

Primljen / Received: 22.1.2015.

Ispravljen / Corrected: 24.6.2016.

Prihvaćen / Accepted: 31.8.2016.

Dostupno online / Available online: 10.1.2018.

Industrijska otpadna kineska glina u betonu

Autori:



¹Izv.prof.dr.sc. **Seeni Arumugam**, dipl.ing. građ.
er.seeni@gmail.com



²Prof.dr.sc. **Selvamony Chachithanatham**, dig
selvamony_2007@yahoo.com



¹Prof.dr.sc. **Anandakumar Ramaswamy**, dig
dr.ranadakumar@gmail.com



³Prof.dr.sc. **Ravikumar Muthusamy**, dipl.ing. građ.
ravikumar_ms@yahoo.com



⁴**BrightSingh Seeni**, dipl.ing. građ.
s.brightsingh.sbs@gmail.com

¹Sveučilište S. Veerasamy Chettiar, Građevinski fakultet

²Sveučilište PSN, Građevinski fakultet

³Sveučilište Noorul Islam, Indija

⁴Sveučilište Anna, Chennai, Tamilnadu, Indija

Prethodno priopćenje

**Seeni Arumugam, Selvamony Chachithanatham, Anandakumar Ramaswamy,
Ravikumar Muthusamy, BrightSingh Seeni**

Industrijska otpadna kineska glina u betonu

U ovom radu je prikazano istraživanje svojstava industrijske otpadne kineske gline (CCW) kao djelomične zamjene za sitni agregat u betonu. Učinkovitost zamjene sitnog agregata u betonu s otpadnom kineskom glinom određena je uspoređivanjem tlačne, vlačne i savojne čvrstoće, otpornosti na djelovanje kiseline i visokih temperatura betona s CCW-om i s konvencionalnim betonom. Rezultati istraživanja ukazuju da se CCW može koristiti kao djelomična zamjena sitnog agregata u betonu do približno 30 % bez ikakvih promjena u trajnosti betona.

Ključne riječi:

otpadna kineska glina, otpornost na kiselinu, otpornost na visoke temperature, naprezanje pri savijanju

Preliminary report

**Seeni Arumugam, Selvamony Chachithanatham, Anandakumar Ramaswamy,
Ravikumar Muthusamy, BrightSingh Seeni**

China clay industrial waste in concrete

This paper deals with the performance of China Clay industrial Waste (CCW) as partial replacement of fine aggregate in concrete. The performance of CCW used in concrete has been ascertained by comparing its compressive strength, split tensile strength, flexural strength, acid resistance & heat resistance with conventional concrete. Test results show that natural sand can be effectively replaced with up to 30% of CCW in concrete without changing its durability.

Key words:

china clay waste, acid resistance, heat resistance, bending stress

Vorherige Mitteilung

**Seeni Arumugam, Selvamony Chachithanatham, Anandakumar Ramaswamy,
Ravikumar Muthusamy, BrightSingh Seeni**

Industrieller Porzellanerdeabfall im Beton

In der Arbeit wird die Untersuchung der Eigenschaften von industriellem Porzellanerdeabfall (CCW) untersucht, durch welchen im Beton der feine Zuschlagstoff ersetzt wurde. Die Effizienz des Ersatzes des feinen Zuschlagstoffs im Beton durch Abfallporzellanerde wurde durch einen Vergleich der Druck-, Zug- und Beigefestigkeit sowie der Säure- und Hitzebeständigkeit des CCW-Betons und des herkömmlichen Betons ermittelt. Die Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass CCW als Ersatz für feinen Zuschlagstoff im Beton teilweise bis zu 30% verwendet werden kann, ohne die Beständigkeit von Beton zu verändern.

Schlüsselwörter:

Porzellanerdeabfall, Säurebeständigkeit, Hitzebeständigkeit, Biegespannung

1. Uvod

Kod mnogih zemalja, kao što je i Indija, manje su dostupni prirodni sastojci betona. S druge strane, količina otpada nastalog kao nusproizvod iz industrije i drugih izvora je iz dana u dan sve veća. Kako bi se učinkovito upravljalo održivošću okoliša, recikliranje otpadnih materijala postaje prijeko potrebno. Krajem dvadesetog stoljeća provedena su mnoga istraživanja o uporabi otpadnih materijala kao sastojaka u betonu, što rezultira boljim rješenjima za probleme okoliša kao što su iscrpljivanje prirodnih izvora, gospodarenje otpadom itd.

Za razne otpadne materijale, kako prirodne tako i umjetne, istražena je mogućnost njihove uporabe u betonu. Iako je dostupna velika količina otpada, određeni otpadni materijali mogu se učinkovito koristiti u betonu bez utjecaja na zahtijevana svojstva betona. Za korištenje otpadnih materijala kao sastojaka u betonu, svojstva tih materijala trebaju biti slična svojstvima prirodnih sastojaka betona. Otpadni materijali poput letećeg pepela, bakrene zgure, prašine u kamenolomu, automobilske gume, granitne piljevine, čelične zgure, praha od smrvljene glinene opeke, industrijske otpadne kineske gline (eng. *China Clay Industrial Waste - CCW*), imaju slična svojstva sastojcima betona, što je dokazano u prethodno provedenim istraživanjima, [1-19]. Uporabom 20 % piljevinog pepela (eng. *Saw Dust Ash - SDA*) u betonu tijekom 50 dana stvrdnjavanja u raznim omjerima, čvrstoća betona određena je uključivanjem piljevinog pepela u betonu [1]. Korištenje 25 % praha nastalog mljevenjem glinene opeke (eng. *Crushed clay brick powder - CBP*) u betonu rezultira nižom jediničnom težinom, većom otpornošću na visoke temperature i većom apsorpcijom od normalnog betona [2]. Isto tako, anorganski mulj (IS) dobiven iz industrije papira može se koristiti umjesto sitnog agregata (50 %) ili cementa (20 %) [3]. Iz eksperimentalnog istraživanja čvrstoće betona s prašinom od drobljenog kamena kao sitnim agregatom ustanovljeno je povećanje tlačne, savojne i vlačne čvrstoće betona [4]. Povoljni rezultati dobiveni su istraživanjem tlačne čvrstoće betona s vodocementnim omjerom od 0,5, a koji sadrži lateritni pijesak (25 %) i prašinu iz kamenoloma (75 %) kao sitni agregat [5]. Povećanje tlačne, savojne i vlačne čvrstoće zabilježeno je kada je prašina drobljenog kamena dodana kao cjelokupna zamjena za sitni agregat u betonu. Provedeno je eksperimentalno istraživanje u kojem je sitni agregat u betonu zamijenjen sitnim česticama granita u pet različitih udjela. Rezultati su pokazali djelotvornu zamjenu sitnog agregata sa 35 % granitnih čestica [6]. Pokazali su također da zamjena vrlo sitnog pijeska (koji prolazi kroz sito otvora 0,25 mm) s prašinom otpadnog mramora poboljšava mehanička i fizikalna svojstva te jediničnu težinu betona [7]. Obalni pijesak, koji se dobiva nakon iskopavanja, pogodan je za betoniranje u određenim količinama. On također, na mjestima gdje su visoke oborine, ima nizak udio klorida (ispod 0,01) i može se upotrijebiti umjesto sitnog agregata [8]. Eksperimentalni rezultati pokazali su da se umjesto 6 % pijeska mogu upotrebljavati automobilske gume, bez utjecaja na mehanička svojstva betona [9]. Dodatkom 10 % granulirane

gume betonu poboljšava se otpornost na abraziju [10]. Beton s dodatkom praha od guma (20 kg/m³) ima manju propusnost [11]. Dodavanjem 5 % praha nastalog od automobilske gume povećava se obradivost [12]. Mješavina granulata gume, čeličnih vlakana i polimernih vlakana u betonu poboljšava otpornost na smrzavanje i odmrzavanje, apsorpciju zvuka i širenje pukotina [13]. Optimalna zamjena sitnog agregata otpadnim staklom iznosi do 20 %. No, uporaba otpadnog stakla kao agregata znatno smanjuje obradivost betona [14]. Kod stabilizacijskih mješavina mogu se koristiti čelične zgure (0,7 %) s cementom (0,2 %) u izgradnji temeljnih slojeva kolničkih konstrukcija [15]. Uporaba čelične zgure rezultira poboljšanjem mehaničkih svojstava [16]. Povećanje perioda starenja agregata čelične zgure uzrokuje smanjenje obradivosti i gubitak betona abrazijom [17]. Termoplasti se mogu iskoristiti do 5 % umjesto prirodnog pijeska što smanjuje masu betona, ali ne utječe na tlačnu čvrstoću u usporedbi s konvencionalnim betonom [18]. Povećanje čvrstoće je zabilježeno kod zamjene sitnog agregata bakrenom zgurom [19]. Otpadna kineska glina je po količini najzastupljeniji proizvedeni otpad koji se može koristiti u betonu kao sitni agregat.

Kineska glina, jedna od najčišćih gline, jest hidratizirani aluminijev silikat $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ s udjelom silicija oko 55-58 %, koji nastaje promjenom granita uslijed hidrotermalnog metamorfizma. U 2010. i 2011. godini u Indiji je proizvedena 2.522.181 tona kineske gline. Od toga, 27 % je iskopano u državi Kerala u Indiji. Kineska glina se koristi u proizvodnji mnogih vrijednih proizvoda nakon što prođe kroz jedan od dva direktna procesa, kao što su pranje i usitnjavanje. Iz tih procesa, gotovo 68.000 tona otpada je proizvedeno iz industrije obrade kineske gline. Otpad je bez gline i sadrži 86,1 % silicija. Naravno, kao i kineska glina, i otpad (CCW) je otporan na visoku temperaturu (do 1.300 °C), ne nabubri u vodi i također ima otpornost na kemikalije i električna svojstva [20]. Slike 1.a, 1.b i 1.c pokazuju neželjene naslage CCW-a duž cesta i nasipa jezera, što zahtijeva učinkovite mjere postupanja s otpadom.



Slika 1. Neželjeno taloženje CCW-a na: a) nasipu jezera; b) uz cestu

U slučaju normalnih izloženosti, trajnost betonskih konstrukcija nije znatno ugrožena. Međutim, u slučaju izlaganja agresivnom

okolišu, betonske konstrukcije propadaju što je posljedica visokih temperatura, djelovanja kemikalija i kiselina, itd. Gusti, nepropusni beton otporan je na utjecaj kiselina i ima veću kemijsku otpornost od običnog betona. Također, smanjenje čvrstoće i mase ovisi o sastojcima betona, periodu njegovanja betona, vrsti kiseline i trajanju potapanja [21]. Povećanje koncentracije kiselina rezultira povećanim utjecajem na beton. U nižoj koncentraciji kiseline, učinak klorovodične kiseline i dušične kiseline u betonu veći je od učinka sumporne kiseline. Degradacija svojstava betona ne ovisi o vrsti kiseline i vrsti cementa pri višim koncentracijama kiseline [22]. Provedena su različita eksperimentalna ispitivanja za procjenu učinka povišene temperature na beton. Porast temperature unutar 200 °C u početku dovodi do povećanja tlačne čvrstoće uslijed brze dehidracije vode u porama [23]. U usporedbi sa standardnim (konvencionalnim) betonom, zbog povišene temperature, kod novih vrsta betona kao što su samozbijajući beton i beton s dodatkom letećeg pepela dolazi do promjena u mehaničkim i deformacijskim svojstvima [24]. Utvrđeno je da promjene temperature od -20 °C do 60 °C imaju učinke na mehanička i elastična svojstva betona. Tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća i modul elastičnosti imaju negativnu korelaciju s temperaturom [25]. Na različita svojstva betona promjene temperature djeluju i pozitivno i negativno. Povećanje temperature dovodi do povećanja početnih čvrstoća, ali ne i do povećanja i održavanja dugotrajne čvrstoće [26].

Otpadna kineska glina (CCW) može se upotrijebiti za cjelokupnu zamjenu sitnog agregata umjesto kamene prašine u polugustom bitumenskom betonu (eng. *Semi-Dense Bituminous Concrete* - SDBC). Utvrđeno je da svojstva mješavine CCW-a imaju bolja svojstva po Marshallu od mješavine kamene prašine [27]. Na preliminarnim istraživanjima, industrijski otpad kineske gline korišten je u betonskim mješavinama u različitim omjerima te je zadovoljeno ispitivanje na tlačnu, vlačnu i savojnu čvrstoću očvrslog betona. Iz toga proizlazi da se 30 % riječnog pijeska može zamijeniti CCW-om [28]. U opsežnom istraživanju uočeno je da je ponašanje greda "L" i "T" poprečnog presjeka konstruktivno i učinkovito nakon dodavanja 30 % CCW-a [29]. Međutim, zbog potrebe analize svojstava betona s CCW-om u različitim uvjetima opterećenja i izloženosti u okolišu, provedeno je ovo istraživanje.

2. Ciljevi eksperimenta

Krajnji cilj ovog istraživanja jest eksperimentalno i modeliranjem ispitati mogućnost dodavanja industrijske otpadne kineske gline (CCW) u betonu za optimalnu količinu zamjene za sitni agregat (eng. *fine aggregates* - FA) u vrijednosti od 30 %. U istraživanju je provedeno sljedeće:

- procjena gubitka težine i utjecaja na čvrstoću uzrokovanog djelovanjem temperature od 100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C i 600 °C
- određivanje gubitka mase i smanjenja čvrstoće uslijed uranjanja u razrijeđenu HCl kiselinu u trajanju od 7, 30 i 70 dana

- promatranje progiba i određivanje krutosti grednih elemenata
- određivanje direktnog naprezanja, naprezanja uslijed savijanja, maksimalnog i minimalnog naprezanja grednih elemenata tijekom ispitivanja
- određivanje deformacije i naprezanja u grednim elementima modeliranjem pomoću računalnog programa ANSYS
- usporedba naprezanja i deformacije grednih elemenata dobivenih iz eksperimenata i modeliranih pomoću računalnog programa ANSYS.

3. Detalji eksperimenta

3.1. Materijali

Izvorni materijali odabrani su kao sirovine za spravljanje betona. Korišteni su cement OPC 43, drobljeni kamen maksimalne veličine zrna 20 mm kao krupni agregat (eng. *coarse aggregate* - CA) te pitka voda. Riječni pijesak, koji se nalazio na raspolaganju, korišten je kao sitni agregat, s CCW-om kao djelomičnom zamjenom. Sastojci su ispitani prema indijskim normama. Cement, agregat i čelik za armiranje su ispitani na temelju IS normi 8112-1989 [30], 383-1970 [31] i 1786-1985 [32]. Svojstva cementa navedena su u tablici 1. Svojstva CCW-a ispitana su u laboratoriju kineske industrije gline M/S, Aathavan minerali te prikazani u tablicama 2. i 3.

Tablica 1. Svojstva cementa

Svojstva cementa	Vrijednost
Specifična težina (bez mjerne jedinice)	3,15
Finoća [m ² /kg]	227,80
Početno vrijeme vezivanja [min]	45
Krajnje vrijeme vezivanja [min]	585
Standardna konzistencija [%]	30

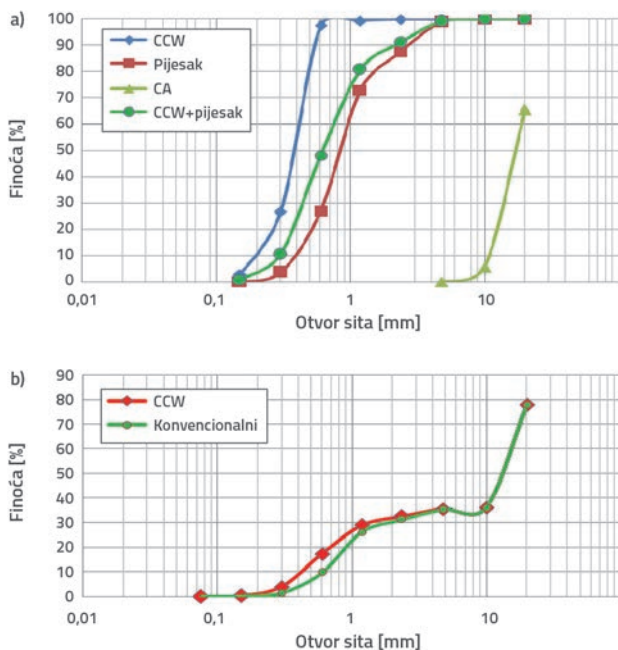
Tablica 2. Svojstva agregata

Svojstva agregata	FA	CCW	CA
Specifična težina (bez mjerne jedinice)	2,80	2,70	2,80
Modul finoće (bez mjerne jedinice)	3,10	2,70	7,50
Upijanje vode [%]	0,50	0,50	0,50
Površinska tekstura	glatko	glatko	
p ^H (bez mjerne jedinice)		7,20	
Vrijednost udara (bez mjerne jedinice)			15,20
Oblik čestica			Kutni
Vrijednost drobljenja (bez mjerne jedinice)			18,60

FA - sitni agregat, CCW - otpadna kineska glina, CA - krupni agregat

Tablica 3. Mineralni sastojci otpadne kineske gline (CCW)

Sastojci otpadne kineske gline	Vrijednost [%]
SiO ₂	86,100
TiO ₂	0,110
Al ₂ O ₃	7,910
Fe ₂ O ₃	2,010
MgO	0,010
K ₂ O	2,710
Na ₂ O	0,200
MnO	0,030
ClO ₃	0,001
SO ₃	0,004
H ₂ O i nečistoće	0,915



Slika 2. a) Raspodjela veličine čestica; b) Sumarna krivulja sastojaka svih agregata

3.2. Izrada i ispitivanje uzoraka

Na temelju rezultata ispitivanja sastojaka izrađena je mješavina betona M30 prema IS normi 10262-2009 [33]. Sastojci betona (u omjerima) su sljedeći:

Cement : Sitni agregat + CCW : Krupni agregat : Voda
 1 : 1,545 : 2,772 : 0,44



Slika 3. Izrađeni uzorci za ispitivanja

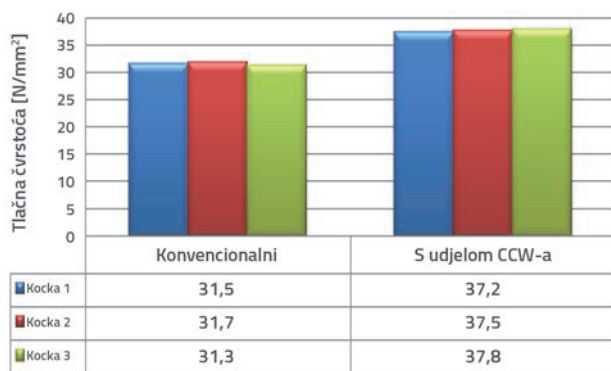
Za preliminarno ispitivanje napravljena su 54 uzorka oblika kocke (150 x 150 x 150 mm), 54 uzorka oblika valjka (promjera 150 mm i dužine 300 mm) i 54 uzorka oblika prizme (100 x 100 x 500 mm) od betona u kojem je sitni agregat zamijenjen CCW-om u različitim omjerima 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 % i 50 % (slika 3.). Uzorci su ispitani nakon 7, 14 i 28 dana njegovanja u vodi. Ispitivanje uzoraka provedeno je u skladu s normama IS 516-1959 [34] i IS 5816-1999 [35]. Slika 4. prikazuje ispitivanje prizme pomoću univerzalnog stroja za ispitivanje (UTM). Čvrstoće uzoraka su određene uvrštavanjem dobivenih rezultata ispitivanja u jednadžbe (1) do (3), a rezultati su prikazani u tablici 4. Usporedbom dobivenih rezultata vidi se da su uzorci betona s 30 % udjela CCW-a (CCCW) imali najveće čvrstoće. Rezultati tlačne, vlačne čvrstoće cijepanjem i savojne čvrstoće prikazani su slikama 5., 6. i 7. kako bi se usporedila svojstva konvencionalnih i uzoraka sa CCW-om.

Tablica 4. Rezultati eksperimentalnog ispitivanja uzoraka kocki, valjaka i prizmi nakon 28 dana njegovanja

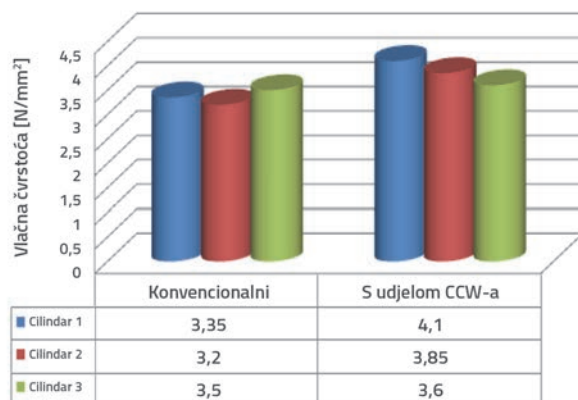
Oznaka mješavine	Sitni agregat		Tlačna čvrstoća [N/mm ²]	Vlačna čvrstoća cijepanjem [N/mm ²]	Savojna čvrstoća [N/mm ²]
	Pijesak [%]	CCW [%]			
M0	100	0	31,50	3,35	5,32
M1	90	10	34,00	3,42	5,46
M2	80	20	36,00	3,63	5,66
M3	70	30	37,50	3,85	5,74
M4	60	40	33,00	3,45	5,28
M5	50	50	31,00	3,15	4,88



Slika 4. Ispitivanje savojne čvrstoće na prizmama



Slika 5. Tlačna čvrstoća uzoraka kocki



Slika 6. Vlačna čvrstoća cijepanjem uzoraka valjka

Tablica 5. Rezultati ispitivanja otpornosti na kiselinu

Oznaka uzoraka	Prosjek							
	Gubitak mase [g]				Tlačna čvrstoća [N/mm²]			
	Na početku	7 dana	30 dana	70 dana	Na početku	7 dana	30 dana	70 dana
Konvencionalni	0	18	24	46	31,50	31,40	31,22	31,08
S udjelom CCW	0	16	20	42	37,50	35,55	35,40	35,17

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2)$$

$$f_b = \frac{Pl}{bd^2} \quad (3)$$

gdje su:

σ - tlačna čvrstoća dobivena na uzorcima kocke

f_c - vlačna čvrstoća dobivena na uzorcima valjka

f_b - čvrstoća na savijanja dobivena na uzorcima prizmi

P - nanešeno opterećenje [N]

A - površina poprečnog presjeka kocke [mm²]

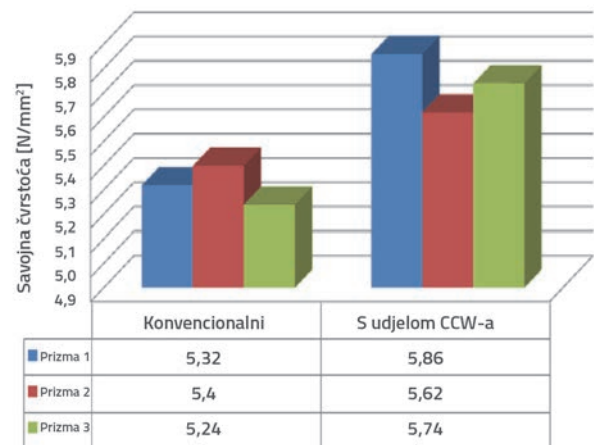
L - duljina valjka [mm]

D - promjer valjka [mm]

l - duljina raspona između dva ležaja uzorka

b - širina prizme [mm]

d - duljina prizme [mm].



Slika 7. Čvrstoća na savijanje uzoraka prizme

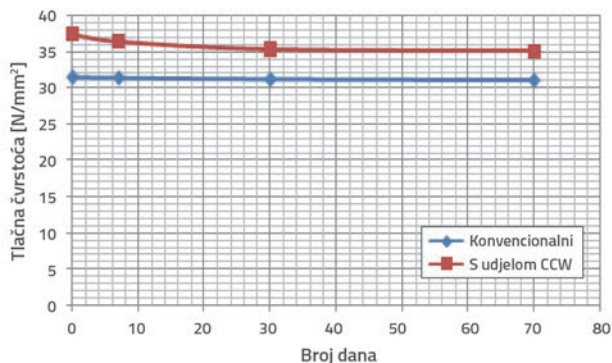
3.3. Ispitivanje otpornosti na kiselinu

Da bi se utvrdio utjecaj kiseline na beton, ispitivanje otpornosti na kiselinu provedeno je na uzorcima kocke. U tom su slučaju uzorci kocke stavljeni u kontakt s razrijeđenom kiselinom HCl pomoću metode uranjanja. U početku, uzorci kocke (od konvencionalnog betona i betona s CCW'om) ugrađeni su i njegovani u vodi 28 dana. Nakon njegovanja, sušili su se na sobnoj temperaturi tijekom 24 sata, a onda su uronjeni u otopinu razrijeđene 2 %

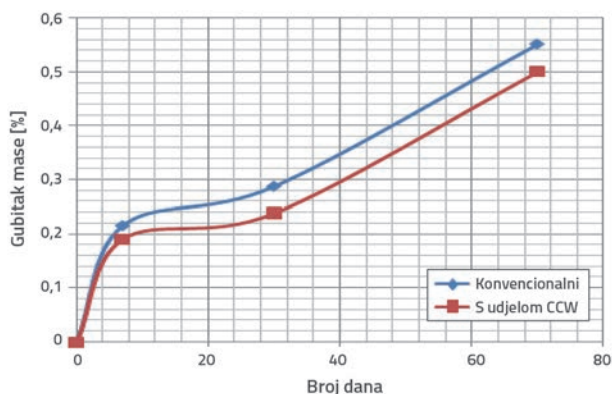
HCl kiseline (slika 8.). Dvije grupe uzoraka (svaka po tri kocke) od konvencionalnog betona, kao i betona sa CCW-om ispitana su nakon 7, 30 i 70 dana uranjanja u kiselinu na temelju standardnog postupka.



Slika 8. Ispitivanje otpornosti uzoraka kocki na kiselinu



Slika 9. Tlačna čvrstoća uzoraka nakon uranjanja u kiselinu



Slika 10. Gubitak mase u uzorcima nakon uranjanja u kiselinu

Zamjenom vrijednosti primijenjenog opterećenja i poprečnog presjeka u izrazu (1) dobivene su vrijednosti tlačne čvrstoće. Tlačna čvrstoća i gubitak mase prikazani su u tablici 5. te dani kao grafički prikaz (slike 9. i 10.) radi usporedbe svojstva

uzoraka. Prosječna tlačna čvrstoća kod normalne izloženosti za konvencionalne uzorke je iznosila 34,50 N/mm², a za CCW uzorke kocke (dimenzija 150 mm x 150 mm x 150 mm) 37,5 N/mm². Početna srednja masa konvencionalnih i CCW uzoraka oblika kocke nakon 28 dana njegovanja iznosila je 8340 g odnosno 8385 g.

3.4. Ispitivanje otpornosti na visoke temperature

Nakon 28 dana njegovanja, 54 konvencionalna i 54 CCW uzorka podvrgnuta su ispitivanju otpornosti na visoke temperature. Uzorci kocaka su bili izloženi u peći na vrućem zraku (slika 11.) na konstantno povišenim temperaturama [36] u rasponu od 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C i 600°C tijekom 1, 2 i 3 sata. Uzorci izvađeni iz peći držani su na atmosferskim uvjetima 12 sati kako bi se za svaku kocku utvrdila njihova masa i tlačna čvrstoća (slika 12.).



Slika 11. Uzorci u peći na vrući zrak

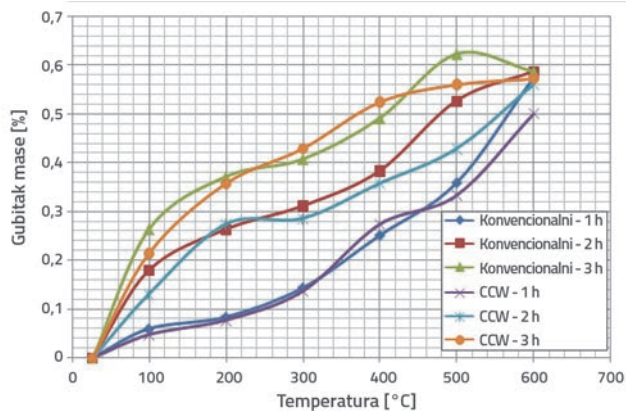


Slika 12. Ispitivanje tlačne čvrstoće na kockama nakon toplinskog tretiranja u peći

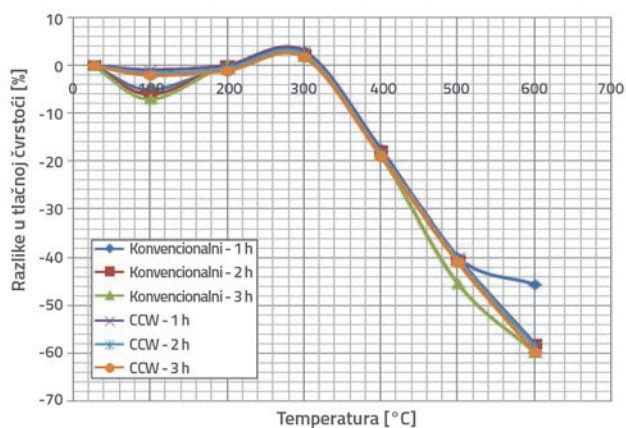
Tablica 6. Rezultati ispitivanja otpornosti na visoke temperature

Temp. [°C]	Trajanje	Uzorci od konvencionalnog betona						Uzorci od betona sa CCW-om					
		Srednji gubitak mase [g]			Srednja tlačna čvrstoća [N/mm ²]			Srednji gubitak mase [g]			Srednja tlačna čvrstoća [N/mm ²]		
		1h	2h	3h	1h	2h	3h	1h	2h	3h	1h	2h	3h
27		0,00	0,00	0,00	31,50	31,50	31,50	0,00	0,00	0,00	37,50	37,50	37,50
100		5,00	15,00	22,00	29,91	29,60	29,29	4,00	11,00	18,00	37,16	36,93	36,76
200		7,00	22,00	31,00	31,49	31,33	31,18	6,50	23,00	30,00	37,49	37,29	37,11
300		12,00	26,00	34,00	32,44	32,27	32,09	11,50	24,00	36,00	38,62	38,40	38,18
400		21,00	32,00	41,00	26,00	25,87	25,56	23,00	30,00	44,00	30,76	30,58	30,40
500		30,00	44,00	52,00	18,89	18,67	17,16	28,00	36,00	47,00	22,49	22,31	22,09
600		48,00	49,00	49,00	17,11	13,16	12,62	42,00	47,00	48,00	15,73	15,51	15,02

Srednje vrijednosti razlika u masi i tlačnoj čvrstoći prikazane su u tablici 6. te dane grafičkim prikazom na slikama 13. i 14. za obje vrste uzoraka, konvencionalne i CCW.



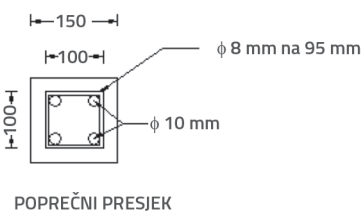
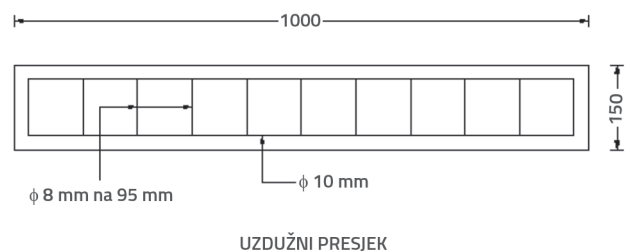
Slika 13. Gubitak mase u uzorcima nakon toplinskog tretiranja u peći vrućim zrakom



Slika 14. Razlika u vrijednosti tlačne čvrstoće u odnosu na početnu nakon toplinskog tretiranja u peći vrućim zrakom

3.5. Ispitivanje grednih elemenata

Optimalna zamjena sitnog agregata s 30 % udjela CCW-a provedena je za izradu grednih elemenata. Izrađeno je 6 uzoraka grednih elemenata, 3 s konvencionalnim betonom i 3 s 30 % udjela CCW-a. Slika 15. prikazuje dimenzije i detalje armiranja greda. Elementi su izvađeni iz kalupa nakon 24 sata i njegovani u vodi. Nakon 28 dana njegovanja, elementi su ispitani u okviru opterećenja temeljenih na preporuci IS 516-1959.



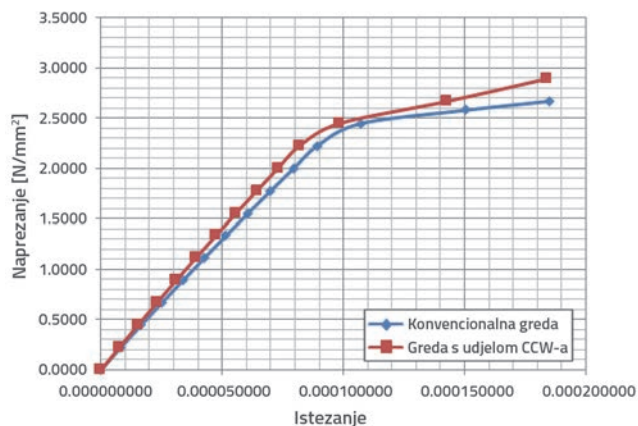
Slika 15. Pojednostavljeni elementi gredne, dimenzije u mm

Prije stavljanja elemenata u postupak ispitivanja, na njegovoj je površini nacrtana mreža kako bi se pratile pukotine tijekom opterećenja. Nakon postavljanja elemenata u okvir za opterećivanje, mjeraci naprezanja su pričvršćeni na udaljenosti od L/3 od krajeva i srednjeg raspona, kao što je prikazano na slici 16.



Slika 16. Opterećenje na elementima

Za mjerenje progiba upotrijebljen je LVDT (linearni varijabilni diferencijalni transformator) i mjeraci pomaka ispod elemenata. Jednom kada je gredni element postavljen, u srednjem rasponu je primijenjeno jedinično, točkasto opterećenje pomoću okvira opterećenja kapaciteta 2000 kN pri konstantnim intervalima. Nadalje, za svaki interval opterećenja očitavane se pukotine, vrijednosti LVDT-a, mjeraca pomaka i mjeraca deformacija. Uvrštavanjem dobivenih srednjih vrijednosti u izraze (4) do (8), izračunavaju se elastična svojstva koja su prikazana u tablicama 7. i 8. Iz ovog ispitivanja grednih elemenata također je generirana krivulja naprezanja-deformacija za usporedbu svojstva elastičnosti, kako je prikazano na slici 17.



Slika 17. Krivulja naprezanja u odnosu na deformaciju grede

$$\sigma_{dir} = \frac{P}{A} \tag{4}$$

$$\sigma_b = \frac{MY}{I} \tag{5}$$

$$\sigma_{max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z} \tag{6}$$

$$\sigma_{min} = \frac{P}{A} - \frac{M}{Z} \tag{7}$$

$$k = \frac{P}{\delta l} \tag{8}$$

gdje je:

- σ_{dir} - direktno naprezanje
- σ_b - naprezanje savijanja
- σ_{max} - maksimalno naprezanje
- σ_{min} - minimalno naprezanje
- k - krutost

Tablica 7. Elastična svojstva konvencionalnih betonskih greda

Opterećenje [kN]	Direktno naprezanje [N/mm ²]	Naprezanje na savijanje [N/mm ²]	Maksimalno naprezanje [N/mm ²]	Minimalno naprezanje [N/mm ²]	Naprezanje na savijanje [N/mm ²]	Krutost [kN/mm]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,23	1,48	4,67	4,22	4,44	2,50
10	0,44	2,96	9,33	8,44	8,89	3,33
15	0,67	4,44	14,00	12,67	13,33	3,75
20	0,89	5,92	18,66	16,89	17,78	3,33
25	1,11	7,41	23,33	21,11	22,22	3,12
30	1,33	8,89	28,00	25,33	26,67	3,00
35	1,56	10,37	32,67	29,56	31,11	2,92
40	1,78	11,85	37,33	33,78	35,56	2,86
45	2,00	13,33	42,00	38,00	40,00	3,00
50	2,22	14,81	46,67	42,22	44,44	3,33
55	2,44	16,30	51,33	46,44	48,89	3,67
58	2,57	17,18	54,13	48,98	51,56	3,87
60	2,67	17,78	56,00	50,67	53,33	4,00

Tablica 8. Elastična svojstva greda izrađenih s udjelom CCW-a u betonskoj mješavini

Opterećenje [kN]	Direktno naprezanje [N/mm ²]	Naprezanje na savijanje [N/mm ²]	Maksimalno naprezanje [N/mm ²]	Minimalno naprezanje [N/mm ²]	Naprezanje na savijanje [N/mm ²]	Krutost [kN/mm]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,22	1,48	4,67	4,22	4,44	2,50
10	0,44	2,96	9,33	8,44	8,89	3,33
15	0,67	4,44	14,00	12,67	13,33	3,75
20	0,89	5,92	18,67	16,89	17,78	3,33
25	1,11	7,41	23,33	21,11	22,22	3,12
30	1,33	8,89	28,00	25,33	26,67	3,00
35	1,56	10,37	32,67	29,56	31,11	2,92
40	1,78	11,85	37,33	33,78	35,56	2,86
45	2,00	13,33	42,00	38,00	40,00	3,00
50	2,22	14,81	46,67	42,22	44,44	3,33
55	2,44	16,30	51,33	46,44	48,89	3,67
60	2,67	17,78	56,00	50,67	53,33	4,00
65	2,89	19,26	60,67	54,89	57,78	4,33

- P - krajnje opterećenje [N]
 A - površina poprečnog presjeka elementa [mm²]
 M - moment savijanja [Nmm]
 Y - 0,5 d [mm]
 I - progib [mm]
 I - moment inercije [mm⁴]
 Z - modul presjeka [mm³].

3.6. Numerička analiza

Eksperimentalno istraživanje pomaže u pronalaženju deformacije i naprezanja na određenim mjestima elemenata. Međutim, simulacija pomaže u postizanju raspodjele naprezanja, progiba itd. preko cijele duljine elemenata. Štoviše, simulacija pomaže u potvrđivanju rezultata dobivenih eksperimentima i osigurava izvedivost korištenja CCW-a kao djelomične zamjene za sitni agregat. Podaci u tablici 9. u obzir su uzeti tijekom simulacije grednih elemenata s računalnim programom ANSYS. Detalji armature s geometrijom grednih elemenata prikazani su na slici 15. Uz pomoć računalnog programa ANSYS proučavane

su deformacije te naprezanje na savijanje koji odgovaraju navedenom krajnjem opterećenju u srednjoj točki (s krajnjim uvjetima). Slike 18. i 19. prikazuju deformacije i normalna naprezanja u konvencionalnim i CCW grednim elementima.

4. Rezultati i rasprava

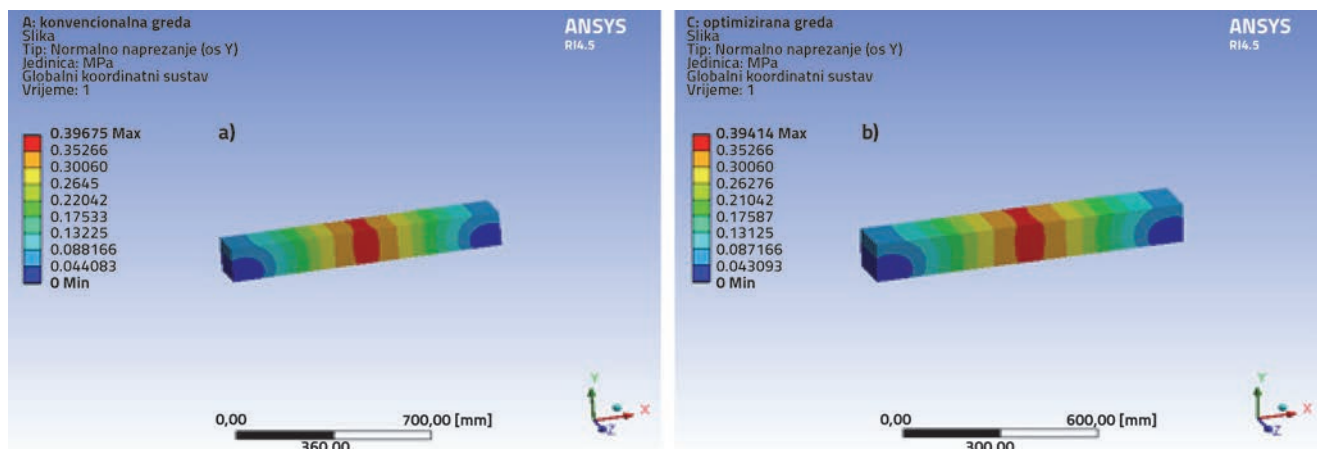
Analizirana su svojstva betona koji sadrži CCW kao zamjenu za sitni agregat u udjelu od 30 %. Analizirana su uz pomoć ispitivanja obje vrste uzoraka te grednih elemenata. Mehanički parametri su jasno uspoređeni s onima konvencionalnog betona.

4.1. Tlačna čvrstoća dobivena na uzorcima kocki

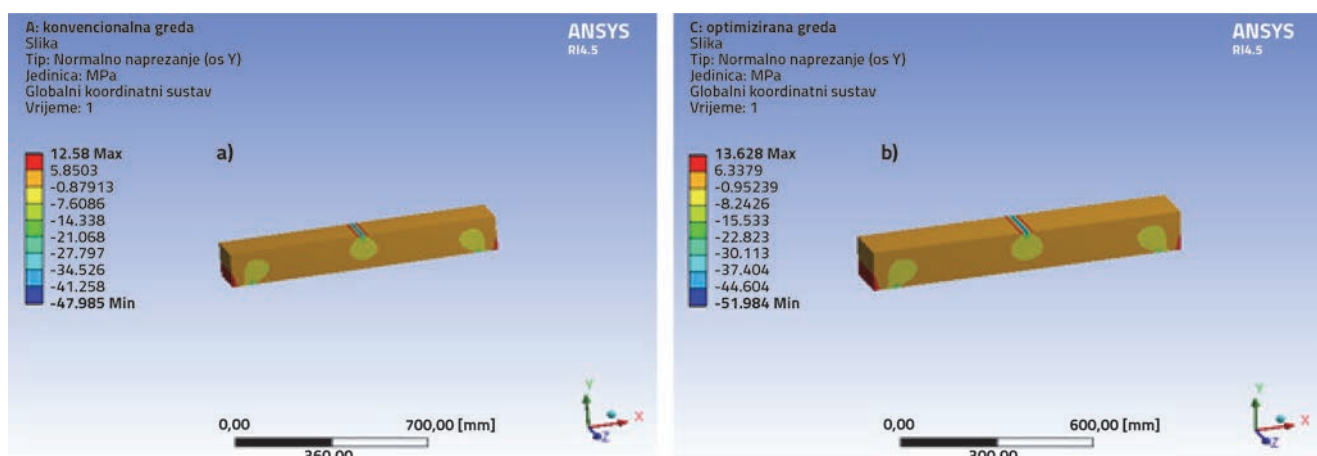
Slika 5. pokazuje da je srednja tlačna čvrstoća konvencionalnih uzoraka iznosila 31,70 N/mm², a uzoraka s udjelom CCW-a 37,50 N/mm². Tlačna čvrstoća dobivena na uzorcima betona s CCW imala je 18 % veću vrijednost od konvencionalnih kocaka.

Tablica 9. Podaci za simulaciju

Parametri	Konvencionalni beton	Beton s udjelom CCW
Poissonov koeficijent	0,280	0,278
Gustoća [kg/m ³]	2400	2415
Youngov modul [N/mm ²]	27400	29850
Stanje opterećenja	Opterećenja u jednoj točki na srednjem rasponu	Opterećenja u jednoj točki na srednjem rasponu



Slika 18. Deformacije u grednim elementima: a) konvencionalni beton, b) s udjelom CCW-a



Slika 19. Normalno naprezanje u grednim elementima: a) konvencionalni beton, b) s udjelom CCW-a

4.2. Vlačna čvrstoća dobivena na uzorcima valjaka

Slika 6. pokazuje da je srednja vlačna čvrstoća konvencionalnih uzoraka iznosila 3,35 N/mm², a CCW valjaka 3,85 N/mm². CCW valjci imaju za 15 % veću vrijednost vlačne čvrstoće od konvencionalnih valjaka.

4.3. Čvrstoća na savijanje dobivena na uzorcima prizmi

Iz slike 7. je vidljivo da srednja vrijednost čvrstoće na savijanje za konvencionalne uzorke iznosi 5,32 N/mm², a za CCW prizme 5,74 N/mm². Čvrstoća na savijanje CCW prizmi dosegla je 8 % veću vrijednosti od konvencionalne prizme.

4.4. Učinak izloženosti kiselinu

Oba uzorka gube svoju tlačnu čvrstoću i masu uz produljeno trajanje kontakta s kiselinom. Iz tablice 5. proizlazi da su srednji gubici mase betonskih uzoraka s udjelom CCW-a za 2 g, 4 g i 4 g manji od konvencionalnih uzoraka tijekom 7 dana, 30 dana odnosno 70 dana. Slično tome, maksimalna prosječna tlačna

čvrstoća CCW uzoraka bila je za 4,15 N/mm², 4,18 N/mm² i 4,09 N/mm² veća od čvrstoće konvencionalnih betonskih uzoraka tijekom 7 dana, 30 dana odnosno 70 dana.

Slike 9. i 10. prikazuju pad u postotku srednje tlačne čvrstoće i postotak srednjeg gubitka težine kod kockastih uzoraka tijekom izlaganja razrijeđenoj HCl otopini. Učinak razrijeđene HCl otopine na konvencionalne uzorke je veći nego kod CCW uzoraka. Drugim riječima, uzorci koji sadrže CCW posjeduju veću otpornost na razrijeđenu HCl kiselinu.

U svim fazama ispitivanja (7 dana, 30 dana i 70 dana) u CCW uzorcima opaženi su manji gubici težine nego kod konvencionalnih uzoraka, što je rezultat djelotvornog punjenja mikropora između agregata česticama CCW-a manje veličine. Granulometrijske krivulje CA, FA i CCW i sumarne krivulje agregata CCW-a i konvencionalnog betona prikazane su na slikama 2.a i 2.b.

Tlačna čvrstoća uzoraka s udjelom CCW-a ima veću vrijednost nego kod konvencionalnih uzoraka. Silikatna svojstva čestica CCW-a ometaju reakciju kiseline na površini betona. Tako je na površini vidljiva i manja reakcija, čak i nakon 70 dana uranjanja. To je dovelo do veće tlačne čvrstoće u slučaju betona s udjelom CCW-a u usporedbi s konvencionalnim betonom.

4.5. Učinak visoke temperature

Tablica 6. prikazuje da je srednji gubitak mase u konvencionalnim betonskim uzorcima, pri svakom povećanju temperature od 100 °C, u rasponu od 100 °C do 600 °C, tijekom jednog sata iznosio od 5 do 48 grama, tijekom dva sata od 15 do 49 grama te tijekom tri sata od 22 do 49 grama, a gubici mase u uzorcima s udjelom CCW-a iznosili su 4 do 42 grama, 11 do 47 grama, odnosno 18 do 48 grama. Srednja tlačna čvrstoća u konvencionalnim betonskim uzorcima pri svakom povećanju temperature od 100 °C u rasponu od 100 °C do 600 °C tijekom jednog sata iznosila je 29,91 do 17,11 N/mm², tijekom 2 sata 29,6 do 13,16 N/mm², a tijekom tri sata 29,29 do 12,62 N/mm²; kod CCW uzoraka iznosila je 37,16 do 15,73 N/mm² 36,93 do 15,51 N/mm², odnosno 36,76 do 15,02 N/mm². Iz toga je vidljivo da se u CCW-u pojavljuje veći gubitak čvrstoće u postotku početne vrijednosti čvrstoće nego kod onih konvencionalnih.

Slike 13. i 14. prikazuju varijaciju u postotku srednjeg gubitka težine te postotak srednje vrijednosti razlika u tlačnoj čvrstoći kocki uzrokovanih intenzitetom temperature i vremenu izloženosti. U rasponu temperature od 200 do 3000 °C, tlačna čvrstoća konvencionalnih i CCW kockastih uzoraka neznatno se povećala. To je vidljivo iz malih vrhova na grafikonu prikazanom na slici 14. Temperatura je utjecala na oba korištena uzorka. Međutim, tlačna čvrstoća za sve razine temperature kod CCW uzoraka je veća nego kod konvencionalnih uzoraka. Veća vrijednost tlačne čvrstoće je posljedica toplinskih svojstava sastojaka CCW-a. Gubitak težine oba uzorka je sličan kod nekih temperatura. Međutim, CCW uzorci pokazuju nešto manji gubitak težine na većini razina temperature zbog svoje sposobnosti da izdrže do 1300 °C.

Tlačna čvrstoća CCW uzoraka pri različitim temperaturama i u različitim trajanjima je veća u odnosu na konvencionalne uzorke. Beton s udjelom CCW-a ima bolje ponašanje do 350 °C, ali nakon toga se oba uzorka ponašaju isto, čak i suprotno, kada se izražava u postotku gubitka tlačne čvrstoće, CCW gubi više čvrstoće, ali je apsolutna čvrstoća u odnosu na konvencionalni beton veća. Porast temperature od sobne temperature do 600 °C pokazuje da je konvencionalni beton izgubio 45,7 % svoje početne čvrstoće, dok je CCW izgubio 58,1 %. Tijekom održavanja temperature na 600 °C, postotak gubitka čvrstoće za 1 sat izloženosti je 26,25 %, a za 3 sata izloženosti je 4,51 % za konvencionalni i CCW beton. To jasno pokazuje da je kod dugotrajnog izlaganja postotak gubitka čvrstoće veći kod konvencionalnog betona nego kod CCW-a, što je uglavnom zbog boljih veza između CCW-a i agregata. Na to utječe i veća toplinska stabilnost CCW-a.

4.6. Svojstva grednih elemenata temeljenih na ispitivanju

Pukotine su se u početku stvorile na dnu vlakana srednjeg raspona kako kod konvencionalnih tako i kod CCW grednih

elemenata pri opterećenju u srednjoj točki [37], koristeći konstrukcijski okvir za opterećenje (slika 15.). Te pukotine su se razvile do vrha sve dok greda nije popustila kod krajnjeg opterećenja.

U tablicama 7. i 8. izračunane su vrijednosti naprezanja i krutosti za povećanje opterećenja u koracima od po 5 kN i kod konvencionalne i kod CCW grede. Krajnji nosivi kapaciteti obje grede su 60 kN odnosno 65 kN. Izravna naprezanja iznosila su 2,67 i 2,89 N/mm²; naprezanja na savijanje iznosila su 17,78 i 19,26 N/mm², maksimalna tlačna naprezanja iznosila su 56,00 i 60,67 N/mm², minimalna vlačna naprezanja iznosila su 50,67 i 54,89 N/mm², a naprezanja na savijanje iznosila su 53,33 i 57,78 N/mm². Vrijednosti krutosti obju greda iznosile su 4,00 i 4,33 kN/mm. Parametri čvrstoće i krutosti bili su visoki zbog mikrostrukture CCW materijala koji pomaže pri učinkovitom lijepljenju i punjenju praznina.

Vrijednosti naprezanja CCW grede bile su relativno visoke, a vrijednosti istezanja bile su niske zbog porasta Youngovog modula uzrokovanog njegovim dodavanjem (slika 17.).

4.7. Svojstva grednih elemenata temeljenih na numeričkoj analizi

Numerička simulacija provedena je pomoću računalnog programa ANSYS, pri čemu su dobivene vrijednosti deformacije i normalnog naprezanja. Maksimalne deformacije kod konvencionalnog grednog elementa iznose 0,39675 za krajnje opterećenje od 60 kN, a kod CCW grednog elementa 0,39414 mm za krajnje opterećenje od 65 kN. Naprezanja na savijanje i istezanje zbog zadanog opterećenja u CCW grednom elementu iznose 13,63 N/mm² i 51,98 N/mm², što je vidljivo na slici 18. Naprezanja na savijanje i istezanje zbog zadanog opterećenja u konvencionalnom grednom elementu iznose 12,58 N/mm² i 47,98 N/mm², što je vidljivo na slici 19. Iz tablice 5., naprezanja na savijanje i istezanje zbog krajnjeg opterećenja u CCW grednom elementu su 19,25 N/mm² i 57,77 N/mm², a u konvencionalnom grednom elementu 17,77 N/mm² i 53,33 N/mm². Najveća opterećenja koja su izdržali konvencionalni i CCW elementi na pokusima bili su 60 kN, odnosno 65 kN. Simulacijom su primijećene iste maksimalne čvrstoće greda. Štoviše, naprezanja promatrana iz eksperimenata i simulacija slična su po prirodi. Ta sličnost između eksperimentalnih i analitičkih rezultata pokazuje bolje ponašanje betona uključivanjem CCW-a. Rezultati numeričke analize i eksperimenata pokazuju da CCW elementi izdržavaju naprezanja na savijanje i istezanje bolje od konvencionalnih elemenata.

5. Zaključak

Na temelju eksperimentalnih istraživanja i numeričke analize mogu se izvući sljedeći zaključci:

- Ugradnja CCW-a kao sitnog agregata u beton pomaže u povećanju tlačne čvrstoće, čvrstoće na savijanje i vlačne

čvrstoće betona. Ti pozitivni učinci uglavnom su posljedica svojstava čestica CCW-a da se rasprše u matrici cementne paste te međusobno povežu s agregatom u betonu. Dodatak CCW-a rezultira stvaranjem međufaznog područja između čestica agregata i očvrsnule cementne paste te ima velik utjecaj na svojstva betona.

- Otpornost na visoke temperature betona povećava se s povećanjem udjela CCW-a. Veća toplinska stabilnost čestica CCW-a pomaže u zadržavanju tlačne čvrstoće betonskih kocaka.
- Izlaganje razrijeđenim kiselinama smanjivat će tlačnu čvrstoću betona. Međutim, to smanjenje čvrstoće ovisi o trajanju uranjanja, tipu i koncentraciji kiseline i svojstvima mineralnih agregata. Budući da čestice CCW-a ne prolaze više promjena u svojstvima kada reagiraju s kiselinama, beton koji sadrži CCW također posjeduje veću otpornost na kiseline od konvencionalnog betona.

- Ispitivanja grednih elemenata pomažu u procjeni elastičnih svojstava betona pod opterećenjem srednje točke. Očito je da se elastična svojstva betona povećavaju udjelom CCW-a. Rezultati numeričke analize pomoću računalnog programa ANSYS ukazuju na povećanje elastičnog djelovanja grednih elemenata s udjelom CCW-a.
- Dobiveni rezultati eksperimentalnog ispitivanja ukazuju da se CCW može koristiti kao djelomična zamjena sitnog agregata u betonu do približno 30 % bez ikakvih promjena u trajnosti betona. Ovo doprinosi smanjenju troškova pripreme betona, veće održivosti okoliša te poboljšavanja upravljanja otpadom.

Buduće istraživanje o ponašanju betona s CCW-ovom na spojevima konstrukcijskih elemenata može se provesti radi ispitivanja svojstava s dodavanjem ili bez dodavanja bilo kakvih aditiva u normalnim i seizmičkim uvjetima opterećenja.

LITERATURA

- [1] Ettu, L.O., Njoku, F.C., Anya, U.C., Amanze, A.P., Arimanwa, M.C.: Variation of OPC-Saw Dust Ash Composites Strength with Mix Proportion, *International Journal of Advancements in Research & Technology*, 2 (2013) 8, pp. 67-71.
- [2] Aliabdo, A.A., Abd-Elmoaty, Abd-Elmoaty, A.E.M., Hassan, H.H.: Utilization of crushed clay brick in concrete industry, *Alexandria Engineerig Journal*, 53 (2014) 1, pp. 151-168, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2013.12.003>
- [3] Gheorghe, M., Sacă, N., Radu, L., Ieremie, R.: An experimental model of waste recycling from paper industry as secondary raw material in concrete, *Romanian journal of materials*, 44 (2014) 1, pp. 17-24.
- [4] Nagpal, L., Dewangan, A., Dhiman, S., Kumar, S.: Evaluation of strength characteristics of concrete using crushed stone dust as fine aggregate, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 2 (2013) 6, pp. 102-104.
- [5] Ukpatha, J., Ephraim, M., Akeke, G.: Compressive strength of concrete using lateritic sand and quarry dust as fine aggregate, *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7 (2012) 1, pp. 81-92.
- [6] Divakar, Y., Manjunath, S., Aswath, M.U.: Experimental investigation on behaviour of concrete with the use of granite fines, *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 1 (2012) 4, pp. 84-87.
- [7] Demirel, B.: The effect of the using waste marble dust as fine sand on the mechanical properties of the concrete, *International journal of the physical sciences*, 5 (2010) 5, pp. 1372-1380.
- [8] Dolage, D.A.R., Dias, M.G.S., Ariyawansa, C.T.: Offshore sand as a fine aggregate for concrete production, *British Journal of Applied Science & Technology*, 3 (2013) 4, pp. 813-825.
- [9] Senthil Vadivel, T., Thenmozhi, R.: Experimental Study on Waste Tyre Rubber Replaced Concrete - An Ecofriendly Construction Material, *Journal of Applied Sciences Research*, 8 (2012) 6, pp. 2966-2973.
- [10] Grdić, Z., Ćurčić, G.T., Ristić, N., Grdić, D., Mitković, P.: Hydro-abrasive resistance and mechanical properties of rubberized concrete, *Građevinar*, 66 (2013) 1, pp. 11-20, <http://dx.doi.org/10.14256/JCE.910.2013>
- [11] Wang, B., Ai, H., Song, K., Han, Y., Zhang, T.: Resistance to chloride ion penetration of concrete containing scrap rubber powder, *Romanian Journal of Materials*, 13 (2013) 1, pp. 14-18.
- [12] Granzotto, L., Souza, R.A.D.: Mechanical properties of structural concrete with partial replacement of fine aggregate by tyre rubber, *Acta Scientiarum Technology Maringá*, 35 (2013) 1, pp. 39-44, <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v35i1.11283>
- [13] Serdar, M., Baričević, A., Lakušić, S., Bjegović, D.: Special purpose concrete products from waste tyre recyclates, *Građevinar*, 65 (2013) 9, pp. 793-801.
- [14] Júnior, E.J.P.D.M., Bezerra, H.D.J.C.L., Politi, F.S., Paiva, A.E.M.: Increasing the Compressive Strength of Portland Cement Concrete Using Flat Glass Powder, *Materials Research*, 17 (2014) 1, pp. 45- 50, <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392014005000058>
- [15] Androjić, I., Dimter, S.: Compressive strength of steel slag stabilized mixes, *Građevinar*, 64 (2012) 1., pp. 15-21.
- [16] Netinger, I., Rukavina, M.J., Serdar, M., Bjegović, D.: Steel slag as a valuable material for concrete production, *Tehnički vjesnik-Technical gazette*, 21 (2014) 5, pp. 1081-1088.
- [17] Maruthachalam, V., Palanisamy, M.: High performance concrete with steel slag aggregate, *Građevinar*, 66 (2014) 7, pp. 605-612, <http://dx.doi.org/10.14256/JCE.1052.2014>
- [18] TU Ganiron Jr.: Effect of thermoplastic as fine aggregate to concrete mixture, *International journal of advanced science and technology*, 62 (2014), pp. 31-42, <http://dx.doi.org/10.14257/ijast.2014.62.03>.
- [19] Nataraja, M.C., Chandan, G.N., Rajeeth, T.J.: Concrete mix design using copper slag as fine aggregate, *International journal of civil engineering and technology (IJCIET)*, 5 (2014) 9, pp. 90-99.

- [20] Kaolin, Ball clay, Other clays and Shale, *Indian Minerals Yearbook 2011 (Part- II) 50th Edition*, Advance release, 2012.
- [21] Murthi, P., Sivakumar, V.: Studies on Acid Resistance of Ternary Blended Concrete, *Asian Journal of Civil Engineering (Building And Housing)*, 9 (2008) 5, pp. 473-486.
- [22] Turkel, S., Felekoglu, B., Dulluc, S.: Influence of various acids on the physico-mechanical properties of pozzolanic cement mortars, *SADHANA-Academy proceedings in Engineering Science*, 32 (2007) 6, pp. 683-691.
- [23] Zadrazil, T., Vodak, F., Kapickova, O.: Effect of Temperature and Age of Concrete on Strength – Porosity Relation, *Czech Technical University in Prague Acta Polytechnica*, 44 (2004) 1, pp.53-56.
- [24] Kodur, V.: Properties of Concrete at Elevated Temperatures-Review article, *Hindawi Publishing Corporation, ISRN Civil Engineering*, Article ID 68510, pp.1-16, 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/468510>
- [25] Jiao, Y., Liu, H., Wang, X., Zhang, Y., Luo, G., Gong, Y.: Temperature effect on mechanical properties and damage identification of concrete structure, *Advances in Materials Science and Engineering-Hindawi Publishing Corporation*, pp. 1-10, 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/191360>.
- [26] Ghani, U., Shabbir, F., Khan, K.M.: Effect of Temperature on Different properties of concrete, *31st conference On World in Concrete & Structures, Singapore*, Article Online Id: 100031018, 2006.
- [27] Nema, M., Jain, R., Grover, R.K.: Use of china clay waste in semi dense bituminous concrete, *International Journal of Engineering & Science Research*, 4 (2014) 8, pp. 602-612.
- [28] Seeni, A., Selvamony, C., Kannan, S.U., Ravikumar, M.S.: Experimental study of partial replacement of fine aggregate with waste material from china clay industries, *International Journal Of Computational Engineering Research*, 2 (2012) 8, pp. 167-171.
- [29] Seeni, A., Selvamony, C., Anandakumar, R.: Flexural study of China clay industrial waste Imparted RCC elements, *Proce. Ingenious technologies and sustainable developments in civil engineering, ICICE2014*, 8th October 2014, Noorul Islam University, Tamilnadu, India, pp. 287-294, 2014.
- [30] IS 8112 – 1989, Specification for 43 grade ordinary Portland cement, Bureau of Indian Standards, New Delhi.
- [31] IS 383 – 1970, Specification for coarse and fine aggregates from natural sources for concrete, Bureau of Indian Standards, New Delhi.
- [32] IS 1786 – 1985, Specification for high strength deformed steel bars and wires for concrete reinforcement, Bureau of Indian Standards, New Delhi.
- [33] IS 10262 – 2009, Recommended guidelines for concrete mix design, Bureau of Indian Standards, New Delhi.
- [34] IS 516 – 1959, Method of tests for strength of concrete, Bureau of Indian Standards, New Delhi.
- [35] IS 5816 – 1999, Method of test Splitting tensile strength of concrete, Bureau of Indian Standards, New Delhi.
- [36] Shetty, M.S.: Concrete Technology: Theory and Practice, *S.Chand & Company Ltd.*, 2005.
- [37] Xiao, S., Cao, W., Pan, H.: Experiment of reinforced concrete beams at different loading rates, *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, 24-28 September, 2012.