Upotreba reciklirane opeke kao agregata za beton

Kesegić, Ivana; Bjegović, Dubravka; Netinger, Ivanka

Source / Izvornik: **Građevinar, 2009, 61, 15 - 22**

Journal article, Published version
Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:133:081463

Rights / Prava: Attribution 4.0 International/Imenovanje 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSIJEK
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

UDK 666.72.004.69:666.972 *Primljeno 10. 6. 2008.*

Upotreba reciklirane opeke kao agregata za beton

Ivana Kesegić, Dubravka Bjegović, Ivanka Netinger

Ključne riječi

*beton,
agregat,
reciklirana opeka,
građevinski otpad,
sirovina,
gospodarenje otpadom*

I. Kesegić, D. Bjegović, I. Netinger Autori *Pregledni rad*

Upotreba reciklirane opeke kao agregata za beton

Polazi se od toga da je u svrhu održivog gospodarenja građevinskim otpadom nužno ispitati mogućnost njegove primjene kao sirovine. Dan je pregled rezultata dosadašnjih istraživanja svojstava i mogućnosti upotrebe reciklirane opeke kao agregata za beton. Prikazan je i pregled trenutnih načina zbrinjavanja i ponovne upotrebe opeke i crijepa kao građevinskog otpada u Hrvatskoj, budući da taj otpad čini najveći udio u sastavu građevinskog otpada nastalog rušenjem zidanih građevina.

Key words

*concrete,
aggregate,
recycled brick,
construction waste,
raw material,
waste management*

I. Kesegić, D. Bjegović, I. Netinger *Subject review*

Use of recycled brick as concrete aggregate

The paper starts with the assertion that the possibilities of reusing construction waste as raw material must definitely be examined if we are to ensure sustainable management of such waste. An overview of results gained during recent studies of recycled-brick, with the possibilities of reusing this material as concrete aggregate, is given. A survey of methods currently in place for the management and reuse of old bricks and tiles in Croatia is also presented, as such waste is dominantly represented in the composition of construction waste generated during demolition of masonry buildings.

Mots clés

*béton,
agrégat,
brique recyclée,
déchets de construction,
matières premières,
gestion des déchets*

I. Kesegić, D. Bjegović, I. Netinger *Ouvrage de syntèse*

L'emploi de brique recyclée comme agrégat de béton

L'ouvrage commence en indiquant qu'il est indispensable d'examiner toutes les possibilités de réemploi des déchets de construction dans la production des matières premiers, et cela dans le but d'assurer une gestion durable de tels déchets. Un aperçu des résultats obtenus au cours des études récentes des briques recyclées est présenté, et les possibilités de réemploi de ce matériau dans la production des agrégats de béton sont indiquées. Un exposé sommaire des méthodes couramment utilisées dans la gestion et le réemploi de vieilles briques et tuiles en Croatie est également présentée, en soulignant que de tels déchets sont les plus représentés dans la composition des déchets de construction générés pendant la démolition des bâtiments en maçonnerie.

Ключевые слова

*бетон,
агрегат,
рециклированный кирпич,
строительные отходы,
сырьё,
хозяйствование сырьём*

И. Кесегич, Д. Бегович, И. Нетингер *Обзорная работа*

Употребление рециклированного кирпича как агрегата для бетона

В работе исходится из того, что с целью сохраняемого хозяйствования строительными отходами необходимо испытать возможность его применения как сырья. Дан обзор результатов исследований свойств и возможностей применения употребления рециклированного кирпича и черепицы как агрегата для бетона. Показан и обзор способов сбережения и повторного употребления в настоящий момент кирпича и черепицы как строительного отхода в Хорватии, имея ввиду, что тот отход составляет наибóльшую часть в составе строительных отходов , возникших в результате разрушения кирпичных сооружений.

Schlüsselworte

*Beton,
Zuschlag,
rezyklierter Ziegel,
Bauabfall,
Rohstoff,
Bauabfallbewirtschaftung*

I. Kesegić, D. Bjegović, I. Netinger *Übersichtsarbeit*

Anwendung rezyklierter Ziegel als Betonzuschlag

Man geht von der Tatsache aus dass es im Ziel der erhaltbaren Bewirtschaftung des Bauabfalls notwendig ist die Möglichkeit dessen Anwendung als Rohstoff zu untersuchen. Dargelegt ist ein Überblick über die Ergebnisse bisheriger Forschungen der Eigenschaften und der Anwendungsmöglichkeiten rezyklierter Ziegel als Betonzuschlag. Dargestellt ist auch ein Überblick über die rezenten Arten der Versorgung und Wiederanwendung von Ziegel und Dachziegel als Bauabfall in Kroatien, da dieser Abfall den grössten Anteil im Bauabfall darstellt der durch Abreissen gemauerter Bauwerke entsteht.

Autori: **Ivana Kesegić**, dipl. ing. građ., Sveučilište „J. J. Strossmayera“ u Osijeku, Građevinski fakultet;
prof. dr. sc. **Dubravka Bjegović**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet;
mr. sc. **Ivanka Netinger**, dipl. ing. građ., Sveučilište „J. J. Strossmayera“ u Osijeku, Građevinski fakultet

1 Uvod

Tijekom proteklih desetljeća, sve većom industrijalizacijom i urbanizacijom dolazi do povećanja količina građevinskog otpada te se njegov obujam kontinuirano povećava. Problem nagomilavanja otpada je sveprisutan u svijetu. Većina građevinskog otpadnog materijala trenutačno se upotrebljava kao materijal za nasipavanje terena ili se nekontrolirano odlaže na divljim odlagalištima. Održivo gospodarenje građevinskim otpadom vodi do znatnog smanjenja njegova negativnog utjecaja na okoliš [1]. Na slici 1. prikazani su neki od brojnih primjera nekontroliranog odlaganja građevinskog otpada.
Gospodarenje otpadom jedan je od prioriteta svakog društva jer dobro gospodarenje otpadom može povećati kvalitetu života. Osnovna načela kvalitetnog gospodarenja otpadom jesu smanjenje masovne proizvodnje novog otpada, pronalaženje načina za recikliranje i ponovnu upotrebu postojećeg te sigurno i ekonomski prihvatljivo odlaganje neupotrebljivog otpada [2].

Recikliranje je ponovna upotreba starog materijala kao sirovine za proizvodnju novog proizvoda radi sprječavanja nakupljanja velikih količina otpada i očuvanja prirodnih izvora materijala. Recikliranje glinene opeke ekološki je prihvatljiv način njezina odlaganja. Jedan od načina ponovne upotrebe jest upotreba kao reciklirani agregat, dobiven drobljenjem opeke nastale rušenjem zidanih građevina. Tako dobiven reciklirani agregat može se upotrijebiti u proizvodnji novih betonskih mješavina. Upotreba recikliranog materijala, nastalog rušenjem zidanih građevina, kao agregata za proizvodnju morta i betona, osim ekološkog može imati pozitivan učinak i s ekonomskog stajališta. Naime, očuvanje prirodnih materijala značajno je za ekološki odgovorno i održivo građenje koje bi bilo ujedno i financijski prihvatljivo. Takav način gradnje implicira upotrebu jeftinih materijala koji mogu biti upotrijebljeni bez negativnog utjecaja na okoliš. Ekološki odgovoran i održiv način građenja podrazumijeva postizanje potpuno zatvorenog ciklusa upotrebe materijala. Zatvoreni ciklus u ovome slučaju obuhvaća recikliranje materijala i dobivanje nove sirovine za novi proizvod (npr. beton s recikliranim agregatom) ili ponovno dobivanje izvornih proizvoda (npr. glinene opeke i crijepa) njihovim čišćenjem i toplinskom obradom. Koncept zatvorenog ciklusa recikliranja i ponovne upotrebe otpada nastalog rušenjem zidanih građevina prikazan je na slici 2.



Slika 2. Zatvoreni ciklus recikliranja i ponovne upotrebe građevinskog otpada

U radu su prikazani rezultati dosadašnjih istraživanja koja su provedena na području upotrebe reciklirane opeke kao agregata za novi beton. Kako je osnovno svojstvo betona upravo njegova tlačna čvrstoća, u radu su provedena preliminarna eksperimentalna ispitivanja fizikalnih i mehaničkih svojstava betona u svježem i očvrsnulom stanju. Eksperimentalna ispitivanja provedena su na uzorcima betona s recikliranom opekom kao agregatom i na uzorcima betona s riječnim agregatom uobičajenim u primjeni. Rezultati provedenih preliminar-



Slika 1. Primjeri nekontroliranog odlaganja građevinskog otpada

nih ispitivanja dani su u radu. Pritom će se u nastavku beton pripremljen s recikliranom drobljenom glinenom opekom kao agregatom nazivati beton s recikliranom opekom, dok će se beton pripremljen s prirodnim agregatom, kao što je i riječni, nazivati beton s prirodnim agregatom.

2 Pregled dosadašnjih istraživanja na području upotrebe reciklirane opeke kao agregata za beton

2.1 Svojstva reciklirane glinene opeke

Pri proizvodnji betona potreban je što veći udio agregata u ukupnom volumenu betona jer je agregat kao jedna od sastavnih komponenata betona znatno jeftiniji od cementnog veziva. To znači da bi trebalo upotrijebiti što veće maksimalno zrno agregata s kontinuiranom raspodjelom zrna od najsitnijih čestica do krupnog agregata. Budući da agregat zauzima između 70 % i 80 % ukupnog volumena betona, čvrstoća agregata uvelike utječe na konačnu čvrstoću samog betona.

2.1.1 Poroznost i apsorpcija

Poroznost i apsorpcija agregata su iznimno važni fizikalni parametri zbog svog utjecaja na vezu između cementne paste i agregata na otpornost betona izloženog ciklusima zamrzavanja i odmrzavanja, kao i na otpornost betona na kemijske i erozijske utjecaje. Poroznost agregata također utječe i na obujamsku masu betona.

Poroznost najčešće upotrebljavanih agregata, primjerice granita, potanko je istražena, ali je dosad vrlo malo poznatih podataka o poroznosti drobljene opeke kao agregata osim što je utvrđeno da je ona relativno velika. Apsorpcija vode i udio pora u drobljenoj opeci kao agregatu nekoliko su puta veći nego kod drobljenoga kamenog agregata [3]. Procijenjeno je da se apsorpcija reciklirane opeke kreće između 22 % i 25 % u odnosu prema masi materijala u njegovu suhom stanju [4].

2.1.2 Štetni sastojci u agregatu

Jedan od ograničavajućih faktora koji utječe na širenje primjene recikliranja i ponovne upotrebe građevinskog otpada jest zahtjev za predvidljivim i postojanim svojstvima konačnog proizvoda. Ako su vrsta i količina štetnih sastojaka u recikliranoj opeci nepoznati, svojstva betona u kojem je reciklirana opeka upotrijebljena kao agregat nisu predvidljiva i mogu izazvati nepredviđen štetan učinak na čvrstoću i trajnost betona.

Vapneni se mort jednostavno može ukloniti s površine glinene opeke pa je moguća ponovna upotreba cijelih opeka u izgradnji novih zidanih građevina. Ako su opeke u zidanoj konstrukciji bile međusobno vezane cementnim mortom, s površine je opeke cementni mort teško ukloniti. Stoga se preporučuje drobljenje takvih opeka i njezina upotreba kao recikliranog agregata [5].

Prisutnost asfalta u recikliranom agregatu utječe na čvrstoću betona pripravljenog s takvim agregatom. Primjerice, ako je u ukupnom volumenu recikliranog agregata 30 % asfalta, čvrstoća betona s recikliranim agregatom smanjit će se otprilike 30 % [6].

Iz istraživanja negativnog utjecaja primjesa gipsane žbuke na beton s recikliranom opekom, zaključeno je da se u standardne specifikacije za reciklirani agregat obvezatno mora postaviti granica dopuštenog udjela gipsa u agregatu [4]. Pri proizvodnji betona kod kojeg postoji mogućnost onečišćenja gipsom preporučuje se upotreba sulfatno otpornog cementa.

Organske tvari, kao što su papir, drvo, tekstil i polimerni materijali, nestabilne su u betonu pri izlaganju betona ciklusima zamrzavanja i odmrzavanja, te ciklusima vlaženja i sušenja. Ostali tipovi organskih tvari, kao što je npr. boja, mogu uvući veliku količinu zraka u beton [6].

Prisutnost klorida, sulfata i ostalih soli u armiranom betonu može izazvati koroziju čelične armature. Iz tog razloga njihov udio treba uzeti u obzir ako se planira ugradnja betona s recikliranim agregatom u armiranobetonske elemente. Tijekom istraživanja [4] zaključeno je da reciklirani ostatci zidanih građevina upotrijebljeni kao agregat imaju manji udio klorida i sulfata od recikliranog betona kao agregata.

2.2 Projektiranje sastava i svojstva svježe betonske mješavine

Pri upotrebi reciklirane opeke kao agregata za proizvodnju betona, sastav betona moguće je projektirati na jednak način kao i sastav betona s prirodnim agregatom uobičajenim u praksi.

Problem pri uporabi reciklirane opeke kao agregata za beton jest velika poroznost i apsorpcija agregata, što može utjecati na obradivost betona u svježem stanju. Iz provedenih istraživanja apsorpcije reciklirane glinene opeke [4] zaključeno je da se ona potpuno zasiti vodom nakon samo 30-minutnog potapanja pod vodu. Ako ostane potopljena pod vodom sljedeća 24 sata, apsorpcija će se povećati za samo 2 %. Prethodno vlaženje vodom ili potapanje reciklirane opeke u vodi može se izbjeći projektiranjem sastava betonske mješavine s velikim stupnjem obradivosti svježeg betona ili dodavanjem superplastifikatora u mješavinu [7]. Budući da djelovanje superplastifikatora na poboljšanu obradivost traje oko 15 minuta, nakon tog vremena beton postaje slabo obradiv i teško se ugrađuje u oplatu. Prema tome, za porozne agregate kao što je reciklirana opeka preporučuje se prethodno vlaženje ili potapanje agregata [6, 7].

Općenito se može reći da se u betonu s recikliranom opekom, pravilnim projektiranjem sastava mješavine betona, može postići bilo koji od zahtijevanih razreda konzistencije. Pri tome je potrebno uzeti u obzir apsorpciju agregata.

Pri upotrebi reciklirane opeke potrebno je uzeti u obzir i udio prašinastih čestica koji također može uzrokovati smanjenje obradivosti svježe betonske mješavine. U slučajevima velikog udjela prašinastih čestica u recikliranoj opeci potrebna je dodatna količina vode kako bi se poboljšala obradivost, što je istodobno uzrokom manje konačne čvrstoće betona. Ako je dopušteno smanjenje čvrstoće ograničeno na oko 5 %, udio prašinastih čestica također treba biti ograničen [6]: 5 % na ukupnu količinu agregata za malu obradivost betonske mješavine s krupnim agregatom (> 4 mm), 10 % za malu obradivost betonske mješavine sa sitnim agregatom (0-4 mm) i na 20 % za veliku obradivost ako su upotrijebljena samo sitna zrna agregata.

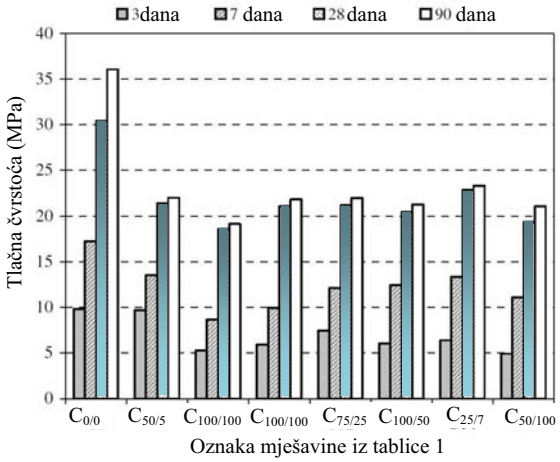
Udio cementa u betonu s recikliranom opekom može biti i do 20 % veći nego kod običnog betona s prirodnim agregatom, a ovisan je o tipu i sastavu drobljene recikrirane opeke kao agregata. Upotrebom sitne i krupne frakcije reciklirane opeke kao agregata potreban udio cementa u sastavu betonske mješavine može biti i veći od prethodno spomenutog udjela od 20 % [4].

Gustoća betona s recikliranom opekom jest 8-17 % niža od gustoće betona s prirodnim agregatom. Povećanjem postotka zamjene prirodnog agregata s recikliranom opekom povećava se i udio zraka uvučenog u beton [8]. Zbog manje gustoće reciklirane opeke, beton pripremljen s recikliranom opekom ima manju gustoću od betona s prirodnim agregatom.

2.3 Svojstva očvrsnulog betona s recikliranom opekom

2.3.1 Tlačna čvrstoća

Općenito je prihvaćeno da beton s recikliranom opekom ima relativno manju tlačnu čvrstoću od betona s prirodnim agregatom. Ova karakteristika može se pripisati većoj apsorpciji reciklirane opeke u odnosu na apsorpciju prirodnog agregata. Povećanje postotka zamjene prirodnog agregata s recikliranim dovodi do smanjenja čvrstoća betona. Pri starosti od 28 dana, smanjenje tlačne čvrstoće betona s krupnom recikliranom opekom iznosi 10 % do 35 % u odnosu na beton s prirodnim agregatom, a za beton sa sitnom recikliranom opekom oko 30 % do 40 % (slika 3.) [6].



Slika 3. Tlačne čvrstoće betona [6]

Iz provedenih se istraživanja [3, 6, 8] vidi da se tlačna čvrstoća betona pri starosti od 28 dana kreće unutar granica 20 do 40 N/mm^2 (tablica 1.). Pritom treba uzeti u

Tablica 1. Tlačna čvrstoća betona s prirodnim agregatom i recikliranom opekom [6]

Oznaka	Tip agregata	v/c	PK* (%)	RK* (%)	PS* (%)	RS* (%)	Tlačna čvrstoća (N/mm^2)
$C_{0/0}$	vapnenac	0,61	100	0	100	0	
$C_{0/25}$	reciklirana opeka i vapnenac	0,69	100	0	75	25	
$C_{0/50}$		0,77	100	0	50	50	
$C_{0/75}$		0,85	100	0	25	75	
$C_{0/100}$		0,93	100	0	0	100	
$C_{50/50}$		0,75	50	50	50	50	
$C_{100/100}$	reciklirana opeka	0,89	0	100	0	100	
$C_{100/100}^{+}$	reciklirana opeka	0,86	0	100	0	100	
$C_{75/25}$	rec. opeka i vapnenac	0,66	25	75	75	25	
$C_{100/50}$	rec. opeka i vapnenac	0,72	0	100	50	50	
$C_{25/75}$	rec. opeka i vapnenac	0,85	75	25	25	75	
$C_{50/100}$	rec. opeka i vapnenac	1,08	0	100	50	50	

Slika 3

*Postotak udjela krupnog (K) i sitnog (S) agregata; PK-prirodni agregat-krupna frakcija; PS-prirodni agregat-sitna frakcija; RK- opeka-krupna frakcija; RS- opeka-sitna frakcija; $^{+}$dodatak plastifikatora.

obzir da tlačna čvrstoća betona s recikliranom opekom ovisi prvenstveno o čvrstoći opeke upotrijebljene za recikliranje. Primjerice, upotrebom recikliranog agregata dobivenog od opeke s većom početnom čvrstoćom (68 N/mm^2) može se postići tlačna čvrstoća jednaka onoj koju dostiže beton s granitnim agregatom [6, 7].

Kako je već navedeno, iz čvrstoće opeke moguće je procijeniti tlačnu čvrstoću betona koji će s njom biti pripremljen. Na taj način možemo odrediti je li taj tip opeke, u određenim uvjetima, prikladan za upotrebu kao agregat novog betona zahtijevane tlačne čvrstoće.

Upotrebom reciklirane opeke može se uspješno proizvesti i aerirani beton. Primjer ispitanih svojstava betona s dodatkom aeranta dan je u tablici 2. [4]. Iz tablice se vidi da je upotrebom čvršće opeke moguće postići tlačnu čvrstoću betona jednaku tlačnoj čvrstoći aeriranog betona s granitnim agregatom.

Tablica 2. Rezultati ispitivanja betona s drobljenom opekom i s dodatkom aeranta [4]

Tip agregata		Gustoća betona (kg/m^3)	Tlačna čvrstoća (N/mm^2)	Koeficijent varijacije (%)	Slijeganje (mm)	Vebe (s)	Udio zraka (%)
Drobljena puna opeka i granit*		2,125	52,5	2,5	10	9	5,8
Drobljena šuplja opeka i granit*		2,214	58,4	5,3	15	8	5,8
Drobljena šuplja opeka i granit*		2,225	61,3	1,1	15	8	5,6
Granit		2,482	60,0	4,1	12	11	5,1
*granit se dodaje kao zamjena za sitnu frakciju opeke							

2.3.2 Čvrstoća na savijanje

Oštar oblik i hrapava površina drobljene opeke općenito su povoljni za dobru vezu između agregata i cementne paste, što bi trebalo utjecati i na povećanje vlačne čvrstoće na savijanje Unatoč toj pretpostavci, čvrstoća na savijanje betona s recikliranom opekom je oko 8 % do 15 % manja od iste kod običnog betona s prirodnim agregatom [6].

Tijekom provedenih istraživanja korelacije čvrstoće savijanjem i tlačne čvrstoće betona s recikliranom opekom [8], uočeno je da su tlačna čvrstoća i čvrstoća na savijanje proporcionalne.

2.3.3 Modul elastičnosti

Modul elastičnosti betona s recikliranom opekom je oko 30 % do 40 % manji od modula elastičnosti betona s prirodnim agregatom [9]. Iz tablice 3. možemo vidjeti da se s povećanjem postotka zamjene prirodnog agregata s recikliranom opekom modul elastičnosti smanjuje. Također je uočeno da je modul elastičnosti betona, pripremljenoga sa sitnim zrnima reciklirane opeke kao agregata te sa sitnim i krupnim zrnima manji do 50 % u usporedbi s običnim betonom s prirodnim agregatom [8, 10]. Pri upotrebi reciklirane opeke kao agregata za beton treba uzeti u obzir povećanje deformacija očvrsnulog betona. Stopostotnom zamjenom prirodnog agregata s recikliranom opekom deformacije se povećavaju otprilike 30 % [10]. To znači da u konstrukcijama, u kojima defor-

Tablica 3. Modul elastičnosti betona s različitim udjelima reciklirane opeke i prirodnog agregata [10]

Oznaka mješavine (PA-RA-RO)	Udio agregata po frakcijama (%)									Modul elastičnosti (N/mm^2)
	Prirodni agregat (PA)			Reciklirani beton (RA)			Reciklirana opeka (RO)			
	0/4	4/8	8/16	0/4	4/8	8/16	0/4	4/8	8/16	
100-00-00	100	100	100	0	0	0	0	0	0	27700
75-25-00	100	75	75	0	25	25	0	0	0	29400
50-50-00	100	50	50	0	50	50	0	0	0	26100
25-75-00	100	25	25	0	75	75	0	0	0	26600
00-100-00	100	0	0	0	100	100	0	0	0	24400
75-00-25	100	75	75	0	0	0	0	25	25	26700
50-00-50	100	50	50	0	0	0	0	50	50	23900
25-00-75	100	25	25	0	0	0	0	75	75	21800
00-00-100	100	0	0	0	0	0	0	100	100	18000
00-75-25	100	0	0	0	75	75	0	25	25	23500
00-50-50	100	0	0	0	50	50	0	50	50	23300
00-25-75	100	0	0	0	25	25	0	75	75	21800

macije imaju važnu ulogu, manji modul elastičnosti betona, uzrokovan upotrebom reciklirane opeke kao agregata, treba uzeti u obzir kao važan parametar pri njihovu projektiranju.

2.3.4 Skupljanje

Skupljanje betona s recikliranom opekom zbog sušenja veće je nego skupljanje običnog betona s prirodnim agregatom [6].

Skupljanje je u korelaciji s veličinom zrna agregata upotrijebljenog u proizvodnji betona. Ako se rabe samo sitna zrna reciklirane opeke u pripremanju betonske mješavine, skupljanje u ranoj starosti je gotovo šest puta veće nego kod betona s prirodnim agregatom i nastavlja se jednakom brzinom povećavati sve do devedesetog dana [8].

Ako se rabe i sitna i krupna zrna reciklirane opeke kao agregat, skupljanje se stabilizira u ranoj starosti i postaje približno jednako skupljanju običnog betona. Pri kasnoj starosti, skupljanje betona sa sitnim i krupnim recikliranim agregatom veće je nego kod običnog betona s prirodnim agregatom [8].

2.3.5 Apsorpcija vode

Voda je nužna za pojavu korozije armature, kao i za protok klorida i sulfata kroz beton. Prisutnost vode u betonu može uzrokovati oštećenja u betonu pri izlaganju betona ciklusima zamrzavanja i odmrzavanja. Budući da apsorpcija vode znatno raste s porastom udjela reciklirane opeke u ukupnom volumenu betonske mješavine, time smanjena trajnost betona s recikliranom opekom može biti značajan nedostatak za širu primjenu. Upotreba plastifikatora u sastavu betonskih mješavina ima pozitivan učinak na smanjenje apsorpcije betona. Prema nekim istraživanjima [9, 11] apsorpciju je moguće smanjiti i uporabom metode prethodnog vlaženja reciklirane opeke prije njezine upotrebe u betonu.

2.3.6 Otpornost na habanje

Habanje kao jedan od načina mehaničkog trošenja betona vrlo je važno pri procjeni trajnosti betona. Ova je pojava posebice izražena na prometnim površinama, pješačkim stazama i aerodromskim pistama, pa pri projektiranju takvih konstrukcija posebnu pažnju treba posvetiti upravo ovoj pojavi. Beton s recikliranom opekom pokazuje dobru otpornost na habanje, čak i bolju od betona s vapnenačkim agregatom. To se može objasniti boljom prionjivosti cementne paste i reciklirane opeke, uzrokovane njezinom većom poroznosti u usporedbi s vapnenačkim agregatom [9, 11].

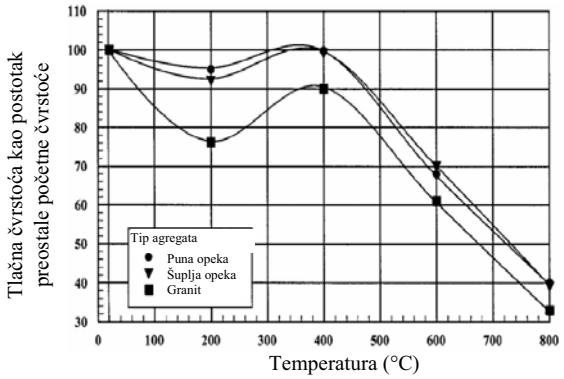
2.3.7 Toplinska provodljivost

Toplinska svojstva betona mogu se iskazati toplinskom provodljivošću provodljivosti. Beton s recikliranom opekom ima manju toplinsku provodljivost od betona s prirodnim agregatom. Provedena su istraživanja [12] pokazala da toplinska provodljivost betona s recikliranom opekom iznosi od 0,5 W/mK do 0,75 W/mK, a za beton s prirodnim agregatom oko 1,75 W/mK.

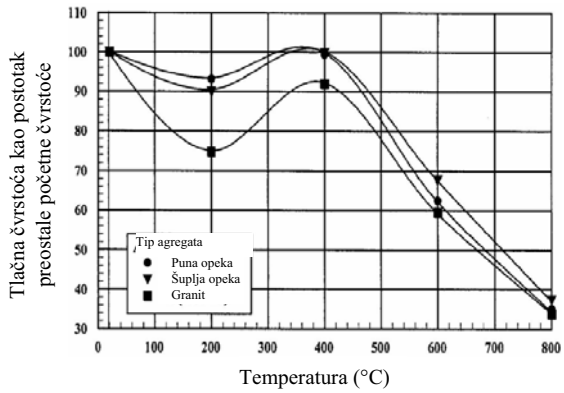
Iz istraživanja toplinske provodljivosti betona s recikliranom opekom [12, 13], može se uočiti da udio cementa i polimera u betonu ima znatan utjecaj na njegovu toplinsku provodljivost. Primjerice, s manjim udjelom cementa ili s većim udjelom polimera u ukupnom volumenu betona dolazi do smanjenja toplinske provodljivosti betona s recikliranom opekom.

2.3.8 Otpornost na požar

Reciklirana drobljena opeka pokazala se kao jedan od boljih agregata za beton u uvjetima izloženosti požaru. U takvim uvjetima izloženosti, beton s takvom opekom pokazao se znatno otpornijim od betona s granitnim agregatom [14]. Agregat nastao drobljenjem opeke toplinski je stabilan te je moguće da je upravo to svojstvo razlog dobrog ponašanja kao agregata u betonu izloženom visokim temperaturama. Reciklirana drobljena opeka pokazala se kao agregat za beton s dobrim svojstvima u uvjetima izloženosti požaru. U takvim uvjetima izloženosti, beton s recikliranom opekom pokazao se kao znatno otporniji od betona s granitnim agregatom (slike 4.a i 4.b) [14].



a) beton uobičajene početne čvrstoće



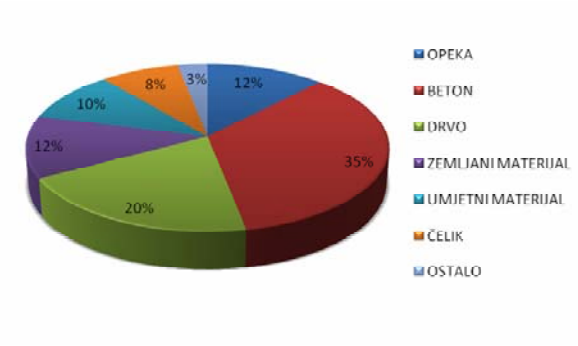
b) beton velike početne čvrstoće

Slika 4. Redukcija tlačne čvrstoće betona pri izlaganju visokim temperaturama [14]

Kako bi se osigurala dobra požarna otpornost betona s recikliranom opekom, preporučuje se njegovo zadržavanje u suhom stanju tijekom požara [4]. Ako je beton vlažan, unutarnji tlakovi koji nastaju tijekom požara mogu uzrokovati ljuštenje gornjih slojeva i raspadanje betona. Mala toplinska provodljivost betona s recikliranom opekom također upućuje na njegovu požarnu otpornost. Zbog manje toplinske provodljivosti, armirani je beton puno bolje zaštićen od ranog zagrijavanja pri upotrebi betona s recikliranom opekom, nego pri upotrebi betona s prirodnim agregatom. Beton s recikliranom opekom zadržava svoju konstrukcijsku cjelovitost pod djelovanjem požara dulje nego beton uobičajen u primjeni [4, 13].

3 Pregled količina i odlaganje građevinskog otpada na području Hrvatske

Budući da je svjetski trend upotreba recikliranih materijala u svim područjima ljudske djelatnosti pa tako i u građevinarstvu, i u građevinskoj je praksi na području Hrvatske potrebno uključiti reciklirani građevinski otpad u proizvodni proces. Trenutačno u Hrvatskoj ne postoji kvalitetna evidencija izvora, količina i tokova građevinskog otpada iako postoji zakonski okvir koji se ne primjenjuje [15]. Kao i u ostalim zemljama i u nas se građevinski otpad još uvijek nekontrolirano odlaže, nije uspostavljena kvalitetna komunikacija između svih sudionika u procesu gospodarenja građevinskim otpadom, te ne postoji razrađen sustav poticanja ugradnje recikliranih materijala. Uzevši u obzir geografske specifičnosti Hrvatske, u Dalmaciji i Primorju kao građevinski otpad prevladava kamen, u sjeverozapadnom dijelu beton i opeka, a u istočnom opeka odnosno miješani otpad. Procijenjene su količine građevinskog otpada na temelju podataka prikupljenih u okviru projekta CONWAS, podataka Agencije za zaštitu okoliša, regionalnih karakteristika i podataka Državnog zavoda za statistiku (DZS) oko 2.345.273 tone na godinu. Vrste građevinskog otpada razlikuju se ovisno o tome ruši li se postojeća ili se gradi nova građevina. Na slici 5. prikazan je sastav građevinskog otpada nastalog pri rušenju stambenih građevina.



Slika 5. Sastav građevinskog otpada [15]

Trenutačni stupanj recikliranja građevinskog otpada u Hrvatskoj ne prelazi 7 %, a iz građevinskog se otpada izdvoji oko 11 % sekundarnih sirovina [16]. Neovisno o podacima koji se prijavljuju Agenciji za zaštitu okoliša, može se zaključiti da se većina građevinskog otpada odlaže na odlagališta otpada, a najčešće se radi o nekontroliranom odlaganju građevinskog otpada na divlja odlagališta otpada. U pojedinim jedinicama lokalne samouprave više od 80 % otpada odloženog na divlja odlagališta čini građevinski otpad.

Osim otpada nastalog rušenjem građevina kao problem se nameće i odlaganje otpada nastalog u tijeku proizvodnih procesa građevinskih elemenata. Primjerice, u opekarskoj industriji u samom procesu proizvodnje i transporta unutar tvornice dolazi do oštećenja proizvoda i oni postaju neupotrebljivi za daljnji plasman na tržište [17]. Opekarska industrija područja istočne Hrvatske trenutačno ima dvije tvornice glinenog crijepa čija se godišnja proizvodnja kreće oko 44 milijuna jedinica. Zbog male debljine crijep je krhak pa je već u samom procesu proizvodnje i transporta unutar tvornice dio ukupne proizvodnje klasificiran kao lom pri proizvodnji te se ne plasira na tržište. Prema dostupnim podatcima, procijenjena je količina od 8240 tona na godinu materijala nastalog kao lom pri procesu proizvodnje i transporta unutar tvornice koji je potrebno odložiti. Navedena količina obuhvaća samo lom nastao pri proizvodnji glinenog crijepa, dok informacije o količini loma nastaloj pri proizvodnji drugih opekarskih proizvoda autorima rada nisu bile dostupne. Dakle, osim otpada nastalog rušenjem građevina u ukupan tok građevinskog otpada svakako treba ubrojiti i otpad nastao tijekom proizvodnje građevinskih elemenata, te pronaći siguran način njegova odlaganja i put k održivom razvoju. Praćenjem količina, sastava i tokova građevnog otpada, izbjegavanje i prevencija nastajanja građevnog otpada, etapno smanjivanje dopuštenih količina građevnog otpada koji se odlaže na odlagališta i recikliranje građevinskog otpada mjere su koje pridonose pravilnom gospodarenju građevinskim otpadom [15].

Kako što smo već prije naveli, otprilike 35 % u ukupnoj količini otpada nastalog rušenjem stambenih građevina čini opeka te bi ju trebalo iskoristiti i ukloniti iz ukupnog toka otpada kroz okoliš. Jedan od načina odlaganja dijela građevinskog otpada uz određene tehnologije recikliranja jest upotreba recikliranog materijala kao ekonomski vrijedne sekundarne sirovine. Primjerice, recikliranjem opeke moguće je dobiti dodatni materijal za proizvodnju zidnih elemenata, betona, laganog betona, stabiliziranje, drenažne slojeve, ispune, nasipavanje terena. Budući da na području Slavonije opeka čini najveći udio u građevinskom otpadu, trebalo bi uzeti u obzir sve pozitivne čimbenike njezinog recikliranja i mogući-

nosti njezine upotrebe i započeti s provođenjem mjera za realizaciju plana pravilnog gospodarenja otpadom [17].

4 Zaključak

U radu su sustavno izložena dosadašnja istraživanja na području upotrebe reciklirane opeke kao agregata za beton. Iz pregleda se vidi da se materijal nastao recikliranjem građevinskog otpada može uspješno upotrijebiti kao sirovina u proizvodnji novog betona.

Iz pregleda količina i trenutačnog načina odlaganja građevinskog otpada u Hrvatskoj i mogućnosti njegove po novne upotrebe u proizvodnom procesu možemo zaključiti da se u Hrvatskoj građevinski otpad još uvijek nedovoljno reciklira te da treba intenzivnije provoditi mjere za realizaciju plana pravilnog gospodarenja otpadom.

Reciklirana opeka se, dakle, uspješno može upotrijebiti kao agregat za proizvodnju betona i ukloniti iz protoka građevinskog otpada, a to vodi do očuvanja prirodnih resursa, ali stvara i novu vrijednost. Djelovanjem na svijest sudionika u građenju, edukacijom i poticajnim sredstvima potrebno je što prije doći na razinu europskih zemalja i osigurati Hrvatskoj put do održivog razvoja.

LITERATURA

[1] Batayneh, M.; Marie, I.; Asi, I.: *Use of selected waste materials in concrete mixes*, Waste Management 27, 2007., str. 1870-1876

[2] Bjegović, D.: *Sustainability as a Condition for Development in Croatia,* Lillehammer: Proceedings of International Conference on Sustainability in the Cement and Concrete Industry, 2007., str. 2-16

[3] Khaloo, A. R.: *Crushed Tile Coarse Aggregate Concrete*; Cement, Concrete and Aggregates 17, 1995., str. 119-125

[4] Hansen, T. C.: *Recycling of demolished concrete and masonry*, London: RILEM Rep. 6, E&FN Spon, 1992.

[5] Sherwood, P. T.: *Alternative materials in road construction*, London: Thomas Telford, 1995.

[6] Khalaf, F. M. & DeVenny, A. S.: *Recycling of Demolished Masonry Rubble as Coarse Aggregate in Concrete: Review*, Journal of Materials in Civil Engineering 16, 2004., str. 331-340

[7] Khalaf, F. M.: *Using Crushed Clay Brick as Aggregate in Concrete*, Journal of Materials in Civil Engineering 18, 2006., str. 518-526

[8] Debieb, F. & Kenai, S.: *The use of coarse and crushed bricks as aggregate in concrete*, Construction and Building Materials 22, 2008., str. 886-893

[9] Correia, J. R.; de Britto, J.; Pereira, A. S.: *Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates,* Materials and Structures 39, 2006., str. 169-177

[10] Ruhl, M.; Atkinson, G.: *The influence of recycled aggregate on stress-strain relation of concrete*, Darmstadt Concrete 14, 1999.

[11] de Britto, J.; Pereira, A. S.; Correia, J. R.: *Mechanical behavior of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates*, Cement & Concrete Composites 27, 2005., str. 429-433

[12] Janković, K.: *Using recycled brick as concrete aggregate,* Dundee: Proceedings of 5th Triennial Int. Conf. on Challenges in Concrete Construction, 2002., str. 231-240

[13] Drpić, M.; Janković, K.: *Thermal conductivity of concrete with recycled bricks as aggregate*, Dundee: Proceedings of International Congress "Creating with concrete", 1999., str. 157-166

[14] Khalaf, F. M., DeVenny A. S.: *Performance of Brick Aggregate Concrete at High Temperatures*, Journal of Materials in Civil Engineering 16, 2004., str. 556-565

[15] Projekt LIFE05 TCY/CRO/000114 CONWAS: Razvoj održivog sustava upravljanja građevinskim otpadom u Hrvatskoj; str. prezentacije http://www.igh.hr/conwas/

[16] Pravilnik o gospodarenju otpadom, Narodne novine 23/2007.

[17] Bjegović, D., Kesegić, I., Netinger, I.: Reciklaža opekarskih proizvoda i mogućnost ponovne upotrebe u proizvodnom procesu, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Sabor hrvatskih graditelja '08-Zbornik radova, 2008., str. 201-213.