

Iskorišćenje otpadnog betona, plastike i gume u građevinarstvu

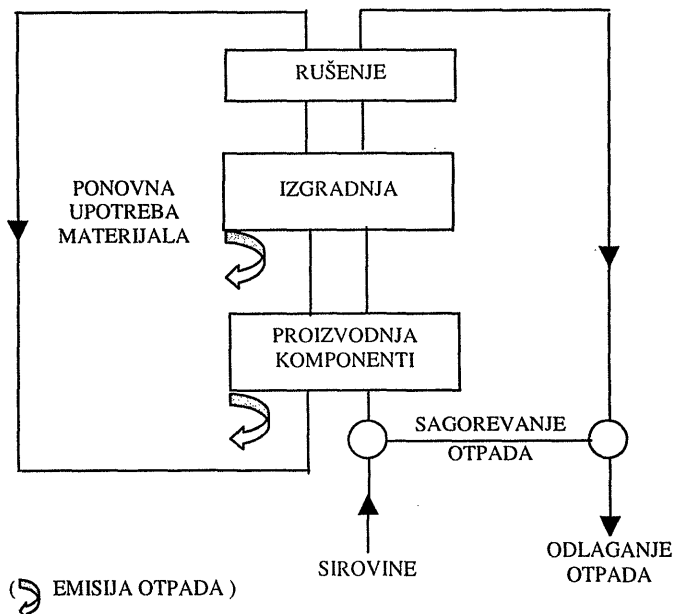
Nevena Čolić, dipl.inž.¹⁾
Dr Marina Ilić, dipl.inž.¹⁾
Saša Miletić, dipl.inž.²⁾
Dr Predrag Jovanić, dipl.inž.²⁾
Dejan Momčilović, dipl.inž.³⁾

Najčešće primenjivano rešenje za iskorišćenje građevinskog otpada je kombinacija sa prirodnim građevinskim materijalima, radi smanjenja eksploatacije prirodnih izvora sirovina. Kao veoma isplativo pokazalo se mešanje sa cementom i spravljanje betona, što, na neki način, predstavlja imobilizaciju građevinskog otpada, a tako dobijeni beton se vrlo uspešno primenjuje u građevinarstvu. Ispitivane su mogućnosti iskorišćenja (reciklaže) otpadnog betona, gume i plastike kao agregata za dobijanje betona. Rezultati su pokazali da beton, dobijen sa recikliranim betonom kao agregatom, postiže vrednosti čvrstoća koje se ne razlikuju od standardnih čvrstoća za konstrukcione materijale. Beton dobijen sa gumom i plastikom kao agregatom spada u kategoriju lakih betona i može se koristiti kao termoizolacioni materijal.

Ključne reči: Otpadni beton, guma, plastika, cement, reciklaža, agregat.

Uvod

GRAĐEVINSKI otpad i otpad od ruševina procentualno su najviše zastupljeni u čvrstom otpadu velikih evropskih gradova. Očigledno je da ovako velike količine predstavljaju veoma interesantan materijal za reciklažu, pri čemu se do značajnih dostignuća dolazi primenom odgovarajućih regulativa, koje forsiraju zatvoreni ciklus materijala prikazan na sl.1 [1].



Slika 1. Šema ciklusa građevinskih materijala

Građevinski otpad je mešavina velikog broja komponenta koje su nepovoljne za reciklažu. Iz tih razloga, posebna poboljšanja u kvalitetu otpada se mogu postići selektivnim planiranim rasklapanjem pre rušenja. Ovo podrazumeva rasklapanje i odvajanje prozora, vrata, sanitarnih delova, parketa, instalacija za grejanje, električne instalacije, što kasnije omogućava upotrebu ovih delova u iste ili „niže” svrhe. Dakle, da bi se povećala selektivnost otpada, mora se obezbediti da rasklapanje prethodi postupku rušenja [2]. Ovi zahtevi povećavaju potrebu za radnom snagom i mašinama, pa je stoga, neophodno uspostaviti stabilno tržište za već korišćene komponente.

Ostatak materijala može biti podeljen u četiri kategorije:

1. asfaltni otpad;
2. otpad od rekonstrukcije puteva;
3. otpadni beton;
4. mešoviti građevinski otpad.

Mogućnost ponovne upotrebe ili reciklaže se procenjuje u odnosu na cene istraživanja novih materijala i potrebe za očuvanjem prirodnih resursa.

Najčešće primenjivano rešenje za iskorišćenje građevinskog otpada je kombinacija sa prirodnim građevinskim materijalima, kako bi se smanjila eksploatacija prirodnih izvora sirovina. Kao veoma isplativo se pokazalo mešanje sa cementom i spravljanje betona, što na neki način predstavlja imobilizaciju građevinskog otpada, a tako dobijeni beton se vrlo uspešno dalje primenjuje u građevinarstvu [3]. Mešanje betona je moguće sa različitim sekundarnim materijalima (dobijenim iz otpada), čime se postiže smanjenje eksploatacije prirodnih izvora sirovina, redukuje se potrebna površina za odlaganje otpada, štedi se energija i sma-

¹⁾ Tehnološko-metalurški fakultet, 11000 Beograd, Karnegijeva 4

²⁾ Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, 11000 Beograd, Franše d'Eperea 86

³⁾ Institut za ispitivanje materijala, 11000 Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43

njuju emisije vezane za ove procese. U svetu se poslednjih par godina procesi reciklaže razvijaju i primenjuju zahvaljujući ekonomskim, političkim i ekološkim pritiscima.

Konvencionalni procesi recikliranja otpada od ruševina daju loš kvalitet proizvoda u smislu raspodele veličine zrna (granulometrijski sastav), organskog sadržaja i velike količine krutih čestica, pa se zbog toga mogu koristiti samo za proizvode koji ne zahtevaju visok kvalitet [4]. Novi mokri postupci daju proizvode čiji je kvalitet na nivou prirodnog proizvoda, pa čak i viši. Suština postrojenja je u klasifikaciji i odvajanju prema gustini. Aglomerisana zrna u napojnoj smeši su rastvorena, krta zrna su uništena, a ostatak se klasifikuje i odvaja se mulj, kao i organske komponente. Proces je realizovan i ispitan u pilot-postrojenju. Ispitivanja su dala izvanredne rezultate u oblasti betona i građevinskog materijala.

Tehničke osobine i ekološka odgovornost su se međusobno približile u društvenoj svesti. Inženjerske performanse se više ne analiziraju i procenjuju samo na osnovu tehničkih specifikacija, već i na osnovu njihovog dejstva na životnu sredinu.

Mnogim fabrikama cementa upotreba alternativnih sirovina i goriva je već poznata [5], tako da se teško u Evropi može naći fabrika cementa koja koristi samo prirodne izvore sirovina. Upotreba alternativnih izvora sirovina, goriva i aditiva, zahteva i nove dozvole radi zaštite životne sredine. Da bi se olakšala zakonska procedura, koja prati mogućnost korišćenja alternativnih materijala u proizvodnji cementa, moraju se obezbediti mere radi zaštite životne sredine. Ovakav pristup bi istovremeno garantovao zaštitu životne sredine i prostor za nove inicijative.

Kao alternativni agregati mogu se koristiti:

- reciklirani otpadni beton;
- gumena strugotina dobijena mlevenjem automobilskih guma i otpadaka iz industrije gume;
- otpadni mulj iz instalacija za obradu komunalnih voda i
- otpaci iz industrije plastike, homogeni plastični otpad od demontiranja automobila, plastika iz poljoprivrednog sektora.

Novi pristup poslovanju donosi nove probleme i nove mogućnosti. Potencijalna korist je produženje veka trajanja prirodnim izvorima koji su potrebni u proizvodnji cementa. Takođe, postoje sledeći problemi: kvalitet industrijskih proizvoda i konkurencija za alternativne materijale. Mnogi snabdevači ne shvataju da proizvodi od otpadnih materijala moraju da zadovolje iste standarde kao i primarne sirovine.

Formiranje tržišta novih građevinskih materijala zahteva mnogo kreativnosti, diplomatije i strpljenja. Dodatak reciklovanih agregata je odgovor na povećano potraživanje cementa, kao i na napredak svesti o zaštiti životne sredine.

Konkretni primer je Plascrete® proizvod preduzeća *Enviroplast Limited*, dobijen od običnog portland cementa, peska i heterogene mešavine plastike, koja se drugačije ne može reciklirati [6].

Plascrete® je po izgledu sličan betonu sa željenim i korisnim osobinama uključujući nisku gustinu (dva do tri puta je lakši od betona), dobru čvrstoću na pritisak, pričvršćuje se i buši klasičnim metodama i dovodi do manjeg habanja sečiva pri sečenju. Koristi se kao arhitektonski i dekorativni materijal, najčešće za pločnike.

Otpadna mekana guma potiče od iskorišćenih automobilskih guma ili gumenih proizvoda iz domaćinstva. Sastoji se od tri tipa granulacije: drobljena guma 5-20 mm koja sadrži tekstilne materijale, prah 2-5 mm bez tekstilnih vlakana i gumeni prah 1-1,6 mm.

1. Prva granulacija se može koristiti u velikom obimu za termičku izolaciju krovova na stambenim zgradama, za noseće konstrukcije koje dozvoljavaju ovakvo opterećenje. Upotreba guma u ove svrhe je stvar precizne provere građevinskog inženjera. Materijal se koristi kao termički izolacioni sloj za potkrovlja sa kosim krovovima.
2. Druga granulacija pomešana sa lateksom i materijalima za ispunu koristi se za proizvodnju antivibracionih materijala u obliku elastičnih ploča, i to polimerizacijom i presovanjem. Ploče služe za sprečavanje prenošenja vibracija od njihovog izvora do delova nosećih konstrukcija.
3. Poslednja granulacija se koristi za proizvodnju vodootpornih prevlaka bez podloge, sa dodatkom bitumena, bivinilstirena i talka za ispunu, koje se upotrebljavaju za krovove, temelje i zaštitu protiv kiselina. Materijal je homogen, veoma elastičan, bez preloma i šupljina na površini.

Cilj savremenih ispitivanja je korišćenje pohabanih guma i ostalih proizvoda kao materijala u građevinskoj industriji. Ponovna upotreba ove vrste otpada je dobitak za životnu sredinu, jer se umanjuje zahtev za prostorom za odlaganje.

Eksperimentalni deo

U eksperimentu je korišćen cement PC 45B, proizvod *Beočinske fabrike cementa*. Kao agregati su korišćeni: separisani kameni agregat veličine 0-8 mm, koji *Beočinska fabrika cementa* inače koristi u sopstvenoj proizvodnji, drobljeni otpadni beton veličine 0-8 mm, mlevena otpadna plastika i mlevena otpadna auto-guma.

Pripremljeni su sledeći uzorci prizmica:

1. Prizmice sa otpadnim betonom

- Serija prizmica je zamešana sa odnosom cement:otpadni beton=1:3 i vodocementnim faktorom $w/c = 0,5$. Zapreminska masa agregata je 1260 kg/m^3 .

2. Prizmice sa otpadnom mlevenom plastikom

- Prva serija je zamešana sa odnosom cement:plastika=1:2 i vodocementnim faktorom $w/c = 0,71$.
- Druga serija je zamešana sa odnosom cement:plastika=1:3 i vodocementnim faktorom $w/c = 0,55$. Zapreminska masa iskorišćene plastike je 460 kg/m^3 .

3. Prizmice sa otpadnom mlevenom gumom

- Prva serija je zamešana sa odnosom cement:guma=1:3 i vodocementnim faktorom $w/c = 0,5$.
- Druga serija je zamešana sa odnosom cement:guma=1:3 i vodocementnim faktorom $w/c = 1,46$. Zapreminska masa iskorišćene gume je 402 kg/m^3 .

4. Prizmice sa separisanim kamenim agregatom 0-8 mm

- Serija prizmica je zamešana sa odnosom cement:separisani agregat=1:3 i vodocementnim faktorom $w/c = 0,5$. Zapreminska masa separisanog kamenog agregata je 1788 kg/m^3 .

Određivanje granulometrijskog sastava otpadnog betona, mlevene plastike i mlevene auto-gume vršeno je prema standardu JUS L.J9.010.

Hemijska analiza cementa je uradjena prema standardu JUS EN 196-2. Određivanje fizičko-mehaničkih osobina je uradjeno prema JUS EN 196-6, JUS EN 196-3. Određivanje čvrstoća cementa i pripremljenih prizmica je uradjeno

prema JUS EN 196-1. Određivanje modula elastičnosti je urađeno na aparatu *Amsler 10Z 1032*. Ispitivanje je izvršeno u opsegu od 20 kN. Površine poprečnog preseka uzoraka su snimljene na skenirajućem elektronskom mikroskopu *SEM JEOL 840A*, sa naponom mlaza 23 kV i uvećanjem 739 puta.

Rezultati i diskusija

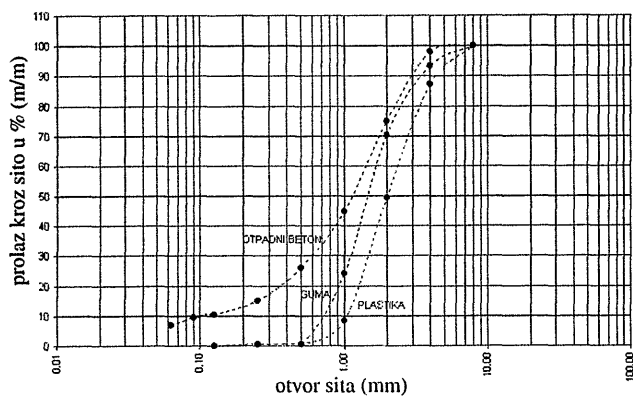
Rezultati dobijeni prosejavanjem drobljenog otpadnog betona, mlevene plastike i gume su prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Granulometrijski sastav mlevenih komponenta

Otvor sita, mm	Otpadni beton Prolaz kroz sito, %	Plastika Prolaz kroz sito, %	Guma Prolaz kroz sito, %
8	100	100	100
4	98	87,4	93,4
2	75	49,6	70,5
1	45	8,4	24,2
0,500	26	0,4	0,5
0,250	15	0,4	0,5
0,125	10,5	0,0	0,0
0,090	9,5	-	-
0,063	6,8	-	-
Dno	9,5	-	-

Dobijeni rezultati su prikazani grafički na dijagramu granulometrijskog sastava frakcije agregata na sl.2.

dijagram granulometrijskog sastava frakcije agregata



Slika 2. Dijagram granulometrijskog sastava agregata

U tabeli 2 su prikazani rezultati ispitivanja hemijskog sastava cementa. Nizak sadržaj nerastvorljivog ostatka potvrđuje da se radi o čistom portland cementu bez dodataka. Sadržaj sulfata i alkalija je uobičajeno nizak.

Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih osobina cementa su prikazani u tabeli 3. Tabela 4 prikazuje čvrstoće cementa posle 2, 3, 7 i 28 dana.

Rezultati ispitivanja karakteristika cementa PC 45B pokazuju da ispitani uzorak cementa odgovara tehničkim uslovima kvaliteta standarda JUS B.C1.011/82.

U tabeli 5 su date vrednosti masa opitnih prizmi posle 28 dana odležavanja.

Mase prizmica sa otpadnim betonom kao agregatom, u odnosu cement:otpadni beton=1:3 i sa w/c=0,5, vrlo su bliske vrednostima masa prizmi sa separisanim kamenim agregatom, što se i moglo očekivati.

Tabela 2. Rezultati ispitivanja hemijskog sastava cementa

Hemijski sastav, % mas.	
SiO ₂	18,84
Al ₂ O ₃	5,75
Fe ₂ O ₃	2,50
CaO	60,17
Nerastvorljivi ostatak	0,27
Vlaga na 105 °C	0,28
Gubitak žarenjem bez vlage i CO ₂	0,90
Vežani CO ₂ u CaCO ₃	0,18
Slobodni CaO	1,97
Vežani CaO u CaSO ₄	2,05
Vežani CaO u CaCO ₃	0,23
Vežani SO ₃ u CaSO ₄	2,93
CaS	0,00
MgO	2,69
Alkalije kao Na ₂ O	0,70
K ₂ O	0,57
MnO	0,06
FeO	0,11
P ₂ O ₅	0,06
Cl ⁻	0,00

Tabela 3. Fizičko-mehanička svojstva cementa

Fizičko-mehanička svojstva	Kvalitet
Ostatak na situ 0,09 mm, % mas.	1,30
Specifična površina (Blaine), cm ² /g	3750
Gustina, g/cm ³	3,14
Zapreminska masa	
-rastresito stanje, kg/m ³	910
-sabijeno stanje, kg/m ³	1460
Vezivanje	
-voda za standardnu konzistenciju, % mas.	27,00
Vreme vezivanja, min	
-početak vezivanja	360
-kraj vezivanja	405
Stalnost zapremine	
-Le Chatelier test, mm	1,0

Tabela 4. Čvrstoće cementa

Vreme odležavanja	Savojna čvrstoća, MPa	Pritisna čvrstoća, MPa
2 dana	5,5	25,0
3 dana	7,1	32,4
7 dana	7,6	41,3
28 dana	9,0	51,9

Tabela 5. Mase prizmi sa ispitivanim agregatima

Tip prizmi	Masa prizmi (srednja vrednost), kg	
Prizme sa otpadnim betonom	0,585	
Prizme sa otpadnom plastikom	Prva serija	0,310
	Druga serija	0,214
Prizme sa otpadnom gumom	Prva serija	0,268
	Druga serija	0,240
Prizme sa separisanim kamenim agregatom	0,614	

U tabeli 5 su prikazani rezultati merenja mase prve i druge serije prizmica sa odnosima cement:plastika=1:2, w/c=0,71 i cement : plastika=1:3, w/c =0,55. Betonske prizme zamešane sa otpadnom mlevenom plastikom u pogledu masa pokazale su upola manje vrednosti u odnosu na mase prizmi sa separisanim kamenim agregatom. Što je odnos

plastike prema cementu veći, to su mase opitnih prizmi manje, što se zapaža u različitim vrednostima masa za prvu i drugu seriju prizmi, kako je i prikazano u tabeli 5. U literaturi su prikazani primeri uspešnog korišćenja plastike u građevinske svrhe, a kao jedna od prednosti betonskih ploča dobijenih dodatkom plastike navodi se upravo lakoća pri rukovanju zbog smanjene mase u odnosu na standardni beton.

U tabeli 5 su dati rezultati merenja mase serija prizmi sa mlevenom otpadnom auto-gumom koja je zamešana sa cementom u odnosu cement:auto-guma=1:3, w/c =0,5 i cement:auto-guma=1:3, w/c =1,46. Merenjem masa betonskih prizmi, zamešanih sa otpadnom mlevenom auto-gumom, dobijene su vrednosti duplo manje od masa standardnih prizmi, što je, kao i u slučaju dodavanja plastike, važan faktor pri određivanju upotrebe ovako dobijenog betona.

U tabeli 6 su prikazane zapreminske mase prizmi sa različitim agregatima.

Tabela 6. Zapreminske mase prizmi sa ispitivanim agregatima

Tip prizmi	Zapreminska masa prizmi (srednja vrednost), kg/m ³	
Prizme sa otpadnim betonom	2290	
Prizme sa otpadnom plastikom	Prva serija	1210
	Druga serija	860
Prizme sa otpadnom gumom	Prva serija	1040
	Druga serija	940
Prizme sa separisanim kamenim agregatom	2400	

S obzirom na nisku zapreminsku masu prizmi sa otpadnom mlevenom plastikom i otpadnom mlevenom gumom, kako pokazuju rezultati u tabeli 6, i niske vrednosti čvrstoća, što će se pokazati u daljem radu, betoni sa ovim agregatima se ne mogu koristiti kao konstrukcijski materijali, ali se mogu uspešno primenjivati kao izolacioni materijali, odnosno kao laki betoni.

Tabela 7. Poređenje čvrstoća prizmi sa različitim agregatima

Tip prizmi	Savojna čvrstoća posle 28 dana, MPa	Pritisna čvrstoća posle 28 dana, MPa	
Prizme sa otpadnim betonom	9,79	50,11	
Prizme sa otpadnom plastikom	Prva serija	2,80	
	Druga serija	3,5·10 ⁻⁴	9,0·10 ⁻²
Prizme sa otpadnom gumom	Prva serija	2,5·10 ⁻⁴	3,1·10 ⁻²
	Druga serija	-	-
Prizme sa separisanim kamenim agregatom	9,54	51,24	

Ispitivanjem savojnih i pritisnih čvrstoća prizmi sa otpadnim betonom došlo se do dobrih rezultata, vrlo bliskih vrednostima za savojne i pritisne čvrstoće betona sa separisanim kamenim agregatom, što se vidi iz tabele 7. Zapažena je i bliskost u vrednostima priraštaja čvrstoća od 3 dana do 7 dana i od 7 dana do 28 dana. Prizme sa separisanim kamenim agregatom veličine 0-8 mm pokazuju veoma dobre osobine u pogledu savojne i pritisne čvrstoće. Ovaj agregat *Beočinska fabrika cementa* koristi u proizvodnji.

Merenja čvrstoća prizmi sa otpadnom mlevenom plastikom dala su loše rezultate u pogledu vrednosti čvrstoća, ali i smernice za neka dalja ispitivanja. S obzirom da u literaturi postoje primeri uspešnog korišćenja otpadne plastike u građevinske svrhe, treba nastaviti istraživanja u pravcu na-

laženja optimalnog odnosa cement:plastika i voda:cement. Poređenjem vrednosti čvrstoća prizmi prve i druge serije vidi se da se za bolje rezultate mora smanjiti količina mlevene plastike.

Čvrstoća betona sa mlevenom otpadnom plastikom (savojna - 2,80 MPa i pritisna - 5,87 MPa, posle 28 dana) u nivou je opekarskih proizvoda, što znači da je takav beton veoma primenljiv, a uz to poseduje i dobra termoizolaciona svojstva.

Optimizacijom sastava betona sa mlevenom otpadnom plastikom i mlevenom otpadnom gumom i dodatnim ispitivanjima na visokim i niskim temperaturama mogli bi se dobiti kvalitetni termoizolacioni betoni zapreminske mase 500-600 kg/m³ i čvrstoće ≈1 MPa, posle 28 dana, što je u rangu gas-betona za koji je poznato da ima izuzetna termoizolaciona svojstva.

Kod prizmi sa mlevenom otpadnom plastikom se javio problem povećane poroznosti, koja se može smanjiti dodatkom superplastifikatora. Ove materije, površinski aktivne, smanjuju površinski napon graničnih površina između vode, cementa i agregata. Kao rezultat primene ove vrste dodatka betonu postiže se znatno smanjenje sadržaja vode, a time i vrednost vodocementnog odnosa. Dodatkom ovih aditiva se postiže bolja kompaktnost i poboljšava se njegova obradivost.

Kod prizmi sa otpadnom mlevenom auto-gumom ispitivanje savojnih i pritisnih čvrstoća prizmi iz druge serije nije bilo moguće. Kao problem pojavilo se i lepljenje gume za kalupe, jer je došlo do reakcije između gume i ulja za podmazivanje kalupa, što je otežavalo vađenje prizmi iz kalupa. U slučaju izbora ovakvog betona, trebalo bi da se nađe bolje rešenje za kalupe (na primer, plastični kalupi obloženi talkom) kako bi se prizme lakše vadile. Serije prizmica sa otpadnom mlevenom plastikom i gumom nije bilo moguće izvaditi iz kalupa posle 3, 7, i 14 dana odležavanja.

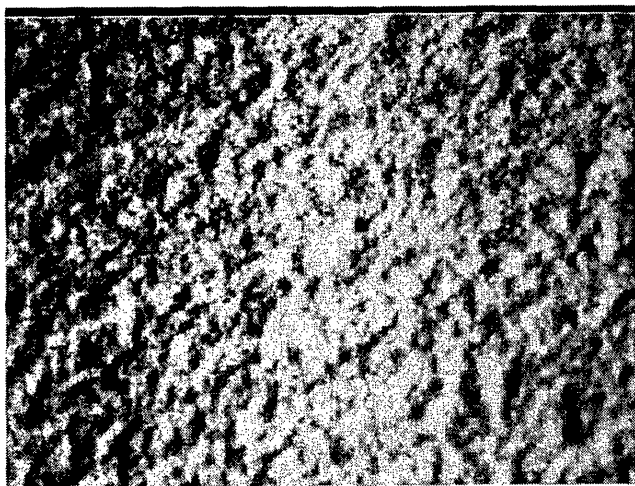
Tabela 8. Vrednosti modula elastičnosti za prizme sa različitim agregatima

Tip prizmi	Modul elastičnosti, GPa
Prizme sa otpadnim betonom	57,7
Prizme sa otpadnom plastikom	6,3
Prizme sa otpadnom gumom	-
Prizme sa separisanim kamenim agregatom	53,0

Rezultati ispitivanja modula elastičnosti, prikazani u tabeli 8, pokazuju da prizme pripremljene sa drobljenim otpadnim betonom pokazuju karakteristike slične prizmicama dobijenim sa separisanim kamenim agregatom, što potvrđuje da drobljeni otpadni beton može zameniti prirodni agregat u spravljanju betona. Ispitivanje modula elastičnosti prizmica pripremljenih sa otpadnom gumom nije bilo moguće izvesti s obzirom na nedovoljne čvrstoće uzoraka. Prizme pripremljene sa otpadnom plastikom pokazuju da se dodatkom plastike povećava elastičnost betona i to, za odnos cement : plastika=1:3, modul elastičnosti ima manju vrednost devet puta, što znači da je elastičnost povećana devet puta.

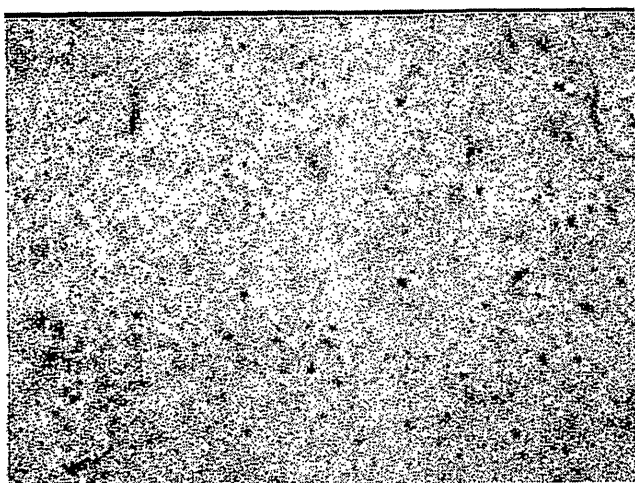
Mikrofotografije uzoraka površine poprečnog preseka ispitivanih prizmi, snimljene skenirajućim elektronskim mikroskopom, prikazane su na slikama od 3-5.

Slika 3 prikazuje površinu poprečnog preseka betona pripremljenog sa otpadnim betonom kao agregatom. Površina pokazuje da je uzorak kompaktn i da se ne razlikuje od površine uzorka standardnog betona.



Slika 3. Mikrofotografija uzorka betona pripremljenog sa otpadnim betonom kao agregatom, uvećanje 739x

Na sl.4 je prikazana površina uzorka betona pripremljenog sa otpadnom plastikom kao agregatom. Mogu se videti pore kao rezultat loše kompaktnosti i obradivosti, iako se može reći da je plastika dobro raspoređena.



Slika 4. Mikrofotografija uzorka betona pripremljenog sa otpadnom plastikom kao agregatom, uvećanje 739x

Na sl.5 je prikazana površina uzorka betona pripremljenog sa otpadnom auto-gumom kao agregatom. Može se videti raspodela gume u masi betona.



Slika 5. Mikrofotografija uzorka betona pripremljenog sa otpadnom auto-gumom kao agregatom

Ovim radom je dokazano ne samo uspešno uklanjanje kabastog inertnog otpada, koji bi na deponijama zauzimao ogroman prostor, već i njegovo uspešno iskorišćenje u građevinske svrhe, čime otpad postaje izvor sirovina.

Zaključak

Građevinski otpad (otpadni beton, plastika i guma) može se recilirati i iskoristiti u građevinarstvu. Rezultati su pokazali da su vrednosti zapremine mase i čvrstoća uzoraka pripremljenih sa otpadnim betonom (2400 kg/m^3 i $51,24 \text{ MPa}$, respektivno) vrlo bliske vrednostima dobijenim za beton pripremljen sa prirodnim agregatom (2290 kg/m^3 i $50,11 \text{ MPa}$, respektivno). Dakle, ovakav beton potpuno je primenljiv za sve konstrukcione zahvate. Prednost čini iskorišćenje otpada umesto eksploatacije prirodnih sirovina.

Rezultati određivanja zapremine masa prizmi sa mlevenom otpadnom plastikom (1210 kg/m^3 i 860 kg/m^3) i mlevenom otpadnom auto-gumom (1040 kg/m^3 i 940 kg/m^3) zadovoljavajući su, s obzirom da je iz zapremine masa očvrstlog betona vidljivo da se sa takvim agregatima mogu dobiti laki betoni.

Čvrstoća betona sa mlevenom otpadnom plastikom (savojna - $2,80 \text{ MPa}$ i pritiska - $5,87 \text{ MPa}$, posle 28 dana) u nivou je opekarskih proizvoda, što znači da je takav beton veoma primenljiv a uz to poseduje i dobra termoizolaciona svojstva.

Optimizacijom sastava betona sa mlevenom otpadnom plastikom i mlevenom otpadnom gumom i dodatnim ispitivanjima na visokim i niskim temperaturama mogli bi se dobiti kvalitetni termoizolacioni betoni, zapremine mase $500-600 \text{ kg/m}^3$ i čvrstoće $\approx 1 \text{ MPa}$, posle 28 dana, što je u rangu gas-betona za koji je poznato da ima izuzetna termoizolaciona svojstva.

Rezultati ispitivanja modula elastičnosti potvrđuju da uzorci pripremljeni sa otpadnim betonom imaju karakteristike vrlo bliske uzorcima dobijenim sa separisanim kamenim agregatom ($57,7 \text{ GPa}$ i $53,0 \text{ GPa}$, respektivno) što potvrđuje da drobljeni otpadni beton može zameniti prirodni agregat u spravljanju betona. Vrednost modula elastičnosti prizmi pripremljenih sa otpadnom plastikom ($6,3 \text{ GPa}$) pokazuje da se dodatkom plastike povećava elastičnost betona.

Literatura

- [1] NEJRUP, J. 90 % Recycling of Construction and Demolition Waste. *Proceedings of the 3rd International Congress "Recovery, Recycling, Re-integration"*, 1997, vol. VI, Geneve, Switzerland, p.106-111.
- [2] HASSAN, M.N. Issues and Problems of Solid Waste Management in Developing Countries-The Case of Malaysia. *Proceedings of the 3rd International Congress "Recovery, Recycling, Re-integration"*, 1997, vol. I, Geneve, Switzerland, p.182-187.
- [3] HOLZKAMP, J. Re-Use of Building Components Innovative Dismantling Strategies for Buildings. *Proceedings of the 3rd International Congress "Recovery, Recycling, Re-integration"*, 1997, vol. I, Geneve, Switzerland, p.334-339.
- [4] MILETIĆ, S., OTOVIĆ, S. *Građevinski materijali u praksi*. Savez građevinskih inženjera i tehničara Srbije, Beograd, 1998.
- [5] CRAIGHILL, A., POWELL, J. Displacement of Environmental Impacts by the Reuse and Recycling of Construction and Demolition Wastes. *Proceedings of the 3rd International Congress "Recovery, Recycling, Re-integration"*, 1997, vol. II, Geneve, Switzerland, p.41-45.
- [6] GEOCOV, A., ISMAIL, S. Soft Rubber Waste-A New Material for the Construction Industry. *Proceedings of the 4th International Congress "Recovery, Recycling, Re-integration"*, 1999, vol. III, Geneve, Switzerland, p.205-209.