

ISTRAŽIVANJE TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA ZA DOBIJANJE RECIKLIRANOG AGREGATA I NJEGOVA PRIMENA

Ksenija JANKOVIĆ

ORIGINALNI NAUČNI RAD
UDK: 666.94/96.004.8 = 862

1. UVOD

Građenje novih objekata u naseljima u današnje vreme je uglavnom povezano sa rušenjem postojećih manje ili više dotrajalih građevina. Sanacija jako oštećenih objekata je veoma skupa, te je njihovo rušenje i podizanje novih objekata ekonomski opravdano. Deponovanje velike količine građevinskog materijala nastalog rušenjem objekata ili usled prirodnih i ostalih katastrofa predstavlja značajan ekološki problem.

U svetu se istražuje mogućnost recikliranja - ponovne upotrebe otpadnih građevinskih materijala. RILEM Tehnički komitet - 121 - DRG koji nastavlja rad Tehničkog komiteta - 37 - DRC se bavi proučavanjem dobijanja agregata i proizvodnje betona od recikliranog betona ili zidanih konstrukcija.

Drobljenjem betona ili zidanih konstrukcija se dobija materijal koji može da se koristi za ispunu kod drenažnih projekata, podlogu za puteve, kao agregat za novi beton.

Prvi poznati beton u istoriji datira iz doba starih Rimljana, a sastojao se od mešavine kreča, vode, peska i stucane opeke. Hram Panteon koji je podignut između 115. i 125. godine naše ere sagrađen je od neke vrste lakog betona u čiji je sastav ušla i izlomljena opeka.

Sredinom XIX veka u Nemačkoj je spravljan beton od drobljene opeke i portland cementa. Sistematsko proučavanje uticaja količine cementa, vode i granulometrijske krive mešavine agregata na bazi drobljene opeke datira od 1928. godine.

U toku II svetskog rata uništeno je mnogo gradova. Količina opekarskog loma u Nemačkoj se kretala između 400 i 600 miliona kubnih metara. Bilo je potrebno ne samo raščistiti gradove nego i izgraditi nove objekte. Postrojenja za reciklažu su do kraja 1955. preradila 11.5 miliona kubnih metara otpadnog materijala. Iz tog perioda datira i DIN 4163 koji daje uputstva za primenu recikliranog agregata.

U Velikoj Britaniji se takođe posle II svetskog rata koristio opekarski lom, ali u manjem obimu nego u Nemačkoj.

Adresa autora:
Dr Ksenija Janković, dipl.inž.građ.
Institut IMS, Bulevar vojvode Mišića 43, Beograd

U SAD je još 1964. zabeležena primena recikliranog betona kao podloge za put. Prva uspešna primena agregata na bazi recikliranog betona za proizvodnju novog betona za trotoar zabeležena je 1976. u Jovi, SAD.

Prema podacima iz literature [29], najveća količina otpadnog materijala u Evropi se prerađuje u Holandiji. Tamo postoji preko 60 postrojenja (uključujući i ona prenosna) za proizvodnju recikliranog agregata. Najveće postrojenje se nalazi u Roterdamu kapaciteta 200000 t/god. Reciklirani agregat se koristi i kao podloga za puteve i kao agregat za beton.

U Nemačkoj postoji 60 postrojenja za reciklažu ukupnog kapaciteta 10 miliona tona godišnje. Reciklirani agregat na bazi betona je zabranjen za proizvodnju novog betona, ali se koristi kao podloga kod izgradnje puteva.

Reciklirani agregat od betona se koristi i za izgradnju puteva u Japanu, a ponašanje betona na bazi recikliranog agregata u konstrukcijama se još uvek ispituje.

U Rusiji postoje postrojenja za reciklažu kapaciteta 720000 m³ godišnje. Reciklirani krupan agregat od betona se koristi kao podloga za temelje, za beton čvrstoće do 20 MPa, dok se sitan agregata koristi kao filer za asfalt.

Reciklirani agregat se primenjuje i u Francuskoj, Španiji, Belgiji, Čehoslovačkoj, Velikoj Britaniji [6], [12], [24], [61], [106].

Reciklirana opeka je porozan laki agregat od koga se dobija beton zapreminske mase 1850 - 2200 kg/m³. Betoni na bazi drobljene opeke imaju termoizolaciona svojstva, pa se modelovanjem njihove strukture, mogu dobiti i termoizolacioni i konstruktivni materijali. Ovo je značajno sa energetskeg aspekta.

Betoni sa agregatom od reciklirane opeke imaju veće skupljanje, a manju vodonepropustljivost i otpornost na dejstvo mraza od običnog betona.

2. PROIZVODNJA RECIKLIRANOG AGREGATA

Posle rušenja betonskih konstrukcija moguće je:
• Ponovno korišćenje delova betonskih konstrukcija

- Drobljenje betona i dobijanje novog agregata - agregata na bazi recikliranog betona (recycled concrete aggregate -RCA)

- Korišćenje materijala nastalog rušenjem kao punioda ili kao otpad.

“Recycled Aggregate Concrete - RAC” je beton dobijen korišćenjem recikliranog agregata ili kombinacijom recikliranog i drugih vrsta agregata.

“Masonry rubble” je prema literaturi [9] zajednički termin za građevinski materijal dobijen rušenjem zidanih konstrukcija i uključuje razne vrste materijala kao što su:

- laki beton
- opeka (glinena, silikatna)
- kamen
- razne vrste blokova (puni ili šuplji, na bazi betona, gline, zgure visokih peći) itd.

Za zidane konstrukcije se koriste različiti materijali, tako da je jako teško praviti poređenje loma, jer negde prevladava opeka, negde kamen, a razlika je i u fizičkim osobinama (poroznost, čvrstoća) i u hemijskom sastavu (silicijum, glina, gips).

Sredstva koja se upotrebljavaju za rušenje objekata drobe opeke i onemogućavaju njihovu ponovnu upotrebu. Selekcija celih opeka i onih oštećenih bi povećavala potrebno vreme za rušenje i raščišćavanje otpada, a samim tim proizvela povećanje troškova.

Japanski standard za krišćenje recikliranog agregata i betona na bazi recikliranog agregata [2] preporučuje sledeće:

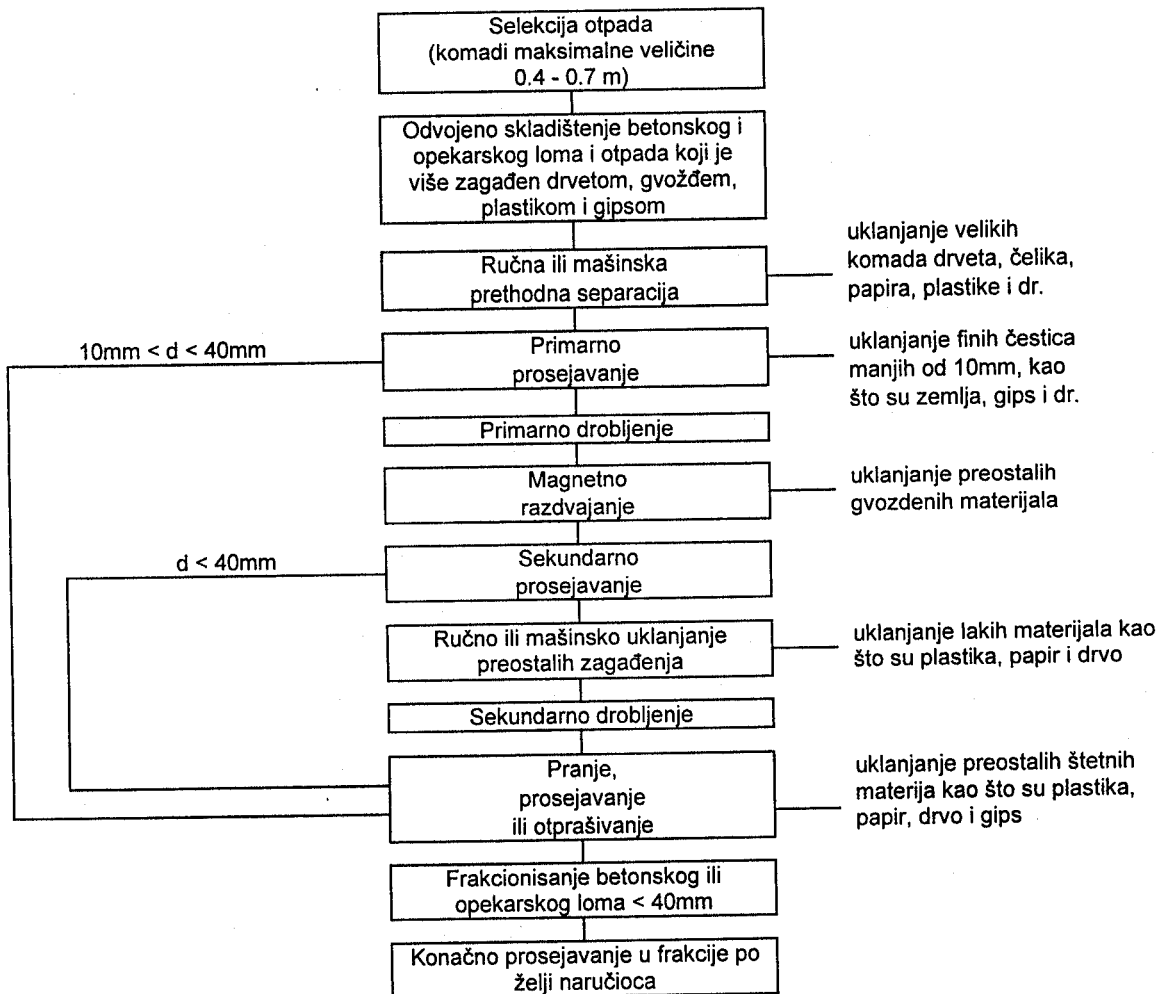
- reciklirani agregat dobijen od betona različitog kvaliteta ili na drugačiji način treba da se čuva odvojeno
- posebno odvojiti sitan i krupan agregat
- zbog velike apsorpcije recikliranog agregata treba ga čuvati u suvim uslovima
- reciklirani agregat treba čuvati odvojeno od drugih tipova agregata
- ne treba koristiti isto postrojenje za drobljenje opeke i betona, jer se posle drobljenja opeke postrojenje mora čistiti.

Kod proizvodnje recikliranog agregata treba prema [58] obratiti pažnju na:

- izbor najbolje metode za čišćenje loma
- izbor sistema kontrole kojim se obezbeđuje kvalitet recikliranog agregata
- izbor opreme za unutrašnji transport.

3. TEHNOLOGIJA RECIKLAŽE

Postrojenja za proizvodnju recikliranog agregata se ne razlikuju mnogo od onih za proizvodnju drobljenog agregata. Ona u sebi sadrže različite tipove drobilica,



Sl. 1. Proces dobijanje recikliranog agregata

opreme za transport, separaciju i odstranjivanje štetnih materija.

Na slici 1 je prikazan proces dobijanja recikliranog agregata. Materijal sitniji od 10 mm sadrži štetne materije kao što je gips, te se odstranjuje pre primarnog drobljenja. Materijal krupniji od 40 mm odlazi na sekundarno drobljenje. Sav zdrobljeni materijal se pere, kako bi se odstranile štetne materije kao što su plastika, papir, drvo i gips.

Prema istraživanjima sprovedenim u Holandiji dobijeno je da se najbolji granulometrijski sastav recikliranog agregata dobija primenom čeljusnih drobilica. Konusne drobilice su pogodne za sekundarno drobljenje. Korišćenje udarnih drobilica je preporučljivo za dobijanje recikliranog agregata za puteve. Ove drobilice drobe i stari cementni kamen, pa se na taj način dobija krupan agregat lošijeg kvaliteta, često se kvare, tako da se preporučuje upotreba čeljusnih drobilica.

Prema istraživanjima [17], [26] dobijeno je da reciklirani agregat nastao drobljenjem starog betona ima granulometrijsku krivu koja je približna Fulerovoj krivoj.

Za dobijanje zadovoljavajuće granulometrijske krive drobljenog agregata na bazi reciklirane opke moguće je koristiti ili jednu ili dve drobilice. Ekonomski je opravdano korišćenje jedne drobilice.

4. KVALITET RECIKLIRANOG AGREGATA

Lom dobijen rušenjem zidanih konstrukcija treba sortirati pre drobljenja [105]. Materijal sitniji od 40 - 50 mm je zagađen gipsom (6-7 %), glinom, humusom. To je razlog zašto se ne preporučuje njegovo korišćenje.

Prema [24] dobijeno je da je za proizvodnju betona najbolji reciklirani agregat koji ima granulometrijsku krivu u skladu sa standardom DIN 4163. Na osnovu istraživanja sprovedenih u Belgiji [62] zaključeno je da je najbolje koristiti kombinaciju prirodnog peska i recikliranog krupnog agregata. Prema [106] agregat klase GBSB-I (zapreminska masa zrna preko 1600 kg/m³, upijanje vode ispod 18 %) se može koristiti za beton maksimalne klase čvrstoće C 16/20, a agregat klase GBSB-II (zapreminska masa zrna preko 2100 kg/m³, upijanje vode ispod 9 %) se može koristiti za beton maksimalne klase čvrstoće C 30/37.

RILEM TC - 121 - DRG priprema uputstvo za primenu recikliranog agregata, koje će biti pridodato Eurokodu 2. Prema tom uputstvu [31] postojeće tri tipa recikliranog agregata:

- Tip I - reciklirani agregat dobijen od loma nastalog rušenjem zidanih konstrukcija
- Tip II - reciklirani agregat dobijen od betonskog loma
- Tip III - kombinacija prirodnog i recikliranog agregata tipa I i II.

Kod korišćenja recikliranog agregata javlja se problem što su zrna agregata koja su dobijena bilo reciklažom betona, bilo zidanih konstrukcija vezana sa starim cementnim kamenom.

4.1 Upijanje vode

Reciklirani agregat upija mnogo više vode. Japanski standard za korišćenje recikliranog agregata i betona na bazi recikliranog agregata [2] preporučuje da se za proizvodnju betona ne upotrebljava reciklirani agregat kod koga je upijanje vode krupnog agregata veće od 7 %, a sitnog veće od 13 %. Na osnovu vrednosti upijanja vode krupan reciklirani agregat je podeljen na tri tipa, a sitin na dva [54]. Pre upotrebe recikliranog agregata upijanje vode mora obavezno da se odredi za svaku mešavinu agregata. Vodocementni odnos je teško kontrolisati pri upotrebi sitnog recikliranog agregata. Veća količina vode utiče na smanjenje čvrstoće i trajnosti betona, te se ne preporučuje korišćenje sitnog recikliranog agregata.

S obzirom da je opeka porazan materijal samim tim i drobljena opeka ima veliku moć upijanja vode. Prema [7] da bi se dobio beton zadovoljavajućeg kvaliteta potrebno je drobljenu opeku potpuno zasiti vodom. Upijanje vode drobljene opke iznosi 22-25 % u odnosu na suv materijal [7]. Rezultati ispitivanja prema [9] pokazuju da se drobljena opeka zasiti vodom ako se drži potopljena 30'.

U praksi se češće koristi zapreminska masa agregata u rastresitom stanju.

4.2 Štetne materije

Kod primene recikliranog agregata potrebno je obratiti pažnju na postojanje štetnih materija, jer njihov sadržaj može uticati na smanjenje čvrstoće i do 15 %. U štetne materije spadaju grudve gline, gips, hloridi, organske materije, staklo, metal, papir, drvo, a ako je u pitanju agregat dobijen drobljenjem betona i opke, laki beton, bitumen.

Jedan od uzroka oštećenja zgrada u Berlinu, podignutih posle II svetskog rata od betona sa recikliranom opekama je primena agregata kod koga nisu dovoljno otklonjene štetne primese.

Japanski standard za korišćenje recikliranog agregata i betona na bazi recikliranog agregata [2] preporučuje da se količina štetnih materija koja ostane na situ 1.2 mm, ili je zapreminske mase ispod 1200 kg/m³ ograniči na 2 kg/m³, a plastike, gline i drugih štetnih materija zapreminske mase ispod 1950 kg/m³ na 10 kg/m³. Granica od 1950 kg/m³ je određena za primenu agregata dobijenog na bazi drobljenog betona, a uzimajući u obzir da su stari cementni kamen (zapreminska masa oko 2000 kg/m³), laki beton i drobljena opeka (zapreminska masa oko 1900 kg/m³) za tu vrstu agregata štetne materije.

U slučaju zagađenosti recikliranog agregata gipsom preporučuje se upotreba sulfatno otpornog cementa. Prema podacima iz literature [24], sadržaj sulfata (SO₃) ne treba da prelazi 1% mase suvog agregata.

Kod upotrebe agregata na bazi drobljene opke za proizvodnju lakog izolacionog betona prema standardu DIN 4163 sadržaj teških čestica (beton, cementni kamen, prirodni pesak) ne bi trebalo da je veći od 25 %.

Prema podacima iz literature [96] i [97] ako se koristi mokar postupak za drobljenje 2.3 % ukupne mase otpada na čestice ispod 0.063 mm. U slučaju korišćenja

suvog postupka čestice ispod 0.063 mm čine 3.4 % ukupne mase agregata.

Za odstranjanje štetnih čestica koriste se pojedinačno ili u kombinaciji sledeći procesi:

- suv
- mokar
- termički (sinterovanje).

Suv proces se najčešće koristi, ali je i najmanje efikasan. Nečistoće se odstranjuju ručno ili vazduhom pod pritiskom. Da bi se postigli zadovoljavajući rezultati čišćenja vazдушnim mlazom prema literaturi [5] i [18] agregat krupnoće 0-40 mm je potrebno sortirati u 4-5 frakcija. Velika količina prašine iziskuje posebne mere zaštite. Odstranjanje gvožđa se vrši korišćenjem magneta.

Mokrim postupkom (pranjem) se odstranjuju humus, glina i drugi materijali rastvorljivi u vodi. Prema literaturi [33] gips se teško može odstraniti pranjem, jer ima tendenciju da ekspandira u dodiru sa vodom. Prema podacima iz literature [83] i [101] preporučuje se korišćenje mokrog postupka za čestice preko 8 mm.

Prema podacima iz literature [24], kombinacijom suvog procesa za agregat preko 50 mm i sinterovanja (slepljivanja sitnih čestica na temperaturi blizu tačke topljenja) za sitan agregat moguće je iskoristiti skoro 100 % loma.

Stare opeke su zagađene cementnim kamenom. Očvrsl cement se razlaže na oko 500 °C, a kalcijum karbonat na oko 900°C. Znači, pečenjem starih opeka postiže se njihovo efikasno čišćenje [59].

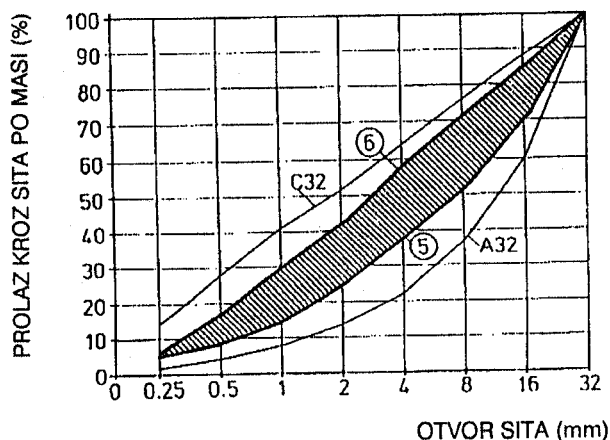
4.3 Preporuke za projektovanje betonskih mešavina na bazi recikliranog agregata

Na osnovu ispitivanja prema literaturi [3] dobijeno je da je optimalni odnos krupnog i sitnog agregata približno isti kao kod običnog betona.

Reciklirani agregat upija veću količinu vode od prirodnog, te se preporučuje kvašenje pre upotrebe. Na osnovu istraživanja dobijenih iz literature [53] potpuno zasićenje se postiže posle 24 sata. Prema [62] preporučuje se držanje agregata u vodi jedan sat pre mešenja.

Prema standardu DIN 4163 drobljenu opeku je potrebno separisati u sledeće frakcije: 0/3, 3/7, 7/15, 15/30 i preko 30 mm. Na slici 2 je prikazano u kojoj oblasti treba da se nađe granulometrijska kriva mešavine agregata.

Prema literaturi [24] zamenom sitne frakcije agregata na bazi drobljene opeke prirodnim peskom dobija se na čvrstoći betona, smanjuje se učešće SO₃ (frakcija do 3 mm ga sadrži oko 1 %), prema [16], [19], [22] i [34]. Upotreba fine reciklirane frakcije zahteva dodavanje veće količine vode kako bi se dobio beton dobre obradljivost. Sve su to razlozi za zamenu sitne reciklirane frakcije prirodnim peskom.



Sl. 2. Oblasti u kojima treba da se nađe granulometrijska kriva agregata prema DIN 4163 i DIN 1045 [24]

Prema [7], [32] i [56] beton koji je spravljen sa sitnom frakcijom od opekarskog loma pokazuje bolje čvrstoće pri pritisku od betona kod koga je upotrebljen pesak, što se objašnjava pucolanskom aktivnošću sitne frakcije.

5. PREGLED STANDARDA

5.1 Japan

U Japanu postoji predlog standarda za korišćenje recikliranog agregata i betona na bazi recikliranog agregata. Kvalitet recikliranog agregata prema navedenom standardu [2] definisan je u tabeli 1.

Preporučuje se da beton nema konzistenciju određenu sleganjem veću od 21 cm, da je vodocementni odnos manji od 0.7, da se ne koristi manje od 250 kg/m³ cementa.

Tabela 1. Karakteristike recikliranog agregata od betona prema [2]

Vrsta ispitivanja	Recikliran krupan agregat	Recikliran sitan agregat
Specifična masa suvog agregata	Ne manje od 2200 kg/m ³	Ne manje od 2000 kg/m ³
Procenat upijanja vode	Ne više od 7 %	Ne više od 13 %
Količina izgubljene supstance pri pranju	Ne više od 1 %	Ne više od 8 %
Procenat apsolutne zapremine	Ne manje od 53 %	-

5.2 Holandija

Prema predlogu standarda za reciklirani beton kao agregat za proizvodnju betona, koji je uključen u radnu verziju holandskog Koda za beton - VBT 1986, predlaže se da se za proizvodnju betona koristi betonski lom sa zapreminskom masom preko 2100 kg/m³. Ne preporučuje se upotreba recikliranog agregata ispod 8

mm. U tabeli 2 je prikazan zahtevan granulometrijski sastav frakcija prema [8].

Postoji radna verzija standarda "Lom za beton dobijen rušenjem zidanih konstrukcija", uz metode ispitivanja koje su u skladu sa NEN 3880. Uslovi koje treba da ispunjava reciklirani agregat nastao drobljenjem zidanih konstrukcija su dati u tabeli 3.

Tabela 2. Granulometrijski sastav frakcija recikliranog agregata [8]

Frakcije recikliranog agregata	Procenat ostataka na situ (mm)							
	> 31.5	> 16	> 8	> 4	> 2	> 1	> 250 μ	> 63 μ
0 - 4	-	-	-	0-10	25-31	50-62	80-87	96-100
4 - 16	-	0-5	55-57	85-100	95-100	-	-	99-100
4 - 31.5	0-5	32-44	70-75	90-100	-	-	-	99-100

Tabela 3. Karakteristike agregata od loma dobijenog rušenjem zidanih konstrukcija [24]

Osnovna komponenta	Najmanje 65 % mase drobljenog loma nastalog rušnjm zidanih konstrukcija									
Sekundarne komponente	Najviše 20 % lakog betona, keramičkih produkata, prirodnog peska, najviše 10 % aeriranog betona, najviše 25 % maltera									
Veličine frakcija	0/4, 4/8, 4/16, 8/16, 4/32, 16/32 mm									
Granulometrijski sastav frakcija	Prema standardu NEN 5916									
		Procenat ostatka mase agregata na situ (mm)								
	Frakcija	31.3	22.4	16	8	4	2	1	0.25	
	0/4	-	-	-	0	2-10	-	15-50	80-100	
	4/16	-	0	0-5	35-70	85-100	95-100	96-100	-	
	4/32	0-2	5-30	25-55	60-85	90-100	-	96-100	-	
	4/8	-	-	0	0-10	80-100	98-100	-	-	
	8/16	-	0	0-10	80-100	98-100	-	-	-	
16/32	0-10	-	80-100	98-100	-	-	-	-		
Dispergovane čestice	Prema NEN 5917 kod frakcije 0/4 do 4 % , kod ostalih frakcija do 2 % mase									
Organske materije	Prema NEN 5919 boja do No 11 na Gardnerovoj kolor skali									
Hloridi	Frakcija	Maksimalni sadržaj hlorida u % u odnosu na masu suvog materijala								
		Nearmiran beton			Armiran beton			Prethodno napregnut beton		
	0/4	1.0			0.10			0.015		
Ostale	1.0			0.05			0.007			
Hloridi	Frakcija	Preporučljiv maksimalan sadržaj hlorida u % u odnosu na masu suvog materijala								
		Armiran beton			Prethodno napregnut beton			Klasifikacija		
	0/4	< 0.08			< 0.012			prihvatljivo		
		> 0.11			> 0.017			neprihvatljivo		
Ostale	< 0.04			< 0.006			prihvatljivo			
	> 0.055			> 0.008			neprihvatljivo			
U slučaju određivanja sadržaja hlorida preko indikatorskog papira koristi se metod B iz NEN 5921, a ako korišćenje indikatorskog papira nije moguće, metod A iz NEN 5921										
Sadržaj sulfata	Prema NEN 5930 sadržaj sulfata ne sme biti veći od 1 % mase									
Nemineralne komponente	Lake materije kao što su drvo, papir, tekstil prema NEN 5933 ne smeju prelaziti 1 % mase ili zapremine, a sadržaj bitumena, gume, metala, stakla, teških polimera prema NEN 5942 ne sme biti veći od 1 % mase									
Meke čestice	Prema NEN 5918 sadržaj čestica koje se mrve pod rukom ne sme biti veći od 0.5 %, a za izložen beton od 0.2 % u odnosu na masu suvog materijala									
Promena boje	Za izložen beton prema NEN 5923 sadržaj čelika i vanadijuma ne sme biti veći od indeksa 20									
Komponente koje odlažu vreme vezivanja betona	Vreme vezivanja određeno preko Vikatovog aparata se ne sme razlikovati više od 15 % u odnosu na referentnu mešavinu									
Oblik zrna	Sadržaj pljosnatih zrna ne sme biti veći od 30 % prema NEN 5941									
Otpornost prema dejstvu mraza	Gubitak mase pri smrzavanju i kravljenju ne sme biti veći od 3 % prema NEN 5924									

5.3 Velika Britanija

U Velikoj Britaniji postoji uputstvo za korišćenje industrijskih nusproizvoda i otpadnog materijala u građevinarstvu BS Guide 6543, koje tretira korišćenje otpadnog materijala i za puteve i u viskogradnji. Prema [6] u sedmom izdanju standarda BS 882 koji se odnosi na prirodan agregat spominje se i mogućnost korišćenja otpadnog materijala. Standard BS 3797 se odnosi na korišćenje lakog agregata, uključujući i onaj dobijen od otpadnog materijala.

5.4 Rusija

Prema Preporukama za reciklažu betona i armiranog betona koje je 1984. izdao sovjetski Institut za beton i armirani beton krupan agregat dobijen reciklažom betona se može koristiti kao podloga za temelje, proizvodnju betona čvrstoće 5-15 MPa ili proizvodnju betona čvrstoće preko 20 MPa uz upotrebu 50 % nerecikliranog drobljenog agregata.

5.5 Nemačka

U Nemačkoj nije dopušteno korišćenje agregata dobijenog recikliranjem betona za proizvodnju novog betona, jer je zapreminska masa takvog agregata veća od granica propisanih za laki agregat, a čvrstoća mu je manja od zahtevane čvrstoće prirodnog drobljenog agregata.

Od 1945-1955. drobljena opeka je korišćena za proizvodnju betona. Standard DIN 4163 daje uputstva za proizvodnju i korišćenje betona na bazi drobljene opeke. Prema tom standardu beton zapreminske mase 1600 do 2100 kg/m³ daje maksimalnu čvrstoću od 30 MPa i modul elastičnosti od 15 GPa. Agregat dobijen drobljenjem opeke pripada grupi lakih agregata, pa se na njega može primeniti standard DIN 4226. Standard DIN 4219 se odnosi na proizvodnju lakog betona, te se može primeniti i na betone na bazi reciklirane opeke.

5.6 Danska

Od 1990. u danskom Kodu za beton dopušta se korišćenje agregata na bazi recikliranog betona u izvesnim slučajevima. Beton na bazi recikliranog agregata koji postiže čvrstoću do 20 MPa označen je sa GP2, a do 40 MPa sa GP1.

Modul elastičnosti betona GP1 dostiže 80 % od vrednosti za običan beton. Ovaj beton uglavnom sadrži agregat dobijen drobljenjem betona. Zapreminska masa vodom zasićenog, površinski suvog recikliranog agregata za beton GP1 treba da je iznad 2200 kg/m³ [24].

Beton GP2 se pravi od drobljenog loma dobijenog reciklažom betona zapreminske mase iznad 1800 kg/m³. Modul elastičnosti betona GP2 je 50 % manji nego kod običnog betona.

Eksperimentalno je utvrđeno da nema značajnije razlike u zavisnosti napona i deformacija u odnosu na običan beton. Ispitivanjem čvrstoće pri pritisku dobijeno je veće rasipanje rezultata u odnosu na običan beton.

5.7 SCG

Prema Pravilniku o tehničkim normativima za beton i armirani beton spravljen sa prirodnom i veštačkom lakoagregatnom ispunom, čl.1 kao agregat može da se koristi:

- prirodni materijal (krečnjački i vulkanski tufovi, lava, prirodno pečena glina)
- prirodni materijal termički tretiran (perlit, verimkult, ekspandirana glina, ekspandirani škrijlac, sinterivana glina, vatrostalna opeka i dr.)
- industrijski neprerađeni i prerađeni otpaci (drobljena i granulirana zgura visokoh peći, elektrofilterski pepeo, kotlovska zgura, opekarska sitnež i dr.)
- organski materijali (granule sintetičkih materijala, ostaci od prerade drveta i žitarica i sl.).

Dakle, predviđa se mogućnost korišćenja drobljene opeke i opekarske sitneži kao agregata za laki beton. Prema čl. 6 kao agregat za spravljanje betona može da se upotrebljava i drugi agregat koji zadovoljava uslove kvaliteta prema jugoslovenskim standardima JUS.B.B2.010, JUS.U.M4.023 i JUS.U.M4.024. Prema tome, agregat od reciklirane opeke se može koristiti za spravljanje lakog betona, ako zadovoljava napred navedene standarde.

6. EKONOMSKI ASPEKT PRIMENE RECIKLIRANOG AGREGATA

6.1. Ekonomski aspekt reciklaže betona

Na osnovu podataka iz literature [24] da bi rad postrojenja za proizvodnju recikliranog agregata bio ekonomski opravdan potrebno je da budu zadovoljeni sledeću uslovi:

- stalan i obiman dotok otpadnog materijala
- velika cena uništavanja otpada
- lak pristup teretnim vozilima
- odgovarajuća lokacija
- oskudan ili nedostupan i zato skup prirodan agregat
- potražnja za proizvodima.
- Jedno od najvećih postrojenja za reciklažu je locirano u Berlinu.

Na povećanje treoškova utiče i zagađenost drobljenog loma drvetom, plastikom, metalom, gipsom i dr. Štetne materije je potrebno odstraniti pre korišćenja recikliranog agregata za proizvodnju novog betona.

Na osnovu ispitivanja sprovedenih u Holandiji, prema literaturi [24] strukturu troškova pri upotrebi recikliranog agregata čine:

- priprema objekta za rušenje
- rušenje
- odvoženje materijala na deponiju
- odvoženje materijala do postrojenja za reciklažu
- proizvodnja recikliranog agregata
- troškovi transporta do gradilišta.

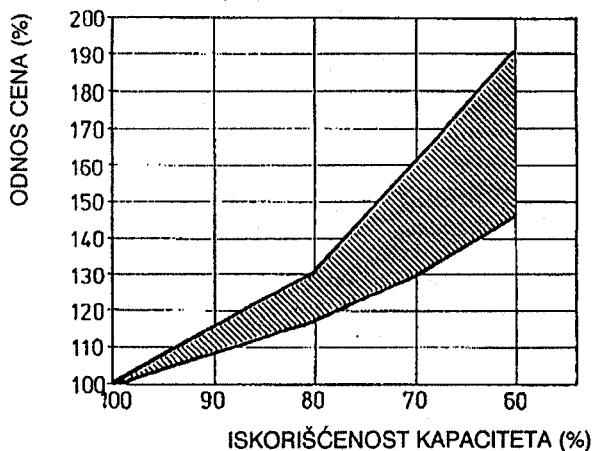
Da bi reciklirani agregat bio konkurentan potrebno ga je prodavati po 25 % manjoj ceni od sadašnje u Holandiji, odnosno 50 % u Velikoj Britaniji [24].

U sadašnjem trenutku upotreba recikliranog agregata je opravdana u niskogradnji, dok nema ekonomske

opravdanosti za njegovu upotrebu u proizvodnji novog betona s obzirom na cenu i kvalitet betona koji se ne može porediti sa običnim betonom.

6.2. Ekonomski aspekt reciklaže opeke

Na smanjenje cene recikliranog agregata prema [24] utiče zaposlenost postrojenja za reciklažu. Na slici 3 je prikazana zavisnost cene agregata u zavisnosti od iskorišćenosti postrojenja za njegovo dobijanje.



Sl. 3. Zavisnost cene recikliranog agregata i

iskorišćenosti postrojenja za njegovu proizvodnju [24]

Na ukupnu cenu recikliranog agregata utiču i troškovi njegovog skladištenja i transporta.

7. ENERGETSKI ASPEKT PRIMENE RECIKLIRANOG AGREGATA

Energija koja se troši za spravljanje betona je ista bez obzira da li je u pitanju prirodni ili reciklirani agregat. Kod proizvodnje recikliranog agregata energija se troši na rušenje objekta, prenos materijala do postrojenja za drobljenje, drobljenje, prosejavanje i transport do gradilišta. Prema podacima iz literature [17] utrošak energije pri upotrebi recikliranog agregata je neznatno veći ako se prirodni agregat transportuje na malu razdaljinu. U slučaju da se prirodni agregat transportuje

na razdaljinu od oko 80 km, a stari beton vozi do postrojenja za preradu oko 15 km, povećanje utroška energije za proizvodnju recikliranog agregata iznosi preko 20 %.

8. KARAKTERISTIKE BETONA NA BAZI RECIKLIRANOG AGREGATA

8.1 Svojstva svežeg betona

Na osnovu ispitivanja [64] dobijeno je da je procenat uvučenog vazduha kod svežeg betona na bazi recikliranog betona veći nego kod običnog betona. Zapreminska masa svežeg betona se kretala od 2020 do 2210 kg/m³, odnosno 5-15 % manje u odnosu na običan beton.

Prema [26] i [28] nema značajnije razlike u procentu uvučenog vazduha betona sa agregatom od recikliranog betona u odnosu na običan beton. Zapreminska masa svežeg betona sa recikliranim agregatom je dostizala oko 95 % zapreminske mase običnog betona.

Na osnovu podataka iz literature [7] beton sa agregatom od drobljene opeke je mnogo obradljiviji ako se sitna frakcija ne zameni prirodnim agregatom.

Zapreminska masa svežeg betona se prema [7] kreće od 1780 - 2100 kg/m³, što zavisi od vrste drobljene opeke i da li je sitna frakcija zamenjena prirodnim peskom.

Količina uvučenog vazduha se kreće od 1.5 % [7] do 6.2 % [9].

8.2 Čvrstoća pri pritisku

Prema podacima iz literature [24], čvrstoća pri pritisku betona spravljenog sa recikliranim krupnim agregatom i prirodnim peskom dostigla je najviše 95 % od čvrstoće betona od koga je dobijen agregat.

Na osnovu ispitivanja [3] dobijeno je da beton koji sadrži 50 % recikliranog sitnog agregata dostiže 10 - 20 % manju čvrstoću u odnosu na beton spravljen sa prirodnim peskom. U slučaju korišćenja samo recikliranog sitnog agregata od betona čvrstoća pri pritisku je smanjena 20 - 40 % u odnosu na beton spravljen sa prirodnim peskom.

Tabela 4. Vrednosti čvrstoće pri pritisku betona u zavisnosti od čvrstoće betona od koga se dobija reciklirani agregat [3]

Čvrstoća pri pritisku betona (MPa)				
w/c	Prirodan krupan i sitan agregat	Recikliran krupan agregat i 100 % prirodan pesak	Recikliran krupan agregat, 50 % recikliranog sitnog agregata i 50 % prirodnog peska	Recikliran krupan agregat i 100 % recikliran sitan agregat
0.45	37.5	37.0	34.0	30.0
0.55	28.9	28.5	25.0	21.5
0.68	22.0	21.0	17.5	13.0

Prema [35], [107] i [108] betoni na bazi drobljene opeke sa zapreminskom masom od 1000 - 2100 kg/m³ imaju čvrstoću pri pritisku od 2 do 32 MPa.

Na osnovu ispitivanja uzoraka oblika kocke sa ivicama dužine 15 cm dobijene su čvrstoće pri pritisku

od 5 MPa kod monozrnog betona do oko 25 MPa kod betona sa frakcijom 0/2 od rečnog peska [72] i [84].

Prema podacima iz literature [7] najveću čvrstoću pri pritisku je postizao beton kod koga je efektivni vodocementni odnos iznosio 0.4.

Na osnovu ispitivanja za beton sa konstantnom količinom cementa od 350 kg/m³ prema [4], [7] i [24] dobijena je linearna zavisnost između zapremine mase zrna agregata i čvrstoće pri pritisku.

Tek kod betona kod koga je sadržaj prirodnog peska veći od 700 kg/m³ može se govoriti o njegovom uticaju na povećanje čvrstoće pri pritisku [7].

Prema [24] na čvrstoću pri pritisku betona vema mali uticaj ima čvrstoća agregata ako se radi o betonima sa količinom cementa od 200 do 270 kg/m³. Ako je pak reč o betonima kod kojih sadržaj cementa iznosi 350 kg/m³, tada postoji korelacija između čvrstoće pri pritisku betona i čvrstoće agregata.

Ispitivanjem čvrstoće betona starosti 90 dana dobijena je za 30 - 40 % veća vrednost nego pri starosti od 28 dana [7]. Ovo se objašnjava pucolanskom aktivnošću sitne frakcije.

Prema [56] betoni na bazi čistog opekarskog loma su dobijali tokom vremena prirast čvrstoće i preko 100 %. To se objašnjava pucolanskim aktiviranjem agregata iako nije samleven u fini prah, kao i poboljšavanjem kontaktnog sloja agregat - cementni kamen. Za beton sa sitnim i krupnim agregatom od opekarskog loma dobijena je vrednost čvrstoće pri pritisku posle 22 meseca od 56.43 MPa, u odnosu na 33.00 MPa koliko je iznosila posle 28 dana.

8.3 Čvrstoća na zatezanje

Prema podacima iz literature [24] čvrstoća na zatezanje pri savijanju pri upotrebi recikliranog agregata od betona se smanjuje i do 26 % u odnosu na običan beton. U slučaju korišćenja prirodnog peska to smanjenje je manje i kreće se do 10 %.

Ako se koristi reciklirani agregata na bazi drobljene opeke zatezna, savojna i čvrstoća na zatezanje cepanjem su oko 10 % veće u odnosu na običan beton [1].

Ispitivanjem čvrstoće na zatezanje pri savijanju dobijene su vrednosti od 1.8 MPa do 2.8 MPa, prema [72] i [84].

Prema [56] čvrstoća na zatezanje pri savijanju za beton na bazi čistog opekarskog loma je iznosila 6.95 MPa, a čvrstoća pri čistom zatezanju 3.51 MPa.

8.4 Zavisnost napona i deformacija

Prema [24] beton na bazi recikliranog agregata ima $\sigma - \varepsilon$ dijagram sličnog oblika kao običan beton. To je zato što je ovakav beton projektovan u skladu sa pravilima za projektovanje sastava običnog betona.

8.5 Statički modul elastičnosti

Pri opterećenju i agregat i matriks primaju iste podužne deformacije i učestvuju u prenošenju opterećenja srazmerno svojoj krutosti.

Prema [92] modul elastičnosti kompozita kod lakoagregatnog betona u mnogo većoj meri zavisi od čvrstoće agregata nego kod običnog betona. Modul elastičnosti lakoagregatnog betona raste sa porastom sadržaja cementnog kamena.

$$E_{lb} = V_m E_m + V_{ag} E_{ag} \quad (1)$$

E_{lb} - modul elastičnosti lakog betona

E_m - modul elastičnosti cementnog matriksa

E_{ag} - modul elastičnosti agregata

V_{lb} - zapremina lakog betona = 1m³

V_m - zapremina matriksa u jedinici zapremine kompozita (m³)

V_{ag} - zapremina agregata u jedinici zapremine kompozita (m³)

Modul elastičnosti betona na bazi recikliranog agregata od betona je uvek manji od betona spravljenih sa prirodnim agregatom, što se objašnjava sadržajem starog cementnog kamena u drobljenom agregatu. Na osnovu literature [24] to smanjenje iznosi 25 - 40 %.

Prema podacima iz literature [72] i [84] vrednosti modula elastičnosti betona sa drobljenom opekam su se kretale od 7.2 do 14.2 GPa.

Na osnovu podataka iz literature [24] kod betona sa drobljenom opekam modul elastičnosti dostiže vrednost između polovine i dve trećine modula elastičnosti običnog betona iste čvrstoće.

8.6 Skupljanje i tečenje

Beton spravljen sa recikliranim krupnim agregatom od betona i prirodnim peskom prema podacima iz literature [24] pokazuje 50 % veće skupljanje od običnog betona, dok kod upotrebe recikliranog i krupnog i sitnog agregata to povećanje iznosi 70 %.

Vrednosti skupljanja betona na bazi reciklirane opeke su nešto veća nego kod običnih betona, ali krive imaju sporiji prirast do 28 dana [72] i [84]. Ovo se može tumačiti prisustvom "zarobljene" vode u materijalu, prvenstveno u drobljenom agregatu, koja se postepeno gubi, čime se stvara "vlažna atmosfera" koja utiče na usporavanja procesa.

Beton na bazi drobljene opeke ima veće skupljanje od običnog betona, što se može objasniti manjim modulom elastičnosti agregata, te i smanjenom otpornošću na deformacije skupljanja cementne paste [24]. Vrednost skupljanja betona sa recikliranim agregatom od opeke je 20 - 60 % veća nego kod običnog betona.

Prema [9] deformacije tečenja za betone sa krupnim agregatom od drobljene opeke i prirodnim peskom posle 11 meseci su iznosile oko 0.7 mm/m.

8.7 Ostale osobine betona na bazi recikliranog agregata

Prema [24] upijanje betona na bazi recikliranog agregata je i do tri puta veće nego kod običnog betona. To se može objasniti većim sadržajem poroznog agregata.

Na osnovu ispitivanja prikazanih u [56] dobijeno upijanje vode betona na bazi čistog opekarskog loma je iznosilo 13.65 %.

Za betone sa agregatom od drobljene opeke ili kombinacijom rečnog peska i drobljene opeke koeficijent toplotne provodljivosti λ se kretao u rasponu od 0.5 - 0.75 W/m²K [72]. Ovaj koeficijent je funkcija ostvarene zapreminske mase betona.

Prema podacima iz literature [24] za beton na bazi drobljene opeke zapreminske mase 1630 kg/m³ koeficijent toplotne provodljivosti λ je imao vrednost 0.77 W/m²K, što je mnogo bolje nego kod običnog betona gde se taj koeficijent kreće oko 1.75 W/m²K.

Beton na bazi drobljenog agregata pokazuje slabiju otpornost prema dejstvu mraza od običnog betona, s tim da kod betona kod koga je i sitna frakcija od recikliranog agregata do oštećenja dolazi mnogo brže. Prema [24] posle 25 ciklusa smrzavanja i kravljenja beton na bazi drobljene opeke upija dva puta više vode nego običan beton. Zato se preporučuje da ako se beton koristi za spoljne zidove mora biti zaštićen od natapanja.

Ispitivanjem betona na bazi čistog opekarskog loma se već posle 35 ciklusa uočilo značajno smanjenje fizičko - mehaničkih karakteristika [56].

Prema podacima iz literature [9] ispitivanjem vodonepropustljivosti betona na bazi drobljene opeke prema standardu DIN 1048 (pritisak vode 2 dana od 1 bar, 1 dan od 3 bar i 1 dan od 7 bar) dobijen je prodor vode za oko 50 % veći nego kod običnog betona.

Ispitivanjem vodonepropustljivosti betona na bazi drobljene opeke sa maksimalnim zrnom agregata od 16

mm, prema jugoslovenskom standardu JUS U.M1.015 pri pritisku od 16 bar je dobijen prodor vode od svega 1.0 cm [56]. To se objašnjava izuzetnom kompaktnošću cementnog kamena, koja se dobija usled aktiviranja pucolanskih svojstava sitne frakcije, tako da voda koja se nalazi u pornom sistemu betona nije pokretljiva [56].

Prema podacima iz literature [82] neme značajne razlike u otpornosti na dejstvo morske vode (sulfatna otpornost) betona na bazi recikliranog agregata i običnog betona.

Beton na bazi drobljenene opeke je prema [24] otporan na dejstvo požara ako je dovoljno suv. Manji koeficijent toplotne provodljivosti i manji modul elastičnosti utiču na povećanje vatrootpornosti ovakvih betona.

9. NEKI REZULTATI SOPSTVENIH ISTRAŽIVANJA

9.1 Agregat

Kao agregat za dobijanje betona korišćena je stara opeka. Materijal je ručno očišćen od starog cementnog kamena, zdrobljen, a zatim separisan u frakcije 0/4, 4/8, 8/16 i 16/32 mm [39], [46].

Tabela 5. Rezultati ispitivanja agregata

	Prolaz na situ (mm) u % mase												
	Frakcija	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	11.2	16	22.4	31.5	
Suvo prosejavanje I _a faza	0/4	9	14	26	42	72	98	100	100	100	100	100	
	4/8	-	-	-	-	2	10	97	100	100	100	100	
	8/16	-	-	-	-	-	0	5	58	100	100	100	
	16/32	-	-	-	-	-	-	-	0	17	69	100	
Mokro prosejavanje I _a faza	Prolaz na situ (mm) u % mase												
	0.063	0.090	0.125	0.250	1	-							
	7.2	8.6	10.2	15.0	43.4	100							
Suvo prosejavanje I _b faza	Prolaz na situ (mm) u % mase												
	Frakcija	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	11.2	16	22.4	31.5	
	0/4	21	30	43	57	80	99	100	100	100	100	100	
	4/8	-	-	-	-	3	8	94	100	100	100	100	
	8/16	-	-	-	-	-	1	10	56	99	100	100	
	16/32	-	-	-	-	-	-	-	2	23	77	100	
Mokro prosejavanje I _b faza	Prolaz na situ (mm) u % mase												
	0.063	0.090	0.125	0.250	1	-							
	17.6	20.8	24.4	33.2	57.2	100							
Frakcija				0/4	4/8	8/16	16/32						
Zapreminska masa zrna (kg/m ³)				1618	1758	1611	1642						
Zapreminska masa u zbijenom stanju (kg/m ³)				1216	1011	1010	1010						
Zapreminska masa u rastresitom stanju (kg/m ³)				1017	907	850	830						
Upijanje vode (%)				21.8	21.2	20.1	18.8						
Upijanje vode posle 30' (%)				17.7	17.1	17.4	15.2						
Organske materije				svetliji	svetliji	-	-						
Sadržaj grudvi gline				0	0	0	0						
Oblik zrna				-	0.14	0.16	0.17						

Uslovi kvaliteta agregata su proveravani prema standardu JUS B.B2.010. Granulometrijski sastav agregata je određen metodom suvog sejanja prema standardu JUS B.B8.029, a količina sitnih čestica mokrim sejanjem prema standardu JUS B.B8.036. Zapreminska masa u rastresitom i zbijenom stanju određena je prema standardu JUS B.B8.030. Zapreminska masa zrna agregata i upijanje vode je određeno prema standardu JUS B.B8.031. Oblik zrna agregata određen je metodom zapreminskog koeficijenta prema standardu JUS B.B8.049. Sadržaj organskih materija određen je kolorimetrijskom metodom prema standardu JUS B.B8.039, a sadržaj grudvi gline prema standardu JUS B.B8.038. Rezultati ispitivanja agregata su prikazani u tabeli 5.

9.2 Beton

Posmatrano je 12 vrsta betona. Beton je spravljan sa 350 ili 250 kg/m³ cementa, sa ili bez rečnog peska, bez polimera ili sa dodatkom 4 ili 8 % polimera (sadržaj suve materije u disperziji u odnosu na količinu cementa), kako je to prikazano u tabeli 6.

Betoni su negovani 1 dan u vlažnoj sredini, 6 dana u vodi, a zatim su izlagani vazduhu.

Primenjena je sledeća tehnologija spravljanja betona: suvoj mešavini agregata i cementa je dodato 2/3 projektovane vode, nastavljeno mešanje i na kraju dodata preostala trećina vode, pomešana sa polimernom disperzijom kod modifikovanih betona.

Tabela 6. Karakteristike betona

Agregat	Sadržaj cementa (kg/m ³)	Polimercementni odnos (%)		
		0	4	8
Drobljena opeka	350	A	B	C
	250	D	E	F
Kombinacija drobljene opeke i rečnog peska	350	G	H	I
	250	J	K	L

Na svežem betonu je ispitivana:

- konzistencija (metodom sleganja)
- zapreminska masa u svežem stanju
- sadržaj uvučenog vazduha
- vreme vezivanja za betona A, B i C.

Na očvrslom betonu je ispitivana:

- zapreminska masa
- čvrstoća pri pritisku
- čvrstoća na zatezanje
- statički modul elastičnosti
- dinamički modul elastičnosti
- zavisnost napona i deformacija
- vodonepropustljivost
- otpornost prema dejstvu mraza nedestruktivnom metodom
 - otpornost prema dejstvu mraza destruktivnom metodom za betone A, B, C i E
 - skupljanje
 - tečenje za betone A, B, C i E

- koeficijent toplotne provodljivosti za betone A, C, E, H, J i L.

Čvrstoća pri pritisku je određivana na kockama ivice 15 cm, a čvrstoća na zatezanje određena je savijanjem prizmi dimenzija 15 x 15 x 60 cm, na uzorcima starim 7, 28, 91 i 180 dana. Za sve betone i starosti ispitivanje je vršeno na po 3 uzoraka.

Na cilindričnim uzorcima d/h = 15/30 starim 28 dana određen je statički modul elastičnosti pritiskom. Za sve betone i starosti ispitivanje je vršeno na po 3 uzoraka.

Dinamički modul elastičnosti betona određen je metodom rezonantne frekvencije na prizmatičnim uzorcima dimenzija 12 x 12 x 36 cm starosti 28 dana. Za sve betone ispitivanje je vršeno na po 3 uzoraka.

Za ispitivanje zavisnosti napona i deformacija pri starosti od 28 dana korišćeni su prizmatični uzorci dimenzija 12 x 12 x 36 cm. Za sve betone ispitivanje je vršeno na po 2 uzoraka.

Ispitivanje vodonepropustljivost betona je izvršeno na cilindričnim uzorcima d/h = 15/15. Za sve betone ispitivanje je vršeno na seriji od 6 uzoraka. Na početku ispitivanja uzorci su bili stari 28 dana.

Određivanje otpornosti prema dejstvu mraza nedestruktivnom metodom (preko dinamičkog modula elastičnosti) je izvršeno na prizmatičnim uzorcima dimenzija 12 x 12 x 36 cm. Za sve betone ispitivanje je vršeno na po 3 uzoraka. Na početku ispitivanja uzorci su bili stari 28 dana.

Određivanje otpornosti prema dejstvu mraza destruktivnom metodom vršeno je za betone A, B, C i E na kockama ivice 15 cm, na seriji od 15 uzoraka. Na početku ispitivanja uzorci su bili stari 28 dana.

Skupljanje svih betona je praćeno na po 3 prizmatična uzorka dimenzija 12 x 12 x 36 cm, pri starosti od 4, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77, 84, 91, 120, 150 i 180 dana.

Tečenje je ispitivano na po 3 prizmatična uzorka dimenzija 12 x 12 x 36 cm za betone A, B, C i E. Uzorci su opterećeni pri starosti od 28 dana, a deformacije tečenja su merene 7, 14, 21 (za betone B i E), 28, 56, 91 i 150 dana posle nanošenja opterećenja.

Koeficijent toplotne provodljivosti određen je na po dve ploče dimenzija 75 x 75 x 5 cm za betone A, C, E, H, J i L. Na početku ispitivanja uzorci su bili stari 28 dana.

U tabeli 7 su prikazani rezultati ispitivanja svojstava betona.

Tabela 7. Rezultati ispitivanja betona

Vrsta betona	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ω_{br}	0.86	0.81	0.82	1.12	1.12	1.13	0.71	0.68	0.69	0.84	0.80	0.81
Sadr. vazduha (%)	3.0	3.5	3.6	2.9	3.2	3.5	2.3	2.6	2.7	3.0	3.4	3.6
Zapr. masa vežeg betona (kg/m^3)	1994	1965	1981	1972	1940	1948	2135	2121	2132	2109	2043	2060
Zapr. masa posle 6 meseci (kg/m^3)	1826	1768	1753	1789	1768	1782	1987	2000	1998	1968	1950	1966
Pritisna čvrst. na 28 dana (MPa)	28.4	20.9	23.0	19.0	20.3	15.9	24.5	27.0	24.3	21.6	24.1	15.7
Pritisna čvrst. na 6 meseci (MPa)	31.7	28.4	22.2	24.0	26.4	22.8	32.7	30.2	37.0	27.5	38.1	35.3
Zatezna čvrst. na 28 dana (MPa)	1.9	2.2	2.0	2.3	2.2	2.1	3.4	3.1	3.6	2.6	2.8	2.5
Zatezna čvrst. na 6 meseci (MPa)	3.0	3.0	2.8	3.7	3.1	3.5	4.5	3.6	3.9	4.0	4.1	4.6
Gr. dilat. (mm/m)	1.55	1.70	1.88	1.60	2.05	1.72	1.54	1.42	1.56	1.26	1.32	0.97
Statički modul elastičnosti (GPa)	14.5	11.1	11.6	13.6	11.7	11.5	17.7	17.6	16.7	16.4	17.0	15.4
Din. modul (GPa)	17.4	15.2	16.0	17.6	15.1	14.0	22.0	22.3	21.6	22.3	20.5	19.4
Marka VDP	V-12	V-12	V-12	V-8	V-12	V-12	V-12	V-12	V-6	V-8	V-12	V-12
Maks. prodor (cm)	12	8	6	-	8.5	8	10	3.5	-	-	14	13
Marka mraza	M-100	M-100	M-150	M-50	M-150	M-50	M-50	M-50	M-100	M-50	M-100	M-50
Br. ciklusa	125	125	150	50	150	75	75	75	100	50	125	75
Skupljanje posle 6 meseci (mm/m)	1.187	1.153	1.132	1.132	1.134	1.015	0.834	0.792	0.547	0.738	0.772	0.647
Tečenje posle 5 meseci (mm/m)	0.94	0.94	0.98	-	1.08	-	-	-	-	-	-	-
Koefic. toplotne provod. ($W/m^{\circ}K$)	0.778	-	0.762	-	0.707	-	-	0.913	-	0.984	-	0.850

10. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Pripreme lokacije za građenje objekata u naseljima, najčešće uključuju i namensko rušenje postojećih, manje ili više dotrajalih zgrada. Pri modernizaciji vitalnih gradskih zona, posebno gusto naseljenih centralnih delova, potrebna namenska rušenja često su velikog obima. Namenska rušenja se preduzimaju i kada se postojeći objekti, zbog degradacije u toku vremena, nalaze na kraju svog eksploatacionog veka, a utvrdi se da je njihova zamena novim objektima tehnički, organizaciono i ekonomski povoljnija alternativa od predstojeće neophodne sanacije.

Veoma su uspešni rezultati dosadašnjih istraživanja i praktične primene betona na bazi reciklirane opeke i betona i oni predstavljaju realnu šansu za budućnost.

Rezultati sopstvenih istraživanja pokazuju da je primenom agregata na bazi reciklirane opeke moguće dobiti beton zadovoljavajućih čvrstoća i dobrih termičkih i audio izolacionih svojstava, sa velikim mogućnostima praktične primene. Korišćenjem reciklirane opeke štedi se na transportu, jer se šut ne vozi na deponiju, van grada, već samo do proizvođača betona i elemenata u samom gradu.

Beton na bazi reciklirane opeke predstavlja termoizolacioni materijal, pri čemu blokovi proizvedeni od njega mogu da imaju i konstruktivnu ulogu u nosećim zidovima zgrada. Ove betone je moguće i armirati, pa se osim za pune i šuplje blokove za zidanje mogu koristiti i

za spravljanje montažnih armiranobetonskih gredica manjih raspona.

11. LITERATURA

- [1] Akhtaruzzaman, A. A. and Hasnat, A., (1983.) PROPERTIES OF CONCRETE USING CRUSHED BRICKS AS AGGREGATE, Concrete International 2/83, USA
- [2] B.C.S.J., (1977.), PROPOSED STANDARD FOR THE USE OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE, Building Contractors Society of Japan, Committee on Disposal and Reuse of Construction Waste (English version published in 1981)
- [3] B.C.S.J., (1978.), STUDY ON RECYCLED AGGREGATE AND RECYCLED AGGREGATE CONCRETE, Building Contractors Society of Japan, Summary in Concrete Journal, Japan, 16, No. 7
- [4] Bellstedt und Schlegel., (1950.), UBER DIE EIGNUNG VON ZIEGELSPLITTBETON FUR BEWEHRTE BAUTEILE, Mitteilungen der Deutschen Studiengesellschaft für Trummerverwertung, Nr. 33, Die Bauwirtschaft
- [5] Boesmans, B., (1985.), CRUSHING AND SEPARATING TECHNIQUES FOR DEMOLITION MATERIAL, EDA / RILEM Demo -

- Recycling Conference, Proc. Vol. 2 Re - Use of Concrete and Brick Materials, Rotterdam
- [6] *Collins, R. J.*, (1993.), REUSE OF DEMOLITION MATERIALS IN RELATION TO SPECIFICATIONS IN THE UK, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark
- [7] *Charisius, K., Drechsel, W. und Hummel, A.*, (1952.), ZIGELSPLITTBETON, DAFStb, Heft 110, Berlin
- [8] *CUR*, (1986.), BETONPUINGRANULAATEN METSELWERKPUINS GRANULAAT ALS TOESLAGSMATERIAAL VAN BETON, Commissie voor Uitvoering van Research ingesteld door de Betonvereniging, Rapport 125, The Netherland
- [9] *CUR/VB Onderzoekcommissie B 29 Hergebruik beton - en metselwerkpuin*, (1983.), GRANULAT VAN BETON - EN METSELWERKPUIN ALS TOESLAGMATERIAL VOOR BETON, Interim Rapport, 83/1, The Netherland
- [10] *Delwae M., Fahmy, M., and Taha R.*, (1997.), USE OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT AS AN AGGREGATE IN PORTLAND CEMENT CONCRETE, ACI Materials Journal / May-June '97, USA
- [11] (1988.), DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY, Proceedings of Second International RILEM Symposium, Tokyo
- [12] (1993.), DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY, Proceedings of Third International RILEM Symposium, Odense, Denmark
- [13] *Drpić, M. i Janković, K.* (1999): "THERMAL CONDUCTIVITY OF CONCRETE WITH RECYCLED BRICKS AS AGGREGATE", Proceedings Of The International Congress "CREATING WITH CONCRETE", Dundee, UK, Book "Utilizing ready-mixed concrete mortar", 157-166
- [14] *Drpić, M. i Janković, K.*, (1999): "Toplotna provodljivost LC betona sa recikliranom opekom kao agregatom", SMEITS, KGH, Beograd, 386-390
- [15] (1994.) EVROKOD 2 (EC2): PRORAČUN BETONSKIH KONSTRUKCIJA, (editor Ž. Perišić), Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd
- [16] *Eberlein, H. G.*, (1950.), ERFABRUGEN MIT DER STUTTGARTER NASSAUFBEREITUNGSANLAGE, Mitteilungen der Deutschen Studiengesellschaft fur Trummerverwertung, Nr. 16, Die Bauwirtschaft 4
- [17] *Fergus, J. S.*, (1981.), LABORATORY INVESTIGATION AND MIX PROPORTIONS FOR UTILIZING RECYCLED PORTLAND CEMENT CONCRETE AS AGGREGATE, Proceedings of the National Seminar on PCC Pavement recycling and rehabilitation, St. Louis, Missouri, USA
- [18] *Gaede, K.*, (1952.), SO₃ - GEHALT DER ZUSCHLAGSTOFFE, EINFLUSS AUF DIE FESTIGKEIT VON ZEMENTMORTEL UND BETON, W. Ernest & Sohn, Berlin, Aus: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses fur Stahkbeton, Nr. 109
- [19] *Garbotz, H. J.*, (1950.), DIE PRAXIS DER TRUMMERAUFBEREITUNG, Aus: Mitteilungen der Deutschen Studiengesellschaft fur Trummerverwertung, Nr. 39
- [20] *Gerardu, J. J. A. and Hendriks, C. F.*, (1985.), RECYCLING OF ROAD PAVEMENT MATERIALS IN THE NETHERLANDS, Rijkswaterstaat Communidations No. 38, The Hague
- [21] *Ghio, V. A., and Thenoux G.*, (1996.), LIGHTWEIGHT CONCRETE FOR PREFABRICATED MODULAR HOUSING, Concrete International 11/96, USA
- [22] *Graf, O.*, (1949.), AUS NEUEN VERSUCHEN UBER EINFLUSS DES GIPSGEHALTES DER BETONZUSCHLAGSTOFFE AUF DIE RAUMANDERUNG DES BETONS, Mitteilungen der Deutschen Studiengesellschaft fur Trummerverwertung, Nr. 16, Die Bauwirtschaft
- [23] *Hansen, H.*, (1993.), A METHOD FOR TOTAL REUTILIZATION OF MASONRY BY CRUSHING, BURNING, SHAPING AND AUTOSLAVING, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark
- [24] *Hansen, T.*, (1992.), RECYCLING OF DEMOLISHED CONCRETE AND MASONRY, Report of Technical Committee 37-DRC Demolition and Reuse of Concrete, RILEM, E & FN SPON, London
- [25] *Hansen, T. C.*, (1985.), SECOND STATE - OF - ART REPORT ON RECYCLED AGGREGATES AND RECYCLED AGGREGATE CONCRETE, RILLEM TC 37-DRC Draft report
- [26] *Hansen, T. C. and Narud, H.*, (1983.), STRENGTH OF RECYCLED CONCRETE MADE FROM CRUSHED CONCRETE COARSE AGGREGATE, Concrete International - Design and Construction, 5, No. 1
- [27] *Heimsoth, W.*, (1984.), ERFABRUGEN MIT EINER TROCKENEN BAUSCHUTTAUFBEREITUNGSANLAGE, Vortrag, 4. Internationaler Recycling Congress, Vortragsband, EF - Verlag fur Energie - u, Umwelttechnik, Berlin
- [28] *Hedegaard, S.*, (1981.), RECYCLING OF CONCRETE WITH ADDITIVES, M. Sc. thesis, Technical Report 116/82, Building Materials Laboratory, Technical University of Denmark, Lyngby
- [29] *Hendriks, C. F.*, (1985.), THE USE OF CONCRETE AND MASONRY WASTE AS AGGREGATES FOR CONCRETE PRODUCTION IN THE NETHERLANDS, EDA / RILEM Demo - Recycling Conference, Proc. Vol. 2 Re - Use of Concrete and Brick Materials, Rotterdam
- [30] *Henrichsen, A.*, (1992.), PROPERTIES OF CONCRETE WITH RECYCLED AGGREGATES, International Conference on Concrete, Teheran

- [31] *Henrichsen, A.*, (1993.), REPORT ON UNIFIED SPECIFICATIONS FOR RECYCLED COARSE AGGREGATES FOR CONCRETE, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark
- [32] *Heussner, A.*, (1949.), VERWENDBARKEIT VON ZIEGELSPLITTBETON IM BETON UND STAHLBETONBAU, Bauplanung und Bautechnik 3
- [33] *Hoffmeister, K.*, (1948.), NASSAUFBEREITUNG ALS MITTEL ZUR WEITGEHENDEN TRUMMERVWERTUNG, Mitteilungen der Deutschen Studiengesellschaft für Trummervwertung, Nr. 14, Die Bauwirtschaft
- [34] *Hoffmeister, C.*, (1948.), UNTERSUCHUNG VON BAUTRUMMERN, Mitteilungen der Deutschen Studiengesellschaft für Trummervwertung, Nr. 6, Die Bauwirtschaft 2
- [35] *Hummel, A.*, (1959.), DAS BETON - ABC, 12. Aufl., Verlag W. Ernest & Sohn, Berlin
- [36] (1995.), ISO CEN/TC 89/WG 2 N 422: BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS - ENERGY RELATED PROPERTIES - TABULATED DESIGN VALUES
- [37] (1988.), ISO TR 9165 - PRACTICAL THERMAL PROPERTIES OF BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS
- [38] *Janković, K.*, (1997.), POLYMER MODIFIED CONCRETE BASED ON RECYCLED BRICKS - CHOICE OF CURING, VII naučni skup "INDIS" i "CIB W-63", FTN-IIG-Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Zbornik radova, Knjiga II
- [39] *Janković, K.* (1998): POLIMEROM MODIFIKOVANI BETONI NA BAZI RECIKLIRANE OPEKE, doktorska disertacija, Građevinski fakultet u Beogradu
- [40] *Janković, K.* (1999): IZBOR TEHNOLOGIJE IZRADE I REŽIMA NEGE POLIMEROM MODIFIKOVANOG BETONA NA BAZI RECIKLIRANE OPEKE, *Izgradnja br. 5/99*, Beograd, 115-122
- [41] *Janković, K.* (1999): POSSIBILITIES OF USING RECYCLED BRICK AS CONCRETE AGGREGATE, UNCHS (HABITAT), Report of Regional Workshop On Housing And Environment: "The role of the private sector in housing supply and Environment - friendly construction practices", Vienna, Austria, 192-195
- [42] *Janković, K.* (2000): MOGUĆNOST KORIŠĆENJA RECIKLIRANE OPEKE KAO AGREGATA ZA BETON, *Saopštenja br. 1*, Institut IMS, Beograd, 56-60
- [43] *Janković, K.* (2000): NEKA SVOJSTVA BETONA NA BAZI RECIKLIRANE OPEKE, *Izgradnja br. 2-3/00*, Beograd, 66-69
- [44] *Janković, K.* (2000): NEKA SVOJSTVA BETONA SA RECIKLIRANOM OPEKOM KAO AGREGATOM, *Materijali i konstrukcije br. 1-2*, Beograd, 32-34
- [45] *Janković, K.* (2000): POSSIBILITIES OF USING RECYCLED BRICK AS CONCRETE AGGREGATE, FTN-IAG-Univerzitet u Novom Sadu, VIII NAUČNI SKUP: "INDIS", Novi Sad, Zbornik radova, Knjiga II, 89-96
- [46] *Janković, K.* (2001): DROBLJENA OPEKA KAO AGREGAT ZA BETON, *Zadužbina Andrejević*, Beograd
- [47] *Janković, K.* (2001): RECYCLED AGGREGATE CONCRETE, *ENRY 2001*, Beograd,
- [48] *Janković, K.* (2002): MODUL ELASTIČNOSTI BETONA SA AGREGATOM OD RECIKLIRANE OPEKE, *Izgradnja br. 9/02*, Beograd, 275-278
- [49] *Janković, K.* (2002): OTPORNOST PREMA DEJSTVU VODE I MRAZA BETONA OD RECIKLIRANE OPEKE, JUDIMK, XXII KONGRES JUDIMK, Niška Banja, 67-72
- [50] *Janković, K.* (2002): USING RECYCLED BRICK AS CONCRETE AGGREGATE, Proceedings Of The International Congress "Challenges Of Concrete Construction", Dundee, UK, Book "Sustainable Concrete Construction", 231-240
- [51] *Janković, K. i Drpić, M.* (2001): TOPLOTNA PROVODLJIVOST BETONA SA AGREGATOM OD RECIKLIRANE OPEKE, *Izgradnja br. 6/01*, Beograd, 239-241
- [52] *Janković, K., Lončar, Lj., Kačarević, Z. i Romakov, Z.* (1998): MOGUĆNOST PRIMENE OTPADNOG MATERIJALA U PROIZVODNJI BETONA, XXIV SYM-OP-IS, Herceg Novi, 899-902
- [53] *Kaga, H., Kasai Y., Takeda, K. and Kemi, T.*, (1988.), PROPERTIES OF RECYCLED AGGREGATE FROM CONCRETE, Proceedings of Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Tokyo
- [54] *Kasai, Y.*, (1993.), GUIDELINES AND PRESENT STATE OF THE REUSE OF DEMOLISHED CONCRETE IN JAPAN, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark
- [55] *Kasai, Y.*, (1985.), STUDIES INTO THE REUSE OF DEMOLISHED CONCRETE IN JAPAN, EDA / RILEM Demo - Recycling Conference, Proc. Vol. 2 Re - Use of Concrete and Brick Materials, Rotterdam
- [56] *Kekanović, M.*, (1998.), MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA OPEKARSKOG LOMA KAO AGREGATA - PUCOLANA ZA IZRADA BETONA, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd
- [57] *Kibert, C. J.*, (1993.), CONCRETE / MASONRY RECYCLING PROGRESS IN THE USA, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark
- [58] *Klopper, K.*, (1993.), SPECIAL TECHNIQUES FOR THE RECYCLING OF CONCRETE BASE PLATES (RAILWAY "SLEEPERS"), Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark
- [59] *Kristensen, P.*, (1993.), RECYCLING OF CLAY BRICKS, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark

- [60] Lahner, T. E. and Brunner, P. H., (1993.), BUILDINGS AS RESERVOIRS OF MATERIALS - THEIR REUSE AND IMPLICATIONS FOR FUTURE CONSTRUCTION DESIGN, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark
- [61] Morel, A., Gallias, J. L., Bauchard, M., Mana F. and Rousseau E., (1993.), PRACTICAL GUIDELINE FOR THE USE OF RECYCLED AGGREGATES IN CONCRETE IN FRANCE AND SPAIN, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark
- [62] Morlion, D., Venstermans, J. and Vyncke, J., (1988.), DEMOLITION OF THE ZANDVLIET LOCK AS AGGREGATES FOR CONCRETE, Proceedings of Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Tokyo
- [63] Mukai, T., Kikuchi, M. and Ishikawa, N., (1978.), STUDY ON THE PROPERTIES OF CONCRETE CONTAINING RECYCLED CONCRETE AGGREGATE, Cement Association of Japan, 32nd Review
- [64] Mukai, T. et al., (1979.), STUDY ON REUSE OF WASTE CONCRETE FOR AGGREGATE OF CONCRETE, Seminar on Energy and Resources Conservation in Concrete Technology, Japan - US Cooperative Science Program, San Francisco
- [65] Mulheron, M., (1988.), THE RECYCLING OF DEMOLITION DEBRIS: CURRENT PRACTICE, PRODUCTS AND STANDARDS IN THE UNITED KINGDOM, Proceedings of Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Tokyo
- [66] Muravljov, M., (1993.), OSNOVI TEORIJE I TEHNOLOGIJE BETONA, Građevinska knjiga, Beograd
- [67] Muravljov, M., Janković, K. i Kovačević, T., (1995.), EKOLOŠKO - ENERGETSKI ASPEKTI PRIMENE BETONA NA BAZI RECIKLIRANE OPEKE, Naučni skup "Unapređenje i dalji razvoj stanovanja u višespratnim stambenim zgradama - u uslovima različitih vlasničkih odnosa i tržišta", Niš
- [68] Muravljov, M. i Janković, K. (1998), NEKA SVOJSTVA BETONA NA BAZI OPEKARSKOG LOMA SA PROJEKCIJOM MOGUĆNOSTI PRIMENE U GRAĐEVINARSTVU, Katedra za primenu računara RGF Univerziteta u Beogradu, KoMSEKO '98, Kanjiža
- [69] Muravljov, M., Jevtić, D., ŽIVKOVIĆ, S. i Kovačević, T., (1990), NEKI REZULTATI ISPITIVANJA POLIMERIMA MODIFIKOVANIH MALTERA I BETONA, JUDIMK, XIX Kongres, Novi Sad
- [70] Muravljov, M., Pakvor, A. i Janković, K., (1997.), UTICAJ REŽIMA NEGE NA ČVRSTOĆU BETONA NA BAZI RECIKLIRANE OPEKE, Internacionalni simpozijum "Thnologija građenja - građevinski menadžment '97", Subotica
- [71] Muravljov, M., Pakvor, A. i Janković, K., (1998.), CURING INFLUENCE ON STRENGTH OF POLYMER MODIFIED CONCRETE BASED ON RECYCLED BRICKS, XIIIth FIP Congress, Amsterdam
- [72] Muravljov, M., Pakvor, A. i Kovačević, T., (1995.), ISPITIVANJA I PRIMENA BETONA NA BAZI RECIKLIRANE OPEKE, Stručni seminar "Savremena građevinska praksa '95", Novi Sad
- [73] Muravljov, M., Pakvor, A. i Janković, K. (1998): CURING INFLUENCE ON STRENGTH OF POLYMER MODIFIED CONCRETE BASED ON RECYCLED BRICKS, *Proceedings of the XIIIth fip Congress on Challenges for Concrete in the Next Millenium*, Amsterdam, Netherlands, Vol. 2, 561-564
- [74] Muravljov, M., Pakvor, A. i Janković, K. (1998): POLYMER INFLUENCE ON SOME PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE BASED ON RECYCLED BRICKS, *Proceedings Of The IXth International Congress On Polymers In Concrete*, Bolonja, Italija, 83-88
- [75] Muravljov, M., Janković, K. i Kovačević, T. (1995): EKOLOŠKO - ENERGETSKI ASPEKTI PRIMENE BETONA NA BAZI RECIKLIRANE OPEKE, GF-Univerzitet u Nišu, NAUČNI SKUP: "Unapređenje i dalji razvoj stanovanja u višespratnim stambenim zgradama - u uslovima različitih vlasničkih odnosa i tržišta", Niš, 383-390
- [76] Muravljov, M., Pakvor, A. i Janković, K. (1997): UTICAJ REŽIMA NEGE NA ČVRSTOĆU BETONA NA BAZI RECIKLIRANE OPEKE, GF Subotica -Univerzitet u Novom Sadu, INTERNACIONALNI SIMPOZIJUM: "Tehnologija građenja -građevinski menadžment '97", Subotica, 55-60
- [77] Muravljov, M. i Janković, K. (1998): NEKA SVOJSTVA BETONA NA BAZI OPEKARSKOG LOMA SA PROJEKCIJOM MOGUĆNOSTI PRIMENE U GRAĐEVINARSTVU, katedra za primenu računara RGF Univerziteta u Beogradu, KoMSEKO '98, Kanjiža, 209-213
- [78] Muravljov, M., Pakvor, A. i Janković, K. (2002): PHYSICAL - MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER MODIFIED CONCRETE WITH RECYCLED BRICK AS CONCRETE AGGREGATE, *Proceedings Of The First Fib Congress 2002 "Concrete Structures In The 21st Century"* Vol. 2, Condensed Papers (2), Osaka, Japan, 23-24
- [79] Muravljov, M. i Janković, K. (2000): MECHANICAL - RHEOLOGICAL PROPERTIES OF POLYMER MODIFIED CONCRETE BASED ON RECYCLED BRICK, *Proceedings Of The Rilem/Cib/Iso Intemational Symposium "Integrated Life - Cycle Design Of Materials And Structures - Ilcdes 2000"*, Helsinki, Finland, 185-189
- [80] Newman, A. J., (1946.), THE UTILIZATION OF BRICK RUBBLE FROM DEMOLISHED SHELTERS AS AGGREGATE FOR CONCRETE, *Inst. Mung. Eng. J.* 73, No. 2
- [81] Nicolai, M., Ruch, M., Spengler, T., Valdivia, S., Hamidovic, J. and Rentz, O., (1993.), DEVELOPMENT OF INTEGRATED WASTE MANAGEMENT STRATEGIES FOR

- DEMOLITION WASTE, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark
- [82] *Nishibayashi, S., and Yamura, K., (1988.), MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY OF CONCRETE FROM RECYCLED COARSE AGGREGATE PREPARED BY CRASHING CONCRETE, Proceedings of Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Tokyo*
- [83] *Nix, H., (1984.), ERFABRUNGEN MIT EINER NASSEN BAUSCHUTT - AUFBEREITUNGSANLAGE, Vortrag, 4. Internationaler Recycling Congress, Vortragsband, EF - Verlag für Energie - u, Umwelttechnik, Berlin*
- [84] *Pakvor, A., Muravljov, M. i Kovačević, T., (1993.), EXPLORATIONS OF CONCRETE AND STRUCTURAL CONCRETE ELEMENTS MADE OF REUSED MASONRY, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark*
- [85] *Pakvor, A., Muravljov, M. i Kovačević, T., (1996.), CONCRETE BASED ON RECYCLED BRICK - RESEARCH AND APPLICATION, Best practices, Yugoslav national Habitat II Committee, Beograd*
- [86] *Pakvor, A. i Janković, K. (2001): ŠUT ZIDANIH KONSTRUKCIJA - SIROVINA NOVOG GRAĐEVINSKOG MATERIJALA, JUDIMK, "Zidane konstrukcije u savremenoj građevinskoj praksi", Beograd, 217-224*
- [87] (1987.), PRAVILNIK O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA BETON I ARMIRANI BETON SPRAVLJEN SA PRIRODNOM I VEŠTAČKOM LAKOAGREGATNOM ISPUNOM, Službeni list SFRJ 11/87
- [88] (1990.), PRAVILNIK O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA BETON I ARMIRANI BETON, Službeni list SFRJ 15/90
- [89] *Punkki, J. and Gjorv O. E., (1996.), EFFECT OF WATER ABSORPTION BY THE AGGREGATE ON PROPERTIES OF HIGH - STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE, Proceedings Nordic Concrete Research Meeting, Espoo, Finska*
- [90] *Radoičić, V., (1997.), BETON NA BAZI RECIKLARANE OPEKE ARMIRAN POLIPREPILENSKIM VLAKNIMA, magistarski rad, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd*
- [91] *Rashwan M. S. and AbouRizk S., (1996.), THE PROPERTIES OF RECYCLED CONCRETE, Concrete International 7/96, USA*
- [92] *Romić, S. i Lazić, M., (1985.), ARMIRANI LAKOAGREGATNI BETONI, TEHNOLOGIJA I TEORIJA PRORAČUNA, Građevinska knjiga, Beograd*
- [93] *Ronne M., (1996.), SPECIFICATIONS AND PRODUCTION GUIDELINES FOR LIGHTWEIGHT AGGREGATES AND LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE, Proceedings Nordic Concrete Research Meeting, Espoo, Finska*
- [94] *Roth, L., (1984.), CONCRETE RECYCLING - THE WAY OF THE FUTURE, Highway and Heavy Construction, Barrington, Illinois, USA, 127, No. 2*
- [95] *Saetti, G. F., Coccincelli, A., Finelli, G. and Medici, C., (1993.), INERT WASTES FROM CERAMICS PRODUCTION AND CONSTRUCTION WORK: RECYCLING EXPERIENCES IN SASSUOLO, ITALY, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark*
- [96] *Schniering und Potschka, ERSTUNTERSUCHUNG UND BEURTEILUNG VON AUFBEREITETEM BAUSCHUTT 0/45 MM AUF EIGUNG ZUR VERWENDUNG ALS FROSTSCHUTZMATERIAL NACH ZTVE - STBB76 UND ALS SCHOTTERTRAGSCHICHTMATERIAL NACH TVT 72, Laborbericht Nr 28 - IX - 83 im Auftrage der Westdeutschen Baustoff - Recycling GmbH, Essen*
- [97] *Schniering und Potschka, PRUFUNG UND BEURTEILUNG VON AUFBEREITETEM BAUSCHUTT (0/45 MM) AUF EIGUNG ZUR VERWENDUNG ALS FROSTSCHUTZMATERIAL IM STRASSENBAU NACH ZTVE - STBB76, Laborbericht Nr 28 - III - 83 im Auftrage der Fa. Haske Baustoffaufbereitungs KG, Recklinghausen*
- [98] *Schulz, R. R., (1993.), THE PROCESSING OF BUILDING RUBBLE AS CONCRETE AGGREGATE IN GERMANY, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark*
- [99] *Schulz, R. R., (1985.), RECYCLING OF MASONRY WASTE AND CONCRETE IN WEST GERMANY, EDA / RILEM Demo - Recycling Conference, Proc. Vol. 2 Re - Use of Concrete and Brick Materials, Rotterdam*
- [100] *Schulz, R. R., (1988.), CONCRETE WITH RECYCLED RUBBLE - DEVELOPMENT IN WEST GERMANY, Proceedings of Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Tokyo*
- [101] *Schutze, H. J., (1985.), NASSAFBEREITUNG, Vortrag im Rahmen der Fachveranstaltung: Aufbereitung und Wiederverwendung von Bauschutt, Haus der Technik, Essen*
- [102] *Soborg, L., (1993.), POSSIBILITIES FOR IMPLEMENTING ECONOMIC, FISCAL AND PRACTICAL INSTRUMENTS TO PROMOTE CLEANER TECHNOLOGY, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark*
- [103] *Tavakoli M. and Soroushian P., (1996.), DRYING SHRINKAGE BEHAVIOR OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE, Concrete International 11/96, USA*
- [104] *Trevorrow, A., Joynes, H. and Wainwright, P. J., (1988.), RECYCLING OF CONCRETE AND DEMOLITION WASTE IN THE UK, Proceedings of Second International RILEM Symposium on*

- Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Tokyo
- [105] *Urban, G.*, (1949.), VORSORTIREN UND KLAUBEN, Mitteilungen der Deutschen Studiengesellschaft für Trummerverwertung, Nr. 15, Die Bauwirtschaft
- [106] *Vyncke, J. and Rousseau, E.*, (1993.), RECYCLING OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE IN BELGIUM: ACTUAL SITUATION AND FUTURE EVOLUTION, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark
- [107] *Wedler, B. und Hummel, A.*, (1946.), TRUMMERVERWERTUNG UND AUSBAU VON BRANDRUINEN, Wilhelm Ernest & Sohn, Berlin
- [108] *Wedler, B. und Hummel, A.*, (1947.), TRUMMERVERWERTUNG, 2. Aufl., Wilhelm Ernest & Sohn, Berlin
- [109] *Wesche, K. und Schulc, R. R.*, (1982.), BETON AUS AUFBEREITETEM ALTBETON -

- TECHNOLOGIE UND EIGENSCHAFTEN, Beton 32, Nr. 2
- [110] *Wesche, K. und Schulc, R. R.*, (1982.), BETON AUS AUFBEREITETEM ALTBETON - TECHNOLOGIE UND EIGENSCHAFTEN, Beton 32, Nr. 3
- [111] *Yanagi, K., Hisaka, M., Nakagawa, M. and Kasai, Y.*, (1988.), EFFECT OF IMPURITIES IN RECYCLED COARSE AGGREGATE UPON A FEW PROPERTIES OF THE CONCRETE PRODUCED WITH IT, Proceedings of Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Tokyo
- [112] *Zagurskij, V. A. and Zhadanovskij, B. V.*, (1985.), BREAKING REINFORCED CONCRETE AND RECYCLING CRUSHED MATERIALS, Special Technical Report, Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete (GOSSTROY), Moscow

REZIME

ISTRAŽIVANJE TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA ZA DOBIJANJE RECIKLIRANOG AGREGATA I NJEGOVA PRIMENA

Ksenija JANKOVIĆ

U svetu se vrše istraživanja mogućnosti ponovne upotrebe - recikliranja otpadnog građevinskog materijala, nastalog rušenjem postojećih objekata. Ova istraživanja obuhvataju selekciju otpadnih materijala čije je recikliranje tehnološki moguće i ekonomski isplativo, kao i koncipiranje tehnološkog procesa njihovog izdvajanja. Istraživanja obuhvataju i primenu tako dobijenih sirovina za modeliranje adekvatnih novih građevinskih materijala, zadovoljavajućih mehaničkih i fizičkih svojstava, kao i tehnologiju njihovog spravljanja.

Ključne reči: reciklirani agregat, beton, zidane konstrukcije.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR GETTING RECYCLED AGGREGATE AND ITS USE

Ksenija JANKOVIĆ

Possibilities of recycling waste building material got after demolishing of existing buildings are investigated in the world today. The investigations include selection of waste materials whose recycling is technological process of their extraction. These investigations are also focusing on the use of recycling materials for modeling of the relevant new building materials with satisfactory mechanical and physical properties as well as their production technology.

Key words: Recycled Aggregate, Concrete, Masonry Structure