja ciljane konzistencije tj. prečnika rasprostiranja za referentne mešavine u granicama od 130-140 mm.



Slika 1 – Granulometrijske krive korišćenih agregata

Pri spravljanju svih mešavina korišćen je rečni agregat "Dunavac", I frakcija od 0 do 4 mm, čija je zapreminska masa u rastresitom stanju iznosila $1,610 \text{ g/cm}^3$. Agregat od drobljene opeke, proizvođača "Univerzum" iz Arandelovca, veličine od 0 do 5 mm, nastaje drobljenjem odbačenog materijala prilikom proizvodnje giter blokova deklarisanе marke 100/80. Zapreminska masa ovog agregata u rastresitom stanju iznosila je $1,081 \text{ g/cm}^3$ a izmereno upijanje vode 12,3%. Granulometrijske krive oba korišćena agregata prikazane su na slici 1.

Krečno testo proizvođača "Javor" iz Veternika nastaje gašenjem živog kreča proizvedenog u fabrici "Jelen Do" kod Požege. Pre pakovanja i upotrebe krečno testo odležava najmanje 40 dana u odgovarajućim bazenima. U korišćenom testu sadržaj slobodne vode iznosio je 19,9%. Ova količina vode uzeta je u obzir prilikom formiranja konačnih receptura mešavina. Ukupan sadržaj aktivnog CaO i MgO iznosio je 95,4%. Zapreminska masa kreča iznosila je $0,6 \text{ g/cm}^3$.

Sastav svih 12 mešavina prikazan je u tabeli 1. Referentne mešavine označene su prema odnosu upotrebljenog kreča i peska ("1/2", "1/3" i "1/4"), dok su nazivi mešavina sa delimičnom zamenom rečnog agregata drobljenom opekom dopunjeni zapreminskim procentom zamene (npr. kod mešavine sa oznakom "1/2-25" 25% rečnog agregata je zamenjeno drobljenom opekom). Količina slobodne vode je kod mešavina sa drobljenom opekom povećana u odnosu na količinu korišćenu za referentnu mešavinu za vrednost upijanja vode ovog agregata.

Tabela 1 – Sastav ispitivanih mešavina (kg/m^3)

<i>Oznaka mešavine</i>	<i>m_{kt}</i>	<i>m_p</i>	<i>m_{do}</i>	<i>m_v</i>
<i>1/2</i>	<i>349</i>	<i>1500</i>	<i>-</i>	<i>210</i>
<i>1/2-25</i>	<i>349</i>	<i>1124</i>	<i>252</i>	<i>241</i>
<i>1/2-50</i>	<i>349</i>	<i>750</i>	<i>503</i>	<i>272</i>
<i>1/2-75</i>	<i>349</i>	<i>375</i>	<i>755</i>	<i>303</i>
<i>1/3</i>	<i>250</i>	<i>1610</i>	<i>-</i>	<i>230</i>
<i>1/3-25</i>	<i>250</i>	<i>1208</i>	<i>270</i>	<i>263</i>
<i>1/3-50</i>	<i>250</i>	<i>805</i>	<i>540</i>	<i>297</i>
<i>1/3-75</i>	<i>250</i>	<i>402</i>	<i>811</i>	<i>330</i>
<i>1/4</i>	<i>193</i>	<i>1657</i>	<i>-</i>	<i>270</i>
<i>1/4-25</i>	<i>193</i>	<i>1243</i>	<i>278</i>	<i>305</i>
<i>1/4-50</i>	<i>193</i>	<i>828</i>	<i>556</i>	<i>339</i>
<i>1/4-75</i>	<i>193</i>	<i>414</i>	<i>834</i>	<i>373</i>

Legenda: m_{kt} – masa krečnog testa, m_p – masa rečnog agregata, m_{do} – masa drobljene opeke, m_v – masa vode

3. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

U svrhu ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava navedenih malterskih mešavina napravljena su dva tipa uzoraka. Ispitivanja čvrstoće pri pritisku, kao i kapilarnog upijanja, vršena su na uzorcima oblika prizme dimenzija 4×4×16 cm, dok je ispitivanje prijanjanja (adhezije) maltera vršeno na uzorcima opeke na koju je nanet sloj maltera debljine 1 cm. Ugrađivanje maltera je vršeno ručno, bez naknadnog vibriranja. Neposredno pre nanošenja malterskog sloja opeke su potapane u vodu da bi se izbegla difuzija vode iz sveže malterske mešavine. Nekoliko minuta nakon nanošenja maltera izvršeno je ručno zasecanje uzoraka, samo kroz malterski sloj, kružnom burgijom prečnika 50 mm, kao priprema za ispitivanje adhezije. Obe vrste uzoraka u svežem i očvrslom stanju prikazane su na slici 2.



Slika 2 – Izgled uzoraka u svežem (gore) i očvrslom stanju (dole)

Svi uzorci su negovani na sobnoj temperaturi $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ u uslovima relativne vlažnosti $50\pm 10\%$. Ispitivanja su vršena pri starostima od 7, 14, 28 i 56 dana. Ispitivanje čvrstoće pri pritisku, kao i ispitivanje kapilarnog upijanja vršeno je na uzorcima osušenim do konstantne mase na temperaturi od 60°C .

3.1. KAPILARNO UPIJANJE

Uzorci za ispitivanje kapilarnog upijanja pripremljeni su prema standardu SRPS EN 1015-18:2008 pri starostima od 28 i 56 dana. Uzorci su pri svakoj od starosti prvo osušeni u sušnici na temperaturi od 60°C , ohlađeni na sobnoj temperaturi, a zatim premazani slojem parafina sa

bočnih strana i podeljeni na dve polovine. Tako pripremljeni uzorci su postavljeni u posude, blago odignuti od dna posude, i potopljeni u vodu do visine od 10 mm. Tokom ispitivanja nivo vode je održavan konstantnim. Merena je masa uzoraka u nekoliko vremenskih intervala do 90 min, a zatim i nakon 48 sati od početka ispitivanja. Na osnovu nagiba početnog dela dijagrama zavisnosti količine upijene vode po površini poprečnog preseka i korena vremena određene su vrednosti koeficijenta kapilarnog upijanja (A) prikazane u tabeli 2. U istoj tabeli prikazane su i konačne vrednosti upijanja (U - nakon 48 h od trenutka potapanja uzoraka).

Tabela 2 – Rezultati ispitivanja kapilarnog upijanja malterskih mešavina nakon 28 i 56 dana

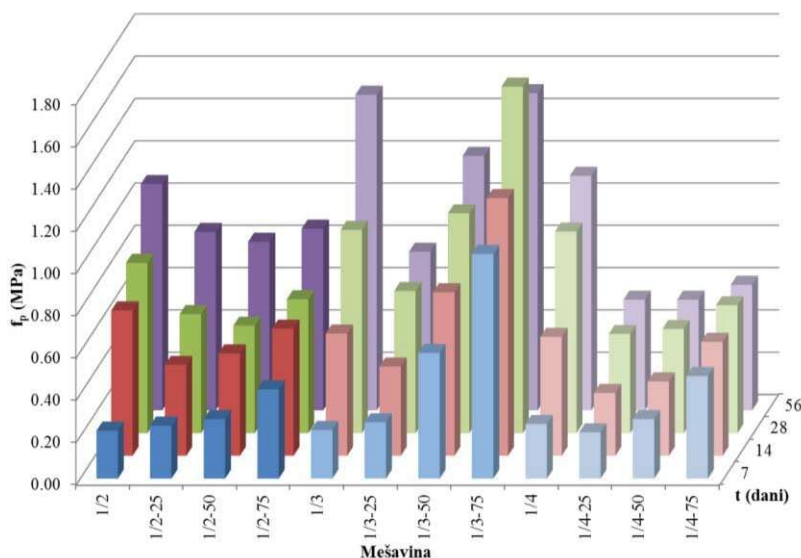
Oznaka mešavine	A ($kg/(m^2h^{1/2})$)		U (%)	
	nakon 28 dana	nakon 56 dana	nakon 28 dana	nakon 56 dana
1/2	18,65	16,91	11,2	10,3
1/2-25	23,53	17,99	15,2	16,5
1/2-50	25,67	16,30	19,6	21,5
1/2-75	20,84	14,85	23,6	26,3
1/3	18,50	17,43	10,9	9,6
1/3-25	23,96	24,34	14,7	16,2
1/3-50	21,84	21,59	18,6	20,5
1/3-75	18,57	19,06	20,2	25,0
1/4	17,77	14,80	10,4	9,6
1/4-25	28,37	14,62	15,4	16,1
1/4-50	27,50	18,68	19,3	20,5
1/4-75	21,26	20,51	23,6	26,0

Kao što je i očekivano s obzirom na veću poroznost agregata od drobljene opeke u odnosu na agregat rečnog porekla, sa povećanjem procenta zamene agregata rastu i konačne vrednosti upijanja za sve tri vrste mešavina. Ove vrednosti se kod mešavina sa drobljenom opekama uvećavaju i sa starošću uzoraka. Međutim, kada se posmatra koeficijent kapilarnog upijanja primećuje se nešto drugačiji trend. Naime sa povećanjem starosti dolazi do njegovog opadanja, pri čemu su kod mešavina sa najvećim procentom zamene agregata vrednosti koeficijenta kapilarnog upijanja manje od referentne vrednosti za 12% kod mešavina sa odnosom kreča i agregata 1:2, a za 9, odnosno 19% veće od referentnih vrednosti kod mešavina sa odnosom kreča i agregata od 1:3 i 1:4. Kod mešavina sa 25% i 50% zamene rečnog agregata vrednosti ovog koeficijenta su po pravilu veće za mešavine označene sa 1/2 i 1/3, dok mešavina 1/4-25 ima najmanju vrednost koeficijenta kapilarnog upijanja od svih ispitivanih mešavina pri starosti od 56 dana. Dakle, malteri sa dodatkom agregata od drobljene opeke imaju po pravilu veću ukupnu poroznost od referentnih mešavina, što utiče na veće konačne vrednosti upijanja. Koeficijent kapilarnog upijanja zavisi pre svega od raspodele veličina pora, pa razlike u izmerenim vrednostima nastaju usled većeg procenta makro pora u malterima sa dodatkom drobljene opeke. Ovakav zaključak saglasan je sa nalazima iz literature [7], gde su malteri sa hidrauličkim krečom kao vezivom i krupnim agregatom od drobljene opeke imali najmanji koeficijent kapilarnog upijanja koji je iznosio $12.1 kg/(m^2h^{1/2})$. U istom radu pokazano je da je ova mešavina imala manju ukupnu poroznost u odnosu na mešavinu sa sitnijim agregatom od

drobljene opeke, ali veći procenat makro pora u odnosu na ovaj, ali i referentni malter sa rečnim peskom kao agregatom.

3.2. ČVRSTOĆA PRI PRITISKU

Ispitivanje čvrstoće pri pritisku vršeno je prema standardu SRPS EN 1015-11:2008, pri starostima od 7, 14, 28 i 56 dana. Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 3. Pri starosti od 7 dana čvrstoće pri pritisku kod svih mešavina rastu sa povećanjem sadržaja agregata od drobljene opeke. Najveća vrednost pri ovoj starosti, koja je iznosila 1,06 MPa, dostignuta je kod mešavine oznake 1/3-75.



Slika 3 – Čvrstoća pri pritisku malterskih mešavina pri starostima od 7, 14, 28 i 56 dana

Pri većim starostima primetan je brži priraštaj vrednosti čvrstoća kod referentnih mešavina u odnosu na mešavine sa drobljenom opekam, osim u slučaju mešavine 1/3 u poređenju sa mešavinom 1/3-75 kod kojih su se vrednosti čvrstoća pri pritisku izjednačile tek pri starosti od 56 dana. Ovakvo ponašanje može se objasniti aktivnošću agregata od drobljene opeke koji pri malim starostima u vlažnoj sredini reaguje sa kalcijum-hidroksidom iz kreča. Kako sa vremenom reakcija karbonatizacije preuzima primat u svim mešavinama, referentne mešavine dostižu veće vrednosti. Brzina odvijanja reakcije karbonatizacije u svim mešavinama praćena je fenolftaleinskim testom. Površine poprečnih preseka uzoraka neposredno nakon ispitivanja čvrstoće pri savijanju prskane su rastvorom fenolftaleina u 70% etil-alkoholu. Izmerene vrednosti širine karbonatizovanog sloja (dela preseka koji ostaje bezbojan nakon nanošenja rastvora fenolftaleina posmatrano od spoljašnje ivice preseka) kretale su se od 6,3 mm za mešavinu 1/2 do 7,9 mm za mešavinu 1/4 pri starosti od 28 dana i od 11,1 mm za mešavinu 1/4 do 14,6 mm za mešavinu 1/2 pri starosti od 56 dana. Karbonatizovana površina je kod svih mešavina sa dodatkom drobljene opeke imala manje vrednosti u odnosu na referentne mešavine pri starosti od 28 dana. Širine karbonatizovanog sloja kretale su se od 2,1 mm za

mešavinu 1/2-75 do 4,9 mm za mešavinu 1/2-25. Pri starosti od 56 dana mešavine sa zapreminskim odnosom kreč:agregat=1:4 i dodatkom drobljene opeke pokazale su veći stepen karbonatizacije u odnosu na referentnu mešavinu, dok je kod ostalih mešavina sa dodatkom drobljene opeke zabeležena manja širina karbonatizovanog sloja u odnosu na referentne mešavine. Najmanja širina karbonatizovanog sloja zabeležena je kod mešavine 1/2-50 i iznosila je 8,5 mm, dok je najveća vrednost zabeležena kod mešavine 1/4-25 i iznosila je 19 mm (presek je bio skoro u potpunosti karbonatizovan). Ovi podaci govore da proces karbonatizacije nije završen pri starosti od 56 dana za veliki deo mešavina, kao što je i bilo očekivano, pa bi trebalo nastaviti ispitivanja i pri većim starostima. Prema rezultatima istraživanja sprovedenim u okviru projekta Oldrenders minimalne čvrstoće pri pritisku maltera za spoljašnje malterisanje trebalo bi da se kreću između 0,4 i 2,5 MPa pri starosti od 90 dana [8]. Svi rezultati ispitivanja pri starosti od 56 dana prikazani u sklopu ovog rada zadovoljavaju navedeni uslov.

3.3. ADHEZIJA ZA PODLOGU

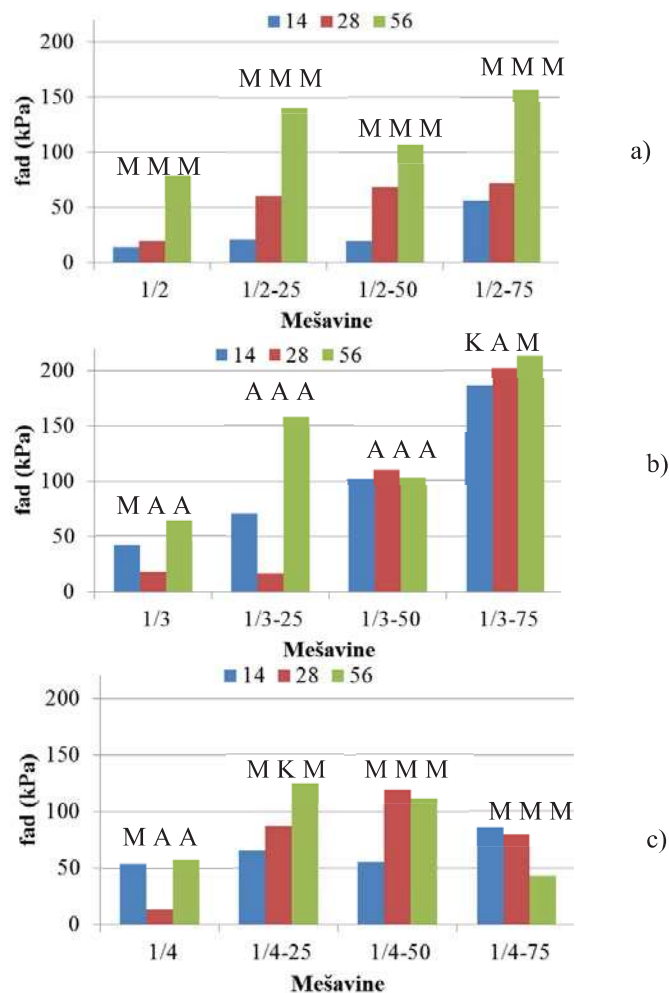
Ispitivanje prijanjanja (adhezije za podlogu od opeke) izvršeno je uz pomoć Pull-off aparature proizvođača Controls opsega 16 kN, tačnosti 0,001 kN. Rezultati ispitivanja prikazani su grafički na slici 4.

Kod mešavina oznake 1/2 i 1/3 primećen je porast vrednosti adhezije kod mešavina sa agregatom od drobljene opeke. Ovaj priraštaj najmanji je kod mešavina sa 50% zamene rečnog agregata, dok je najveći kod mešavina sa 75% zamene rečnog agregata, drobljenom opekam. Pri starosti od 56 dana mešavina 1/2-75 ima dva puta veću vrednost adhezije od referentne mešavine 1/2, dok mešavina 1/3-75 ima 3,5 puta veću vrednost adhezije od mešavine 1/3 pri istoj starosti. Ovakvi rezultati poklapaju se sa nalazima datim u radu [7], gde je zaključeno da veza između maltera i opeke zavisi pre svega od kvaliteta kontaktne zone, a manje od mehaničkih karakteristika samog maltera. U ovom radu najveća čvrstoća ostvarena je između maltera sa finim agregatom od drobljene opeke i opeke niže marke, iako je ovaj malter pokazao manje čvrstoće pri pritisku u odnosu na referentnu mešavinu.

Niske vrednosti adhezije kod mešavina 1/3 i 1/3-25 pri starosti od 28 dana mogu se objasniti lošijom ugradnjom uzoraka i vrstom nastalog loma, kao i malim brojem ispitanih uzoraka. Lom je prilikom ispitivanja nastajao na tri načina: kao lom po malteru (kohezioni lom - M), lom po vezi malter-opeka (adhezioni lom - A) ili kombinovani lom (K) malter-lepak. Prema rezultatima istraživanja sprovedenih u okviru projekta Oldrenders minimalne čvrstoće prijanjanja maltera za spoljašnje malterisanje trebalo bi da se kreću između 0,1 i 0,3 MPa pri starosti od 90 dana [8]. Svi rezultati ispitivanja pri starosti od 56 dana na malterima sa dodatkom drobljene opeke zadovoljavaju navedeni uslov, osim mešavine oznake 1/4-75.

4. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati ispitivanja osnovnih fizičko-mehaničkih svojstava krečnih maltera sa delimičnom zamenom rečnog agregata recikliranom drobljenom keramikom nastalom drobljenjem škarta iz proizvodnje giter blokova proizvođača „Univerzum“ iz Arandelovca. U ispitivanim malterskim mešavinama variran je sadržaj agregata od drobljene opeke, kao i odnos između veziva i agregata.



Slika 4– Adhezija za podlogu malterskih mešavina pri starostima od 14, 28 i 56 dana: mešavine sa odnosom kreč:agregat a) 1:2, b) 1:3 i c) 1:4

Konačne vrednosti upijanja, kao što je bilo očekivano, rastu sa povećanjem sadržaja agregata od drobljene opeke. Koeficijent kapilarnog upijanja kod mešavina sa odnosom veziva i agregata od 1:2, najmanji je kod mešavine kod koje 75% agregata čini agregat od reciklirane drobljene opeke, dok kod mešavina sa oznakom 1/3 najmanji koeficijent kapilarnog upijanja ima referentna mešavina, a za njom mešavina označena kao 1/3-75.

Iako je kod većine maltera sa dodatkom agregata od drobljene opeke dostignuta niža vrednost čvrstoće pri pritisku u poređenju sa odgovarajućom referentnom mešavinom, svi rezultati pri starosti od 56 dana zadovoljavaju minimalne uslove za maltere za malterisanje prikazane u radu [8]. Mešavina 1/3-75 imala je veće vrednosti čvrstoće pri pritisku u odnosu na

referentnu mešavinu 1/3 pri starostima od 7, 14 i 28 dana, dok su ove dve mešavine pri starosti od 56 dana imale vrlo bliske vrednosti čvrstoća. Objašnjenje za više vrednosti čvrstoća pri pritisku kod svih mešavina sa dodatkom drobljene opeke pri starosti od 7 dana jeste mogući efekat pucolanske reakcije praškaste komponente korišćenog agregata, što bi trebalo potvrditi dodatnim ispitivanjima.

Sa druge strane prijanjanje je u većini slučajeva bilo veće kod maltera sa drobljenom opekom u odnosu na referentne mešavine. Na ovaj način je potvrđeno stanovište da veza između maltera i opeke zavisi pre svega od kvaliteta kontaktne zone, a manje od mehaničkih karakteristika samog maltera. Na svim mešavinama sa dodatkom agregata od drobljene opeke, osim mešavine oznake 1/4-75 dobijene vrednosti čvrstoće prijanjanja pri starosti od 56 dana zadovoljavaju minimalne uslove za maltere za malterisanje prikazane u radu [8].

U radu je prikazano da pored velikog pozitivnog ekonomskog i ekološkog uticaja, zamena prirodnog agregata recikliranom drobljenom opekom ima i pozitivne efekte na fizičko-mehanička svojstva krečnih maltera, posebno pri većim procentima zamene.

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] Matias G., Faria P., Torres I.: Lime mortars with heat treated clays and ceramic waste: A review, *Construction and Building Materials*, 73, 2014, 125-136
- [2] Matias G., Faria P., Torres I.: Lime mortars with ceramic wastes: Characterization of components and their influence on the mechanical behavior, *Construction and Building Materials*, 73, 2014, 523-534
- [3] Vujović, S., Vučetić S., Ducman V., and Ranogajec I.: Pucolanski mortovi za konzervatorsku obradu starih zidanih konstrukcija, *Gradjevinar* 65 (8), 2013, 721–29.
- [4] Böke, H., Akkurt S., Ipekoğlu B., and Uğurlu E.: Characteristics of Brick Used as Aggregate in Historic Brick-Lime Mortars and Plasters, *Cement and Concrete Research* 36 (6), 2006, 1115–22
- [5] Manita P., Triantafilou T.C: The effect of aggregate composition on physical and mechanical characteristics of repair mortars, *Transactions on the Built Environment* 66, 2013, 781-90
- [6] Vojnović Čalić, T., Jevtić, D., Krstić-Furundžić, A.: The use of recycled crushed clay brick aggregate for the purpose of forming a prefabricated facade panel, *Facta Universitatis, Series Architecture and Civil Engineering*, 8 (10), 2008, 1-15
- [7] Corinaldesi V.: Environmentally friendly bedding mortars for repair of historical buildings, *Construction and Building Materials*, 35, 2012, 778-784
- [8] Carvalho F., Rosário Veiga M., Santos Silva A.: Methodologies for Characterization and Repair of Mortars of Ancient Buildings, *Historical Constructions. International Seminar*, 2001, 353–62.