

ISPITIVANJE RAZLIČITIH TIPOVA MALTERA SPRAVLJENIH NA BAZI OPEKARSKOG LOMA

Dragica JEVTIĆ
Dimitrije ZAKIĆ
Sandra HARAK

UDK: 691.33.42.002.8=861

1. UVOD

Ideja da se opekarski lom (drobljena opeka) upotrebi kao agregat pri spravljanju maltera i betona nije nova. Prvi poznati beton ovog tipa datira još iz doba starih Grka i Rimljana, a bio je spravljan od mešavine kreča, vode i peska, uz dodatak tucane opeke.

Beton na bazi drobljene građevinske keramike, u najširem smislu, dobija se korišćenjem agregata na bazi:

- stare opeke iz porušenih zidova (tzv. reciklirana opeka);
- keramičkog loma – škarta iz fabrika za proizvodnju građevinske keramike;
- prirodno pečene gline, koja je često prisutna na mestima eksploatacije uglja.

U zapadnim, tehnološki visoko razvijenim zemljama, najčešći slučaj dobijanja agregata na bazi opekarskog loma je svakako putem recikliranja. Ovo stoga što se usled potrebe za modernizacijom centralnih gradskih zona često vrše temeljne rekonstrukcije pojedinačnih objekata, ili čak čitavih kvartova, pri čemu se dotrajali objekti najčešće delimično, odnosno potpuno ruše, a otpadni građevinski materijal (šut) uklanja sa ovih lokacija. Takođe, zbog degradacije u toku vremena i ograničenog eksploatacionog veka, mnoge objekte treba zameniti novim, tehnički i ekonomski povoljnijim rešenjima. U poslednje vreme, svedoci smo nažalost brojnih razornih prirodnih (zemljotresi, poplave, požari) i veštačkih (ratovi, teroristički napadi) katastrofa, nakon čega je neminovno raščišćavanje ruševina i uklanjanje otpadnog građevinskog materijala. Otuda, deponovanje ovakvog materijala postaje sve veći problem, naročito u gusto naseljenim urbanim područjima. Rešavanje ovog problema predstavlja poseban izazov, kako u tehničkom, tehnološkom, eko-

nomskom, tako i u sve aktuelnijem ekološkom pogledu. Postrojenja za reciklažu opekarskog loma niču u sve većem broju, tako da na primer u Holandiji danas radi preko 60 ovakvih pogona, što ovu zemlju čini jednom od vodećih u svetu kada je oblast prerade otpadnog građevinskog materijala u pitanju.

U našim uslovima, reciklaža opeke još nije prisutna u većoj meri, tako da se agregat na bazi drobljene opeke pre može dobiti od tzv. keramičkog loma – škarta iz fabrika za proizvodnju građevinske keramike. Međutim, s obzirom da količina ovih nusproizvoda u slučaju primene moderne tehnologije nije velika (svega 3–5% od ukupne proizvodnje), postavlja se pitanje ekonomičnosti primene ovog otpadnog materijala kao agregata za spravljanje betona. Naime, fabrikama za proizvodnju grube keramike se najviše isplati da predmetni keramički lom vrate kao sirovinsku masu za dalji proces proizvodnje ili da ga melju i prodaju, na primer kao prah za posipanje "zemljanih" teniskih terena. S druge strane, ako se uzme u obzir da je preko 80% ukupne površine građevinskih objekata u našoj zemlji izvedeno delimično ili potpuno od opeke, jasno je da budućnost u ovoj oblasti leži u recikliranju stare, degradirane opeke.

Prilikom recikliranja opeke naročitu pažnju treba posvetiti uklanjanju nepoželjnih i/ili štetnih primesa, kao što su kreč, gips, glina, humus i sl. – što dodatno komplikuje i poskupljuje ovaj proces. Međutim, kada se sve prednosti i nedostaci uzmu u obzir, a naročito kada se ima u vidu sve veća popularnost tzv. ekološki podobnih materijala (u koje keramika i materijali na bazi keramike svakako spadaju), može se izvući zaključak da će malteri i betoni na bazi reciklirane opeke u skoroj budućnosti naći punu primenu u građevinskoj praksi.

2. KOMPONENTNI MATERIJALI

Prilikom projektovanja sastava maltera i betona na bazi opekarskog loma posebnu pažnju treba posvetiti izboru i ispitivanju kvaliteta komponentnih materijala. To se pre svega odnosi na agregat, s obzirom da se upotreba ostalih komponenata (cement, voda, aditivi) uglav-

Adrese autora: Doc. dr Dragica Jevtić, Građevinski fakultet, Bul. kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd
Asis. mr Dimitrije Zakić, Građevinski fakultet, Bul. kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd
Sandra Harak, JP "Standard", Akademika Milana Kurepe 8, 21400 Bačka Palanka

nom ne razlikuje mnogo u odnosu na primenu kod klasičnih betona. Pri tome, količine cementa obično se kreću u granicama 250–400 kg/m³, dok masa vode potrebna za spravljanje betona plastične konzistencije iznosi 400–450 kg/m³, što je znatno više od uobičajenih vrednosti. Kvalitet agregata umnogome zavisi od kvaliteta osnovnog materijala – keramike od koga se dobija nakon višefaznog drobljenja, separisanja u standardne frakcije i eventualnog čišćenja od prašine pomoću struje vazduha. Od važnijih svojstava agregata dobijenog recikliranjem opeke, svakako treba ispitati upijanje vode (s obzirom na značajnu poroznost osnovnog materijala), kao i čvrstoću pri pritisku (triaksijalni opit). Osim fizičko–mehaničkih karakteristika i granulometrijski sastav agregata u velikoj meri može da utiče na kvalitet maltera, odnosno betona. Takođe, kod upotrebe reciklirane opeke kao agregata, prisutan je i efekat tzv. pucolanske aktivnosti najsitnijih čestica keramike. Naime, ispitivanja su pokazala da ukoliko u okviru agregata ima 15–20% čestica krupnoće ispod 0,063 mm, one utiču na povećanje konačne čvrstoće kompozita, a u svežoj mešavini deluju kao plastifikatori – zadrživači vode. S druge strane, s obzirom na prisustvo ovakvog pucolanskog dodatka, po potrebi je moguće izvršiti i određenu redukciju upotrebjene količine cementa.

Od ostalih komponentnih materijala, sve veću primenu nalaze i različite vrste vlakana kao svojevrstne mikroarmature koja doprinosi poboljšanju pojedinih fizičko–mehaničkih i deformacionih svojstava kod inače krutih kompozita tipa maltera i betona. Najčešće se primenjuju čelična i sintetička (polipropilenska, polietilenska, najlonska i dr.) vlakna, koja mogu biti pojedinačna (monofilamentna) ili međusobno povezana (fibrilizovana). Polipropilenska vlakna se obično dodaju u relativno malim količinama (oko 0,1% zapreminski), a najveći doprinos daju u oblasti smanjenja štetnih efekata skupljanja i kontrole propagacije prslina kod maltera i betona. Prilikom upotrebe vlakana potrebno je voditi računa i o redosledu doziranja komponenti, kao i o vremenu mešanja koje treba da bude bar duplo duže nego u slučaju spravljanja klasičnih maltera i betona.

U svakom slučaju, pre nego što se izvrši konačno usvajanje komponentnih materijala, neophodno je obaviti prethodne probe i potvrditi kvalitet kompozita kako u svežem, tako i u očvrsлом stanju.

3. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

U okviru sprovedenih ispitivanja tretirano je ukupno šest različitih malterskih mešavina koje su označene simbolima A, B, C, D, E i F. Svih šest mešavina spravljeno je sa 400 kg/m³ cementa. Korišćen je portland cement sa dodatkom pucolana oznake PC 15p 45S – Beočin.

Mešavina A – malter spravljn na bazi opekarskog loma frakcija 0/2, 0/4 i 4/8 mm.

Mešavina B – malter spravljn na bazi opekarskog loma frakcija 0/2, 0/4 i 4/8 mm sa dodatkom 900 g/m³ monofilamentnih polipropilenskih vlakana tipa "Fibrin".

Mešavina C – malter spravljn na bazi opekarskog loma frakcija 0/2, 0/4 i 4/8 mm i frakcije rečnog agregata – peska krupnoće 0/4 mm.

Mešavina D – malter spravljn na bazi opekarskog loma frakcija 0/2, 0/4 i 4/8 mm i rečnog agregata frakcije 0/4 mm sa dodatkom 900 g/m³ monofilamentnih polipropilenskih vlakana tipa "Fibrin" (proizvođač: Adfil, Velika Britanija).

Mešavina E – malter spravljn na bazi opekarskog loma frakcija 0/2, 0/4 i 4/8 mm sa 2% superplastifikatora pod nazivom "Iriplast" (proizvođač: Iris, Skoplje, R. Make donija).

Mešavina F – malter spravljn na bazi opekarskog loma frakcija 0/2, 0/4 i 4/8 mm sa dodatkom vlakana (isto kao pod B) i superplastifikatora (isto kao pod E).

Sastavi svih maltera koji su bili predmet ispitivanja prikazani su u tabeli 1. Količine vode navedene u ovoj tabeli predstavljaju ukupno dozirane količine, što znači da je jedan deo upotrebljene vode predstavljao vodu koju je upio agregat, dok je drugi deo predstavljao količinu vode koja je obezbeđivala zahtevanu konzistenciju mešavine.

U tabeli 1, oznake (I), (II) i (III) odnose se na pojedine frakcije opekarskog loma, dok se oznaka (IV) odnosi na frakciju rečnog agregata.

U okviru ekperimentalnog dela ispitivanja maltera na bazi opekarskog loma tokom vremena su praćena sledeća svojstva predmetnih kompozita: zapreminska masa (kako u svežem, tako i u očvrsлом stanju), čvrstoća pri pritisku, čvrstoća pri savijanju i deformacije skupljanja.

Rezultati merenja zapreminskih masa u svežem stanju dati su u okviru tabele 2, dok se promena zapreminske mase u očvrsлом stanju tokom vremena može pratiti na osnovu podataka iz tabele 3. Svi rezultati dobijeni su na bazi srednjih vrednosti tri rezultata ispitivanja.

Tabela 1. Sastav malterskih mešavina

Vrsta maltera		A	B	C	D	E	F
Cement (kg/m ³)		400	400	400	400	400	400
Agregat (kg/m ³)	(I) 0/2 mm	574	574	328	328	574	574
	(II) 0/4 mm	492	492	410	410	492	492
	(III) 4/8 mm	574	574	574	574	574	574
	(IV) 0/4 mm	–	–	328	328	–	–
	Ukupno	1640	1640	1640	1640	1640	1640
Voda (kg/m ³)		490	490	416	416	430	430
Polipropilenska vlakna (kg/m ³)		–	0,9	–	0,9	–	0,9
Superplastifikator (kg/m ³)		–	–	–	–	8	8

Tabela 2. Zapreminske mase maltera u svežem stanju $\gamma_{m,sv}$ (kg/m^3)

Vrsta maltera	A	B	C	D	E	F
Zapreminska masa (kg/m^3)	1922	1984	2017	2051	2000	2002

Tretirani kompoziti se po svojim karakteristikama nalaze negde između maltera i betona, odnosno mogli bi se smatrati pre sitnozrnim betonima nego malterima, pa bi se na osnovu ostvarenih zapreminskih masa u svežem i očvrslom stanju moglo zaključiti da dati kompoziti spadaju u grupu lakih betona.

Tabela 3. Zapreminske mase maltera u očvrslom stanju γ_m (kg/m^3)

Vrsta maltera	Starost uzoraka (dani)		
	3	7	28
A	1920	1920	1721
B	1982	1980	1734
C	2015	2012	1805
D	2050	2045	1810
E	1995	1992	1725
F	1997	1992	1748

Kao što je prethodno rečeno, od mehaničkih karakteristika ispitivane su čvrstoće pri pritisku i pri savijanju. Ova svojstva su ispitivana u starosti od 7, 28 i 180 dana, na po tri prizmatična uzorka (dimenzija 4x4x16 cm) od svake serije. U okviru tabele 4 dati su rezultati ispitivanja čvrstoće pri pritisku na uzorcima maltera A, B, C, D, E i F.

Tabela 4. Vrednosti čvrstoće pri pritisku f_p (MPa)

Vrsta maltera	Starost uzoraka (dani)		
	7	28	180
A	20,10	30,50	31,80
B	20,97	32,08	32,85
C	20,02	31,69	32,60
D	21,30	36,82	37,23
E	22,60	32,40	33,80
F	22,60	34,65	35,68

Iako čvrstoća pri savijanju prema važećim domaćim standardima ne predstavlja uslov kvaliteta maltera, ona je izuzetno bitna mehanička karakteristika predmetnih kompozita. Upravo kod malterskih mešavina spravljenih sa dodatkom polipropilenskih vlakana, ispitivanje čvrstoće pri savijanju i poređenje sa čvrstoćama pri savijanju odgovarajućih malterskih mešavina, spravljenih bez dodatka polipropilenskih vlakana, predstavlja jedan od najboljih načina da se oceni efikasnost ove mikroarmature.

U tabeli 5 dati su rezultati ispitivanja čvrstoće pri savijanju na uzorcima maltera A, B, C, D, E i F.

Tabela 5. Vrednosti čvrstoće pri savijanju f_{zs} (MPa)

Vrsta maltera	Starost uzoraka (dani)		
	7	28	180
A	4,04	5,82	6,00
B	4,29	6,14	6,20
C	4,02	4,83	5,10
D	4,28	6,04	6,30
E	4,42	5,96	6,10
F	4,75	6,20	6,42

Što se tiče reoloških karakteristika, tokom predmetnog ispitivanja merene su vremenske deformacije skupljanja na malterskim prizmama dimenzija 4x4x16 cm sa ugrađenim reperima. Ovaj deo eksperimenta bio je naročito značajan upravo zbog činjenice da je vrednost skupljanja betona na bazi drobljene opeke za 20–60 % veća nego kod običnih betona [5]. Zbog ograničenog prostora, ovom prilikom neće biti detaljnije prikazani svi rezultati ispitivanja, već ćemo se samo osvrnuti na najinteresantnije među njima. Tako na primer, pri starosti od 28 dana uzorci serije B imali su manje prosečno skupljanje za 8 % u odnosu na uzorke serije A, dok je malter serije D pokazao smanjenje deformacija skupljanja u odnosu na malter serije C za čak 17%. Ova relativna poboljšanja kvaliteta maltera u reološkom smislu treba u najvećoj mери pripisati primeni monofilamentnih polipropilenskih vlakana kod serija B i D.

4. ZAVRŠNA RAZMATRANJA I ZAKLJUČCI

U okviru završnih razmatranja, trebalo bi svakako nešto reći kako o trenutnim mogućnostima, tako i o perspektivama primene materijala na bazi opekarskog loma. Istražujući trenutno stanje u domaćem građevinarstvu, došlo se do podataka koji govore o tome da se opekarski lom koristi, mada još uvek u ograničenom obimu, kao materijal za nasipanje puteva ("Opeka", Smederevska Palanka; "Podunavlje", Čelarevo), za posipanje teniskih terena (proizvodnja "Tenisit-a", "Kubršnica", Arandelovac), kao i za proizvodnju troslojnih montažnih "YU dimnjaka" sistema "Schiedel" (GIP "Građevinar", "YU dimnjak", Bačka Palanka).

Ako se primenom odgovarajućeg tehnološkog postupka obezbedi mogućnost dobijanja monozrnog (kaveroznog) betona, takav beton će prevashodno predstavljati termoizolacioni materijal, te se može koristiti za izradu različitih punih i šupljih blokova za zidanje. Malteri na bazi opekarskog loma spravljeni sa dodatkom polipropilenskih vlakana uspešno se mogu primeniti kao fasadni malteri, a takođe i kao termoizolacioni, odnosno zvukoizolacioni malteri (mikroarmatura u izvesnoj mери može da poboljša termička i akustička svojstva maltera, ali osnovni efekat njene primene u ovoj oblasti je posredan i sastoji se u povećanju duktilnosti, otpornosti na različite uticaje i uopšte trajnosti predmetnih kompozita). Takođe, predmetni mikroarmirani kompoziti bi, s obzirom na svoje povoljne karakteristike, mogli da nađu primenu i kao protivpožarni malteri.

Rezultati ispitivanja mehaničkih karakteristika pokazuju da dodatak polipropilenskih vlakana utiče povoljno

na poboljšanje ovih svojstava kompozita. Tako na primer, pri istoj konzistenciji maltera, povećanje čvrstoće pri pritisku iznosi od 5 do 16 %, a čvrstoće pri savijanju od 4 do 25 %, u odnosu na rezultate dobijene ispitivanjem uzoraka spravljenih bez dodatka predmetnih vlakana. Ovaj procenat povećanja čvrstoće varira i u funkciji primenjenog agregata, tj. zavisno od toga da li je upotrebljena samo drobljena opeka ili drobljena opeka u kombinaciji sa sitnim rečnim agregatom – peskom. Što se tiče vremenskih deformacija skupljanja, koje su po pravilu uvek veće kod kompozita spravljenih na bazi reciklirane opeke, njihovi štetni efekti se mogu u određenoj meri redukovati upotrebom mikroarmature. Ovakav stav potvrđen je i prilikom predmetnih laboratorijskih ispitivanja, kod kojih je maksimalno smanjenje skupljanja iznosilo ~ 17%.

Iako "keramički beton" na bazi "čistog" keramičkog loma kao nusprodukta danas još uvek nema značajniju primenu ni kod nas ni u svetu, možemo mu ipak predvideti "svetliju" budućnost. Razlozi za ovakvu prognozu su brojni i leže pre svega u domenu ekološkog i ekonomskog aspekta primene, ali takođe i u činjenici da predmetni kompoziti imaju niz povoljnih fizičko-mehaničkih svojstava – što su pokazala i eksperimentalna istraživanja opisana u okviru ovog rada. Budući pravci istraživanja u ovoj oblasti mogli bi da se kreću i u pravcu ispitivanja termo-tehničkih svojstava materijala. Kao potpora ovakvom stavu, može da se navede primer po kome zid od betona na bazi reciklirane opeke debljine 10 cm predstavlja, u

termičkom smislu, adekvatnu zamenu za zid od običnog betona iste čvrstoće, ali debljine 30 cm.

Imajući u vidu sve napred rečeno, autori smatraju da će malteri i betoni spravljeni na bazi opekarskog loma (sa ili bez dodatka polipropilenskih vlakana) u skoroj budućnosti naći punu primenu u našoj građevinskoj praksi.

LITERATURA

- [1] Muravljev M., Pakvor A., Kovačević T.: Ispitivanje betona i elemenata sa agregatom od reciklirane opeke, Monografija "Savremene betonske konstrukcije" posv. 70-godišnjici života prof. dr Milorada Ivkovića, Građevinski fakultet, Beograd, 1994.
- [2] Muravljev M., Jevtić D.: Građevinski materijali 2, Građevinski fakultet, Beograd, 1999.
- [3] Zakić D.: Fizičko-mehanička svojstva maltera sa dodatkom polipropilenskih vlakana, magistarska teza, Građevinski fakultet, Beograd, 2001.
- [4] Harak S.: Izbor građevinskog materijala za malter na bazi opekarskog loma na osnovu ispitivanja tržišta i uzoraka materijala, diplomski rad, Građevinski fakultet, Beograd, 2002.
- [5] Hansen T.: Recycling of Demolished Concrete and Masonry, Report of Technical Committee 37 – Demolition and Reuse of Concrete, RILEM, E&FN SPON, London, UK, 1992.
- [6] Akhtaruzzaman A., Hasnat A.: Properties of Concrete using Crushed Bricks as Aggregate, Concrete International, 2/83, 1983.

REZIME

ISPITIVANJE RAZLIČITIH TIPOVA MALTERA SPRAVLJENIH NA BAZI OPEKARSKOG LOMA

Dragica JEVTIĆ, Dimitrije ZAKIĆ, Sandra HARAK

U radu se prikazuju rezultati eksperimentalnih ispitivanja sprovedenih na uzorcima maltera spravljenih na bazi drobljene opeke (opekarskog loma). Kod izvesnih serija bila su prisutna i monofilamentna polipropilenska vlakna. Pri ispitivanjima praćene su: zapreminska masa, čvrstoća pri pritisku i pri savijanju, kao i vremenske deformacije skupljanja maltera.

Ključne reči: malter, građevinski materijali, opekarski lom, eksperimentalna ispitivanja.

SUMMARY

TESTING OF DIFFERENT MORTAR TYPES MADE WITH CRUSHED BRICK AGGREGATE

Dragica JEVTIĆ, Dimitrije ZAKIĆ, Sandra HARAK

In this paper the results of own experimental testing conducted on mortar specimens made with crushed brick aggregate are presented. Certain specimen series were made with addition of monofilament polypropylene fibers. During the testing the following properties were considered: density, compressive and flexural strength, as well as the shrinkage of mortar.

Key words: mortar, structural materials, crushed brick aggregate, experimental testing.