

SPECIFIČNOSTI TEHNOLOGIJE SPRAVLJANJA BETONA NA BAZI RECIKLIRANOG AGREGATA

Dragica JEVTIĆ
Dimitrije ZAKIĆ
Aleksandar SAVIĆ

PREGLEDNI RAD
UDK : 666.972.12 = 861

1 UVOD

Možda najbitniju karakteristiku stepena na kome se nalazi savremeno društvo, uz stalni napredak nauke i tehnike, predstavlja pojava sve većeg problema u vezi iskorišćenog i otpadnog materijala. Predmetne probleme neophodno je rešavati odmah, jer u slučaju da ostanu nerešeni mogu vremenom postati akutni i nerešivi. Moguća rešenja, koja su u skladu sa racionalnim sagledavanjem problema, daje filozofija održivog razvoja. Održivi razvoj je jedna od retkih sveprisutnih tema, iz dana u dan sve aktuelnija, pre svega zato što je od izuzetne važnosti za savremeno društvo a može se primeniti praktično na sve vidove delatnosti čoveka [1]. U oblasti građevinarstva, održivi razvoj uspostavlja se u veoma širokom obimu različitih aktivnosti, od kojih je jedna proizvodnja i primena recikliranih materijala, a posebno betona na bazi recikliranog agregata.

Građevinski otpad, kao rezultat građenja novih i rušenja postojećih objekata, ali i kao rezultat prirodnih katastrofa, jedan je od najvećih ekoloških problema u današnjem svetu, pogotovu u zemljama Evropske Unije. Upravljanje čvrstim građevinskim otpadom do sada se svodilo na njegovo odlaganje na deponije. Međutim, površine ovih deponija se iz dana u dan povećavaju i na taj način oduzimaju dragoceno obradljivo zemljište, te predstavljaju ekološki i ekonomski problem.

Adresa autora:

Prof. dr Dragica Jevtić, dipl. inž. tehn., Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, dragica@imk.grf.bg.ac.yu
Asist. mr Dimitrije Zakić, dipl. inž. građ., Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, dimmy@imk.grf.bg.ac.yu
Asist. pripr. Aleksandar Savić, dipl. inž. građ., Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, sasha@imk.grf.bg.ac.yu

Kada govorimo o betonu kao potencijalnom ekološkom ili "zelenom" materijalu, treba prvo naglasiti njegove osnovne nedostatke na tom planu. Naime, proizvodnja komponentnih materijala (cementa, agregata, hemijskih i mineralnih dodataka), kao i samog betona zahteva veliku količinu energije i generalno predstavlja izvor značajnog zagađenja životne sredine. Zato je način implementacije poznatog principa "3R" (*Reduce, Recycle, Renewable*) u ovoj oblasti veoma značajan. Cilj je smanjiti potrošnju energije i stepen zagađenja (*Reduce*), ponovo koristiti stari beton (*Recycle*) - kao agregat za novi beton (*Renewable resource*).

Većina razvijenih zemalja poslednjih godina aktivno se bavi razradom politika i mera kako bi se smanjilo iscrpljivanje prirodnih resursa - sirovina, odnosno podsticanje održivosti njihovog korišćenja putem reciklaže, korišćenja sekundarnih sirovina, razvoja alternativnih tehnologija i supstitucije neobnovljivih resursa.

Uopšteno govoreći, građevinarstvo je aktivnost štetna po životnu sredinu. Njeni štetni efekti uključuju narušavanje biosfere i biodiverziteta, iskorišćavanje i transformaciju terena, iscrpljivanje prirodnih resursa (energije, minerala, vode, plodnog zemljišta), hemijska, fizička i vizuelna zagađenja (zemljište, vazduh, voda), generisanje otpada i promenu klime.

Recikliranje građevinskog i demoliranog otpada (na engleskom jeziku *Construction and Demolition Waste* – skraćeno se ovaj pojam obeležava kao *C&D Waste*) je socijalno-ekonomski prioritet, obzirom da on predstavlja nezanemarljiv procenat u odnosu na ukupnu količinu otpada označenog kao produkt ljudskih aktivnosti. Količina *C&D* otpada, naravno, leži u direktnoj srazmeri sa stepenom građevinskih delatnosti, pa se razlikuje od države do države [2]. Na primer, u Hong Kongu, u kome se veoma mnogo gradi, proizvodi se oko 37000 tona *C&D* otpada svakodnevno, što je grubo oko 4 puta više od količine komunalnog čvrstog otpada koji se proizvede u tom gradu, kako navode Tam i sar. [3].

Ukoliko se posmatraju procenti različitog otpadnog materijala u odnosu na ukupnu količinu građevinskog i

demoliranog otpada, može se reći da beton zauzima glavno mesto, u procentu od oko 75% u odnosu na ukupnu količinu građevinskog otpada na gradilištima, oko 70% u odnosu na ukupnu količinu otpada na mestima demoliranja konstrukcija, oko 40% na lokacijama opštih građevinskih radova i oko 70% u odnosu na celokupnu količinu otpada prilikom restauracija [2].

Na osnovu dostupnih podataka, stepen recikliranja betona u Danskoj iznosi 80%, u Holandiji 75% i u Japanu 65%. Da bi se postigao ovaj visoki stepen recikliranja, moraju se implementirati posebni uslovi na gradilištima, kao na primer selektivno demoliranje. Različite vrste materijala (opeka, kamen, crep, beton i drvo) moraju se uklanjati zasebno, koliko je to moguće, i sortirati na licu mesta, kako bi se omogućila efikasnija reciklaža [4].

U Japanu je zabeležena upotreba betona na bazi recikliranog agregata u zahtevnijim konstrukcijama, sa stopom recikliranja od 65% za beton [5]. U izvesnim slučajevima reciklirani agregat (Recycled Aggregate -

RA) korišćen je za nove betone u konstrukcijama. Takođe, u Velikoj Britaniji je politika vlade da se poveća nivo RA i tako promoviše konzervacija prirodnih resursa i poboljša zaštita čovekove okoline.

Brojni primeri u svetu nedvosmisleno pokazuju da je neophodno učiniti političku odluku i implementirati princip "zagađivač plaća" (*polluter pays principle*), ma koliko jasno je izražena potreba za recikliranjem. Generalno, građevinska industrija je relativno konzervativna, pa promene u ustaljenim procedurama zahtevaju dosta vremena i potrebne su im dugoročne politike i strategije. Uvođenjem ekonomskih instrumenata, koji podstiču recikliranje i upotrebu recikliranog agregata, mogu se prevazići ekonomske barijere. Treba naglasiti da su izvesne države, u ovom smislu, već uvele posebne takse i novčane naknade u korist recikliranja. Danska vlada je još 1986. godine uvela taksu na otpad koji se ne reciklira nego odlaže na deponijama. Danas je ta taksa reda veličine 50 evra po toni odloženog otpada.

Tabela 1: Rekapitulacija prethodnih istraživanja RAC-a [14]

| Izvori | Procenat zamene | Čvrstoća pri pritisku ^a | Čvrstoća pri savijanju ^a | Modul elastičnosti ^a |
|------------------------------|---|--|--------------------------------------|--|
| Acker (1998) | 100% zamene krupnog ag. | 17.2% niža | 17.2% niža | 23% niži |
| Ahmed i Struble (1995) | 100% zamene krupnog ag. | 33% niža | | |
| Bretschneider (2004) | 100% zamene krupnog ag. 75% zamene krupnog ag. 50% zamene krupnog ag. | | | 11.9% niži 4.0% niži 5.8% niži |
| Frondistou-Yannas (1977) | 100 % zamene krupnog ag. | 4-14% niža | | 40% niži |
| Grubl i sar. (2004) | 100% zamene krupnog ag. 75% zamene krupnog ag. 50% zamene krupnog ag. 25% zamene krupnog ag. | | | 28.3% niži 21.9% niži 23.3% niži 13.6% niži |
| Hansen i Marga (1988) | 100% zamene krupnog ag. | 30% niža | | |
| Ikeda i sar. (1988) | 100% zamene krupnog ag. | 15-40% niža | | 30-50% niži |
| Kakizaki i sar. (1988) | 100% zamene krupnog ag. 100% zamene sitnog ag. | 32% niža | | 40% niži |
| Masood i sar. (2001) | 10% zamene krupnog ag. 20% zamene krupnog ag. 30% zamene krupnog ag. | 20% niža 22.6% niža 25.5% niža | 4.2% niža 7.3% niža 10.4% niža | 32.4% niži 22.7% niži 20.2% niži |
| Nishibayashi i Yamura (1988) | 100% zamene krupnog ag. | 15-30% niža | | 15% niži |
| Roos (2003) | 100% zamene krupnog ag. | 34% niža | | 36.4% niži |
| Teranishi i sar. (1998) | 50% zamene krupnog ag. | 57.8% niža | | 30.5% niži |
| Topcu (1997) | 30% zamene krupnog ag. ^b 50% zamene krupnog ag. ^b 70% zamene krupnog ag. ^b 100% zamene krupnog ag. ^b | 31.8% niža 45.5% niža 54.5% niža 86.4% niža | | |
| Yangi i sar. (1993) | 30% zamene krupnog ag. 50% zamene krupnog ag. 100% zamene krupnog ag. | 0.3-11.2% niža 1.2-16.8% niža 4.1-19.7% niža | | 0-18.7% niži 2.8-25.1% niži 1.1-25.8% niži |

^aIspitivanja izvršena pri starosti od 28 dana
^bKvalitet ovih recikliranih agregata je nizak, sa upijanjem od 7% za 30 min.

Pitanje recikliranja betona zaokuplja pažnju naučnika i istraživača već dugi niz godina. Tako, prvi značajniji radovi u kojima se kao agregat za beton koristi recikliran agregat dobijen usitnjavanjem "starog" betona pojavljuju se u literaturi još sedamdesetih i osamdesetih godina prošlog veka (videti na primer [5, 6, 7]).

Na ovom mestu, ilustracije radi, daje se pregled dostupnih radova iz oblasti recikliranog agregata (tabela 1). Kao što se vidi, u navedenim radovima radilo se o zameni prirodnog agregata krupnim recikliranim agregatom, a proučavan je uticaj na mehanička svojstva novodobijenih betona sa recikliranim agregatom (*Recycled Aggregate Concrete – RAC*).

2 OSNOVNA SVOJSTVA RECIKLIRANOG AGREGATA

Upotreba recikliranog agregata kao komponente za spravljanje novog betona podrazumeva potpuno (temeljno) poznavanje svojstava takvog agregata. Tu se, pre svega, misli na upijanje vode, zapreminsku i specifičnu masu, količinu prašinih (sitnih) čestica, sadržaj organskih i eventualno štetnih materija, drobljivost, otpornost prema habanju, kao i otpornost prema dejstvu mraza.

Naime, ispitivanja su pokazala da, po pravilu, reciklirani agregat u odnosu na prirodni ima:

- veće upijanje vode,
- manju zapreminsku i specifičnu masu,
- veću količinu prašinih čestica,
- veći sadržaj organskih i eventualno drugih štetnih materija,
- veću drobljivost,
- manju otpornost prema habanju i
- manju otpornost prema dejstvu mraza.

Izgled recikliranog agregata (različite frakcije) prikazan je na slici 1.

Kvalitet i svojstva novog betona izrađenog sa recikliranim agregatom direktno će zavisiti od svojstava upotrebljenog recikliranog agregata.

Poznato je da se agregat od drobljenog betona sastoji od upotrebljenog – originalnog agregata i sloja maltera koji zaostaje nakon drobljenja. Upijanje vode recikliranog agregata je značajno veće nego kod prirodnog, što je svakako povezano sa:

- tipom prvobitnog (originalnog) agregata
- čvrstoćom prvobitnog betona
- najkrupnijim zrnom agregata u prvobitnom betonu [8].

Upijanje vode kod recikliranog agregata je utoliko veće, ukoliko je količina maltera koja obavlja zrna recikliranog agregata veća. Pokazalo se da kod recikliranog agregata upijanje vode raste sa smanjenjem veličine zrna agregata korišćenog u originalnom betonu. Ovo je posledica veće površine zrna za koju može da se veže (pričvrsti) veća količina maltera u odnosu na istu zapreminu agregata.

Zbog povećanog upijanja vode, autor W.Y. Tam [11] predlaže da se ograniči učešće recikliranog agregata u betonu na npr. 20-30%, da bi se obezbedio uslov da ukupno upijanje vode za korišćeni agregat bude manje od 5%.

Malter koji obavlja zrno je porozniji materijal u odnosu na zrno prirodnog agregata, a njegova poroznost zavisi od vodocementnog faktora betona koji je recikliran [2, 3, 4]. Važno je istaći da i postupak dobijanja – usitnjavanja recikliranog agregata ima uticaja na svojstva novog betona; tako količina malterske komponente koja obavlja zrno recikliranog agregata direktno zavisi od načina drobljenja "starog" betona, ali isto tako i od dimenzija recikliranog agregata [8, 9]. Oblik zrna recikliranog agregata je mnogo nepravilniji nego kod prirodnog agregata, a površina hrapavija. Tekstura drobljenog agregata zavisi od načina drobljenja, tj. vrste upotrebljene mašine za drobljenje. Reciklirani agregat ima ispuca lu površinu, što rezultira povećanjem propustljivosti vode i vazduha između cementne paste i agregata. Zato i beton spravljen sa recikliranim agregatom ima veće vrednosti propustljivosti gasova, pare i vode u odnosu na običan beton (Zaharieva i sar. [10]).

Na zrnima recikliranog agregata, kao što je već rečeno, uvek se nalaze izvesne količine relativno krte cementne paste i maltera, što čini ove agregate poroznijim i manje otpornim na mehaničke uticaje. Značajno svojstvo recikliranog agregata je da se malter uvek vezuje za originalno zrno agregata. Maseni procenat "stare" cementne paste iznosi $28 \pm 4.5\%$ prema Zaharieva i sar. [10], dok je u slučaju primene recikliranog sitnog agregata (peska) ovaj procenat nešto viši prema Sánchez de Juan i sar. [17]. U stvari, procenat "stare" cementne paste varira u jako širokim granicama (25-64%) što se može sagledati iz dostupne aktuelne literature. Ako se zna da ovaj procenat maltera, tj. "stare" cementne paste direktno zavisi od načina drobljenja, onda su napred prikazana variranja objašnjiva. Autori Sánchez de Juan i sar. [17] preporučuju da maksimalan procenat maltera na recikliranom agregatu bude manji od 44%, za konstruktivne betone.



Slika 1. Izgled recikliranog agregata

Kapacitet upijanja vode recikliranog agregata, koji svakako zavisi od kvaliteta i debljine malterskog sloja obavijenog oko zrna agregata, treba da bude poznat kao jedno od osnovnih svojstava pre primene recikliranog agregata u proizvodnji novog betona.

Reciklirani agregat ima nižu zapreminsku masu od prirodnog, zbog prisustva omotača od maltera. Treba istaći da se sa smanjenjem krupnoće zrna agregata povećava prisustvo prvobitnog maltera, zbog veće specifične površine, a to rezultira značajnim smanjenjem zapremine mase.

Kao što je više istraživača utvrdilo, otpornost na udar i habanje RA je manja u odnosu na prirodni agregat; ovo je posledica odvajanja i drobljenja poroznog malterskog omotača oko zrna recikliranog agregata [8].

Ova svojstva direktno ukazuju na izvesne specifičnosti u tehnologiji spravljanja betona sa recikliranim agregatom, o kojima će biti više reči u daljem tekstu.

Neki autori [16] predložili su podelu recikliranog agregata na klase, na osnovu upijanja vode i otpornosti na dejstvo mraza metodom potapanja u rastvor natrijum sulfata (Na_2SO_4). Tako su za krupan reciklirani agregat predložene tri klase, pri čemu je maksimalno upijanje vode $\leq 7\%$, a za sitan reciklirani agregat dve klase, pri čemu je ograničeno maksimalno upijanje vode $\leq 10\%$. U tesnoj vezi sa ovim, autori su dali i preporuke za moguću primenu u građevinarstvu (armirani i nearmirani beton, tamponi, slojevi za izravnavanje itd.).

3 STRUKTURA BETONA SA RECIKLIRANIM AGREGATOM

Strukturu betona, kao što je poznato, čini trofazni sistem i to:

- makrostruktura – struktura dvokomponentnog sistema u čiji sastav ulazi malterska komponenta i krupan agregat
- mikrostruktura tj. struktura cementnog kamena i
- prelazna (tranzitna) zona (interface) između agregata i cementnog kamena.

Prelazna zona između cementne paste i zrna agregata kod betona je uvek kritično mesto i od njenih

svojstava (kvalitet, debljina) zavise mnoga svojstva betona kao kompozita, a naročito njegova trajnost [12].

Struktura betona koji je spravljen sa recikliranim agregatom u ovom smislu je još kompleksnija. Naime, beton spravljen sa recikliranim agregatom (*Recycled Aggregate Concrete - RAC*) poseduje dve prelazne zone, jednu između recikliranog agregata i nove cementne paste (nova prelazna zona) i drugu između recikliranog agregata i "starog" maltera (stara prelazna zona). Ovo se shematski može prikazati na slici 2 [2].

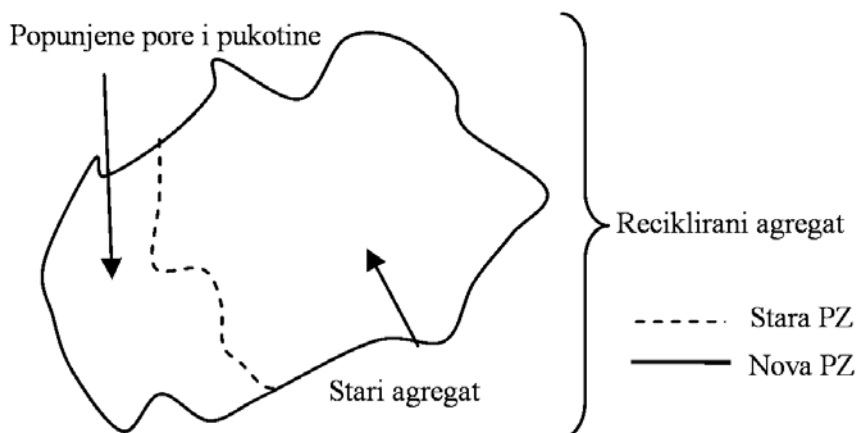
Zaostali cementni malter na prelaznoj zoni sadrži značajnu poroznost i pukotine, što sve ima uticaja na krajnja svojstva ovakvog betona (RAC), pogotovo na čvrstoću pri pritisku.

Ove pore i pukotine – prsline povećavaju potrebu za vodom, tj. upijanje vode iz nove mešavine, tako da se javlja problem nedostatka vode potrebne za potpunu hidrataciju cementa u okviru novospravljenog, betona na bazi recikliranog agregata. Kvalitet prelazne zone zavisi pre svega od površinskih svojstava agregata, stepena izdvajanja vode (bleeding-a), tipa hemijskih veza, načina nege betona i dr. Naučnici se slažu u mišljenju da što je jačina veze cementna matrica-agregat veća, čvrstoća betona je takođe veća [2].

Autori [4] su procenili da prelazna zona čini 20-40% ukupne zapremine cementne matrice.

Generalno lošiji kvalitet u odnosu na prirodni agregat, kao i varijacije u kvalitetu i njegova heterogenost, učinili su da se reciklirani agregat upotrebljava uglavnom za nasipanje i podloge, pa se njegova upotreba za spravljanje betona ograničava na određeni procenat (najčešće je taj procenat reda veličine 20-30% u odnosu na ukupnu masu agregata). Ovo se odnosi na upotrebu krupnog recikliranog agregata, dok je istovremena upotreba i sitnog i krupnog recikliranog agregata još složenija.

Da bi bila moguća upotreba recikliranog agregata u betonima viših performansi, bilo je neophodno rešiti problem visoke poroznosti, sadržaja prsline, visokog sadržaja sulfata i hlorida, visokog stepena nečistoća i ostataka cementnog maltera u zrnima RA.



Slika 2. Prelazne (tranzitne) zone u betonu sa recikliranim agregatom

4 SPECIFIČNOSTI SPRAVLJANJA BETONA NA BAZI RECIKLIRANOG AGREGATA

U nastavku će, na osnovu literaturnih podataka, biti prikazani različiti predlozi u tehnologiji spravljanja betona sa recikliranim agregatom, u zavisnosti od načina i redosleda doziranja komponenata u mešalicu i trajanja mešanja. U svim slučajevima čije objašnjenje sledi, u svojstvu krupnog agregata pojavljuje se ili reciklirani krupan agregat, ili mešavina recikliranog i prirodnog krupnog agregata, dok je sitan agregat – pesak isključivo prirodan, rečni agregat.

Normalan, uobičajen, odnosno tradicionalan postupak mešanja, podrazumeva da se u mešalicu prvo doziraju sve čvrste komponente betonske mešavine, zatim voda i da se na kraju pristupi mešanju u trajanju od ≈120s. Naime, nakon što se odmere količine komponentnih materijala, krupnog i sitnog agregata, cementa i vode, u mešalicu se najpre dozira polovina krupnog agregata, zatim sitan agregat i cement i na kraju ostatak krupnog agregata. Posle toga se dodaje celokupna količina vode, i počinje postupak mešanja koji traje oko dva minuta. Ovako opisan postupak može se nazvati normalan postupak mešanja (*Normal Mixing Approach* - skraćeno NMA). On je prikazan i shematski na slici 3a. Objašnjenje simbola dato je u okviru slike 3.

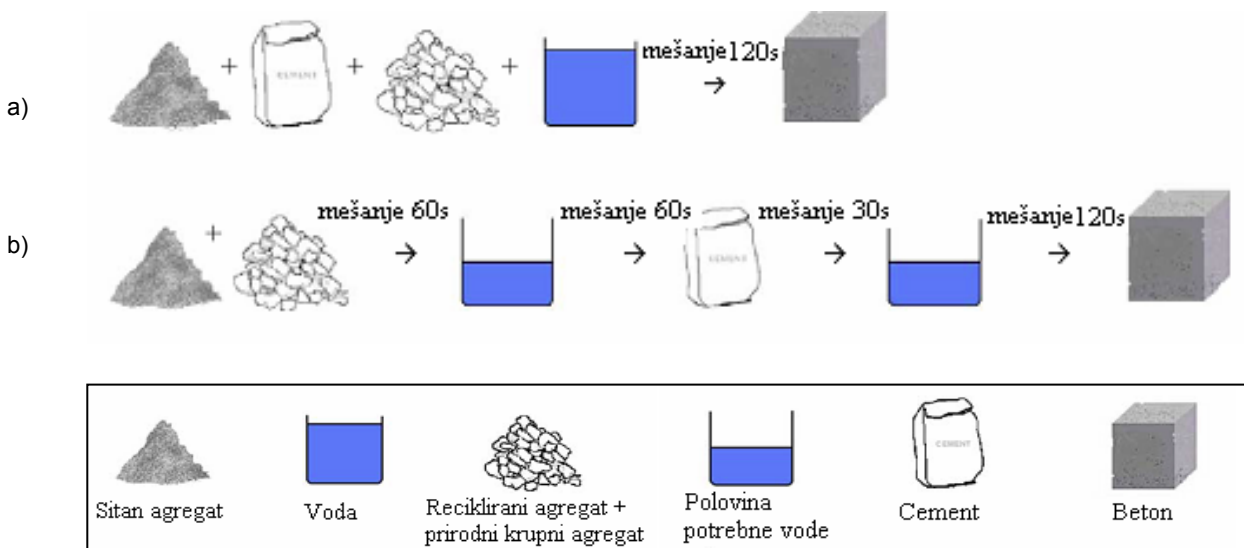
Drugi pristup mešanju, koji su predložili autori W. Y. Tam i sar. [2], bazira se na principu podele celokupne količine vode na dva dela. Zato se ovaj pristup može nazvati metodom iz dve faze (*Two Stage Mixing Approach* - kraće TSMA). Postupak spravljanja betona je, na osnovu ovog pristupa, sledeći (slika 3b): prvo se dozira agregat (pesak i krupan agregat) i ova suva mešavina se homogenizuje mešanjem "usuvo" približno 60s. U nastavku se dozira otprilike polovina ukupne proračunate količine vode i vrši mešanje daljih ≈60s. Nakon toga, dozira se celokupna količina cementa i meša još oko 30s. Na kraju se u svežu betonsku smešu

dodaje ostatak vode i proces spravljanja završava mešanjem u trajanju od približno dva minuta.

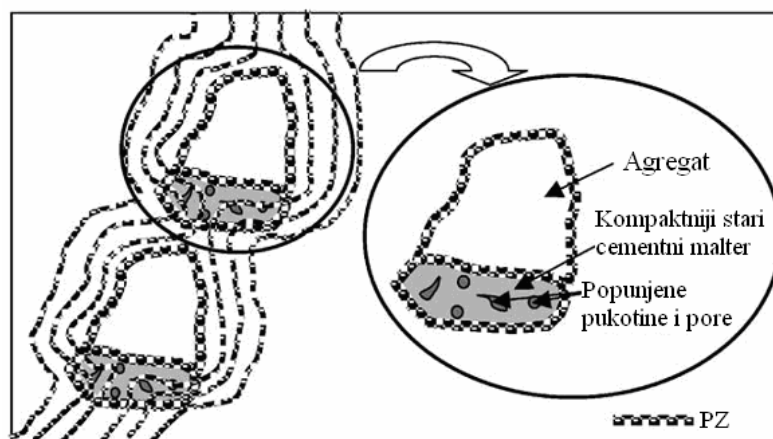
Postupak mešanja prema TSMA predložen je kod primene recikliranog agregata u betonima kao poboljšanje u odnosu na NMA. U stvari, za vreme prve faze mešanja pri doziranju polovine količine upotrebljene vode, a zatim i cementa, donekle se ovlaže zrna recikliranog agregata i formira se tanak sloj cementne paste na površini recikliranog agregata, koji može da proдре u porozni stari cementni malter, popunjavajući "stare" pukotine i šupljine (dejstvo slično armiranju). U drugoj fazi mešanja, preostala voda koja se dodaje dovoljna je za proces hidratacije. Putem skaning elektronske mikroskopije uočeno je da prelazna zona postaje jača i gušća i da su šupljine u betonu na bazi recikliranog agregata spravljenom u dve faze popunjene u mnogo većoj meri nego šupljine u RAC betonu spravljenom mešanjem na uobičajen, tradicionalan način [4].

Isto tako, više praznina i pukotina je otkriveno u novoformiranoj prelaznoj zoni u RAC betonu kod uobičajenog spravljanja betona (NMA), obzirom da je potpuna hidratacija maltera u ovoj zoni bila sprečena nedostatkom vode (koju su upila zrna recikliranog agregata). Shematski prikaz strukture recikliranog agregata prema mešanju u dve faze prikazan je na sl. 4.

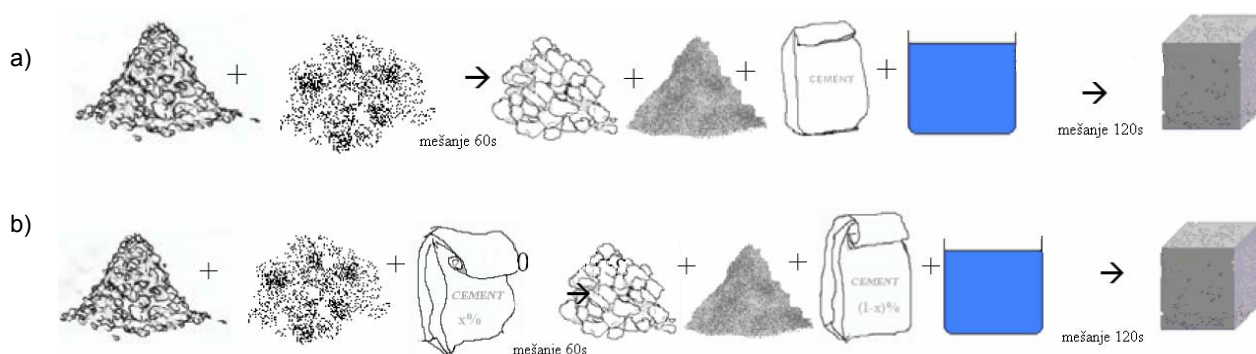
Ako se usredsredimo na ključni problem koji prati upotrebu recikliranog agregata dobijenog drobljenjem starog betona, tj. na povećanu poroznost stare PZ, može se lako zaključiti da je poboljšanje kvaliteta novog betona uslovljeno poboljšanjem mehaničkih svojstava prelazne zone (kao što je to već i naglašeno). Ovo poboljšanje može se izvesti i upotrebom nekog od veoma sitnih pucolanskih materijala (na primer silikatne prašine), koji bi u najvećoj mogućoj meri ispunio šupljine i pukotine u zrnima recikliranog agregata, odnosno u malterskoj matrici starog agregata. U ovom smislu predložene su varijante postupka TSMA koje su prikazane na slici 5.



Slika 3. (a) normalan postupak (NMA), (b) metoda iz dve faze (TSMA)



Slika 4. Poboljšanje strukture recikliranog agregata prema metodi u dve faze (TSMA)



Slika 5. Pristup iz dve faze mešanja - TSMA a) sa silikatnom prašinom i b) sa silikatnom prašinom i cementom

Dakle, na osnovu TSMA prikazanog na slici 5, izvestan procenat cementa se može zameniti silikatnom prašinom (na primer 2%) i u tom slučaju celokupna količina silikatne prašine dozira se u prvoj fazi spravljanja, zajedno sa recikliranim agregatom. Nakon mešanja u trajanju od oko 60s, doziraju se prirodan agregat (sitan i krupan), cement i voda, pa se proces mešanja završava drugim mešanjem, u trajanju od ≈ 120 s. Ovaj postupak autori [2] su nazvali $TSMA_s$ (slika 5a).

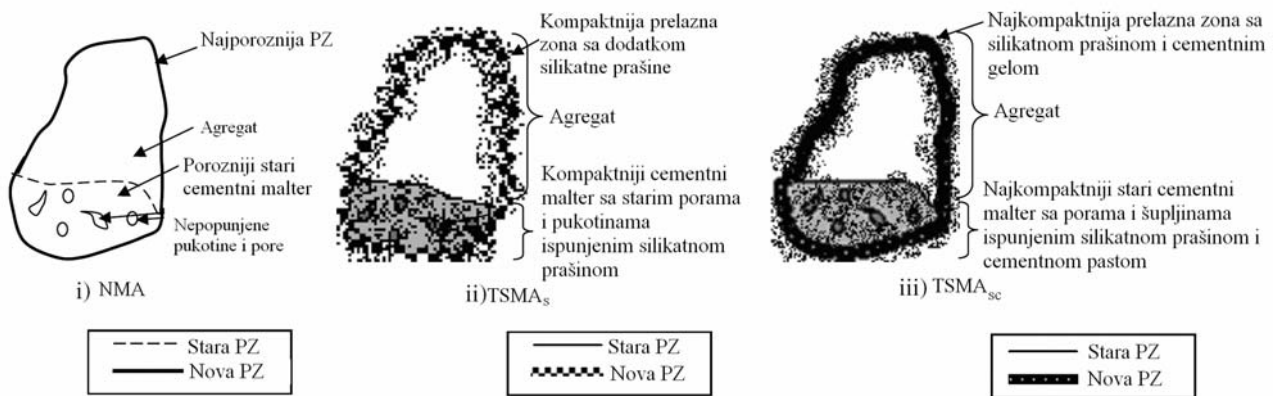
Predlagan je i postupak označen kao $TSMA_{sc}$ u kome se prva faza sastoji od doziranja recikliranog agregata, silikatne prašine i dela cementa, nakon čega se sprovodi mešanje u trajanju od oko 60s, a zatim i druga faza, u kojoj se doziraju prirodan krupan agregat, pesak, ostatak cementa i celokupna količina vode, pa se na kraju pristupa mešanju od ≈ 120 s (slika 5b).

Dodatak silikatne prašine u slučaju primene recikliranog agregata, kao i kod običnih betona, generalno vodi poboljšanju performansi betona. Beton sa dodatkom silikatne prašine ostvaruje veću čvrstoću u dužem vremenskom intervalu. Osnovna mehanička svojstva betona spravljenih u dve faze (TSMA) u odnosu na normalan (NMA) postupak mešanja, tj. čvrstoća pri pritisku, čvrstoća pri savijanju, čvrstoća pri zatezanju cepanjem i statički modul elastičnosti, kod RAC mogu se poboljšati od 10% do 30%, u zavisnosti od sadržaja recikliranog agregata u novom betonu [2].

Poređenjem dva betona proizvedena postupkom iz dve faze, $TSMA_s$ sa jedne i $TSMA_{sc}$ sa druge strane, pokazalo se da betoni mešani po proceduri opisanoj kao $TSMA_{sc}$ imaju bolja svojstva. Na osnovu istraživanja [2] fizičko-mehanička svojstva (čvrstoća pri pritisku, pri savijanju, pri zatezanju cepanjem i modul elastičnosti) betona na bazi recikliranog agregata primenom ovih postupaka mogu se poboljšati čak 20-30%.

U prvoj varijanti novog postupka (slika 5a) silikatna prašina predstavlja filer koji takoreći armira prostor unutar zrna recikliranog agregata, što rezultira smanjenjem veličine individualnih pora i praznina u starom cementnom malteru kod RA. Slično ovoj varijanti, dodatak silikatne prašine i cementa u prvoj fazi, obezbeđuje relativno debelu opnu paste silikatne prašine i nešto ravnomerniji sloj cementne paste oko zrna RA u procesu prvog stadijuma mešanja. Na slici 6 shematski su prikazane faze koje se mogu očekivati u RAC betonima u slučaju NMA, odnosno u slučaju primene gore opisanih postupaka TSMA. Dakle, obe varijante TSMA sa silikatnom prašinom predstavljaju alternativne metodologije za poboljšanje kvaliteta RAC betona [2].

Neki istraživači preporučuju nešto drugačiji postupak mešanja komponenata, sa istim ciljem. Tako Li i sar. [13] predlažu da se najpre napravi smesa vode i cementa ili vode i pucolanski aktivnog dodatka, a zatim da se dodaje agregat, kako bi se, nakon produženog mešanja



Slika 6. Normalni postupak spravljanja betona (i), metod iz dve faze - TSMA_s (ii) i metod iz dve faze sa proporcionalnim doziranjem silikatne prašine i cementa TSMA_{sc} (iii)

postigao pomenuti efekat oblaganja zrna, koji ima pozitivno dejstvo u smislu poboljšanja konzistencije, prelazne zone i fizičko-mehaničkih svojstava očvrslog betona.

Radi ojačanja prelazne zone, istraživači Li i sar. [13] preporučuju i postupak sa primenom vodenog stakla ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$).

Postoje izvesni predlozi da se, u cilju poboljšanja kvaliteta recikliranog agregata, a time i betona koji se dobija njegovom upotrebom, smanji procenat cementne paste i maltera pričvršćenih za zrna recikliranog agregata; oni predstavljaju slabu tačku u betonu, kao porozan i ispucao sloj manje čvrstoće. Jedan od načina da se to izvede je prethodno kvašenje i potapanje zrna agregata u razblaženi rastvor kiseline, praćeno kasnijim ispiranjem zrna pomoću destilovane vode. Pokušaji na bazi ovog pristupa vršeni su uz upotrebu hlorovodonične, sumporne ili fosforne kiseline (W. Y. Tam i sar. [14]). U ovom slučaju svakako treba biti naročito obazriv, kako ekološki princip, koji leži u osnovi primene RAC betona ne bi prešao u svoju suprotnost, usled nekontrolisane upotrebe pomenutih kiselina i usled nepropisnog rukovanja ovim hemikalijama. Pomenuta procedura sastoji se iz potapanja recikliranog agregata u kiselu sredinu u trajanju od 24h, pri temperaturi od približno 20°C. Zatim se vrši ispiranje pomoću destilovane vode, kako bi se u najvećoj mogućoj meri uklonile primenjene kiseline. Konačno, pre samog spravljanja svežeg betona, agregat stoji u vodi 24h. Kako bi se uklonio sloj cementne paste i maltera, a da se pritom ne smanji kvalitet agregata u smislu smanjenja pH vrednosti, koncentracija rastvora mora biti veoma pažljivo utvrđena. Predlaže se koncentracija kiseline u destilovanoj vodi u količini od 0.1 mol. Ovim postupkom donekle je moguće smanjiti upijanje vode kod recikliranog agregata, a da njegova pH vrednost ostane u relativno visokim granicama (iznad 8.5). Upijanje vode kod recikliranog agregata obrađenog na ovaj način može se smanjiti za 7-12%. Autori [14] su ustanovili da bi investicija od oko 50 evra bila dovoljna da se primenom ovog postupka obradi 10 tona recikliranog agregata i na taj način njegov kvalitet približi kvalitetu prirodnog agregata.

Posebno je proučavan uticaj vlažnosti agregata na fizičko-mehanička svojstva betona na bazi recikliranog agregata, u svežem i očvrslog stanju. Razmatrani slučajevi su prilikom tih proučavanja obuhvatili ispitivanja različitih betona uz upotrebu recikliranog agregata osušenog u sušnici (*Oven dried - OD*), zasićenog, površinski suvog (*Saturated, surface dried - SSD*) i agregata osušenog na vazduhu (*Air dried - AD*). U slučaju OD recikliranog agregata, predmetni agregat je tretiran na 105°C u toku 24h i ohlađen na sobnu temperaturu, pre postupka spravljanja betona. Priprema SSD recikliranog agregata izvršena je tako što je agregat bio najpre potopljen u vodu u toku 24h - zasićen, a nakon toga je pomoću vlažnog platna uklonjena voda sa površine agregata. Reciklirani agregat u prirodno vlažnom stanju, odnosno u stanju u kome je dostavljen, označen je kao AD. Kada se govori o termičkom tretmanu agregata, treba reći da tek nakon tretmana na 800°C reciklirani agregat po svojim fizičko-mehaničkim svojstvima može da se meri sa konvencionalnim rečnim agregatom. Istraživanja su pokazala da je za primenu betona na bazi recikliranog agregata uobičajenih čvrstoća optimalno koristiti reciklirani agregat koji je sušen na vazduhu, odnosno u stanju u kome je dostavljen [3, 20].

Zbog visokog stepena upijanja, od interesa je poznavanje uticaja vlažnosti recikliranog agregata na svojstva svežeg i očvrslog betona na bazi recikliranog agregata. Načelno, u velikom broju studija predlagano je da agregat bude zasićen vodom i/ili prethodno navlažen, kako bi se sprečio ubrzan pad obradljivosti i ugradljivosti (konzistencije) kod ovakvih betona. Međutim, pokazalo se da prethodno zasićenje recikliranog agregata nije neophodno iz tehnoloških razloga, sve dok se prirodna vlažnost uzima u obzir prilikom projektovanja betonske mešavine. Takođe, utvrđeno je i da se ta količina vode nikad neće moći potpuno ravnomerno rasporediti po celokupnoj masi agregata [3].

Čvrstoća pri pritisku betona sa suvim i zasićenim površinski suvim recikliranim agregatom je, generalno, nešto niža u odnosu na referentni beton. Smanjenje je značajnije prilikom ispitivanja čvrstoće pri savijanju betona sa zasićenim agregatom. Betoni sa suvim i

zasićenim recikliranim agregatom manje su otporni na mraz, dok su se prilikom ovog konkretnog ispitivanja bolje pokazali betoni sa agregatom čija zrna su sadržala manju količinu vode [3].

Što se sadržaja vode u RAC betonu tiče, na osnovu svega rečenog, uvek treba voditi računa o tome, da se jedan deo vode kod betona sa recikliranim agregatom dozira direktno, a jedan deo je sadržan u samim poroznim zrnima recikliranog agregata. Samim tim, pri projektovanju sastava RAC betona, treba poznavati maseni procenat vode unutar zrna agregata. Ukoliko je reciklirani agregat potpuno suv, onda je veoma verovatno da će, prilikom mešanja, jedan deo vode upiti porozna zrna agregata. To dalje znači da će doći do smanjenja vodocementnog faktora, usled smanjenja vode koja će reagovati sa cementom, i do veoma brzog pogoršanja tehnološkičnosti, odnosno do ozbiljnih problema, kada je reč o ugradljivosti i obradljivosti ovako spravljenog betona. Ako su, pak, zrna recikliranog agregata prethodno zasićena i površinski suva, dokazano je da će deo vode iz zrna prilikom vibriranja migrirati u prelaznu zonu; vrlo verovatno će doći do izdvajanja vode na površini betona ("*bleeding*"), a konzistencija će biti tečnija [3]. Neki autori [21] preporučuju da se reciklirani agregat prethodno navlaži sa 80% vode koju može da upije, što smanjuje vrednost upijanja vode zrna recikliranog agregata i ne utiče značajno na obradljivost i na vodocementni faktor.

Na osnovu svega rečenog, može se zaključiti da je neophodno poznavati količinu vode koju predmetni agregat može da upije u roku od 30 min, kao što se to radi u slučaju lakoagregatnih betona, pa zatim tu količinu vode uvesti u proračun prilikom određivanja ukupne potrebne količine vode za neki beton sa recikliranim agregatom [19].

Dakle, kod betona sa recikliranim agregatom ne treba govoriti o uobičajenom vodocementnom faktoru, već o ukupnom vodocementnom faktoru (to je odnos ukupne količine vode u betonu i ukupne količine cementa) i o slobodnom vodocementnom faktoru (odnos vode koja je zaista na raspolaganju cementu prilikom procesa hidratacije i ukupne količine cementa). Voda koja je zaista na raspolaganju cementu prilikom procesa hidratacije predstavlja razliku ukupne količine vode i vode koju zrna recikliranog agregata upiju prilikom spravljanja betona.

Priča o vodocementnom faktoru kod betona RAC dodatno se može komplikovati u slučaju dodavanja materijala pucolanskih svojstava i drugih sitnih čestica, kao što je to slučaj sa napred pomenutom silikatnom prašinom. Tada se, strogo posmatrano, radi o vodo-praškastom faktoru, i tada u praškaste čestice, osim cementa ubrajamo i silikatnu prašinu. Princip se poštuje i kada se koristi neki hemijski dodatak, npr. superplastiifikator.

5 GENERALNE SMERNICE ZA PROJEKTOVANJE SASTAVA BETONA NA BAZI RECIKLIRANOG AGREGATA

Projektovanje sastava betona spravljenog na bazi recikliranog agregata se obavlja na osnovu poznatih empirijskih obrazaca, npr. Skramtajeve [19] ili Bolomeja [21], iz tehnologije betona. Pri tome, osnovno je odrediti

zapreminsku masu recikliranog agregata za svaku korišćenu frakciju, kao i upijanje vode. Problem većeg upijanja vode kod recikliranog agregata može se rešiti na tri načina prema [19] i [21], tj. slično kao kod lakoagregatnih betona. Prvi način je zasićenje vodom recikliranog agregata putem prethodnog potapanja; drugi način podrazumeva povećanje potrebne količine vode za spravljanje betona na osnovu merenja upijanja vode u trajanju od 30 minuta. Treći način je dodavanje vode na gradilištu, do postizanja zahtevane konzistencije.

Autori Malešev i Radonjanin [19], koji su vršili obimna eksperimentalna ispitivanja iz ove oblasti, preporučuju određivanje upijanja vode u trajanju od 30 min za recikliran agregat i taj podatak koriste u proračunu kao dodatnu količinu vode za spravljanje betona. Autori predlažu proveru projektovane konzistencije posle 30 min.

Kod određivanja odnosa krupnog i sitnog agregata u mešavini sa recikliranim agregatom može se pretpostaviti da je optimalan granulometrijski sastav isti kao i kod prirodnog agregata.

Iskustva pokazuju da, ako se koristi reciklirani krupan agregat zajedno sa prirodnim sitnim agregatom, može se pretpostaviti da će vodocementni faktor za zahtevanu čvrstoću pri pritisku biti isti kao i za beton spravljen od prirodnog agregata.

U preporukama mnogih zemalja, pa i u Velikoj Britaniji, ograničava se upotreba najkrupnijeg zrna recikliranog agregata na 16-20 mm. Svakako je razlog za ovo pitanje trajnosti betona spravljenog sa recikliranim agregatom.

Eksperimenti su pokazali da je potreba za slobodnom vodom kod betona izrađenog sa krupnim recikliranim agregatom veća za 10 l/m^3 u odnosu na uobičajeni beton, pa je i ovo relevantan podatak u preporukama nekih autora.

Zbog veće potrebe za slobodnom vodom kod mešavina sa recikliranim agregatom računski količina cementa treba da bude nešto veća, radi očuvanja istog vodocementnog faktora.

Što se tiče vrste cementa, za spravljanje betona na bazi recikliranog agregata po pravilu se mogu koristiti sve vrste cementa (CEM I – CEM V) dostupne u našim fabrikama.

6 ZAKLJUČAK

Ovaj pregledni rad ukazuje na parametre koji utiču na kvalitet i načine poboljšanja svojstava recikliranog agregata kao komponente betona. Naime, na osnovu dostupnih literaturnih podataka prikazano je kako se može uticati na strukturu i kvalitet tranzitne zone koja je, kao što je poznato, najslabija komponenta u strukturi betona.

Predložen metod mešanja iz dve faze svakako daje bolje rezultate od klasičnog, a primena pucolanskih materija tipa silikatne prašine, letećeg pepela ili zgure visokih peći takođe poboljšava prelaznu zonu, armirajući na izvestan način strukturu prvobitnog betona. Na osnovu brojnih istraživanja jasno se sagledava da se i ovde može primeniti poznata međuzavisnost struktura – svojstva, prisutna u strukturalističkom pristupu – modeliranju kompozitnih materijala.

Potpuno poznavanje svojstava recikliranog agregata, načina njegovog dobijanja, tj. drobljenja i selekcija po kategorijama – klasama zavisno od primarnih svojstava (zapremenska masa, upijanje vode, otpornost prema mrazu, čvrstoća originalnog betona i dr.) sigurno će učiniti manje rasipanje rezultata u nekim budućim istraživanjima. Isto tako, pravilan redosled doziranja komponenta i brižljivo projektovanje sastava uz pridržavanje generalnih smernica, omogućiće dobijanje betona viših i visokih performansi tj. konstruktivnih betona na bazi recikliranog agregata. Saradnja istraživača različitih struka (građevinskih inženjera, tehnologa, hemičara, mineraloga) je u ovom smislu dobrodošla, radi potvrđivanja mikrostrukturnih svojstava novospavljenih betona. Na taj način reciklirani agregat neće više biti heterogena komponenta, tj. nepoznanica u tehnologiji spravljanja betona, već čvrsti građevinski otpad kojim stručnjaci znalački upravljaju.

Istraživanja mnogih naučnika u ovoj oblasti pokazuju da ima veoma velikih varijacija u rezultatima ispitivanja, pa se ne može doneti generalni stav o npr. optimalnom procentu zamene prirodnog agregata recikliranim krupnim agregatom, kao i o pitanju korišćenja sitnog recikliranog agregata. Ako se ovome doda još i mogućnost upotrebe pomenutih pucolanskih dodataka, kao i upotreba hemijskih dodataka tipa superplastifikatora, onda svakako postoji prostor za dalja eksperimentalna istraživanja u ovoj oblasti, u granicama ekonomske isplativosti. Postojanje kontradiktornih rezultata ispitivanja različitih naučnika iz ove oblasti u nekim slučajevima usporava i zamagljuje put intenzivnijeg korišćenja recikliranog agregata u betonima. Nadajmo se da će sinergija prikazana na sl. 7, između postrojenja za reci-

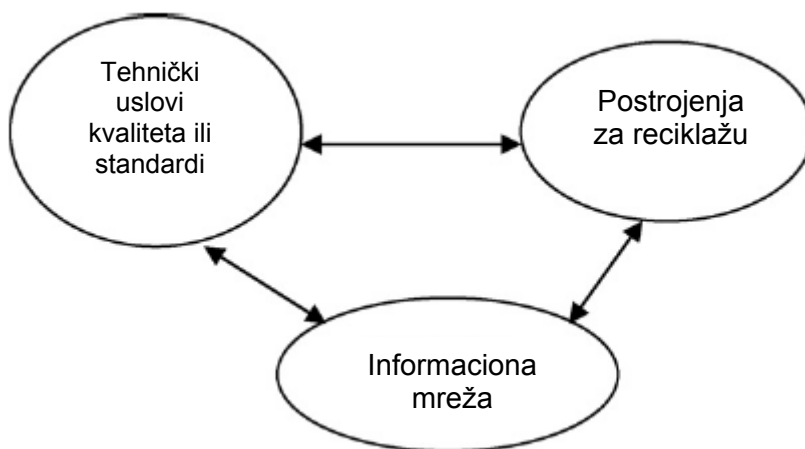
klažu, standarda i informacione mreže, učiniti korišćenje recikliranog agregata kao komponente betona masovnijim. Pri ovome, posebnu pažnju treba posvetiti prethodnim ispitivanjima i specifičnostima u tehnologiji spravljanja betona na bazi recikliranog agregata.

U opšte prihvaćenom opredeljenju, tj. u politici zaštite životne sredine, postavlja se pitanje kako uticati na upotrebu i povećanje procenta recikliranja građevinskih materijala, pogotovo betona. Ovo se može postići edukacijom, dostupnim informacijama, planiranjem projekata, razumevanjem problematike recikliranja u najširem smislu reči, kao i selekcijom i sertifikacijom recikliranih materijala.

Mogućnosti za recikliranje baziraju se na strateškim, političkim i ekonomskim parametrima. Uspeh betona na bazi recikliranog agregata danas je u nekim evropskim zemljama baziran na integralnom menadžmentu resursima. Uspeh recikliranja betona u budućnosti biće baziran na globalnim vizijama za implementaciju postupaka proizvodnje i primene betona na bazi recikliranog agregata u celom svetu, u cilju očuvanja prirodnih resursa i zaštite životne sredine.

ZAHVALNOST

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo za nauku Republike Srbije u okviru tehnološkog projekta TR-16004 pod nazivom: "Istraživanje savremenih betonskih kompozita na bazi domaćih sirovina sa posebnim osvrtom na mogućnosti primene betona sa recikliranim agregatom u betonskim konstrukcijama".



Slika 7. Tri neophodna faktora za primenu betona na bazi recikliranog agregata [14]

7 LITERATURA:

- [1] Jevtić, D., Marinković, S., Zakić, D., Savić, A.: Primena recikliranog betona – korak ka održivom razvoju u građevinarstvu, Međunarodni naučni skup "Održivi prostorni razvoj gradova Srbije", Beograd, decembar 2007. godine, Zbornik radova, str. 150-161., ISBN 978-86-80329-53-6,
- [2] Vivian W.Y. Tam, C.M. Tam: Diversifying two-stage mixing approach (TSMA) for recycled aggregate concrete: TSMA_s and TSMA_{sc}, *Construction and Building Materials* 22 (2008) 2068–2077,
- [3] C.S. Poon, Z.H. Shui, L. Lam, H. Fok, S.C. Kou: Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete, *Cement and Concrete Research* 34 (2004) 31–36,
- [4] Vivian W.Y. Tam, X.F. Gao, C.M. Tam: Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach, *Cement and Concrete Research* 35 (2005) 1195–1203.,
- [5] M. Kikuchi, T. Mukai, H. Kozoumi: Properties of concrete products containing recycled aggregate, *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry: Reuse of Demolition Waste*, Chapman and Hall, London, 1988, pp. 595-604.,
- [6] R. S. Ravindrarajah, C. T. Tam: Properties of Concrete Made With crushed Concrete as Coarse Aggregate, *Magazine of Concrete Research* 37 (130) March 1985.,
- [7] T. C. Hansen, H. Narud: Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate, *Concrete International-Design and Construction* 5 (1) pp. 79-83., January 1983.,
- [8] A.K. Padmini, K. Ramamurthy, M.S. Mathews: Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials* 23 (2009) 829–836,
- [9] Fung, W.K. (2005), *The Use of Recycled Concrete in Construction, Ph.D. dissertation*, University of Hong Kong, pp. 30-55.
- [10] Roumiana Zaharieva, Francois Buyle-Bodin, Frederic Skoczylas, Eric Wirquin: Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete, *Cement & Concrete Composites* 25 (2003) 223–232,
- [11] Vivian W.Y. Tam: Recycled aggregate from concrete waste for higher grades of concrete construction, *Ph.D. dissertation*, City University of Hong Kong, June 2005.,
- [12] Jevtić Dragica: Svojstva svežeg i očvrstlog betona u funkciji termohigrometrijskih parametara sredine, Monografija, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1996.,
- [13] Jiusu Li, Hanning Xiao, Yong Zhou: Influence of coating recycled aggregate surface with pozzolanic powder on properties of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials* 23 (2009) 1287–1291,
- [14] Vivian W.Y. Tam, C.M. Tam, K.N. Le: Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches, *Resources, Conservation and Recycling* 50 (2007) 82–101,
- [15] S. Nagataki, A. Gokce, T. Saeki, M. Hisada: Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates, *Cement and Concrete Research* 34 (2004) 965–971,
- [16] F. Tomosawa, T. Noguchi, *New technology for the recycling of concrete—Japanese experience, Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21st century*, E & FN Spon, London, 2000, pp. 274–287.,
- [17] Marta Sánchez de Juan, Pilar Alaejos Gutiérrez : Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, *Construction and Building Materials* 23 (2009) 872–877
- [18] Vivian W.Y. Tam, C.M. Tam, Y. Wang: Optimization on proportion for recycled aggregate in concrete using two-stage mixing approach, *Construction and Building Materials* 21 (2007) 1928–1939
- [19] Radonjanin Vlastimir, Malešev Mirjana: Beton sa agregatom od recikliranog betona, sastav, svojstva i primena, *Građevinski kalendar 2008.*, Savez građevinskih inženjera i tehničara Srbije, Vol. 40, Decembar 2005, str. 48-91.,
- [20] J.A. Larbi, W.M.M. Heijnen, J.P. Brouwer, E. Mulder: Preliminary laboratory investigation of thermal treated recycled concrete aggregate for general use in concrete, in: G.R. Wooley, Goumans, Wainwright (Eds.), *Waste Materials in Construction-WASCON*, Pergamon, England, 2000, pp. 129–139.
- [21] Etxeberria Larrañaga, Miren: Experimental study on microstructure and structural behaviour of recycled aggregate concrete, *Ph.D. dissertation*, Universitat Politècnica de Catalunya, 2004.

REZIME

SPECIFIČNOSTI TEHNOLOGIJE SPRAVLJANJA BETONA NA BAZI RECIKLIRANOG AGREGATA

*Dragica JEVTIĆ
Dimitrije ZAKIĆ
Aleksandar SAVIĆ*

Ovaj pregledni rad govori o specifičnostima tehnologije spravljanja betona na bazi recikliranog agregata. U prvom delu rada analiziraju se svojstva recikliranog agregata kao komponente za spravljanje novog betona, njegove specifičnosti i razlike u odnosu na prirodni agregat. Daju se opisi mešanja iz dve faze koje se primenjuje u cilju poboljšanja performansi novog betona, kao i primeri spravljanja betona na bazi recikliranog agregata sa dodatkom silikatne prašine. Analiziran je i uticaj promene redosleda doziranja sastavnih komponenata betona. Dalje, prikazani su primeri u kojima se opisuju načini uklanjanja malterske komponente sa recikliranog agregata, npr. pomoću različitih kiselina, sa uticajem na fizička i mehanička svojstva novodobijenih betona, a takođe i različiti načini pripreme recikliranog agregata (sušen na vazduhu, sušen u sušnici i vodomzasićen+površinski suv). Na kraju, prikazuju se generalne smernice za proces projektovanja sastava betona na bazi recikliranog agregata.

Ključne reči: beton na bazi recikliranog agregata, reciklirani agregat, tehnologija betona, projektovanje sastava betona, svojstva svežeg i očvrstlog betona, istraživanja.

SUMMARY

SPECIFIC PROPERTIES OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE PRODUCTION TECHNOLOGY

*Dragica JEVTIĆ
Dimitrije ZAKIĆ
Aleksandar SAVIĆ*

This state-of-the-art paper deals with the differences in production technology of concrete made with recycled aggregate. The properties of recycled aggregate, as a component for new concrete production, are being analyzed in the first part of the paper as well as its specifics and distinctions in comparison to natural aggregate. Two-stage-mixing approaches, as a way to achieve concrete performance improvement, are also described and the examples of recycled aggregate concrete mixing with the addition of silica fume are given. The influence of variation of concrete component materials dosage is also analyzed. Further more, the examples of mortar component removal from recycled aggregate are described (e.g. with the aid of different acids) with the influence of this process on physical and mechanical properties of new concrete. Also, different ways of preparation of recycled aggregate (air-dried, water-saturated, surface-dry and oven-dried) are discussed. At the end, general guidelines for recycled aggregate concrete mix design are given.

Key words: recycled aggregate concrete, recycled aggregate, concrete technology, concrete mix design, properties of fresh and hardened concrete, research.