

Neki primjeri lakih betona od recikliranih agregata

Plavčić, Lora

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:687929>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-25**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Lora Plavčić

Split, 2024.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Lora Plavčić

Neki primjeri lakih betona od recikliranih agregata

Završni rad

Split, 2024.



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,
ARCHITECTURE AND GEODESY

STUDIJ: SVEUČILIŠNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO
KANDIDAT: Lora Plavčić
MATIČNI BROJ: 0083226123
KATEDRA: Katedra za građevinske materijale
KOLEGIJ: Građevinski materijali 1

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Neki primjeri lakih betona od recikliranih agregata

Opis zadatka: Zadatak kandidatkinje je navesti osnovne karakteristike i vrste lakog betona, te prikazati neke primjere lakih betona za čiju su se izradu koristili reciklirani materijali. Potrebno je pregledno prikazati dobivena svojstva takvih betona.

U Splitu, datum zadatka: ožujak 2024.

Mentor:

Prof. dr. sc. Sandra Juradin

Neki primjeri lakih betona od recikliranih agregata

Sažetak:

Beton je građevinski materijal koji se najčešće koristi u građevinskoj industriji. Laki beton, kao vrsta specijalnog betona, je nastao kao potreba za smanjenjem težine konstrukcije. Sav otpad predstavlja veliki ekološki problem pa bi najbolje rješenje bilo reciklirati ga u što većoj mjeri i ponovno iskoristiti. U novije vrijeme i u građevini nastoje koristiti reciklirani otpadni proizvodi, koji se nazivaju zelenim građevinskim materijalima. Potrebno je istražiti u kojoj mjeri zeleni građevinski materijali mogu pridonijeti poboljšanju svojstava betona i ekosustavu. U navedenim primjerima su opisana ispitivanja u kojima su korišteni reciklirani agregati kao zamjena za prirodni agregat.

Ključne riječi: laki beton, zeleni građevinski materijali, reciklirani agregat, otpad, mehanička svojstva

Some examples of lightweight concrete made from recycled aggregate

Abstract:

Concrete is the most commonly used material in the construction industry. Lightweight concrete, as a type of special concrete, was developed to meet the need for reducing the weight of structures. All waste represents a significant environmental issue, so the best solution would be to recycle it as much as possible and reuse it. In recent times, the construction industry has also been incorporating recycled waste products, known as green building materials. It is necessary to explore how green building materials can contribute to improving the properties of concrete and the ecosystem. The given examples describe tests in which recycled aggregates were used as a replacement for natural aggregate.

Keywords: lightweight concrete, green building materials, recycled aggregate, waste, mechanical properties

Sadržaj

1. BETON	1
2. LAKI BETON	2
2.1 Vrste lakog betona	4
2.1.1 Lakoagregatni beton	4
2.1.2 Betoni od jednozrnatog agregata	4
2.1.3 Čelijasti betoni	5
2.2 Svojstva lakog betona	5
3. PROBLEM I RECIKLIRANJE OTPADA	6
4. LAKI BETON OD RECIKLIRANOG AGREGATA	8
4.1 Primjeri	9
4.1.1 Lakoagregatni beton s dodatkom otpadnog praha guma i otpadnog pijeska stakla s tekućim kristalima (LCD)	9
4.1.2 Laki beton s agregatom koji sadrži ekspandirano staklo	13
4.1.3 Reciklirani laki beton s agregatom od ekspandirane gline	14
4.1.4 Reciklirani poliolefinski otpad kao agregat za laki beton	17
4.1.5 Lagani beton s recikliranim mljevenim agregatom od ekspandiranog polistirena	26
5. ZAKLJUČAK	29
LITERATURA	30

1. BETON

Beton je građevinski materijal koji se sastoji od mješavine agregata, cementa, vode, zraka i aditiva. To je materijal koji se najčešće koristi prilikom izgradnje konstrukcija. Budući da ima veliku primjenu, promjena njegove forme i strukture nam daje mogućnost da ispunimo zahtjeve i potrebe velikog broja objekata različite namjene. Prilikom projektiranja njegovog sastava treba paziti koje će se komponente koristiti i u kojem omjeru.

U svježem stanju se može lako oblikovati, a nakon što se očvrstne trajno zadržava oblik. Osnovno svojstvo betona je tlačna čvrstoća.

Budući da 60% - 80% ukupnog volumena betona čini agregat, porijeklo i karakteristike agregata mogu značajno utjecati na svojstva svježeg i očvrstlog betona. Tako agregat može biti prirodni agregat iz vučenog nanosa, drobljeni kamen dobiven drobljenjem velikih komada stijena, umjetni agregati, sekundarne sirovine iz nekih drugih industrija (npr. zgura), reciklirani materijal ili umjetno proizveden za posebnu namjenu [1]

Svako svojstvo betona se može mijenjati prema namjeni pa su zbog toga nastale mnoge vrste specijalnih betona. Specijalni betoni sadrže uz uobičajene sastojke normalnog betona i dodatne komponente koje mijenjaju njegova osnovna svojstva. Ovisno koja svojstva betona želimo dobiti poput veće ili manje gustoće, manjeg skupljanja i puzanja, veće vlačne čvrstoće i sl., betonu možemo dodavati vlakna, polimere, različite vrste i tipove agregata i sl.

2. LAKI BETON

Laki beton koristimo kada su nam potrebna lakša i energetska učinkovitija rješenja. Primjerice ako trebamo smanjiti težinu konstrukcije, ako je potrebna bolja zvučna i toplinska izolacija i ukoliko moramo smanjiti utjecaj potresa na konstrukciju [2]

Jedan od načina smanjenja težine se postiže upotrebom lakih agregata umjesto prirodnih. Lake agregate dijelimo na prirodne (vulkanski pepeo, plovućac, dijamant itd.) i umjetne (glina, perlit, ekspanzirani škriljevac itd.). Ako se kao agregat koriste organske tvari poput drvene vune ili slame, prvo ih je potrebno neutralizirati.

Prema namjeni ih dijelimo na konstrukcijske, izolacijske i konstrukcijsko – izolacijske.

Ova vrsta betona ima manju volumnu masu koja najčešće iznosi 600 - 1500 kg/m³, a ponekad ide i do 2000 kg/m³. Obični beton ima volumnu masu između 2200 kg/m³ i 2500 kg/m³.

Ukoliko koristimo agregat koji ima veliki sadržaj pora, stvorimo pore u mortu ili prostor između krupnih zrna agregata, onda ćemo na taj način postići manju volumnu masu.

S obzirom na način dobivanja i proizvodnje postoji nekoliko vrsta lakog betona: [3]

- lakoagregatni beton,
- beton od jednozrnatog agregata,
- ćelijasti beton.

Na slici 1. i 2. prikazana je razlika u strukturi lakog (u ovom slučaju ćelijastog) i običnog betona.



Slika 1. Struktura lakog betona [4]



Slika 2. Struktura običnog betona [5]

2.1 Vrste lakog betona

2.1.1 Lakoagregatni beton

Za dobivanje lakoagregatnog betona se koristi više vrsta agregata, prirodni agregat (kao što je plovuĉac), ekspandiranog i peĉenog agregata (npr. ekspandirana peĉena glina) i sekundarnih sirovina (drobljena opeka, granulirana zgura i sl.). Laki agregati ĉe prilikom pravljenja mješavine betona ili upijati ili otpuštati vodu te zbog toga ne moŹemo unaprijed odrediti koliĉinu vode potrebnu toj smjesi već se ona podešava prilikom miješanja.

S obzirom za koju namjenu koristimo lakoagregatni beton, dijele se na: [6]

- izolacijski laki betoni,
- konstrukcijski laki betoni,
- konstrukcijsko - izolacijski laki betoni.

2.1.2 Betoni od jednozrnatog agregata

Beton se uglavnom sastoji od više frakcija agregata, ĉime se postiŹe veća volumna koncentracija agregata u betonu. Ukoliko se koristi samo jedna frakcija kamenog dobiva se manja volumna koncentracija agregata što rezultira velikim brojem šupljina u betonu. Dodatno olakšanje dobiva se korištenjem samo jedne frakcije laganog agregata. U jednozrnatom betonu uglavnom se izostavlja sitna frakcija agregata, ali korištenjem više frakcija moŹe se smanjiti koliĉina pora, povećati volumna masa i ĉvrstoća betona.

Ovaj tip betona pokazuje dobru otpornost na mraz i moŹe uĉinkovito apsorbirati zvuk ukoliko površina ostane hrapava.

Minimalna potrebna koliĉina cementa je 250 kg/m^3 . [3]

2.1.3 Čelijasti betoni

Postoje dvije vrste ćelijastog betona s obzirom na dobivanje njegove strukture, a to su plinobeton i pjenobeton. [3]

Plinobeton dolaze na tržište kao predgotovljeni elementi, a pored vapna, letećeg pepela i kavrcnog pijeska imaju u sastavu i dodatke koji izazivaju ekspanziju plina u svježoj mješavini, te se tako stvara ćelijasta struktura.

Za razliku od plinobetona koji se proizvode u autoklavima, pjenobeton se mogu osim u tvornicama proizvoditi i na gradilištu. U ovu vrstu lakog betona dodaje se pjena, koja treba biti stabilna.

2.2 Svojstva lakog betona

Količina cementa koja je potrebna za izradu lakog betona je znatno veća nego za izradu običnog betona. Laki betoni su skuplji te treba posvetiti više pažnje prilikom proizvodnje, transporta i same ugradnje betona. Trajnost može biti ista kao i kod običnog betona. [1]

Modul elastičnosti lakog betona iznosi oko 20 GPa te je beton krt.

Velika količina pora uzrokuje manju čvrstoću i otpornost na habanje. Čvrstoća lakog betona je ograničena čvrstoćom agregata, a podešava se izborom razreda čvrstoće cementa i vodocementnog omjera. Čvrstoća na pritisak značajno varira, čak od vrijednosti manjih od 1 MPa pa sve do 60 MPa. Najveću čvrstoću postiže beton s agregatom od ekspandirane gline.

Izolacijska svojstva lakog betona su bolja nego kod običnog betona pa se tako smanjenjem volumne mase povećavaju toplinska izolacijska svojstva. Laki beton ima bolju zvučnu izolaciju za zvuk koji se prenosi zrakom, ali je slabije učinkovit kod izolacije s obzirom na zvuk koji nastaje udarcem.

Kod lakog betona skupljanje i bubrenje je veliko i to uzrokuje mrežaste pukotine koje utječu svojstva betona te se pojavljuju nekoliko tjedana ili mjeseci nakon očvršćivanja. Na skupljanje utječe voda, cement, dodatci te vrsta i kvaliteta agregata. Konačno skupljanje lakog betona je približno 15 % do 30 % veće nego kod običnog betona. Bubrenje se javlja u fazi kad

kristalna struktura još nije poprimila potrebnu čvrstoću te nastaje zbog povećanog utjecaja vode između zrna i finih kapilara.

Vrsta agregata i okolni uvjeti utječu na puzanje koje je veće nego kod običnog betona.

3. PROBLEM I RECIKLIRANJE OTPADA

Veliki problem u svijetu je stvaranje velikih količina otpada iz industrijske proizvodnje, građevinarstva, elektronike, tekstila i taj se problem svake godine sve više povećava.

Građevni otpad je otpad koji je nastao tijekom nove gradnje građevina, rekonstrukcije, uklanjanja ili održavanja postojećih objekata. To uključuje i iskopani materijal koji se može ponovno upotrijebiti, ali se prvo treba reciklirati.

Do velikog problema dolazi prilikom gospodarenja građevnim otpadom zato što nisu određene lokacije za odlaganje istog te taj otpad često završava na odlagalištima komunalnog otpada ili na „divljim“ deponijama. Zabranjeno je odlaganje građevnog otpada na mjestima koja nisu predviđena za to ili na lokaciji nastanka.

Sprječavanje nastanka građevnog otpada je nemoguće jer se građevine svakodnevno grade, ruše ili preuređuju.

Građevinski otpad je uglavnom inertan, a pod njim spada žbuka, dijelovi zidova, betona, crijepovi, keramičke pločice, stolarija i ostalo. Vrlo je bitan sastav otpada jer o tome ovise postupci reciklaže i zbrinjavanja, na primjer, otpad ne smije sadržavati azbest jer je opasan za zdravlje. Najčešći građevinski materijali koji sadrže azbest su pokrovne ili zidne salonitne ploče.

U građevinarstvu prilikom izgradnje konstrukcija možemo koristiti i reciklirane materijale koji nisu isključivo nastali iz građevinskog otpada, nego su nastali iz otpada nekih drugih materijala poput stakla, plastike, guma i metalnih sirovina.

Komunalni otpad poput plastike i stakla nastaje u gotovo svim sektorima društva kao što su kućanstva, ugostiteljstvo, automobilske industrija, građevinska industrija, farmaceutska

industrija itd. Konkretno otpad poput plastike, stakla, metala papira i drugih se odlaže u reciklažna dvorišta.

Primjerice, godišnje se u svijetu proizvede preko milijardu guma, a samo u Europi preko 350 milijuna i ta brojka konstantno raste. Budući da se guma može reciklirati više puta, poželjno ju je iskoristiti i u građevinarstvu jer omogućuje širok spektar upotrebe. Može se koristiti prilikom cestogradnje, za obloge u izolaciji, kod izrade panela, ploča na fasadi, sportskih terena i drugo. [13]

Staklo nije biorazgradivo te kao takvo nije ekološki prihvatljivo pa se nastoji reciklirati i iskoristiti i u građevinarstvu. Staklo se može reciklirati bezbroj puta i u potpunosti preraditi.

Plastika ima dugi vijek trajanja i zbog toga dolazi do uništavanja okoliša. Godišnje se u Europi proizvede skoro 26 milijuna tona plastičnog otpada, pri čemu se reciklira manje od 30%. Otpadna plastika se znatno manje koristi i reciklira, nego drugi materijali koji se također recikliraju.

U Hrvatskoj se godišnje proizvede više od 2 milijuna tona građevnog otpada. Za razliku od nekih razvijenih država Europske unije koje recikliraju više od 80% građevnog otpada, Hrvatska uspijeva reciklirati ili na odgovarajući način zbrinuti samo 5%.

Recikliranje je proces u kojem se otpadni materijali i iskorišteni proizvodi obrađuju da bi se dobile sirovine koje će se ponovno koristiti.

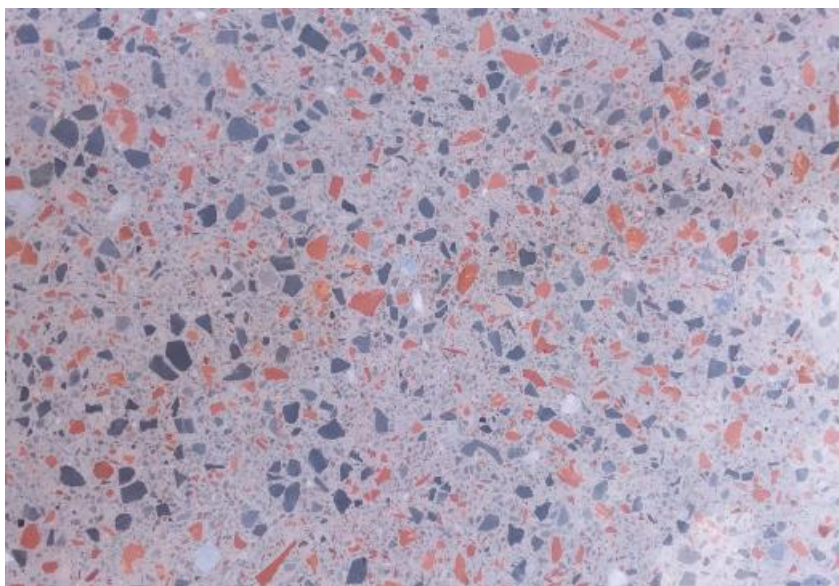
Recikliranjem nastojimo što manje koristiti prirodne izvore, stvoriti manje količine otpada i očuvati okoliš.

Reciklirani materijal se koristi kao dodatni ili alternativni materijal prirodnim agregatima te mora zadovoljiti norme i uvjete da bi se koristio u građevinske svrhe.

Tehnološki proces recikliranja građevinskog otpada se svodi na to da prvo rušimo objekt te skupljamo razrušeni materijal, a onda recikliramo taj otpad i time dobijemo novi proizvod.

Primjeri recikliranih agregata su reciklirani asfalt, beton, crijep, cigla, keramika te mješavine spomenutih materijala. [12]

Slika 3. prikazuje primjer betona kod kojeg je kao agregat korištena reciklirana cigla.



Slika 3. Beton sastavljen od reciklirane cigle [13]

4. LAKI BETON OD RECIKLIRANOG AGREGATA

Najveći korisnik prirodnih resursa u svijetu je industrija betona, procjenjuje se da je godišnja svjetska potrošnja betona oko 10 milijardi tona. [18]

Osim problema građevinskog otpada problem je i velika potrošnja energije, stoga bi se upotrebom recikliranog agregata smanjila potreba za prirodnim materijalima koji predstavljaju neobnovljive izvore te bi zbrinuli otpad koji bi inače završio na deponijima.

Također, proizvodnja umjetnog lakog agregata je vrlo skupa pa se nastoji pomoću recikliranih otpadnih materijala proizvoditi beton na ekonomičniji način.

Glavna razlika između prirodnog agregata i agregata recikliranog betona je zalijepljeni mort na površini agregata recikliranog betona. Takav agregat je porozniji, ima veću apsorpciju, nižu gustoću i nižu čvrstoću na drobljenje od prirodnih agregata. [18]

Na svojstva betona u velikoj mjeri ovisi porijeklo recikliranog agregata i drugi faktori kao što su: udio recikliranog agregata, metoda miješanja te vrsta i udio mineralnih i kemijskih dodataka.

Prilikom korištenja recikliranog agregata potrebno je imati dovoljno iskustva, ali prvenstveno se mora ispitati je li moguće koristiti takav agregat, a zatim i provesti eksperimentalno ispitivanje uzorka betona. [12]

4.1 Neki primjeri primjene recikliranih materijala kao agregata u lakom betonu

4.1.1 Lakoagregatni beton s dodatkom otpadnog praha guma i otpadnog LCD (liquid crystal display) pijeska

Gumeni otpad, kao što su automobilske gume, stvara značajan ekološki problem zbog veličine, fiksnog oblika i nepropisnog odlaganja. Također, taj otpad može narušiti i ljudsko zdravlje jer se komarci, koji su prenositelji malarije, skupljaju na njemu. U gumama se nalazi dioksin koji može dovesti do štetnih izgaranja kao i do požara na samom odlagalištu.

Guma je proizvod koji se može reciklirati, stoga su neke države odlučile koristiti recikliranu gumu u građevinarstvu. Na primjer, u Arizoni su se otpadne gume koristile u cestogradnji što je dalo vrlo dobre rezultate te se pokazalo ekonomičnijim odabirom budući da takav asfalt ima duži vijek trajanja od običnog asfalta.

Autori Hunag i ostali [2] su proveli istraživanje u kojem su proizveli lakoagregatni beton koristeći reciklirane tzv. zelene građevinske materijale, a to su leteći pepeo, zgura, stakleni pijesak i prah guma. Analizirana je svježa i očvrsla mješavina navedenog betona u usporedbi s običnim betonom normalne težine kod kojeg su isto korišteni reciklirani zeleni građevinski materijali te su se također proveli i testovi trajnosti. Cilj je usporediti svojstva oba uzorka i saznati može li beton sa zelenim građevinskim materijalima pridonijeti samom poboljšanju ekološke održivosti u građevinskoj industriji.

U njihovom radu leteći pepeo i zgura su dodani kao zamjena za cement, dok su LCD stakleni pijesak i reciklirana guma dodani kao zamjena za sitni agregat u količini od 0, 5 i 10 %.

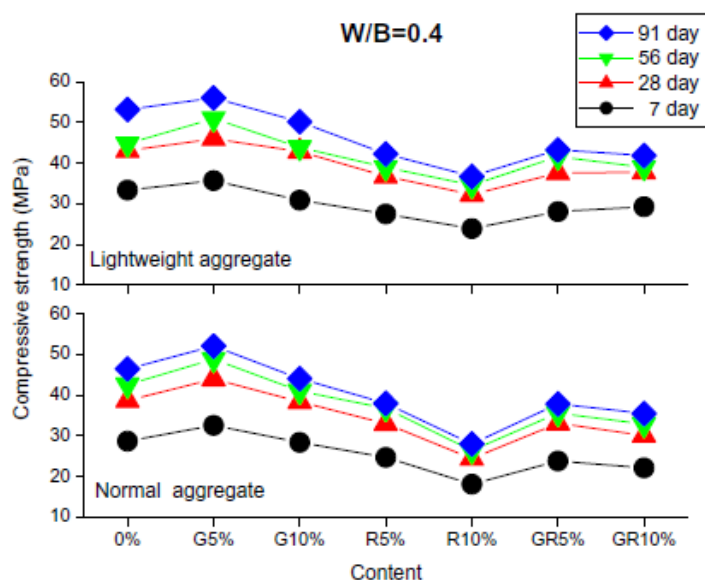
Sastav mješavina dan je u tablici 1. Oznaka N predstavlja običan agregat, L lagani agregat, G je LCD stakleni pijesak a R reciklirana guma. Uz mješavinu je dan udio zamjene agregata.

Mix No.	Binding materials			Coarse aggregate	Substitution %	Fine aggregate			Water
	Cement	Fly ash	Slag			Sand	Glass	Rubber	
N	398	32	32	872	0	885	-	-	185
NG5					5	840.7	44.2	-	
NG10					10	796.5	88.5	-	
NR5					5	840.7	-	44.2	
NR10					10	796.5	-	88.5	
NGR5					2.5	840.7	22.1	22.1	
NGR10					5	796.5	44.25	44.25	
L				545	0	690	-	-	
LG5					5	655.5	34.5	-	
LG10					10	621.0	69.0	-	
LR5					5	655.5	-	34.5	
LR10					10	621.0	-	69.0	
LGR5					2.5	655.5	17.25	17.25	
LGR10					5	621.0	34.5	34.5	

Tablica 1. Sastav betona [2]

U svježem stanju ispitivalo se slijeganje betona i svi su betoni postigli projektiranu vrijednost od 150 – 180 mm. Nije bilo vidljivog izlučivanja vode ni segregacije.

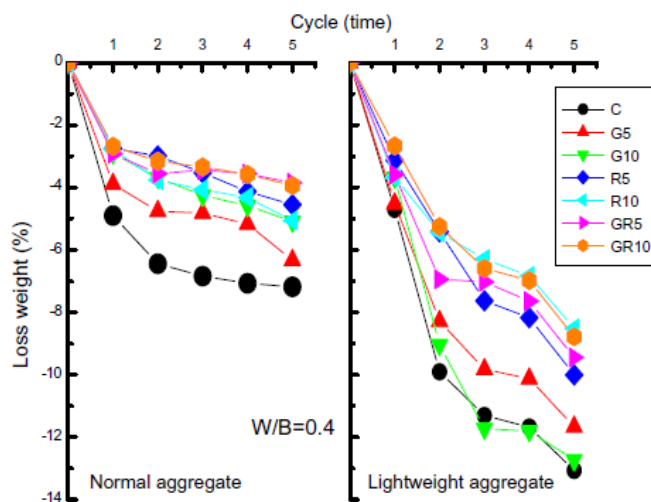
Čvrstoća betona se ispitivala od starosti betona od 7, 28, 56 i 91 dana. Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 4.



Slika 4. Usporedba čvrstoće betona s normalnim i lakim agregatima za različite starosti betona [2]

Prema rezultatima slike 4. najveća tlačna čvrstoća postignuta kada je udio zamjene otpadnim staklenim pijeskom 5 % . Tlačna čvrstoća lakoagregatnog betona kod starosti od 7 dana i 91 dana može biti 36 MPa odnosno 56 MPa. Povećanjem udjela zamjenskih materijala smanjuje tlačna čvrstoća.

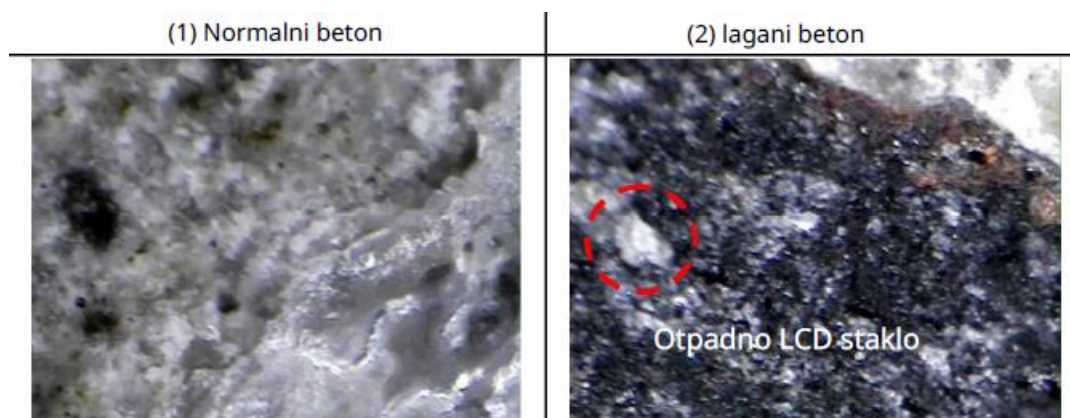
Na uzorcima se ispitivala i otpornost na djelovanje sulfata, a rezultati ispitivanja dani su na slici 5.



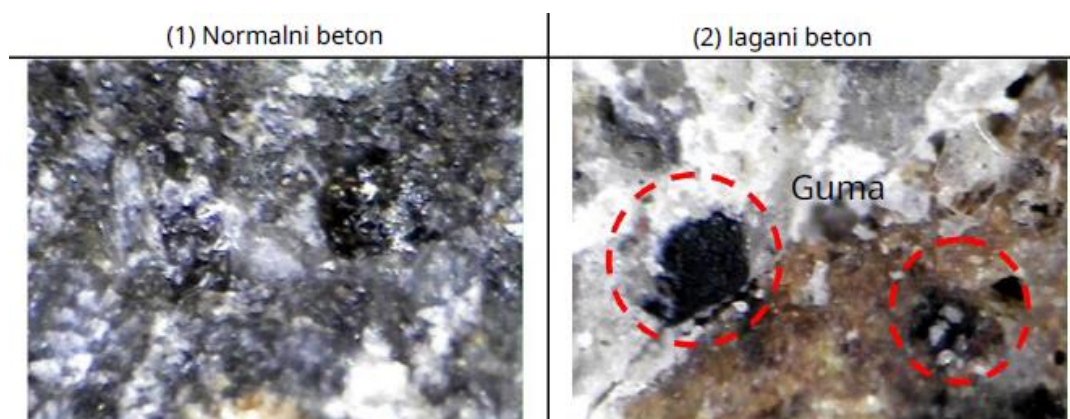
Slika 5. Gubitak težine prilikom ispitivanja otpornosti betona na djelovanje sulfata [2]

Prema slici 5., beton napravljen od agregata normalne težine imao je bolji otpor na djelovanje sulfata nego lakoagregatni beton. Nakon pet ciklusa uranjanja uzoraka u sulfat, gubitak težine betona sa agregatom normalne težine iznosio je - 2,753 % do - 7,184 %, a gubitak težine lakoagregatnog betona je bio veći i nalazi se u rasponu od - 2,667 % do - 12,326 %. Betonski uzorak koji sadrži mješavinu oba materijala, i pijesak otpadnog stakla i prah guma, dao je najbolju otpornost na sulfata.

Na slikama 6. i 7. dan je snimak uzoraka betona napravljen optičkim mikroskopom. Prema slikama pijesak otpadnog stakla ima glatku površinu što utječe na kvalitetu kontaktne zone i stvaranje sitnih šupljina, ali budući da je on sitan samim tim popunjava međuprostore između agregata i matrice. To doprinosi povećanju ukupne tlačne čvrstoće. Dodavanjem praha guma biti će vidljivi međuprostori između gume i matrice te budući da je površinska veza slaba, materijal će se vjerojatno oštetiti prilikom djelovanja vanjske sile.



Slika 6. Zamjena od 5% otpadnim pijeskom LCD stakla [2]



Slika 7. Zamjena od 5% otpadnim prahom gume [2]

4.1.2 Laki beton s agregatom koji sadrži ekspanzirano staklo

Ekspanzirano staklo je izuzetno lagano, ali može podnijeti visoka opterećenja. Glavne karakteristike su mu da je otporno na vlagu i upijanje vode, omogućuje paropropusnost te pruža odličnu toplinsku i zvučnu izolaciju.

Autor Kralj [16] je u svom radu istraživao kako reciklirani lakoagregatni beton čiji agregat sadrži ekspanzirano staklo može pridonijeti smanjenju otpada te može li poboljšati neka svojstva novog lakog betona koji će biti proizveden od recikliranog. Količine otpadnog lakoagregatnog betona koji sadrži ekspanzirano staklo nisu velike, no i dalje je bolja opcija reciklirati i ponovno upotrijebiti materijal nego ga skupljati na odlagalištima.

Za ovakav tip betona obično se koristi staklo koje industrija stakla iz tehničkih razloga ne može koristiti za proizvodnju novih proizvoda od stakla.

Napravljene su 3 mješavine betona: kontrolni uzorak (oznaka LWC - lightweight concrete) i dvije mješavine a s otpadnim LWC agregatima koji sadrže ekspanzirano staklo, ali u različitoj količini (LWC (0.2 kg) i LWC (0.4 kg)). Na slici 8. prikazana je struktura betona s otpadnim LWC agregatom koji sadrži ekspanzirano staklo.



Slika 8. Uzorak betona s otpadnim LWC agregatima koji sadrže ekspanzirano staklo [16]

U tablici 2. dani su rezultati ispitivanja: prva 3 uzorka odnose se na LWC betone, druga tri uzorka na LWC (0.2 kg) betone, a zadnja 3 uzorka na LWC (0.4 kg) betone. Dobiveni rezultati ispitivanja su pokazali da laki beton, proizveden od otpadnog lakoagregatnog betona i agregata koji sadrži ekspanzirano staklo, ima nisku tlačnu čvrstoću i dobra izolacijska svojstva pa se stoga može koristiti kao materijal za izolaciju.

UZORAK	MASA LAKOG BETONA (KG)	TOPLINSKA VODLJIVOST (W/Mk)	ČVRSTOĆA NA PRITISAK (N/mm ²)
1	1,93	0,18	4,44
2	1,93	0,18	4,67
3	1,99	0,18	4,36
	MASA RECIKLIRANOG BETONA (KG)	TOPLINSKA VODLJIVOST (W/mK)	ČVRSTOĆA NA PRITISAK (N/mm ²)
4	0,2	0,19	4,31
5	0,2	0,19	4,22
6	0,2	0,19	4,04
7	0,4	0,21	3,33
8	0,4	0,21	3,64
9	0,4	0,21	3,82

Tablica 2. Karakteristike recikliranog betona i lakog betona [16]

4.1.3 Reciklirani laki beton s agregatom od ekspanzirane gline

Autori Bogas i ostali [18] ispitivali su mehanička svojstva betona kod kojeg je korišten reciklirani agregat dobiven drobljenjem konstruktivnog i nekonstruktivnog lakog betona. Izrađene su mješavine s omjerima zamjene od 20%, 50% i 100%.

Koristile su se dvije vrste lakog agregata, tip LM (Leca M) i tip LHD (Leca HD), kao i dvije vrste recikliranog agregata RM i RHD. RM i RHD su agregati dobiveni od nekonstruktivnog laganog betona bez sitnih čestica agregata proizvedenog s LM (oznaka LWCM) i konstruktivnog betona proizvedenog s LHD (oznaka LWCHD). Izgled spomenutih betona prikazan je na slici 9.



Slika 9. Izvorni konstruktivni laki beton (lijevo) i nekonstruktivni laki beton (desno) [18]

Napravljeno je ukupno 12 mješavina, čiji je sastav dan u tablici 3.

Mixes	LWA/RIAC replacement ratio (%)	Coarse LHD (L/m ³)	Coarse LM (L/m ³)	Coarse RHD (L/m ³)	Coarse RM (L/m ³)	Coarse sand (kg/m ³)	Fine sand (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Effective water (L/m ³)	Effective w/c	Slump (mm)	Fresh density, ρ_f (kg/m ³)	Mortar fraction (%)	Original LWA (%)
RCHD	0	350	—	—	—	565	260	350	192.5	0.55	130	1897	65.0	35.0
CHD20RHD	20	280	—	70	—	565	260	350	192.5	0.55	120	1910	69.8	30.2
CHD50RHD	50	175	—	175	—	565	260	350	192.5	0.55	130	1983	76.9	23.1
C100RHD	100	0	—	350	—	565	260	350	192.5	0.55	125	2092	88.8	11.2
CHD20RM	20	280	—	—	70	565	260	350	192.5	0.55	125	1888	67.6	32.4
CHD50RM	50	175	—	—	175	565	260	350	192.5	0.55	135	1866	71.5	28.5
RCM	0	—	350	—	—	565	260	350	192.5	0.55	125	1710	65.0	35.0
CM20RM	20	—	280	—	70	565	260	350	192.5	0.55	130	1761	67.6	32.4
CM50RM	50	—	175	—	175	565	260	350	192.5	0.55	130	1809	71.5	28.5
C100RM	100	—	0	—	350	565	260	350	192.5	0.55	125	1842	78.0	22.1
CM20RHD	20	—	280	70	—	565	260	350	192.5	0.55	130	1728	69.8	30.2
CM50RHD	50	—	175	175	—	565	260	350	192.5	0.55	125	1897	76.9	23.1

Tablica 3. Sastav mješavina [18]

Oznake su formirane tako da su rezultati prikazani za različite serije od recikliranog laganog betona: serija s LHD-om i njegova djelomična zamjena s RHD (serija CHDRHD) ili RM (serija CHDRM); serija s LM i njegova djelomična zamjena s RHD (serija CMRHD) ili RM (serija CMRHD). Primjerice oznaka CHD20RHD predstavlja reciklirani lagani beton: serija s LHD-om i njegovom djelomičnom zamjenom s RHD u količini od 20%.

Sva mehanička svojstva su se poboljšala nakon zamjene te je čak i kod lakog betona gdje je korišten manje porozan agregat uočeno povećanje čvrstoća i modula elastičnosti. U nekim uzorcima, primjerice kada je slabiji nekonstruktivni laki agregat zamijenjen recikliranim agregatom, uočeno je povećanje mehaničkih svojstava preko 60%. Rezultati mehaničkih čvrstoća i karakteristika dani su u tablici 4.

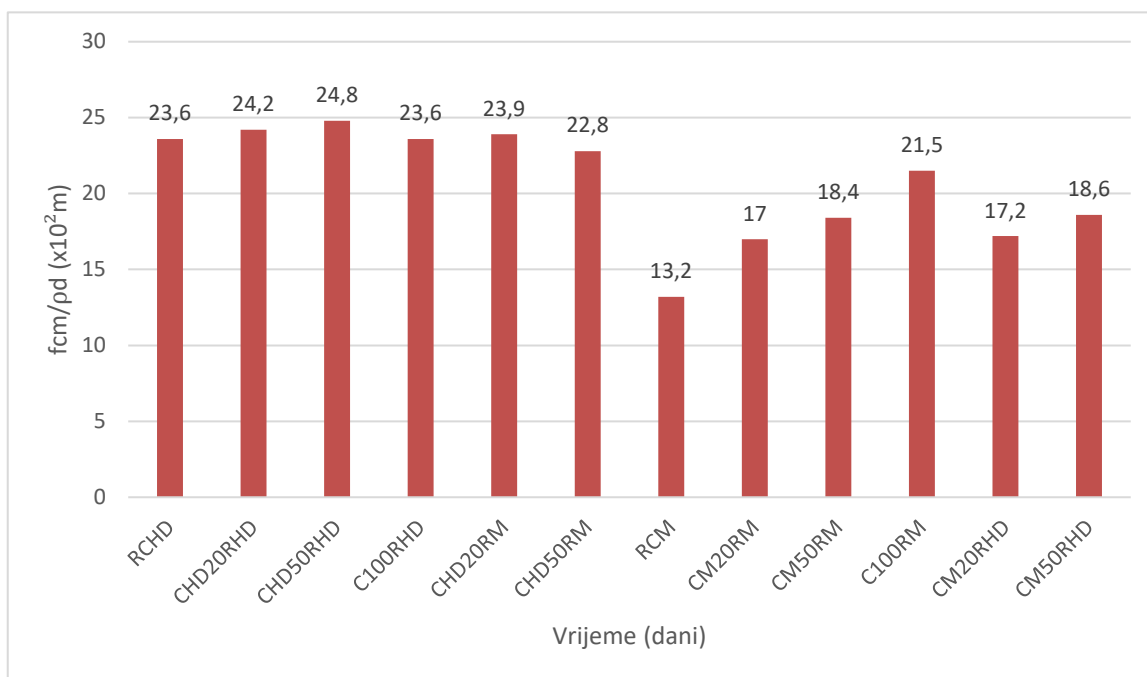
Mixes	LWA/RLAC replacement ratio (%)	Dry density, ρ_d (kg/m ³)	Compressive strength						f_{cm}/ρ_d ($\times 10^2$ m) 28 days	Tensile strength		Modulus of elasticity		Abrasion resistance	
			$f_{cm,7d}$ (MPa)	CV _{fc} (%)	$f_{cm,28d}$ (MPa)	CV _{fc} (%)	$f_{cm,90d}$ (MPa)	CV _{fc} (%)		$f_{ctmp,28d}$ (MPa)	CV _{fcfsp} (%)	$E_{cm,28d}$ (GPa)	Wear (mm)	Δ Mass (g)	
			LWCHD	0	—	34.1	4.1	37.2		3.6	37.7	5.1	—	2.8	4.34
LWCM	0	—	0.7	18.7	0.6	7.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RCHD	0	1628	32.8	4.0	38.4	4.5	39.3	5.2	23.6	2.96	15.4	20.8	4.6	9.3	
CHD20RHD	20	1672	33.9	5.5	40.4	2.8	41.3	4.6	24.2	2.88	8.1	20.7	4.2	9.0	
CHD50RHD	50	1739	34.4	0.6	43.1	1.7	46.8	0.4	24.8	3.52	15.7	23.4	4.1	8.5	
C100RHD	100	1852	36.1	2.7	43.7	1.7	48.5	1.5	23.6	3.92	5.6	25.4	4.5	9.4	
CHD20RM	20	1612	33.1	1.6	38.5	2.8	39.2	5.6	23.9	2.99	7.2	21.3	4.5	9.5	
CHD50RM	50	1590	32.2	3.1	36.3	2.8	38.7	5.6	22.8	2.86	20.9	21.2	4.2	8.5	
RCM	0	1453	16.0	9.3	19.2	10.3	20.7	3.1	13.2	1.53	1.7	12.8	5.8	12.2	
CM20RM	20	1473	21.6	5.8	25.1	5.7	26.5	2.3	17.0	2.51	3.1	19.1	4.7	9.9	
CM50RM	50	1503	23.8	7.2	27.7	4.8	30.5	5.0	18.4	2.45	8.0	19.8	3.6	7.5	
C100RM	100	1552	27.7	5.1	33.4	5.1	34.6	4.8	21.5	2.74	4.7	20.6	4.1	8.5	
CM20RHD	20	1533	22.6	2.7	26.4	3.8	28.6	7.0	17.2	2.53	2.0	18.4	4.9	10.0	
CM50RHD	50	1653	24.2	8.8	30.7	5.1	32.8	0.6	18.6	2.75	17.1	21.8	3.6	8.1	

Tablica 4. Prikaz rezultata ispitivanja [18]

Mehanička svojstva su se neznatno smanjila kada se strukturni laki agregat zamijenio s recikliranim agregatom koji je nastao od drobljenog nestrukturnog lakog betona. Takav agregat se i dalje može koristiti za proizvodnju jeftinijih lakih betona bez da su ugrožena njegova mehanička svojstva.

Otpornost na abraziju se povećavala kako se povećavao i omjer zamjene na 50%, no došlo je do smanjenja otpornosti na abraziju nakon što je zamijenjeno više od 50% lakog agregata.

Na grafu 1. dan je prikaz omjera f_{cm}/ρ_{cm} (čvrstoća nakon 28 dana/gustoća) koji omogućuje analizu strukturne učinkovitosti i obično se određuje za laki beton. Strukturna učinkovitost povećana je uvođenjem RLCA. To znači da je RLWC održivo alternativno rješenje za proizvodnju održivijih konstrukcijskih lakih betona.



Graf 1. Strukturna učinkovitost nakon 28 dana [18]

4.1.4 Reciklirani poliolefinski otpad kao agregat za laki beton

Plastika se uglavnom dobiva iz kemikalija koje su na bazi fosilnih goriva poput nafte. Recikliranjem plastike možemo smanjiti potrebu za vađenjem nafte i neće se u tolikim količinama nakupljati na odlagalištima te će to dosta pomoći smanjenju zagađenja okoliša.

Plastika ima dobra svojstva poput niske gustoće, izolacijskih svojstava, otpornosti na koroziju i habanje, jednostavno oblikovanje i obrada.

Plastika se danas uglavnom odlaže i spaljuje dok se samo oko 22% reciklira. [19] Paljenjem plastike oslobađa se otrovni plin poput dioksina koji zagađuje zrak. Odlaganjem zauzimamo dosta zemljišnih resursa te može doći do začepljenja sustava odvodnje. Pored ovoga problema, možemo uzrokovati onečišćenje tla i može doći do uzrokovanja požara. [24]

Poliolefin je polimer i njegovi najčešći primjeri su polietilen (PE) i polipropilen (PP). Dodavanjem plastičnog agregata betonu dolazi do problema veze između anorganske matrice i organskih agregata. Treba obratiti pažnju i na mogući zaostatak mehaničkih karakteristika nakon ispitivanja na požar.

Autori Colangelo i ostali [19] su u svom istraživanju kao zamjenu za prirodni agregat koristili poliolefinski otpadni agregat (PWA), koji je dobiven recikliranjem plastike, u količini od 10%, 20% i 30% volumena. Napravljene su 4 mješavine betona: M0 predstavlja referentni beton, a betoni M10, M20 i M30 su betoni sa PWA s postotkom zamjene koja je dana u oznaci betona. Sastav betona dan je u tablici 5.

Concrete	M ₀	M ₁₀	M ₂₀	M ₃₀
PA content ^a , %	0	10	20	30
Water (kg/m ³)	180	180	180	180
Cement (kg/m ³)	300	300	300	300
Fine aggregate (kg/m ³)	977	977	783	783
Coarse aggregate (kg/m ³)	732	538	469	112
Plastic aggregate (kg/m ³)	–	99	163	246
A/cm ^b	5.70	5.38	4.72	3.80
Superplasticizer (kg/m ³)	4.68	6.17	7.96	8.70
Slump ^c	S5	S5	S4	S4

^a Volume replacement of natural with plastic aggregate.

^b A/cm = aggregates to cement ratio by weight.

^c Accomplished according to Standard UNI EN 12350-8:2010.

Tablica 5. Sastav i oznake betona [19]

Cilj rada je bio ispitati fizikalna i mehanička svojstva ovih mješavina.

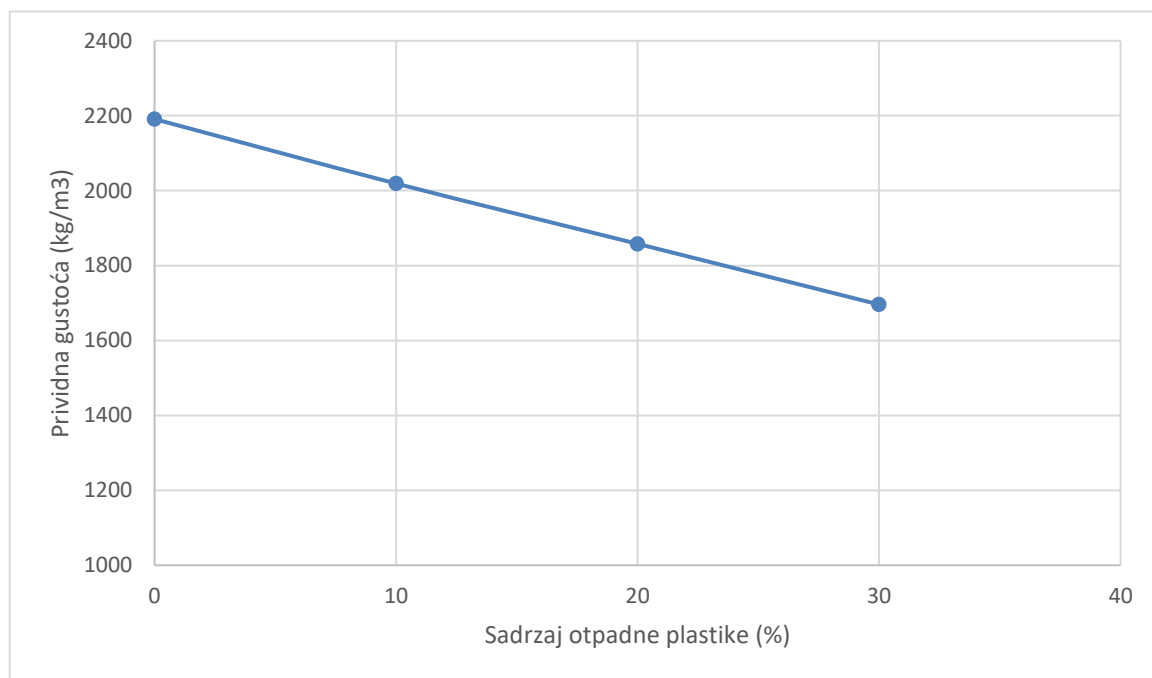
Obradivost mješavina smanjivala se kako se povećavala količina plastičnog agregata te je korišten akrilni superplastifikator pomoću kojeg se željela postići jednaka ili slična obradivost. Dodavanje većih količina superplastifikatora nije pomoglo pri obradivosti mješavina s većim udjelima plastičnog agregata M20 i M30.

Rezultati za gustoće, poroznosti i upijanje vode dani su u tablici 6.

BETON	PRIVIDNA GUSTOĆA (kg/m ³)	STVARNA GUSTOĆA (kg/m ³)	UPIJANJE VODE (%)	OTVORENA POROZNOST
M0	2156 ± 35	2570 ± 16	7,1 ± 0,52	15,4 ± 0,87
M10	1987 ± 32	2504 ± 17	9,0 ± 0,85	18,4 ± 1,36
M20	1840 ± 18	2350 ± 20	10,8 ± 0,35	20,2 ± 0,55
M30	1660 ± 36	2222 ± 23	15,2 ± 1,41	25,2 ± 1,51

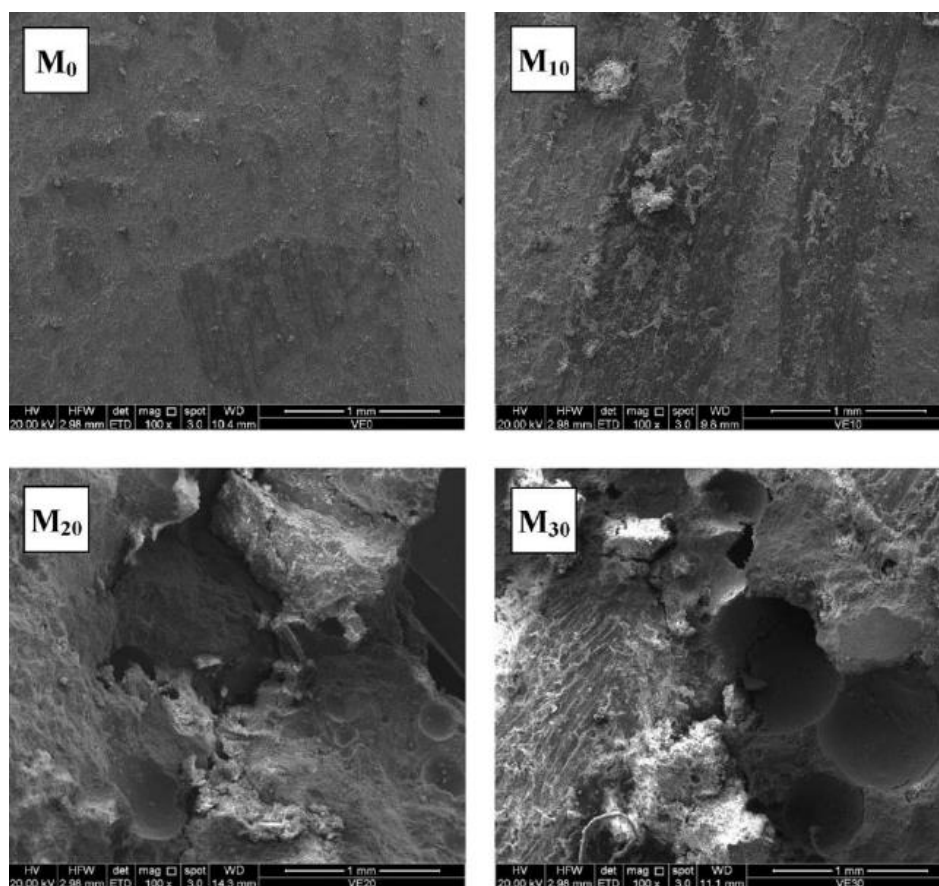
Tablica 6. Fizikalna svojstva ispitnih mješavina nakon 28 dana njege [19]

Prema rezultatima tablice 6. kako se povećava udio zamjene plastičnog agregata smanjuju se gustoće, povećava se otvorena poroznost kao i upijanje vode. Porast udjela laganog agregata doveo je do povećanja uhvaćenog zraka. Taj zrak je uzrokovao veće upijanje vode laganog agregata, poroznost se povećala te je došlo do smanjenja gustoće. Smanjenje prividne gustoće s porastom udjela plastičnog agregata prikazano je na Grafu 2.



Graf 2. Smanjenje prividne gustoće s obzirom na sadržaj plastike [19]

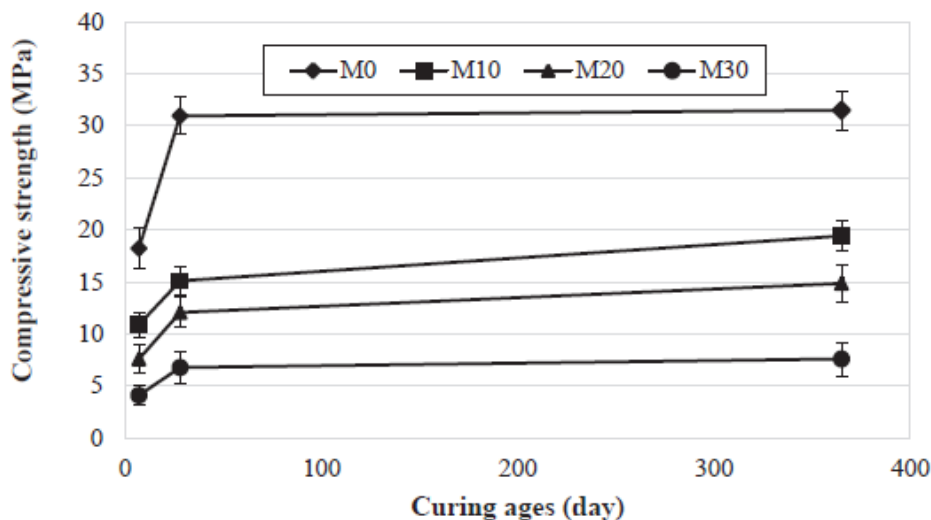
Slika 10. prikazuje SEM snimku strukture ispitnih mješavina. Zamjena prirodnog agregata sa 10 % plastičnog agregata kod mješavine M10 nije značajno utjecala na morfologiju betona, te je tekstura betona kompaktna i homogena poput referentne mješavine M0. Kako se povećava udio plastičnog agregata (M20 i M30), betoni su sve više heterogeni i s većim porama.



Slika 10. SEM slike koje prikazuju morfologiju M0, M10, M20 i M30. [19]

Plastični agregati se mogu smatrati hidrofobnim materijalima te zbog toga mogu usporiti ili spriječiti kontakt između vode i cementnog praha, a to uzrokuje sporiju hidrataciju i sporiji razvoj mehaničke čvrstoće.

Razvoj tlačne čvrstoće tijekom 7, 28 i 365 dana prikazan je na slici 11.

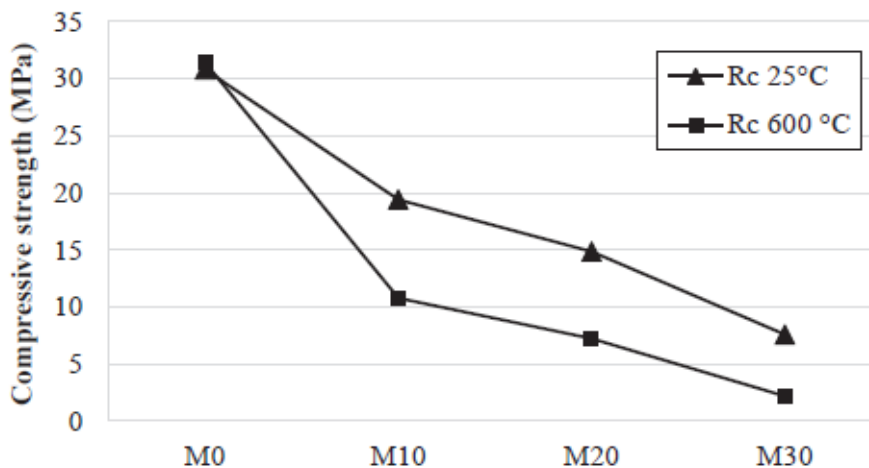


Slika 11. Razvoj tlačne čvrstoće ispitnih mješavina tijekom [19]

Kod uzorka M20, nakon 28 dana očvršćivanja, došlo je do naglog pada tlačne čvrstoće. Dva su moguća uzroka zbog kojeg je došlo do pada čvrstoće: niža čvrstoća plastičnog agregata u odnosu na vapnenački agregat i slaba veza između plastičnog agregata i cementne matrice.

Ispitivanja vlačne čvrstoće pokazala su da je drukčiji trend nego kod tlačne čvrstoće. Zamjena agregata od 10% je dovela do poboljšanja vlačne čvrstoće u odnosu na referentnu mješavinu, ali povećanjem zamjene iznad 20% došlo je do pada i vlačne čvrstoće i mehaničkih svojstava.

Uzorcima je ispitana i termička stabilnost. Plastični agregati se na 450°C potpuno razgrade i izgube oko 70% mase. U ovom istraživanju uzorci su bili izloženi temperaturama od 25°C do 600°C te je došlo do smanjenja tlačne čvrstoće svih uzoraka koji su sadržavali plastični agregat. Rezultati su prikazani na slici 12.



Slika 12. Tlačna čvrstoća uzoraka nakon starosti od 365 dana i zatim izloženih naznačenim temperaturama [19]

Prema slici 12. tlačna čvrstoća referentnog betona M0 ne pokazuje gubitak tlačne čvrstoće dok tlačna čvrstoća betona M10 i M20 nakon izlaganja 600 °C u odnosu na tlačnu čvrstoću istih betona izloženih na 25 °C smanjena je za 44% za mješavinu M10 odnosno 51% za mješavinu M20. Kod mješavine M30 smanjenje iznosi čak 71 %.

Stoga na temelju svih provedenih ispitivanja, otpadni poliolefinski agregati se mogu smatrati pogodnim za ugradnju u nekonstruktivne betone, ali do određene granice zamjene. Primjena ovih agregata u laganim betonima može smanjiti utjecaj plastičnih materijala na okoliš i omogućiti rast eko-održive izgradnje.

Autori Basha i ostali [22] također su ispitivali mehanička i toplinska svojstva lakog betona s recikliranim plastičnim agregatom.

Reciklirani plastični agregat je proizveden u obliku zrna, vlakana i pahuljica, slika 13. Ispitivanje se vršilo na 18 različitih uzoraka betonskih mješavina gdje su udjeli zamjene agregata bili 25%, 50%, 75% i 100%, dvije količine cementa i dva različita vodocementna faktora. Sastav i oznake betona dane su u tablici 7.



Slika 13. Tipovi recikliranog plastičnog agregata: a) zrno, b) vlakna, c) crne pahuljice, d) miješane pahuljice, e) bijele pahuljice [22]

Mix designation	Plastic type	Cement (kg/m ³)	w/c ratio	Fine aggregate/total aggregate ratio	Coarse aggregate to total aggregate ratio	Admixture (%) by weight of cement	Proportion of plastic aggregates (%)
Control mix-0.4	None	370	0.4	0.6	0.4	1.6	0
Control mix-0.45	None	370	0.45	0.6	0.4	1.6	0
M1	Granule	350	0.45	0.6	0.4	1.6	25
M2	Granule	370	0.4	0.6	0.4	1.6	25
M3	Granule	350	0.45	0.6	0.4	1.6	50
M4	Granule	370	0.4	0.6	0.4	1.6	50
M5	Granule	350	0.45	0.6	0.4	1.6	75
M6	Granule	370	0.4	0.6	0.4	1.6	75
M7	Granule	350	0.45	0.6	0.4	1.6	100
M8	Granule	370	0.4	0.6	0.4	1.6	100
M9	Fiber	350	0.45	0.6	0.4	1.6	25
M10	Fiber	370	0.4	0.6	0.4	1.6	25
M11	Fiber	350	0.45	0.6	0.4	1.6	50
M12	Fiber	370	0.4	0.6	0.4	1.6	50
M13	Flake	350	0.45	0.6	0.4	1.6	25
M14	Flake	370	0.4	0.6	0.4	1.6	25
M15	Flake	350	0.45	0.6	0.4	1.6	50
M16	Flake	370	0.4	0.6	0.4	1.6	50
M17	Flake	350	0.45	0.6	0.4	1.6	75
M18	Flake	370	0.4	0.6	0.4	1.6	75

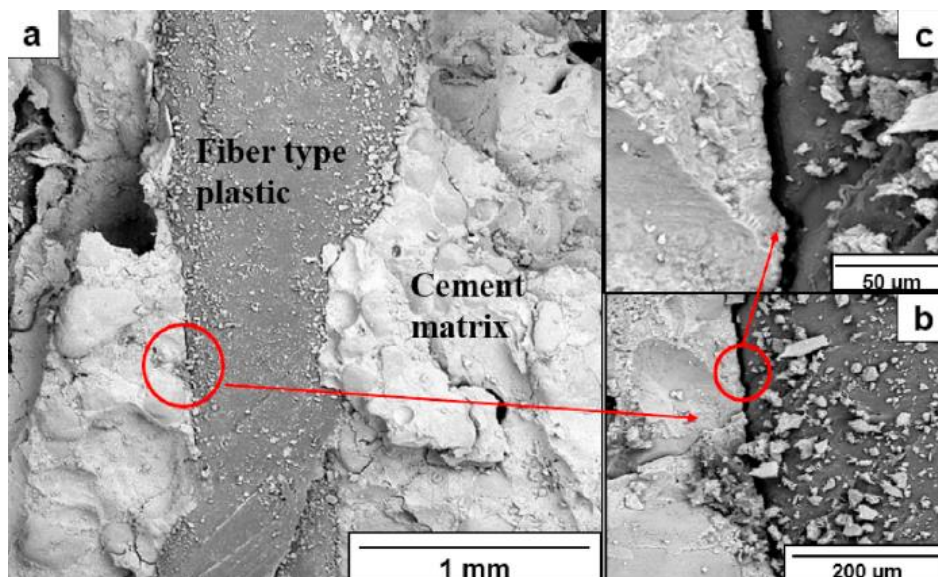
Tablica 7. Sastav i oznake betona [22]

Na jediničnu težinu betona nije utjecao oblik plastičnog agregata, količina cementa ili vodocementni faktor, ali je značajno utjecala količina agregata. Povećanjem udjela plastičnog agregata smanjivala se jedinična težina betona. Povećanje udjela plastičnog agregata utjecalo je na smanjenje čvrstoće na pritisak i čvrstoće na savijanje, smanjenja modula elastičnosti te smanjenja toplinske vodljivosti. Kako je toplinska vodljivost manja od 35 % do 65 % u odnosu na običan beton, ova vrsta lakog betona se može koristiti kao dobar toplinski izolacijski materijal.

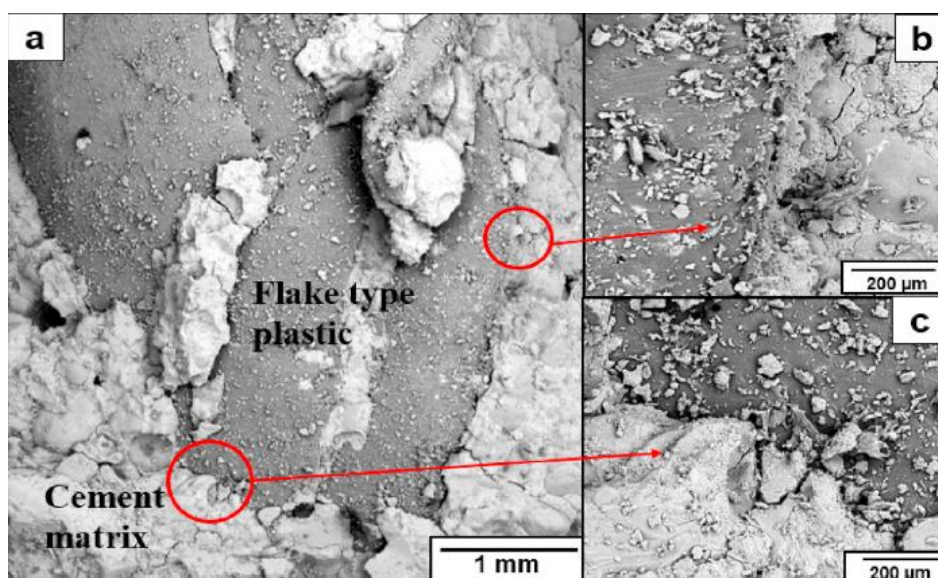
Agregat koji je bio u obliku zrna pokazao je najbolju tlačnu čvrstoću, a agregat u obliku pahuljica je imao najbolju čvrstoću na savijanje.

Došlo je do odvajanja između recikliranog plastičnog agregata i matrice morta što je vidljivo na slikama 14., 15. i 16. te to može uzrokovati smanjena mehanička svojstva.

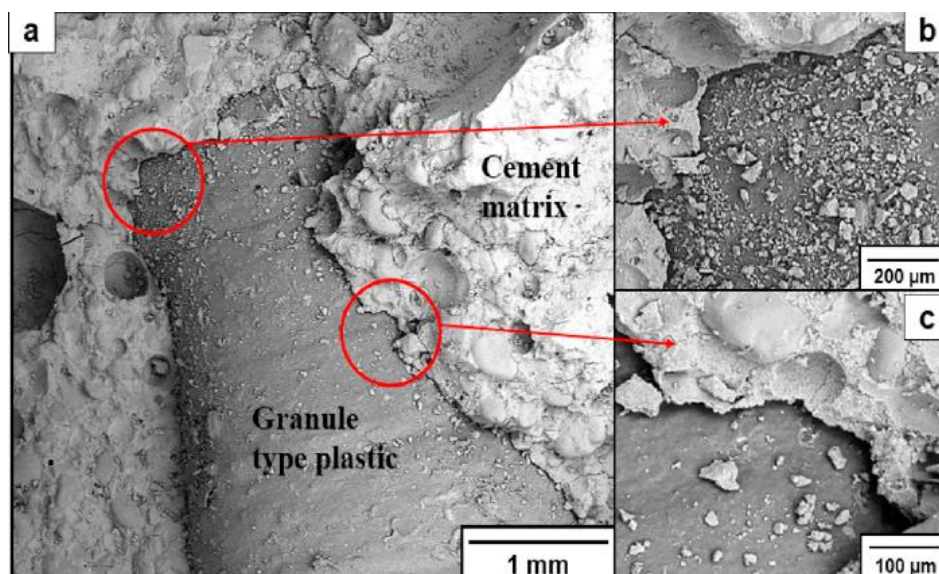
Reciklirani plastični agregat se pokazao kao moguća zamjena u proizvodnji lakog betona, ali treba paziti na njegovu količinu kao i oblik.



Slika 14. a) prikazuje vlaknasti tip plastike, b) i c) prikazuju prijelaznu zonu između plastike i betona [22]



Slika 15. a) prikazuje pahuljasti tip plastike, b) i c) prikazuju prijelaznu zonu između plastike i betona [22]



Slika 16. a) prikazuje zrnati tip plastike, b) i c) prikazuju prijelaznu zonu između plastike i morta [22]

4.1.5 Lagani beton s recikliranim mljevenim agregatom od ekspaniranog polistirena

Polistiren je polimer koji se najčešće koristi od svih plastičnih materijala. Primjenjuje se u obliku ekspanirane i ekstrudirane pjene. Stiropor je ekspanirani polistiren (EPS) i sastoji se od oko 98% zraka i 2% polistirena. U građevini se često koristi kao izolacijski materijal.

EPS značajno zagađuje okoliš jer nije biorazgradivi materijal te ga je u nekim europskim zemljama zabranjeno odlagati na odlagalištima.

EPS kuglice su vrlo hidrofobne i homogeno miješanje takvog betona je teško pa se taj problem nastoji riješiti prethodnom kemijskom obradom kuglica ili povećanjem kohezije u svježem betonu. U betonu se uglavnom ne koriste čiste EPS kuglice budući da su skupe i nekoliko desetaka puta lakše od vode te čine da je beton sklon segregaciji. Najčešće se koristi reciklirani EPS koji je jeftini otpadni materijal. [25]

Mljeveni reciklirani EPS je usitnjen u pelete s otvorenim porama u koje mogu ući voda i cementna pasta i zbog toga laki beton ima dobra svojstva prianjanja i vrlo je savitljiv. Laki beton izrađen od recikliranog EPS agregata ima široku primjenu, na primjer, podni estrih, izolacijsko – oplatni elementi za zidanje, armirane lagane betonske ploče raspona do 6 metara, armirani laki betonski zidovi.

Autori Kekanović i ostali [25] ispitivali su koje prednosti donosi reciklirani mljeveni EPS agregat u odnosu na čiste EPS kuglice u izradi lakog betona. Namjena ovog betona je izrada armiranobetonske ploče te je ova vrsta betona nazvana „SU-stirol laki beton“ (SSLC).

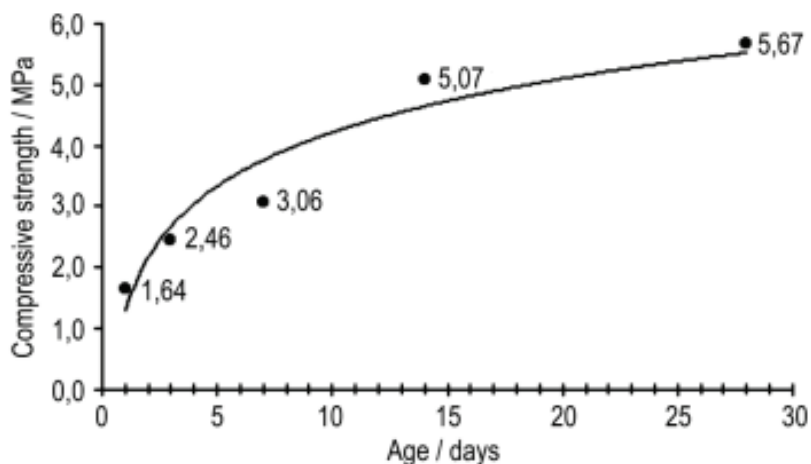
Autori su izradili mješavine čiji je sastav dan u tablici 8.

REZULTATI	SSLC	LAGANI BETON S ČISTIM EPS-OM		
Cement / kg	350	550	450	350
Pijesak / kg	600	330	750	500
EPS agregat / kg	0,66	0,49	0,51	0,53
Voda / kg	230	200	120	175
Omjer PP		6,6	-	-
Vlakna / kg w/c	1	0,364	0,46	0,5
Mokra gustoća u dobi od 28 dana / kg/m ³	0,65109	1130	1076	1035,53
Čvrstoća na pritisak u dobi od 28 dana, fcs / MPa	5,67	7,73	2,53	6,2
Čvrstoća na savijanje u dobi od 28 dana ffs / MPa	1,72	2,52	0,82	0,39
ffs/fcs	0,31	0,33	0,32	0,06
Modul elastičnosti / Mpa	4135	6600	n/a	n/a
Skupljanje sušenjem u dobi od 28 dana / mm/m	0,9	n/a	n/a	n/a
Otpornost na smrzavanje/odmrzavanje nakon 100 ciklusa	0,92	n/a	n/a	n/a

Tablica 8. Mješavine i osnovne karakteristike SSLC-a i lakog betona s čistim EPS agregatom [25]

U dosadašnjim istraživanjima se najčešće koristilo 500 – 600 kg/m³ cementa, no ovdje je pokazano da i sa 350 kg/m³ možemo dobiti laki beton dobrih svojstava za široku primjenu.

SSLC ima manje skupljanje i dosta niži koeficijent toplinske vodljivosti, samim time i bolji izolacijski materijal u odnosu na lagani beton s čistim EPS kuglicama. Čvrstoća lakog betona je niža u usporedbi sa čvrstoćom običnog betona. Prirast čvrstoće SSLC betona prikazan je na slici 17.



Slika 17. Razvoj čvrstoće SSLC betona u 1, 3, 7, 14 i 28 dana [25]

Ispitivana su i dva različita modela ploče, jedna izrađena od SSLC, a druga je bila obična polugotova FERT podna ploča, slika 18. Rezultati su pokazali velike razlike u tlačnim čvrstoćama, ali nosivost i progibi su bili gotovo jednaki. To se dogodilo zato što je SSLC vrlo fleksibilan i deformabilan te su vrijednosti deformacije laganog betona u elastičnoj fazi mnogo bliže vrijednostima deformacije armature za razliku od običnog betona koji je manje deformabilan u usporedbi sa čelikom.



Slika 18. a) SSLC armiranobetonska ploča raspona 4 metra
b) obična polugotova FERT podna ploča raspona 4 metra [25]

5. ZAKLJUČAK

Samim gospodarenjem otpadom smanjujemo troškove za sirovine, štedimo energiju, zdravije živimo i osiguravamo bolju budućnost.

Nesavjesno postupanje ljudi s otpadom dovodi do posljedica povećanja količine otpada na odlagalištima i time dolazi do nepotrebnog rasipanja resursa i zagađivanja okoliša. Da bi se to spriječilo, građevni otpad i sav ostali otpad je potrebno u potpunosti ili u najvećoj mogućoj mjeri reciklirati bez njegovog trajnoj odlaganja u prirodni okoliš ili na deponijima.

U građevinskoj industriji se posljednjih godina nastoje što više koristiti zeleni građevinski materijali koji su se pokazali kao dobra alternativna zamjena za tradicionalne građevinske materijale koji se koriste u proizvodnji betona.

U radu su dani neki primjeri primjene recikliranih materijala (reciklirana guma, reciklirano otpadno staklo, reciklirana plastika i drugi) kao sastavnog dijela lakog betona.

Da bi se zeleni građevinski materijali mogli koristiti treba imati iskustvo i znanje o njima te provesti potrebna ispitivanja.

Proizvođače betona bi trebalo što više poticati da pridonose održivijoj budućnosti. Zeleni građevinski materijali ne samo da su ekološki učinkoviti već su i energetske učinkoviti. Uzrok tome je što često imaju odlična izolacijska svojstva te to unutar same konstrukcije smanjuje potrebu za hlađenjem i grijanjem pa samim time smanjuje potrebu za fosilnim gorivima, a to dovodi do ublažavanja klimatskih promjena.

Početne cijene ovakvih materijala mogu biti skuplje nego cijene tradicionalnih materijala, ali su zeleni građevinski materijali isplativiji na duže staze te neki mogu imati i duži vijek trajanja.

LITERATURA

- [1] Ukrainczyk V.: Beton: struktura, svojstva, tehnologija. Zagreb : ALCOR, 1994.
- [2] Hunag L.J., Wang H.Y., Wang S.Y. A study of the durability of recycled green building materials in lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials* 96, 2015; 353–359. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.018> (13.7.2024.)
- [3] Krstulović P.: Svojstva i tehnologija betona, Građevinsko – arhitektonski fakultet sveučilišta u Splitu i Institut građevinarstva Hrvatske, Split, 2000.
- [4] <https://domostroy.kz/stroitelstvo/steny/> (3.7.2024.)
- [5] <https://pixnio.com/hr/oznaka/beton/strana/3> (3.7.2024.)
- [6] https://www.grad.unizg.hr/download/repository/PBT_LAGANI_BETONI.pdf (3.7.2024.)
- [7] <https://tehnika.lzmk.hr/beton/> (3.7.2024.)
- [8] <https://peovica.hr/eko-kutak-peovica5-samo-se-5-posto-gradevnog-otpada-reciklira-ili-zbrinjjava-na-prihvatljiv-nacin/> (5.7.2024.)
- [9] <https://www.savjesno.eu/gospodarenje-otpadom/> (5.7.2024.)
- [10] <https://hrcak.srce.hr/file/351966> (5.7.2024.)
- [11] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_04_38_1306.html (5.7.2024.)
- [12] <https://mplan.hr/djelatnosti/bjelovar/reciklazna-dvorista-i-odlagalista-gradevinskog-otpada> (5.7.2024.)
- [13] <https://www.gpkb.si/66-gpkb/recikliran-beton/302-recikliran-beton> (5.7.2024.)
- [14] https://www.researchgate.net/publication/350318905_BETON_OD_RECIKLIRANOG_A_GREGATA (5.7.2024.)
- [15] https://www.hkig.hr/docs/Opatija_2020/prezentacije/Odrziva%20gradnja%20i%20klimatske%20promjene/Mogucnost%20primjene%20recikliranih%20automobilskih%20guma%20u%20gradevinarstvu.pdf (13.7.2024.)
- [16] Kralj D. Experimental study of recycling lightweight concrete with aggregates containing expanded glass. *Process Safety and Environmental Protection* 87, 2009; 267-273. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2009.03.003> (13.7.2024.)
- [17] https://www.emajstor.hr/clanak/127/Pjenasto_staklo (13.7.2024.)
- [18] Bogas J.A., de Brito J., Figueiredo J.M. Mechanical characterization of concrete produced with recycled lightweight expanded clay aggregate concrete. *Journal of Cleaner Production* 89, 2015; 187-195 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.015> (14.7.2024.)
- [19] Colangelo F., Cioffi R., Liguori B., Iucolano F. Recycled polyolefins waste as aggregates for lightweight concrete. *Composites Part B* 106, 2016; 234-241 <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.041>. (14.7.2024.)
- [20] <http://casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-72-2020-7-8-ZO.pdf> (14.7.2024.)
- [21] <https://bifix.hr/index.php/2021/12/08/poliolefini/> (14.7.2024.)
- [22] Basha S.I., Ali M.R., Al-Dulaijan S.U., Maslehuddin M. Mechanical and thermal properties of lightweight recycled plastic aggregate concrete. *Journal of Building Engineering* 32, 2020; 101710 <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101710> (19.7.2024.)
- [23] <https://www.enciklopedija.hr/clanak/beton> (19.7.2024.)
- [24] <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107787> (19.7.2024.)

- [25] Kekanović M., Kukaras D., Čeh A., Karaman G. Laki betoni s recikliranim mljevenim agregatom od ekspaniranog polistirena. Tehnički vjesnik 21,2 2014; 309-315
<https://hrcak.srce.hr/clanak/178170> (19.7.2024.)