

Primljen / Received: 22.9.2014.

Ispravljen / Corrected: 15.6.2015.

Prihvaćen / Accepted: 31.8.2015.

Dostupno online / Available online: 10.5.2016.

# Samozbijajući beton s unutarnjom njegom i lakim agregatom

## Autori:



Doc.dr.sc. **Gopi Rajamanickam**, dipl.ing.građ.  
Tehničko sveučilište K.S.R.  
Građevinski fakultet  
[gopierode4@gmail.com](mailto:gopierode4@gmail.com)



Prof.dr.sc. **Revathi Vaiyapuri**, dipl.ing.građ.  
Tehničko sveučilište K.S.R.  
Građevinski fakultet  
[revthiru2002@yahoo.com](mailto:revthiru2002@yahoo.com)

Prethodno priopćenje

**Gopi Rajamanickam, Revathi Vaiyapuri**

## Samozbijajući beton s unutarnjom njegom i lakim agregatom

U radu je opisan samozbijajući beton s unutarnjom njegom proizveden djelomičnom zamjenom sitnozrnatog agregata laganim agregatom od ekspandirane gline i agregatom od letećeg pepela. Ispitana su svojstva betona u svježem stanju i mehanička svojstva samozbijajućeg betona, pri čemu je najviše 25 % agregata (volumenski) zamijenjeno. Rezultati ispitivanja pokazuju da su sve mješavine zadovoljile zahtjeve za samozbijajući beton. Osim toga, mješavina s 15 % agregata od ekspandirane gline i mješavina s 15 % agregata od letećeg pepela postižu veću čvrstoću pri uvjetima unutarnje njege u usporedbi s čvrstoćama koje su postigle kontrolna mješavina i ostale mješavine.

### Ključne riječi:

samozbijajući beton, lagani agregat, ekspandirana glina, leteći pepeo, unutarnja njega

Preliminary report

**Gopi Rajamanickam, Revathi Vaiyapuri**

## Self compacting self curing concrete with lightweight aggregates

The self compacting self curing concrete made by partially replacing fine aggregate with the light expanded clay aggregate and fly ash aggregate is described in the paper. At that, maximum 25 % of fine aggregate (measured by volume) was replaced. Fresh concrete properties and mechanical properties of self compacting self curing concrete were analysed. Test results indicate that all mixes satisfied the self compacting properties of concrete. Furthermore, the concrete mix with 15 % of expanded clay and the mix with 15 % of fly ash exhibited greater strength under self curing conditions, when compared to the control mix and other mixes.

### Key words:

self compacting concrete, lightweight aggregate, expanded clay, fly ash, self curing

Vorherige Mitteilung

**Gopi Rajamanickam, Revathi Vaiyapuri**

## Selbstverdichtender selbsthärtender Beton mit leichter Gesteinskörnung

In dieser Arbeit wird selbstverdichtender selbsthärtender Beton, hergestellt mit teilweise durch leichte Gesteinskörnung aus expandiertem Ton und Aggregat aus Flugasche ersetzt feinkörnigem Aggregat. Die Eigenschaften des Betons in frischem Zustand sowie die mechanischen Eigenschaften des selbstverdichtenden Betons wurden untersucht, wobei höchstens 25 % des Volumenanteils des Aggregats ersetzt wurden. Ergebnisse der Versuche zeigen, dass alle Mischungen die Anforderungen für selbstverdichtenden Beton erfüllen konnten. Außerdem erzielten Mischungen mit 15 % Aggregat aus expandiertem Ton und Mischungen mit 15 % Aggregat aus Flugasche eine größere Festigkeit unter Bedingungen der Selbsthärtung als die Kontrollmischung und andere Mischungen.

### Schlüsselwörter:

selbstverdichtender Beton, leichte Gesteinskörnung, expandierter Ton, Flugasche, Selbsthärtung

## 1. Uvod

Tijekom zadnja tri desetljeća samozbijajući beton (eng. *Self compacting concrete* – SCC) uvelike je dobio na vrijednosti zahvaljujući njemu svojstvenim karakteristikama. Samozbijajući beton ima izuzetno značajnu ulogu u situacijama u kojima je zbijanje betona otežano. Razvijen je osamdesetih godina prošlog stoljeća sa svrhom ostvarenja betonskih konstrukcija povećane trajnosti [1]. Kod samozbijajućeg betona prisutan je velik udio sitnih čestica te mineralnih i kemijskih dodataka, dok se s druge strane odlikuje i manjim vodocementnim omjerom te manjim udjelom krupnog agregata [2]. Sastav samozbijajućeg betona provjerava se određivanjem njegove sposobnosti popunjavanja, sposobnosti zaobilazanja prepreka i otpornosti segregaciji. Kako bi se poboljšalo svojstvo tečenja samozbijajućeg betona, zajedno s cementom koriste se mineralni dodaci kao što su leteći pepeo, silicijska prašina i granulirana zgura iz visokih peći (eng. *Granulated blast furnace slag* – GGBS). Osim mineralnih dodataka, korištenje superplastifikatora je obvezno radi smanjenja količine vode i povećanja obradljivosti samozbijajućeg betona. Odgovarajuća viskoznost postiže se dodavanjem sitnih čestica i dodataka za promjenu viskoznosti [3]. Na svojstva bitno utječe vrsta dodataka, punilo te udio tih komponenata u ukupnom sastavu. Osim toga, odabir prikladne veličine i granulometrije agregata također je značajan za uspješnu proizvodnju samozbijajućeg betona [3, 4]. U usporedbi s uglatim agregatom, obli agregat najčešće ubrzava tečenje te smanjuje blokiranje zrna u samozbijajućem betonu [5, 6]. Kako bi se postigla željena svojstva tečenja, potrebno je prilagoditi udio krupnozrnatog agregata, sitnozrnatog agregata te sitnih čestica [2, 7, 8]. Poznato je da se svojstva tečenja samozbijajućeg betona smanjuju s povećanjem veličine krupnozrnatog agregata [9]. Sitnije frakcije sitnozrnatog agregata smanjuju tečenje, a povećavaju viskoznost. Međutim, veličina sitnozrnatog agregata ne utječe značajno na tlačnu čvrstoću morta [10]. Mješavina samozbijajućeg betona skuplja je od običnog betona zbog većeg udjela sitnih čestica. Kako bi se smanjila cijena samozbijajućeg betona, mogu se koristiti punila kao što su vapnenački/kredni prah te dolomitne sitne čestice. Kada se koristi kao punilo, vapnenački prah poboljšava pakiranje zrna agregata te tlačnu čvrstoću samozbijajućeg betona, što je posljedica kemijske interakcije između cementa i vapnenačkog praha [11].

Lagani agregat (eng. *Lightweight aggregate* – LWA) u samozbijajućem betonu poboljšava njegovo svojstvo tečenja ali istovremeno pridonosi segregaciji materijala [12]. Za razliku od betona s normalnim agregatom, lagani agregat nema dostatnu unutarnju energiju kretanja. Na reologiju betona značajno utječe lagani agregat od ekspanzirane gline (eng. *Light expanded clay aggregate* – LECA) svojim svojstvom velike vodoupojnosti, te agregat od letećeg pepela (eng. *Fly ash aggregate* – FAA) kuglastog oblika [13]. Lagani samozbijajući beton (eng. *Self compacting lightweight concrete* – SCLWC) ne odlikuje se samo smanjenom vlastitom težinom betona već i mogućnošću unutarnje njege.

Unutarnja njega može se postići upotrebom zasićenog laganog agregata, superupijajućih polimera i polietilenskog glikola u betonu [14]. I prirodni i umjetni lagani agregati izražene unutrašnje poroznosti mogu se koristiti kao spremnici vode za unutarnju njegu betona. Unutarnja njega može se ostvariti djelomičnom zamjenom konvencionalnog sitnozrnatog agregata zasićenim laganim agregatom i kemikalijama topivim u vodi [15, 20]. Kemikalije topive u vodi poboljšavaju unutarnju njegu smanjenjem evaporacije vode tijekom očvršćavanja betona. Zasićeni lagani agregat u betonu ponaša se kao unutarnji spremnik i dopušta prolazak vode za njegu iz unutrašnjosti strukture prema van. Unutarnja njega je učinkovita strategija za smanjenje samosušenja i autogenog skupljanja samozbijajućeg betona s unutarnjom njegom (eng. *self compacting self curing concrete* - SCSCC) [16, 17]. Unutarnja njega ne utječe na svojstva čvrstoće ako se upotrijebi odgovarajuća količina prethodno vlaženog laganog agregata [18, 19]. Međutim, upotreba slabijeg laganog agregata kao sredstva za unutarnju njegu dovodi do smanjenja tlačne čvrstoće [20]. Zbog svog sferičnog (kuglastog) oblika, LECA i FAA agregati poboljšavaju reološka svojstva svježeg betona, a mogu pridonijeti i poboljšanju mehaničkih svojstava SCSCC betona [13, 21].

U ovom radu analiziran je utjecaj LECA i FAA agregata, kao djelomične zamjene za sitnozrnati agregat, na svojstva betona u svježem i očvrslom betonu.

## 2. Materijali

Za provedbu istraživanja upotrijebljen je obični portlandski cement klase 53 u skladu s normom IS: 12269 – 1987 [22]. Kao prirodni sitnozrnati agregat upotrijebljen je lokalno dostupan riječni pijesak (eng. *River sand* – RS) specifične gustoće 2,61, što je u skladu s granulometrijskom zonom III. Za istraživanje je korišten prirodni drobljeni krupnozrnati agregat, veličine zrna 12 mm i specifične gustoće 2,73. Kao mineralni dodatak korišten je leteći pepeo klase "F", specifične gustoće 2,27, dobiven iz termoelektrane Mettur. Isti taj leteći pepeo je korišten i za proizvodnju agregata od letećeg pepela pomoću postupka peletizacije [23, 24]. Specifična gustoća agregata od letećeg pepela iznosila je 1,85, a vodoupojnost 20 % (slika 1.).



Slika 1. Agregat od letećeg pepela (FAA)

Za djelomičnu zamjenu sitnozrnatog agregata u betonu upotrijebljen je LECA agregat specifične gustoće 0,42, dopremljen iz GBC Indija, Ahmadabad (slika 2.). Vodoupojnost LECA agregata iznosila je čak 38 %. Korišteni prirodni drobljeni krupnozrnati agregat, maksimalne veličine zrna 12 mm, zadovoljio je zahtjeve indijske norme IS: 383-1970 [25]. Kako bi se postigla potrebna obradljivost SCSCC betona, korišten je superplastifikator Glenium B233 na bazi polikarboksilatnog etera.



Slika 2. Agregat od ekspandirane gline (LECA)

### 3. Projektiranje sastava samozbijajućeg betona s unutarnjom njegom

Projektiranje sastava SCSCC betona provedeno je prema uputama EFNARC-a [3]. Zasebno su izrađene dvije grupe mješavina SCSCC betona, pri čemu je sitnozrnati agregat djelomično zamijenjen laganim agregatom, tj. zasićenim agregatima LECA i FAA. Agregati LECA i FAA prethodno su vlaženi tijekom 24 sata, a prilikom samog miješanja dozirani su u zasićenom površinski suhom stanju (eng. *Saturated surface dry* – SSD). Kako bi se osigurala stabilnost samozbijajućeg betona s prethodno navlaženim LECA agregatom, provedeno je temeljito miješanje u suhom stanju sljedećih sastojaka: riječnog pijeska, letećeg pepela, cementa i krupnozrnatog agregata. Zatim je u takvu suhu mješavinu dodan superplastifikator na bazi polikarboksilatnog etera pomiješan vodom [13]. Zamjena

sitnozrnatog agregata provedena je u volumenskim udjelima od 0 % do 25 %, u slijedu po 5 %. Mješavina bez LECA i FAA agregata određena je kao kontrolna mješavina (eng. *Control mix* – CM). Sastojci svih mješavina prikazani su u tablici 1. Grupe mješavina označene su slovom "L" za mješavine s LECA agregatom, a slovom "F" za mješavine s FAA agregatom. Donji indeks označava volumenski udio zamjene sitnozrnatog agregata.

### 4. Metode ispitivanja

Svojstva SCSCC betona u svježem stanju (sposobnost popunjavanja, sposobnost zaobilaženja prepreka i otpornost segregaciji) ispitana su za sve mješavine kako bi se odredila svojstva samozbijanja. Ispitivanje konzistencije rasprostiranjem, ispitivanje rasprostiranja  $T_{50cm}$  te ispitivanje V-lijevkom provedena su s ciljem ispitivanja sposobnosti popunjavanja svježeg betona. Sposobnost zaobilaženja prepreka ispitana je "J" prstenom, "U" kutijom i "L" kutijom. Ispitivanje stabilnosti sijanjem provedeno je prema smjernicama EFNARC-a [3] kako bi se odredila otpornost segregaciji. Za potrebe određivanja svojstava očvrstlog betona uzeto je 66 kocaka veličine brida 150 mm (tlačna čvrstoća), 66 valjaka dimenzija 150 x 300 mm (vlačna čvrstoća cijepanjem), 66 prizmi dimenzija 500 x 100 x 100 mm (čvrstoća savijanjem) i 66 valjaka dimenzija 150 mm x 300 mm (modul elastičnosti). 24 sata nakon ugradnje, uzorci su izvađeni iz kalupa i prekriveni plastičnim folijama kako bi se smanjio gubitak vlage. Kontrolni uzorci su nakon vađenja iz kalupa njegovani u vodi 7 i 28 dana. Tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća cijepanjem, čvrstoća savijanjem i modul elastičnosti ispitani su na uzorcima starosti 7 i 28 dana prema normi IS: 516:1959 [26]. Ispitana su po tri uzorka iz svake mješavine kako bi se odredila navedena svojstva očvrstlog betona.

### 5. Rezultati i rasprava

#### 5.1. Svojstva samozbijajućeg betona s unutarnjom njegom u svježem stanju

Svojstva svježeg SCSCC betona s dodatkom LECA i FAA agregata kao djelomične zamjene za sitnozrnati agregat prikazana su

Tablica 1. Udjeli pojedinih komponenata u različitim mješavinama SCSCC betona

Sastav \ Mješavina	CM	L <sub>5</sub>	L <sub>10</sub>	L <sub>15</sub>	L <sub>20</sub>	L <sub>25</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>10</sub>	F <sub>15</sub>	F <sub>20</sub>	F <sub>25</sub>	
Cement [kg/m <sup>3</sup> ]	439,5						439,5					
Leteći pepeo [kg/m <sup>3</sup> ]	134,4						134,4					
Sitni agregat [kg/m <sup>3</sup> ]	819,6	778,4	737,4	696,4	655,5	614,5	778,4	737,4	696,4	655,5	614,5	
LECA/FAA [kg/m <sup>3</sup> ]	-	12,6	25,2	37,8	50,4	63,0	29,9	59,9	89,8	119,9	149,8	
Krupni agregat [kg/m <sup>3</sup> ]	774,2						774,2					
Voda [kg/m <sup>3</sup> ]	177,7						177,7					
Superplastifikator (% mase praha)	0,7						0,7					
Vodovezivni omjer	0,31						0,31					

Tablica 2. Svojstva svježeg samozbijajućeg betona s unutarnjom njegom

Oznaka mješavine	Konzistencija rasprostiranjem [mm]	$T_{50cm}$ Konzistencija rasprostiranjem [s]	V-lijevak [s]	J-prsten [mm]	U-kutija ( $h_2-h_1$ ) [mm]	L-kutija $h_2/h_1$	Ispitivanje stabilnosti sijanem [%]
CM	700	3,1	9,7	6,5	29	0,81	12,51
$L_5$	680	3,4	9,6	6,6	31	0,94	10,50
$L_{10}$	697	3,2	8,5	6,1	27	0,91	9,75
$L_{15}$	708	2,9	7,8	5,9	26	0,88	8,75
$L_{20}$	702	3,1	8,1	6,2	31	0,92	7,50
$L_{25}$	700	3,2	8,0	6,2	35	0,95	4,25
$F_5$	686	3,1	9,5	6,8	31	0,93	11,15
$F_{10}$	699	3,2	8,4	6,4	28	0,89	10,15
$F_{15}$	710	2,8	7,9	6,0	27	0,86	9,55
$F_{20}$	705	3,3	7,9	6,3	28	0,90	8,25
$F_{25}$	703	3,2	8,1	6,3	33	0,96	5,75

u tablici 2. Iz rezultata se vidi da su svojstva popunjavanja, zaobilaznja prepreka i otpornost segregaciji svih mješavina u skladu s uputama EFNARC-a [3]. Međutim, rezultati ispitivanja U- kutijom dobiveni za mješavine  $L_{25}$  i  $F_{25}$  nešto su veći od poželjne maksimalne vrijednosti.

## 5.2. Svojstva SCSCC betona u očvrslom stanju

Svojstva očvrslom betona kao što su tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća cijepanjem, čvrstoća savijanjem i modul elastičnosti, ispitana su prema normi IS: 516:1959 [26] pri starosti uzoraka 7 i 28 dana. Statistička analiza rezultata ispitivanja svih mješavina prikazana je u tablici 3.

Vrijednost tlačne čvrstoće kontrolne mješavine  $CM_{wc}$  pri starosti 7 dana iznosi 38 MPa, odnosno 44,1 MPa pri starosti 28 dana. Kontrolna mješavina betona  $CM_{rt}$  njegovanog pri sobnoj temperaturi postiže vrijednost tlačne čvrstoće tek 35,56 MPa pri starosti 7 dana, odnosno 41,25 MPa pri starosti 28 dana. Smanjenje tlačne čvrstoće kontrolne mješavine  $CM_{rt}$  iznosi otprilike 6,46 % u odnosu na tlačnu čvrstoću kontrolne mješavine  $CM_{wc}$  pri starosti 28 dana. Očito je da kod manjeg v/c omjera, ako beton nije njegovan vodom, nema dovoljno vode za proces hidratacije, zbog čega dolazi do smanjenja njegove čvrstoće [17, 27, 28].

Na slici 3.a vidljivo je da je rana tlačna čvrstoća SCSCC betona s dodatkom LECA agregata bitno niža pri starosti 7 dana u usporedbi s odgovarajućom tlačnom čvrstoćom kontrolnog betona. Međutim, značajan porast tlačne čvrstoće bilježi se pri starosti 28 dana. Tlačna čvrstoća SCSCC betona povećava se uslijed procesa unutarnje njege s povećanjem količine LECA agregata do 15 %. Iznad 15 % količine LECA agregata dolazi do smanjenja tlačne čvrstoće betona, što je vjerojatno posljedica ili slabije strukture ili vrlo izraženog svojstva vodoupojnosti LECA agregata. Kod SCSCC betona s 15 % LECA agregata, tlačna čvrstoća uslijed procesa unutarnje njege je za 1,84% veća od odgovarajuće vrijednosti tlačne čvrstoće

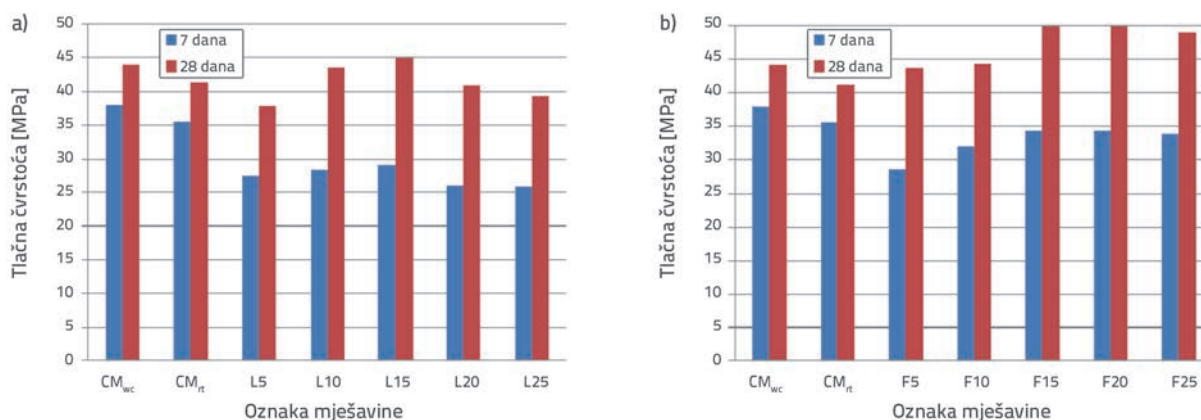
kontrolnog betona. Razlog tomu je prisutnost odgovarajuće količine vlage u LECA agregatu koji je dodan betonu. LECA agregat dopušta prijelaz vlage iz unutrašnjosti strukture prema van, čime se omogućava daljnje odvijanje i završetak procesa hidratacije betona. Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima koje su objavili Maghsoudi i dr. te Magda i dr. [13, 14]. Unutarnja njega neće utjecati na tlačnu čvrstoću ako se betonu doda potrebna količina prethodno navlaženog laganog agregata [18, 19]. Međutim, kada se za unutarnju njegu upotrijebiti slabiji lagani agregat, tada može doći do smanjenja čvrstoće betona [20].

Slika 3.b. pokazuje da je trend tlačne čvrstoće SCSCC betona s dodatkom FAA agregata, kao sredstva za unutarnju njegu, pri starosti 7 i 28 dana sličan trendu tlačne čvrstoće SCSCC betona s dodatkom LECA agregata. Međutim, tlačna čvrstoća SCSCC betona s dodatkom FAA agregata pri starosti 7 i 28 dana je znatno veća od odgovarajuće vrijednosti tlačne čvrstoće SCSCC betona s dodatkom LECA agregata kao sredstva za unutarnju njegu. Osim toga, tlačna čvrstoća SCSCC betona poboljšava se uslijed procesa unutarnje njege s povećanjem količine FAA agregata od najviše 15 %. No ako se dodaje veća količina FAA agregata, tada dolazi do smanjenja tlačne čvrstoće. Za razliku od SCSCC betona s dodatkom LECA agregata, tlačna čvrstoća SCSCC betona s dodatkom 20 % i 25 % FAA agregata veća je od odgovarajuće vrijednosti tlačne čvrstoće kontrolnog betona. Razlog tomu je činjenica da je vodoupojnost FAA agregata bitno manja od vodoupojnosti LECA agregata te postojanje pucolanske reakcije do koje dolazi između cementa i letećeg pepela. Ispitane su i vrijednosti vlačne čvrstoće cijepanjem (slika 4.a i 4.b), čvrstoće savijanjem (slike 5.a i 5b) te modula elastičnosti (slike 6.a i 6.b) za mješavine LECA SCSCC betona i FAA SCSCC betona. Pripadni rezultati prikazani su u tablici 3. Može se uočiti da su trendovi vlačne čvrstoće cijepanjem, čvrstoće savijanjem i modula elastičnosti mješavina LECA SCSCC betona i FAA SCSCC betona slični trendovima dobivenim za tlačnu čvrstoću.

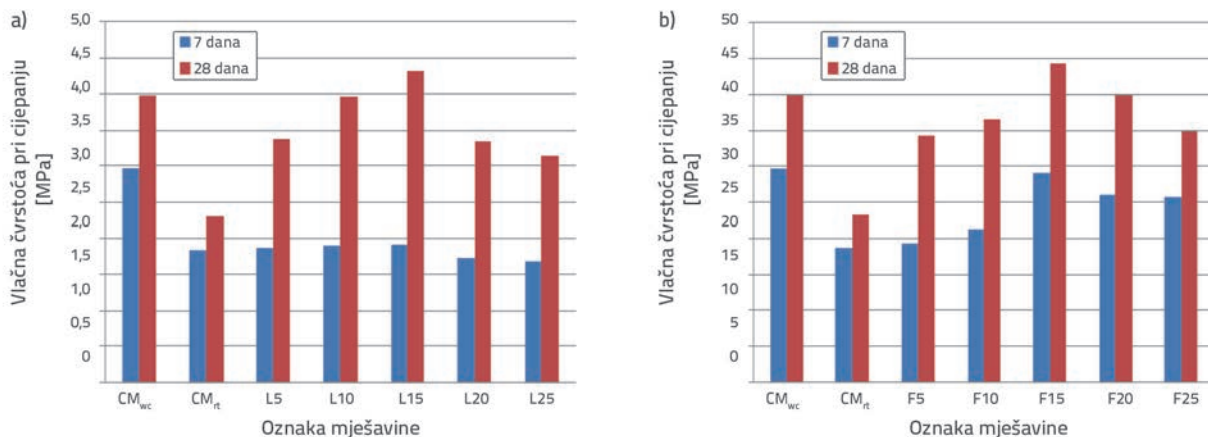
Tablica 3. Svojstva samozbijajućeg betona s unutarnjom njegom u očvrslom stanju

Oznaka mješavine	Starost uzoraka pri ispitivanju	Tlačna čvrstoća [MPa]			Vlačna čvrstoća cijepanjem [MPa]			Čvrstoća savijanjem [MPa]			Modul elastičnosti [GPa]		
		sr. vrijednost	SD	COV	sr. vrijednost	SD	COV	sr. vrijednost	SD	COV	sr. vrijednost	SD	COV
CM <sub>wc</sub>	7	38,00	0,49	1,28	2,96	0,04	1,47	5,65	0,07	1,28	29,30	0,49	1,66
	28	44,10	0,72	1,64	3,98	0,08	2,06	6,63	0,07	0,99	34,20	0,46	1,33
CM <sub>rt</sub>	7	35,56	0,61	1,72	1,85	0,03	1,43	5,04	0,04	0,79	27,00	0,38	1,41
	28	41,25	0,64	1,54	2,31	0,06	2,70	5,52	0,11	1,91	31,80	0,36	1,12
L <sub>5</sub>	7	27,46	0,59	2,13	1,87	0,02	1,07	5,26	0,04	0,83	25,82	0,23	0,89
	28	37,79	0,41	1,09	3,37	0,09	2,59	5,77	0,11	1,83	32,20	0,35	1,10
L <sub>10</sub>	7	28,33	0,59	2,10	1,91	0,01	0,52	5,39	0,05	0,85	26,00	0,59	2,26
	28	43,60	0,78	1,80	3,97	0,09	2,27	6,52	0,11	1,71	33,50	0,55	1,63
L <sub>15</sub>	7	29,16	0,95	3,24	1,92	0,02	1,04	5,74	0,04	0,76	27,75	0,33	1,18
	28	44,93	0,95	2,11	4,32	0,09	1,98	7,58	0,16	2,16	34,72	0,31	0,90
L <sub>20</sub>	7	26,13	0,88	3,37	1,72	0,04	2,10	5,28	0,06	1,18	26,40	0,25	0,94
	28	41,03	0,65	1,57	3,34	0,07	2,16	7,2	0,07	0,97	32,90	0,69	2,09
L <sub>25</sub>	7	25,98	0,18	0,71	1,68	0,07	3,90	5,12	0,09	1,79	24,93	0,70	2,81
	28	39,30	0,63	1,61	3,14	0,03	0,84	7,15	0,04	0,56	31,7	0,46	1,45
F <sub>5</sub>	7	28,50	0,39	1,38	1,92	0,03	1,38	5,55	0,11	1,95	25,83	1,29	4,98
	28	43,90	0,23	0,52	3,41	0,13	3,74	6,02	0,10	1,73	33,90	0,85	2,51
F <sub>10</sub>	7	32,06	0,29	0,90	2,12	0,03	1,25	5,67	0,16	2,74	26,76	0,71	2,64
	28	44,26	0,80	1,80	3,65	0,07	1,80	6,65	0,22	3,31	35,21	0,62	1,77
F <sub>15</sub>	7	34,40	0,27	0,78	2,89	0,05	1,83	5,83	0,10	1,79	28,22	0,32	1,13
	28	50,90	0,38	0,75	4,42	0,03	0,68	7,87	0,14	1,75	38,87	0,41	1,06
F <sub>20</sub>	7	34,36	0,45	1,31	2,60	0,03	1,02	5,30	0,04	0,82	26,75	0,18	0,66
	28	50,00	0,18	0,36	3,98	0,03	0,66	7,33	0,02	0,27	38,51	0,56	1,47
F <sub>25</sub>	7	33,87	0,94	2,79	2,57	0,03	1,03	5,24	0,06	1,19	25,66	0,46	1,77
	28	49,12	0,95	1,93	3,49	0,05	1,29	7,05	0,12	1,74	37,43	0,19	0,50

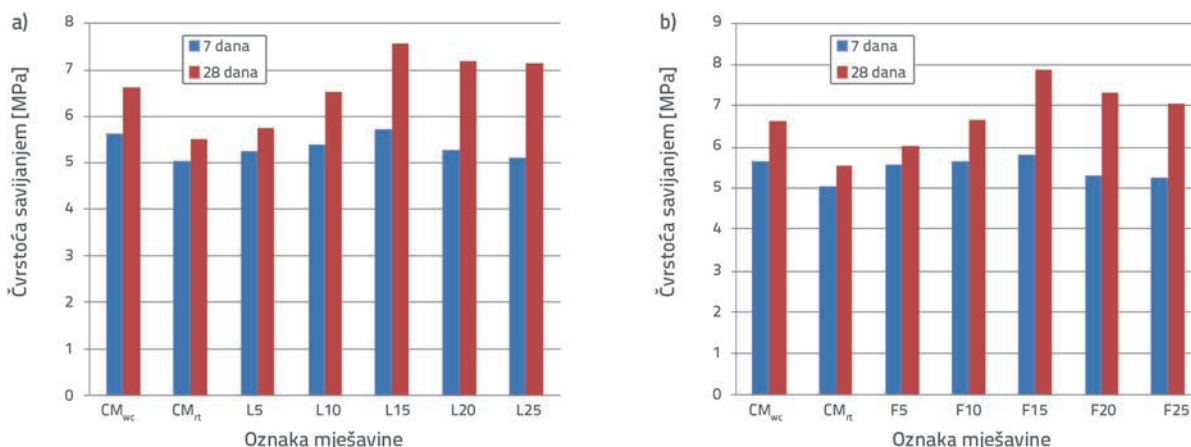
CM<sub>wc</sub> – kontrolna mješavina betona njegovanog vodom; CM<sub>rt</sub> – kontrolna mješavina betona njegovanog pri sobnoj temperaturi; SD - standardna devijacija; COV - koeficijent varijancije [%]



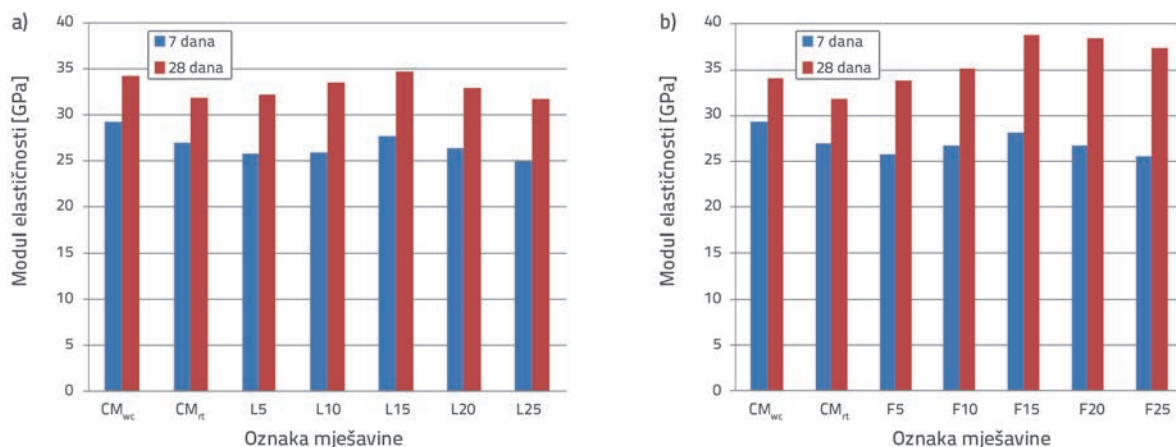
Slika 3. Tlačna čvrstoća SCSCC betona: a) s dodatkom LECA agregata; b) s dodatkom FAA agregata



Slika 4. Vlačna čvrstoća cijepanjem SCSCC betona: a) s dodatkom LECA agregata; b) s dodatkom FAA agregata



Slika 5. Čvrstoća savijanjem SCSCC betona: a) s dodatkom LECA agregata; b) s dodatkom FAA agregata



Slika 6. Modul elastičnosti SCSCC betona: a) s dodatkom LECA agregata; b) s dodatkom FAA agregata

## 6. Zaključak

Sposobnost popunjavanja, sposobnost zaobilaženja prepreka i otpornost segregaciji svih mješavina SCSCC betona s dodatkom LECA i FAA agregata u skladu su sa zahtjevima normi EFNARC. Sferični oblik zrna LECA i FAA agregata značajno je pridonio

poboljšanju reoloških svojstava svježe betonske mješavine. Rana tlačna čvrstoća SCSCC betona s dodatkom LECA i FAA agregata bitno je niža od odgovarajuće tlačne čvrstoće kontrolnog betona. Međutim, zabilježen je značajan porast tlačne čvrstoće pri starosti 28 dana. Kod SCSCC betona s 15 % LECA agregata, tlačna čvrstoća uslijed procesa unutarnje njege

je za 1,84 % veća od odgovarajuće vrijednosti tlačne čvrstoće kontrolnog betona. Ako količina LECA agregata prijeđe 15 %, dolazi do smanjenja tlačne čvrstoće zbog slabe strukture ili vrlo visoke vodoupojnosti LECA agregata.

SCSCC beton s dodatkom FAA agregata kao sredstva za unutarnju njegu odlikuje se tlačnom čvrstoćom koja je pri starosti 7 i 28 dana značajno veća od one zabilježene kod SCSCC betona s dodatkom

LECA agregata kao sredstva za unutarnju njegu. Osim toga, tlačna čvrstoća SCSCC betona s dodanih 20 % i 25 % FAA agregata veća je od odgovarajuće tlačne čvrstoće kontrolnog betona, što nije slučaj kod SCSCC betona s dodatkom LECA agregata.

SCSCC beton s 15 % laganog agregata postiže najveće vrijednosti tlačne čvrstoće, čvrstoće savijanjem i modula elastičnosti.

## LITERATURA

- [1] Okamura, H., Ouchi, M.: Self compacting concrete, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1 (2003) 1, pp. 5-15, <http://doi.org/10.3151/jact.1.5>.
- [2] Aravindhan, C., Anand, N., Prince Arulraj, G.: Development of Self Compacting Concrete with Mineral and Chemical Admixtures—State of the Art, *Engineering Science and Technology: An International Journal*, 2 (2012) 6, pp. 972-978.
- [3] EFNARC, Specification and guidelines for self-compacting concrete, UK, 2002, ISBN 0953973344, p. 32.
- [4] Bhattacharya, A., Ray, I., Davalos, F.J.: Effects of aggregate grading and admixture/filler on self-consolidating concrete, *Open Construction & Building Technology Journal*, 2 (2008), pp. 89-95, <http://doi.org/10.2174/1874836800802010089>.
- [5] Bosiljkov, V.B.: SCC Mixes with Poorly Graded Aggregate and High Volume of Limestone Filler, *Cement and Concrete Research*, 33 (2003) 9, pp. 1279-1286, [http://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00013-9](http://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00013-9).
- [6] Mishima, N., Tanigawa, Y., Mori, H., Kurokawa, Y., Terada, K., Hattori, T.: Study on Influence of Aggregate Particle on Rheological Property of Fresh Concrete, *Journal of the Society of Materials Science*, 48 (1999) 8, pp. 858-863, <http://doi.org/10.2472/jsms.48.858>.
- [7] O'Flannery, L.J., O'Mahony, M.M.: Precise Shape Grading of Coarse Aggregate, *Magazine of Concrete Research*, 51 (1999) 5, pp. 319-324, <http://doi.org/10.1680/mac.1999.51.5.319>
- [8] Okamura, H., Ozawa, K.: Mix Design for Self-Compacting Concrete, *Concrete Library of Japanese Society of Civil Engineers*, 25 (1995), pp. 107-120.
- [9] Krishna, A.V., Krishna Rao, B., Rajagopal, A.: Effect of different sizes of Coarse Aggregate on the properties of NCC and SCC, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2 (2010) 10, pp. 5959-5965.
- [10] Edamatsu, Y., Sugamata, T., Ouchi, M.: A Mix-Design Method for SCC Based on Mortar Flow and Funnel Tests, 3<sup>rd</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, RILEM Publications, 2003, pp. 345-354.
- [11] Singh, B., Kumar, R., Mukati, A. S.: SCC mixes with limestone and chalk powder-The Indian experience, *Indian Concrete Journal*, 83 (2009) 12, pp. 9-17.
- [12] Kim, Y. J., Jeon, S. J., Choi, M. S., Choi, Y. W.: The quality properties of self consolidating concrete using lightweight aggregate, *Proceedings of Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures*, Korea concrete institute, 2010, pp. 1342-1346.
- [13] Maghsoudi, A.A., Mohamadpour, S., Maghsoudi, M.: Mix Design and the Mechanical Properties of Self Compacting Light Weight Concrete, *Int. Journal of Civil Engineering*, 9 (2011) 3, pp. 230-236.
- [14] Mousa, I.M., Mahdy, G.M., Abdel-Reheem, H.A., Yehia, Z.A.: Mechanical properties of self-curing concrete, *HBRC Journal*, 11 (2015) 3, pp. 311-320, <http://doi.org/10.1016/j.hbrj.2014.06.004>.
- [15] Jagannadha Kumar, M.V., Srikanth, M., Jagannadha Rao, K.: Strength characteristics of self curing concrete, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 1 (2012) 1, pp. 51-57.
- [16] Ambily, P.S., Rajamane, N.P.: Self Curing Concrete - An Introduction, Concrete composites lab, Structural Engineering Research Centre, CSIR, Chennai, 2009.
- [17] Jensen, M.O., Lura, P.: Techniques and Materials for internal curing of concrete, *Materials and Structures*, 39 (2006) 9, pp. 817-825, <http://doi.org/10.1617/s11527-006-9136-6>.
- [18] Dayalan, J., Buellah, M.: Internal Curing of Concrete Using Prewetted Light Weight Aggregates, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3 (2014) 3, pp. 10554-10560.
- [19] Golias, M., Castro, J., Weiss, J.W.: The influence of the initial moisture content of lightweight aggregate on internal curing, *Construction and Building Materials*, 35 (2012), pp. 52-62, <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.074>.
- [20] Kockal, N.U., Ozturan, T.: Strength and elastic properties of structural lightweight concretes, *Materials and Design*, 32 (2011) 4, pp. 2396-2403, <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.12.053>.
- [21] Bogas, A.J., Gomes, A., Pereira, M.F.C.: Self-Compacting Lightweight Concrete Produced with Expanded Clay Aggregate, *Construction and Building Materials*, 35 (2012), pp. 1013-1022, <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.111>.
- [22] IS: 12269-1987., Specification for 53 grade ordinary Portland cement, Bureau of Indian Standards, New Delhi.
- [23] Sivakumar, A., Gomathi, P.: Pelletized Fly Ash Lightweight Aggregate Concrete: A Promising Material, *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 3 (2012) 2, pp. 42-48, <http://doi.org/10.5897/JCECT11.088>.
- [24] Shanmugasundaram, S., Jayanthi, S., Sundararajan, R., Umarani, C., Jagadeesan, K.: Utilization of Fly ash aggregate in concrete, *Modern Applied Science*, 4 (2010) 5, pp. 44-57, <http://doi.org/10.5539/mas.v4n5p44>
- [25] IS: 383-1970., Specifications for coarse and fine Aggregates from natural sources for Concrete, Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.
- [26] IS: 516-1959., Methods of Test for strength of concrete, Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.
- [27] Evangeline, S.: Self Curing Concrete and Its Inherent properties, *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4 (2014) 8, pp. 66-71.
- [28] Gopi, R., Revathi, V., Ramya, R., Ramesh, K.: Saturated Light Expanded Clay Aggregate and Fly Ash Aggregate As Internal Curing Agents In Self Compacting Concrete, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 9 (2015) 31, pp. 226-233.