Laki betoni načinjeni od otpadnog stiropora

Šafran, Jurica

Undergraduate thesis / Završni rad

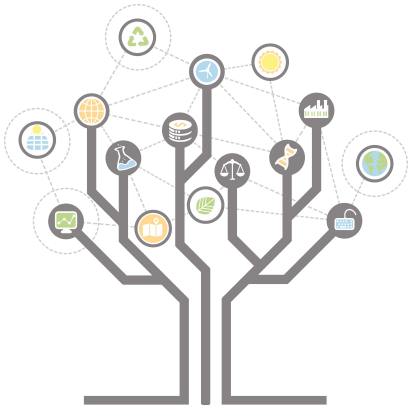
2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:449431

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

JURICA ŠAFRAN

LAKI BETONI NAČINJENI OD OTPADNOG STIROPORA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

LAKI BETONI NAČINJENI OD OTPADNOG STIROPORA

ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT:

Jurica Šafran

Jurica Šafran

MENTOR:

Dr. sc. Vitomir Premur, v.pred

KOMENTOR

Izv.prof. dr. sc. Ivan Kovač

VARAŽDIN, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: JURICA ŠAFRAN

Matični broj: 2547 - 2015./2016.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

LAKI BETONI NAČINJENI OD OTPADNOG STIROPORA

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Općenito o betonu
3. Laki betoni
4. Općenito o stiroporu
5. Stiropor beton
6. Eksperimentalni dio rada
7. Stiropor betoni s otpadnim ekspandiranim polistirenom
8. Zaključak

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 12.03.2019. Rok predaje: 03.02.2020.

Mentor:	Drugi mentor/komentor:	Predsjednik Odbora za nastavu:
Dr.sc. Vitomir Premur, v. pred.	Izv.prof.dr.sc. Ivan Kovač	Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

REPUBLIKA HRVATSKA 1 VARAŽDIN GEOTEHNIČKI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

LAKI BETONI NAČINJENI OD OTPADNOG STIROPORA
(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom Dr. sc. Vitomira Premura, v.pred.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 10.02.2020.

Jurica Šafran
(Ime i prezime)

Jurica Šafran
(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Ime i prezime: Jurica Šafran

Naslov rada: Laki betoni načinjeni od otpadnog stiropora

Laki beton ima manju gustoću i veću tlačnu čvrstoću u odnosu na normalan beton. Danas kad beton kao građevni materijal pokriva preko 70% potreba građenja i primjenjuje se u najrazličitijim i sve složenijim i smjelim konstrukcijama pojavila se potreba za izradom lakih betona koji omogućuju jednostavniju izgradnju zahtjevnijih projekata. Velike količine stiropora se svake godine odbacuju nakon uporabe u nekoj od industrijskih grana. Iako se stiropor može u potpunosti reciklirati to se zbog složenog procesa nažalost ne događa. Kombinacijom granula stiropora i smjese betona dobivaju se znatno bolje fizičko-mehaničke karakteristike nego kod običnih betona. U eksperimentalnom dijelu rada uspoređene su različite mješavine betona sa novim granuliranim i otpadnim stiroporom. Prikazani su i analizirani rezultati ispitivanja lakog betona u svježem i očvrsnulom stanju.

Ključne riječi: Laki beton, stiropor beton, ekspandirani polistiren, tlačna čvrstoća

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. OPĆENITO O BETONU 2
2.1. Uloga cementnog kamena i agregata 3
2.2. Podjela betona 5
2.3. Ostale vrste betona 5
3. LAKI BETONI 8
3.1. Svojstva lakih betona 8
3.1.1. Lakoagregatni betoni 9
3.1.2. Laki betoni od jednozrnatog agregata 9
3.1.3. Ćelijasti betoni 9
4. OPĆENITO O STIROPORU 10
4.1. Mehanička svojstva stiropora 10
4.2. Toplinska svojstva stiropora 11
4.3. Kemijska svojstva 11
4.4. Difuzija vodene pare i vodoupijanje 12
4.5. Recikliranje 12
5. STIROPOR BETON 13
5.1. Stiropor betoni od otpadnog stiropora 14
6. EKSPERIMENTALNI DIO RADA 14
6.1. Materijali i pribor 15
6.1.1. Cement 15
6.1.2. Pijesak 16
6.1.3. Aditiv 17
6.1.4. Stiropor kao punilo 18
6.2. Postupak ispitivanja 20
6.2.1. Ispitivanje betona sa novim stiroporom 20
6.3. Rezultati s diskusijom 24
7. STIROPOR BETONI S OTPADNIM EKSPANDIRANIM POLISTIRENOM 27
8. ZAKLJUČAK 30
9. LITERATURA 31
10. POPIS SLIKA 32
11. POPIS TABLICA 32
12. POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA 32

1. UVOD

Beton je višekomponentni, polifazni, umjetni kameni građevinski materijal, sastavljen od pijeska i krupnog agregata, međusobno vezanih cementnim kamenom, nastalim hidratacijom i očvršćivanjem cementa kao veziva. Beton predstavlja najčešće korišteni materijal u građevinarstvu kako pri izradi mostova i zgrada, hidrotehničkih, prometnih i industrijskih objekata. S obzirom na primjenu njegov sastav se može prilagođavati stvarnim uvjetima. Danas kad beton kao građevni materijal pokriva preko 70% potreba građenja i primjenjuje se u najrazličitijim i sve složenijim i smjelim konstrukcijama pojavila se potreba za izradom lakih betona koji svojom gustoćom i tlačnom čvrstoćom, znatno manjom od klasičnih betona, omogućuju jednostavniju izgradnju zahtjevnijih projekata. U vremenu sve veće ekološke osviještenosti javlja se među inženjerima potreba za uklapanjem ekološkog aspekta u sve sfere gradnje ali pod uvjetom da ostanu zadovoljene bitne karakteristike materijala koji se koristi; poput čvrstoće, trajnosti i stabilnosti. Tako je nastala ideja o stiropor betonima koji nastaju miješanjem granula ekspandiranog polistirena (stiropora). Iako stiropori imaju veliku mogućnost recikliranja, vrlo mali dio se doista i obrađuje ili dalje koristi u industriji. U ovom radu će biti prikazani rezultati ispitivanja provedeni u Laboratoriju Geotehničkog fakulteta u Varaždinu na uzorcima lakog betona koji su napravljeni uz upotrebu novog i otpadnog granuliranog stiropora.

2. OPĆENITO O BETONU

Beton je polifazni kompozit koji nastaje miješanjem većeg broja sastojaka. Osnovni sastav betona sastoji se od cementa, vode i agregata. Pod agregate svrstavamo nekoherentne materijale različitog granulometrijskog sastava sa različitim frakcijama zrna. U modernoj tehnologiji se vrlo često betonu dodaju aditivi koji ga čine stabilnim pri određenim uvjetima i načinu gradnje za koje se koristi, a u smjesi se uvijek nalazi i zrak. Cementni prah pri reakciji s vodom tvori cementnu pastu te odmah nakon miješanja započinje kemijski proces hidratacije koji može trajati vrlo dugo i njime cementna pasta očvršćuje u kamen. Ovakav osnovni sastav betona može varirati ovisno o aditivima koje dodajemo: pucolani, zgure, punila, polimeri, vlakna, mikro-armature i sl. Udio osnovnih sastojaka betona se odabire tako da se zadovolje osnovna svojstva (Tablica 1):

a) Svježeg betona, od obrade do transporta

b) Očvrsnulog betona, zadovoljavajuća čvrstoća, trajnost, deformabilnost

c) Minimalni troškovi za zadovoljavajuću kakvoću

Tablica 1 Orijentacijski volumni udjeli osnovnih sastojaka u betonu (Krstulović, P., 2000.)

$V_b = 1\ m^3 = 1000\ dm^3$	Volumen, dm^3			Masa, kg		
Cement, 350kg/m³, $\rho_c = 3.10\ kg/dm^3$	(2)	V_c	112.9	(1)	M_c	350
Voda, w/c = 0.50	(3)	V_w	175.0	(3)	M_w	175
Zrak, 1.5 %	(4)	V_z	15.0		M_z	-
Σ	(5)		302.9			
Agregat, $\rho_a = 2.70\ kg/dm^3$	(6)	V_a	697.1	(7)	M_a	1882
UKUPNO			1000.0			2407

Brojevi u zagradama znače redoslijed računanja.

$$V_c = M_c/\rho_c \qquad V_a = V_b - (V_c + V_w + V_z)$$

$$M_w = M_c \cdot w/c \qquad M_a = V_a \cdot \rho_a$$

$$V_z = 1.5/100 \cdot V_b$$

Agregat čini približno tri četvrtine volumena određene mase betona. Približno četvrtina prostora, koju ne zauzima agregat, ispunjena je cementnim kamenom. On daje betonu čvrstoću kako bi se mogao koristiti kao građevinski materijal. Beton ali i cementni kamen su heterogeni sastojci cementa, pora različitih veličina, adsorbirane i kapilarne vode i nehidratiziranog cementnog klinkera. Nakon ugradnje, u cementnom kamenu ostaje izvjesna količina zraka. U dobro sastavljenom betonu smatra se kako količina zraka ne bi trebala prelaziti 2-5% ukupnog volumena betona. Betonu se često dodaju dodaci koji su po svom udjelu beznačajni ali po sastavu su to kemijski ili fizikalni vrlo aktivni materijali s ciljem dobivanja bolje ugradivog svježeg betona ili prirasta čvrstoće i povećanja trajnosti očvrsnulog betona. Za proces hidratacije cementa potrebno je određeno vrijeme, odgovarajuća vlaga i temperatura, a to vrijeme nazivamo vrijeme njegovanja betona. U stvarnim uvjetima ono može trajati od 3 dana do 3 tjedna, dok u laboratorijskim uvjetima taj proces traje 28 dana. (Ukrainczyk, V.,1994)

2.1. Uloga cementnog kamena i agregata

U svježem betoni, cementna pasta zajedno sa svim dijelovima agregata daju betonu plastičnost i kohezivnost. Uobičajene količine cementa u metru kubnom betona iznose 200-400 kg, što odgovara 7-14 % volumena. Viskoznost takvog betona se regulira udjelom vode. Potrebno je količini vode koja je nužna za hidrataciju betona pridodati količinu vode za postizane željene obradivosti. Za vrlo širok raspon konzistencija betona količina vode varira od 160 do 200 litara, odnosno 16-70 % ukupnog volumena. Svako povećanje količine vode preko one koja je potrebna za hidrataciju cementa znači povećanje količine pora u očvrsnulom betonu čime se smanjenje čvrstoća, trajnosti i druga važna svojstava betona. Viskoznost betona se u modernoj tehnologiji može regulirati raznim dodacima. Jedan od dodataka je superplastifikator, čijim dodavanjem se može postići gotovo ista obradivost s 10 do 30% manjom količinom vode, nego u betonu bez dodataka.

U očvrsnulom betonu cementni kamen ima dvije glavne zadaće:

a) Da slijepi zrna agregata čime betonu da odgovarajuću čvrstoći

b) Da ispuni prostor među česticama agregata i s njime tvori nepropusnu masu

Cementni kamen je nosilac dvaju karakterističnih svojstava betona: skupljanja i puzanja. Ona predstavljaju dugotrajne deformacije betona, koje su posljedica smanjenja vlažnosti betona u slučaju skupljanja, odnosno dugotrajnog djelovanja opterećenja u slučaju puzanja. U oba slučaja dolazi do bitnih strukturnih promjena u cementnom kamenu a dio je ireverzibilan.

Svojstva cementnog kamena ovise u prvom redu o:

- karakteristikama cementa,
- omjeru mase vode i cementa (vodocementni faktor, v/c-faktor),
- količini cementa (kg/m^3),
- stupnju hidratacije cementa ili zrelosti betona.

Poroznost strukture i čvrstoća cementnog kamena ovise u prvom redu o vodocementnom faktoru. Što je v/c omjer manji, veće su čvrstoće. Time se poboljšava i vodonepropusnost betona. Povećanjem količine cementa s ciljem smanjenja v/c faktora, povećava se količina cementnog kamena, a time skupljanje, puzanje betona i toplina oslobođena hidratacijom cementa što povećava vjerojatnost pojave pukotina. U modernoj proizvodnji proizvodi se sve kvalitetniji cement i primjenjuju se dodaci betonu kojima se dobiva veća čvrstoća od traženih već uz relativno veliki v/c omjer i malu količinu cementa.

Agregat u betonu ima tri osnovne zadaće:

- zrna agregata čine skelet, koji daje krutost betonu,
- daje dimenzionalnu stabilnost betonu, tj. umanjuje dugotrajne volumne promjene svojstvene za cementni kamen,
- relativno je jeftin, pa to osigurava ekonomičnost betonskih konstrukcija.

Svojstva određene vrste agregata, koja bitno utječu na svojstva betona jesu:

- mineraloško petrografski sastav utječe na mehaničke karakteristike i trajnost očvrsnulog betona,

- granulometrijski sastav utječe na obradivost svježeg betona, gustoću i ekonomičnost betona,
- oblik i tekstura zrna utječu na obradivost svježeg betona i prionjivost cementnog kamena u očvrsnulom betonu.

2.2. Podjela betona

Beton se dijeli prema:

Sastavu: cementni, polimerni, asfaltni

Gustoći:

- Običan beton zapreminske težine 2000-2600 kg/m^3
- Lagan beton zapreminske težine 800-2000 kg/m^3
- Teški beton zapreminske težine veće od 2600 kg/m^3

Konzistenciji: krut, slabo plastičan, plastičan, težak

Prema zahtjevnim osobinama: projektirani beton, beton zadanog sastava, normirani beton zadanog sastava

2.3. Ostale vrste betona

Pumpani beton je beton koji se razlikuje po načinu transporta i odnosima u sastavu svježeg betona u odnosu na druge. Mora imati odgovarajuću obradivost (6 do 10 cm po slijeganju konusa) i dovoljnu količinu morta za smanjenje trenja na kontaktu s unutarnjom površinom cjevovoda tokom transporta.

Prepakt beton, što znači prethodno pakirani, proizvodi se prethodnom ugradnjom agregata u koji se kasnije pod tlakom injektira cementni mort. Primjenjuje se za zapunjavanje betonom teško dostupnih mjesta.

Vakumirani beton se proizvodi vakuumiranjem ugrađenog betona iz kojeg se izdvaja do 20% slobodne vode i na taj način smanjuje v/c faktor i povećava gustoća betona. Zbog znatno manjeg stezanja i povećane tvrdoće posebno je pogodan za izradu površina betona izloženih habanju teškim prometom ili abraziji riječnim nanosom.

Mlazni beton je karakterističan po ugradnji špricanjem suhe ili vlažne smjese koja se pod tlakom od oko 7 bara protiskuje kroz posebne mlaznice i usmjerava na podlogu. Voda se u suhom postupku dodaje smjesi u zoni same mlaznice neposredno pred izbacivanje smjese iz dovodnog crijeva, a u vlažnom pri samoj pripremi smjese, kao i kod običnog betona. Nedostatak mu je prilično velika i neugodna prašina pri radu i do 30% otpadnog materijala, koji se u obliku odskoka odbija od podloge. *Valjani beton* karakterističan je po ugradnji opremom koja se primjenjuje za ugradnju zemljanih materijala. Voda se pri spravljanju smjese dodaje samo do optimalne vlažnosti, potrebne za zbijanje vibro-valjcima. Primjenjuje se pri izgradnji prometnih i masivnih hidrotehničkih objekata, naročito kao zamjena za slabo nosive dijelova temeljnog tla.

Specijalni betoni u betoni, koji u svom sastavu sadrže osim sastojaka normalnih betona još i sastojke koji mijenjaju njegova osnovna svojstva. Sastav betona pruža velike mogućnosti prilagođavanja njegovih svojstava potrebama. Svako se njegovo svojstvo može modificirati prema namjeni, pa je tako nastalo mnogo vrsta specijalnih betona. Dodavanjem vlakana i polimera od tipičnog krtoga, beton može postati žilavi materijal odgovarajuće vlačne čvrstoće. Primjenom lakih agregata, pjene i nekih drugih postupaka mogu se dobiti laki konstruktivni i izolacijski betoni. Neke od vrsta specijalnih betona: *Lagani beton* je beton koji je proizveden od lakih agregata, još ga i nazivamo lakoagregatni beton. Niske je gustoće i slabe vodljivosti topline. Lagani agregati mogu biti prirodnog i umjetnog porijekla. Prirodni su uglavnom vulkanski materijali (plovućac, vulkanski tuf i sl.). 20 Od njih se proizvode betoni zapreminske težine između 700 kg/m^3 1400 kg/m^3. Umjetni se agregati proizvode na različite načine i javljaju na tržištu pod različitim komercijalnim imenima.

Teški beton je obični beton proizveden s teškim agregatom, koji mu daje povećanu gustoću. Primjenjuje se isključivo za zaštitu od zračenja. Kao teški

agregat najčešće se primjenjuje drobljeni barit (barij-sulfat) koji ima gustoću oko 4,1 g/cm^3 . Po potrebi se primjenjuju i željezne rude magnetit, limonit i hematit koji daju betonu zapreminske težine između 3000 kg/m^3 3900 kg/m^3. Kao teški agregat ponekad se primjenjuje i usitnjeni otpadni materijali željeza.

Tekući beton može se uspješno ugrađivati i zbijati uz vrlo mali utrošak energije. Da bi takav beton ostao kohezivan, bez pojave segregacije i izdvajanja vode, treba mu povećati udio pijeska i cementa ili primijeniti neki drugi stabilizator mješavine. Vrlo dobro mogu poslužiti pucolani velike specifične površine i neki polimeri. Tekući beton lako zaobilazi zapreke, dolazi do nepristupačnih mjesta, a za njegovo zbijanje dovoljno je probadanje šipkama i oplatni vibratori.

Vatrobetoni su hidrauličnim cementom vezani betoni prikladni za uporabu na velikim temperaturama (do 1850°C). otpornost betona na visokim temperaturama postiže se uporabom vatrootpornog agregata i aluminatnog cementa, a za temperature do 1000°C, u nekim primjenama i portland cementa. Vatrobetoni se pripremaju od lakih ili od normalnih agregata. Na temperaturama do 1000°C takvi betoni u ponavljanim ciklusima zagrijavanja i hlađenja postepeno gube svoja mehanička i fizikalna svojstva, a ako su pripravljeni s aluminatnim cementom, na temperaturama višim od 1000°C počinje se stvarati keramička veza, te se dobivaju još bolja mehanička svojstva. (Ukrainczyk, V.,1994)

3. LAKI BETONI

Općenito, laki betoni imaju gustoću manju od normalnih betona. Postizanjem manje gustoće, betone možemo podijeliti na:

- lakoagregatni
- beton od jednakozrnatog agregata
- ćelijasti beton

Smanjenje gustoće se uvijek postiže stvaranjem pora u agregatu, ili stvaranjem međuprostora između krupnih zrna agregata, ili pora u mortu. Stvaranjem pora u betonu smanjujemo njegovu čvrstoću i otpornost na abraziju , ali zato dobivamo prednosti poput izolacijskih svojstava te manje volumne mase. Laki betoni su nešto skuplji, a transport, spravljanje i ugradnja zahtijevaju nešto više pažnje, no zato u mnogim primjenama prednosti lakih betona nadmašuju nedostatke.

Prema namjeni laki betoni dijele se na :

- konstrukcijski
- konstrukcijsko-izolacijski
- izolacijski

3.1. Svojstva lakih betona

Zapreminska težina lakih betona kreće se u veoma širokim granicama ovisno o vrsti lakog betona, a može iznositi najviše do 2000 kg/m^3, točnije kreće se od 600-2000 kg/m^3. Gustoća je važna s obzirom da želimo da beton bude što lakši radi stvaranja manjeg opterećenja od vlastite težine. Problem lakih betona je što su količine cementa za 1 m^3 lakog betona u nekim slučajevima i do 70% veće od potrebnih za 1 m^3 običnih betona. Važna svojstva lakih betona koja su potrebna za projektiranje i ugradnju su njegova otpornost, čvrstoća, koeficijent toplinske vodljivosti, otpornost na mraz itd. Laki betoni se praktički do potpunog sloma ponašaju totalno elastično radi modula elastičnosti koji je manji u odnosu na obične betone. Kreće se oko 20 GPa, dok je kod normalnih betona oko 35

GPa. Modul elastičnosti lakih betona vrti se oko 20 GPa. Čvrstoća na pritisak lakih betona kreće se od ispod 1 MPa pa sve do 60 MPa radi raznolikih vrsta lakih agregata. Najveću čvrstoću beton postiže sa agregatom od ekspandirane pečene gline te sa agregatom prirodnog porijekla. Najmanju čvrstoću daje agregat od vermikulita, perlita ili ekspandiranog polimernog materijala. Laki beton je dobar izolator topline samo ako je dovoljno suh, jer se povećanjem vlažnosti njegova vodljivost povećava. Osim vlažnosti, na veličinu koeficijenta toplinske provodljivosti utječu i drugi faktori kao što su struktura lakog betona, zapreminska težina, granulometrijski sastav itd. Veličina čvrstoće na pritisak ovisi o vrsti lakog betona, a veliki značaj imaju i njegova zapreminska težina, količina i vrsta veziva, vrsta agregata te vodocementni faktor. Kod lakih betona povećanjem količine cementa, raste i čvrstoća na pritisak. Ovisno o vrsti lakog betona i čvrstoće koju treba postići, utrošak cementa iznosi od 150 do 550 kg/m^3.

3.1.1. Lakoagregatni betoni

Lakoagregatni betoni dobivaju se smjesom betona s agregatima male težine te imaju sposobnost velikog upijanja vode. Podjela prema vrsti agregata koji se koriste za izradu imamo prirodni, ekspandirani i pečeni te sekundarne sirovine. Agregati mogu biti umjetni ili prirodnog porijekla.

3.1.2. Laki betoni od jednozrnatog agregata

Jednozrnati agregat dobit ćemo uzimanjem samo jedne frakcije ili izostavljanjem frakcije iz granulometrijskog sastava. Kod jednozrnatog agregata događa se da između zrna jednakih veličina ostaju velike pore ili šupljine radi izostanka sitnih frakcija. Ovakav beton je radi izostanka kapilarnih pora otporan na cikluse zamrzavanja i odmrzavanja. Najmanja količina cementa mora biti 250 kg/m^3.

3.1.3. Ćelijasti betoni

Ćelijasti betoni dijele se na plinobetone i pjenobetone. Kod ćelijastih betona je kemijskim putem proizveden plin čiji mjehurići ekspandiraju u betonu ili je u

njihovo tijelo prije stvrdnjavanja utisnut zrak. Radi odličnih izolacijskih svojstva koriste se za ispune među glavnim konstruktivnim elementima (Ukrainczyk, V.,1994).

4. OPĆENITO O STIROPORU

Kada govorimo o stiroporu kao materijalu ustvari govorimo o ekspandiranom polistirenu (EPS). EPS kao proizvod je prvi patentirao njemački koncern BASF još davne 1954. godine te ga je počeo proizvoditi pod zaštićenim imenom Styropor, koji je postao sinonim za EPS. EPS je izolacijski materijal koji se upotrebljava za toplinsku i zvučnu izolaciju. Najčešće se koristi u građevinarstvu ali je vrlo široku primjenu našao i u drugim industrijama poput prehrambene, elektrotehničke, naftne i sl. Godišnje se u Europi proizvede oko 35 milijuna m^3 stiropora što je jako dobar pokazatelj široke upotrebe stiropora. Stiropor kao toplinski izolator grije zimi, te isto tako hladi ljeti što dovodi do velikih ušteda energije za grijanje i hlađenje koje pak imaju direktno posljedice na očuvanje okoliša. Stiropor, inače poznat kao bijela izolacija ili bijele ploče koristi se u građevinarstvu već preko 35 godina. Tajna tako dobrih izolacijskih svojstava stiropora krije se u njegovoj ćelijskoj strukturi. Naime u 1 m^3 stiropora sadržano je 3 – 6 milijardi zatvorenih ćelija u kojima se nalazi inertan zrak koji se najbolji prirodni izolator koji postoji. Stiropor dobivamo iz granula polistirena koji je jedan od proizvoda nafte, a u sebi ima pentana. Uz svoje pozitivne značajke i široku primjenu EPS ima i svoje nedostatke:

- ekološki neprihvatljiva sirovina (nafta)
- nije biorazgradiv
- financijska neisplativost recikliranja
- nemogućnost ekološkog zbrinjavanja
- visoka toksičnost u požaru (danas se proizvode teško zapaljivi stiropori)

4.1. Mehanička svojstva stiropora

Mehaničkih svojstava ovisi o gustoći materijala. Važno mehaničko svojstvo stiropora je njegova tlačna čvrstoća. EPS gustoće 15 kg/m^3, na primjer, doseže

granicu elastičnosti kod 2% stišljivosti. Daljnje opterećenje vodi do trajnih deformacija.

4.2. Toplinska svojstva stiropora

Maksimalna dozvoljena radna temperatura za EPS materijale, kao i za sve termoplastične materijale, ovisi o trajanju i intenzitetu opterećenja povišenom temperaturom. Ako nije pod velikim opterećenjem stiropor podnosi kratkotrajnu temperaturu do 100°C. S povećanjem gustoće stiropora povećava se i otpornost na temperaturu, ali granična vrijednost ostaje ista. Maksimalna trajna temperatura neopterećenog stiropora iznosi 75-85°C. Stiropor kao amorfna plastika ne pokazuje nikakve strukturalne promjene od temperature -180°C do +100°C tako da su i ekstremno niske trajne temperature moguće. Stiropor ima izrazito malu toplinsku vodljivost. Stoga su toplinsko-izolacijska svojstva izvrsna. Toplinska vodljivost ovisi o temperaturi i gustoći. Porastom gustoće stiropora toplinska vodljivost pada (bolje izolacijsko svojstvo). Kod odabira tipa stiropora bitno je ugraditi onaj odgovarajućih mehaničkih karakteristika, a zatim većom debljinom postići bolja izolacijska svojstva (Kemenović ,n.d.).

4.3. Kemijska svojstva

Stiropor prema opisu Kemenovića n.d.) po svom kemijskom sastavu je polimerni materijal. Kao takav je otporan u kontaktu sa većinom građevinskih materijala i u normalnim uvjetima upotrebe nema ograničenja. No postoje neka organski materijali i razrjeđivači na koje treba obratiti pozornost. Primjeri kemijskih svojstava i (ne)postojanosti je prikazan u priloženoj tablici 2.

Tablica 2 Primjeri (ne)postojanosti stiropora (Kemenović-Stiropor; n.d.)

Voda, morska voda, Vapno, cement, gips, bitumen, alkohol, alkali, razrijeđene kiselina	Postojan
Parafinska ulja, biljna i životinjska ulja, masti, vazelin, dizel gorivo	Uvjetno postojan
Hladni bitumen i bitumenske mase, benzin, životinjsko gnojivo, razrjeđivači	Nepostojan

4.4. Difuzija vodene pare i vodoupijanje

S povećanjem gustoće stiropora raste i otpor difuziji vodene pare što se može vidjeti iz podataka u priloženoj tablici. S obzirom da stiropor nije topljiv u vodi niti bubri u njoj, on ne upija gotovo ništa vode. I nakon što je 28 dana potopljen može upiti vode do maksimalno 3% svoga volumena (znači samo površinski). Kada se izvadi iz vode stiropor se potpuno osuši. To je iznimno važno zato jer se time minimalno pogoršavaju njegova toplinsko-izolacijska svojstva (Kemenović (n.d.).

4.5. Recikliranje

Za temu ovog završnog rada recikliranje smatramo najvažnijim svojstvom zbog njegovog ponovnog korištenja u izradi betonskih elemenata. Pri rezanju stiropora iz blokova u ploče ili kod završene upotrebe stiropora za pakiranje i sl., stiropor se može reciklirati na mnogo načina. Najčešće se vraća u proizvodnji tako da se u određenom postotku miješa sa novim granulama stiropora pri proizvodnji blokova. Koristiti se i kao agregat pri izradi laganog stiropor betona, dodaje se u tlo da bi se postigla bolja prozračenost tla bez štetnih utjecaja na vodu i atmosferu i sl.

Stiropor se vrlo sporo raspada u prirodnom okruženju. Iako se može u potpunosti reciklirati, nažalost, zbog neisplativog procesa reciklaže (obzirom da zauzima veoma veliki prostor) vrlo mali dio stiropora se podvrgava reciklaži.

Bitno je da se recikliranje obavlja ne samo zbog ekonomske isplativosti, već i zbog očuvanja životne sredine. Time sprečavamo da stotinama godina na našem okolišu stoji neraspadnut stiropor, a sa druge strane to je svakako dio stiropora koji se neće morati ponovo proizvesti od osnovnih sirovina (Kemenović n.d.).

5. STIROPOR BETON

Stiropor beton spada u skupinu lakih betona koji nastaje miješanjem cementne mase sa granulama ekspandiranog polistirena (stiropora). Svrha granula stiropora je smanjenje volumne mase betona i bitno poboljšanje fizičko-mehaničkih karakteristika takvog materijala. Laki beton izrađuje se od mješavine krupno mljevenog stiropora, pijeska klase -4 mm, cementa kao veziva, vode i aditiva. U vodu se prije miješanja sa cementom i pijeskom dodaje aditiv (najčešće korišten Stigodur-D) koji služi za bolje povezivanje granula stiropora sa cementnom masom te na taj način sprječava segregaciju granula stiropora u lakom betonu. Postupak izrade počinjem sa dodavanjem 2/3 vode, aditiva i pijeska. Nakon umješavanja dodaje se cement i ostatak vode. Naknadno se dodaju granule stiropora i smjesa se miješa dok ne postane jednolična a granule stiropora ravnomjerno raspodijeljene i obavijene cementnom masom.

Osnovne karakteristike stiropor betona su:

- Mala zapreminska masa
- Dobra mehanička svojstva
- Bolja toplinska izolacija nego kod običnih betona
- Lagana obradivost
- Široka mogućnost primjene

Stiropor beton je našao najznačajniju primjenu u građevinarstvu i to za izradu betona u padu na ravnim krovovima, plivajućih podova, industrijskih toplih podova, slojeva za izjednačavanje loše izvedenih betonskih ploča. Primjer recepture stiropor betona volumena 1 m^3 različitih gustoća nalazi se u tablici 3.

Tablica 3 Receptura za izradu stiropor betona (Kemenović-Beton; n.d.)

Gustoća smjese betona	Stiropor	Cement	Pijesak 0-4 mm	Voda	Aditiv
kg/m^3	dm^3	Kg	Kg	l	l
600	800	400	200	150	6
900	600	450	450	150	6
1400	400	500	900	150	4

5.1. Stiropor betoni od otpadnog stiropora

Stiropor je materijal koji se može 100% reciklirati, ne pospješuje rast mikroorganizama, ne truli, ne stvara plijesni, ne raspada se. Obzirom da zauzima jako veliki prostor, vrlo mali dio stiropora se podvrgava reciklaži. Reciklirani stiropor ima višestruku namjenu, koristi se za ponovnu proizvodnju raznih ambalažnih pakiranja te velikim dijelom u građevinarstvu, za proizvodnju termo žbuka i lakih betona. Stoga je vrlo bitno da se vrši reciklaža bar jednog djela otpadnog stiropora, prvenstveno zbog očuvanja životne sredine, a s druge strane to je dio stiropora koji se neće morati proizvesti od osnovnih sirovina. Pod reciklažu možemo svrstati i ponovnu uporabu stiropora koji je odbačen. U današnje vrijeme gdje se sve više pažnje posvećuje ponovnoj uporabi odbačenih materijala i brizi za okoliš ovakvo korištenje možemo smatrati modernom tehnikom cirkularne ekonomije.

Stiropor betoni od otpadnog stiropora bi trebali imati karakteristike kakve se očekuju i pri miješanju sa „novim“ stiroporom te bi svoju primjenu trebali pronaći u građevinskoj industriji koja ga posebice i koristi. (Kemenović n.d.)

6. EKSPERIMENTALNI DIO RADA

Laboratorijska ispitivanja obavljena su u laboratoriju Geotehničkog fakulteta. Cilj ovog dijela bio je ispitivanje tlačne čvrstoće lakih betona načinjenih od otpadnog stiropora i lakih betona načinjenih od novog stiropora. Obje mješavine sadržavale su cement, pijesak, stiropor, vodu i aditiv Stigodur D, te su se

tijekom ispitivanja betona mijenjali omjeri cementa i pijeska. Ispitivanja su se provodila na kockama volumena 1 dm^3 koja su se prije podvrgavanja ispitivanju sušila 28 dana na sobnoj temperaturi i u vodom zasićenoj atmosferi.

U nastavku slijedi opis istraživanja, upotrijebljenih materijala, provedenih ispitivanja i dobivenih rezultata.

6.1. Materijali i pribor

Za pripravljanje mješavina betona korišteni su sljedeći materijali:

Cement Nexe; Specijal CEM II/A-M (S-V) 42.5 N Pijesak –klase -4 mm

Aditiv- Stigodur D

Stiropor granule (kuglice) promjera 3 do 5 mm

Voda

6.1.1. Cement

Za pripremu mješavine betona korišten je cement proizvođača Nexe; Specijal CEM II/A-M (S-V) 42.5 N, drugim riječima; portlandski cement sa 6 - 20 % miješanog dodatka. Prema opisu Nexe, n.d. namijenjen je pripravi betona i morta za sve građevinske radove koji se izvode u propisanim uvjetima gradnje za armirane i nearmirane betonske konstrukcije (mostovi, tuneli, vijadukti, stanogradnja, izrada gotovih betonskih elemenata). Sadrži minimalno 80% portlandskog cementnog klinkera; do 20% miješanog dodatka, kombinacije zgure visoke peći (S) i silicijskog letećeg pepela (V); do 5% sporednog dodatnog sastojka (punila); regulator vezivanja (prirodni gips). Kombinacija količine i vrste dodataka osigurava mu tražene čvrstoće, a pri proizvodnji betona daje dobru obradivost i povećava kemijsku otpornost uz smanjenu toplinu hidratacije u odnosu na čisti portlandski cement. (Nexe, n.d.) Odnos karakteristika cementa prema zahtjevu norme prikazan je u tablici 4.

Tablica 4 Fizičko-mehaničke karakteristike cementa CEM II/A-M (S-V) 42,5 N (Nexe, n.d.)

Mehanička i fizikalna svojstva	CEM II/A-M (S-V) 42,5N	Zahtjev norme
Početak vezivanja (min)	190	≥ 60
Postojanost volumena po LeChatelieru (mm)	0,5	≤ 10
Tlačne čvrstoće nakon 2 dana (MPa)	23	≤ 10
Tlačne čvrstoće nakon 28 dana (MPa)	55	≥ 42,5 ≤ 62,5
Kemijska svojstva:		
SO_3 (%)	3,3	≤ 3,5
Cl- (%)	0,007	≤ 0,10

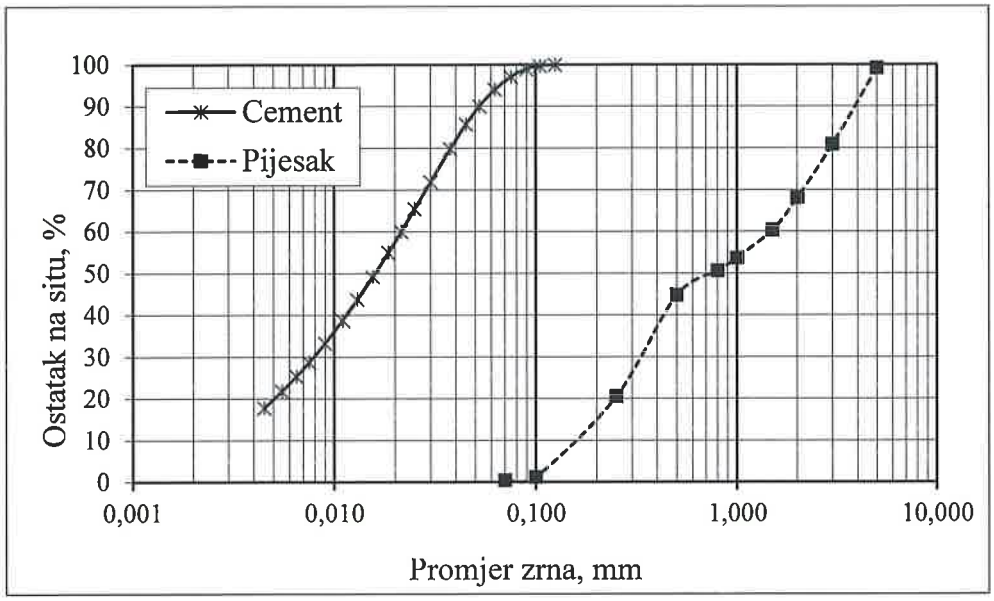
6.1.2. Pijesak

Pijesak korišten kao agregat je koherentni materijal sa veličinom frakcije -4 mm, kupljen kod lokalnog dobavljača. Popis materijala prisutnih u pijesku navedeni su u tablici 5.

Tablica 5 Maseni udjeli materijala prisutni u pijesku (Bedeković, et al., 2019).

Vrsta materijala	Maseni udio (%)
Kvarc	37,67
Kvarc	36,03
Feldspat	6,70
Erupnivna stijena	6,56
Pješčenjak	2,03
Kvarc sa feldspatom	2,03
Dolomiti	0,73
Vapnenci	0,55
Piroksen	0,20
Amfibolit	0,20
Ostalo	7,30

Granulometrijski sastav korištenog materijala pijeska i cementa prikazan je na slici 1, i vidimo da se radi o dobro graduiranim materijalima.



Slika 1 Granulometrijske krivulje cementa i pijeska (Bedeković, et al., 2019)

6.1.3. Aditiv

Korišteni aditiv je Stigodur-D. Smjesa akrilne disperzije i aditiva koja povećava ljepljivost i koheziju cementnog morta i na taj način sprječava segregaciju (razdvajanje) granula ekspandiranog polistirena u lakom betonu. Zbog velikih razlika u gustoći pojedinih sastojka (ekspandirani polistiren ≈ 0,001 – 0,003 g/cm^3, agregat ≈ 2,7 g/cm^3, cement ≈ 3,0 g/cm^3) EPS-beton plastične konzistencije moguće je proizvesti samo uz dodatak STIGODURA – D. Potrebno je 5 litara aditiva za izradu 1 m^3 stiropor betona. Tehničke karakteristike materijala prikazane u su tablici 6.

Tablica 6 Tehničke karakteristike aditiva Stigodur-D (Kemenović, n.d.)

Gustoća	1 g/cm^3		
pH vrijednost	9,5		
Sadržaj zraka u svježem betonu	Mješavina referentnog betona sa Stigodur-D ima 5,4 vol. % zraka, što je 3,5 % više od betona bez aditiva		
Gustoća EPS- betona	600 kg/m^3	1000 kg/m^3	1400 kg/m^3
Tlačna čvrstoća (28 dana)	1,4 N/mm^2	5,8 N/mm^2	7,5 N/mm^2
Čvrstoća na savijanje (28 dana)	1,2 N/mm^2	1,6 N/mm^2	2,4 N/mm^2

6.1.4. Stiropor kao punilo

Korištene su dvije vrste stiropora pri izradi mješavine lakog betona. Jedna vrsta je bio stiropor u granulama tvrtke Kemenović (slika 2), a druga vrsta otpadni stiropor već korišten u industriji.

Stiropor granule (kuglice) su proizvod koji se koristi kao agregat za izradu laganih betona (stiropor beton), za punjenje tapeciranog namještaja (npr. vreće za sjedenje i sl.) te za razne dekoracije. Kuglice su veličine oko 3 do 5 mm. Stiropor je teško zapaljiv tj. ne podržava gorenje (DIN razred B1, Eurorazred E) te nije štetan po ljudsko zdravlje i okoliš. Primjenjuje se za izradu lakih glazura (600 do 900 kg/m^3) – manje opterećenje konstrukcije, bolja toplinska izolacija; za izradu slojeva u padu na ravnim krovovima i terasama i sl.

Otpadni stiropor je također imao promjer kuglica stiropora od 3 do 5 mm.



Slika 2 EPS u granulama (Kemenović, n.d.)

Pribor za ispitivanje se sastojao od:

- Digitalne vage
- Mehaničke vage
- Posuda
- Metalnih špatula
- Metalnog kalupa sa vijcima za pričvršćivanje (slika 3 a)
- Elektične miješalice
- Uređaj za ispitivanje tlačne čvrstoće (slika 3 b)
- Sušionik



Slika 3 (a) Metalni kalup (b) Uređaj za mjerenje tlačne čvrstoće

6.2. Postupak ispitivanja

Potrebno je izvagati određenu količinu svih materijala koji čine beton. Smjesa se sastoji od cementa, pijeska, stiropora, aditiva i vode. Izrađene su različite smjese sa otpadnim stiroporom i sa novim stiroporom u drugačijim omjerima što će u sljedećim poglavljima biti objašnjeno.

6.2.1. Ispitivanje betona sa novim stiroporom

U tablici 7 navedene su mase sastojaka korištenih pri ispitivanju novim stiroporom.

Tablica 7 Količine sastojaka pri izradi uzoraka lakog betona

SASTOJAK	UZORAK 1		UZORAK 2		UZORAK 3		UZORAK 4	
	A	B	A	B	A	B	A	B
CEMENT (g)	450	450	450	450	450	450	450	450
PIJESAK (g)	600	600	400	400	200	200	0	0
STIROPOR (g)	22	22	22	22	22	22	22	22
VODA (ml)	202	202	202	202	202	202	202	202
ADITIV (ml)	5	5	5	5	5	5	5	5

Postupak počinje vaganjem potrebne količine svih sastojaka. Iz tablice se može vidjeti kako je u svim ispitivanjima količina cementa, stiropora, aditiva i vode bile jednake mase, osim pijeska čiju smo masu smanjivali svakim ispitivanjem. Postupak počinje vaganjem potrebnih sastojaka za izradu betona. Mase se izvažu vrlo precizno pomoću digitalne vage, kao što je prikazano na slici 4.



Slika 4 (a) Uzorak cementa (b) Uzorak pijeska

Nakon vaganja sve sastojke stavljamo u električnu miješalicu i započinjemo postupak miješanja dok ne dođe do ravnomjerne raspodjele svih sastojaka betona. Postupak je trajao ukupno 5 minuta. Postupak miješanja je vidljiv na slici 5.



Slika 5 Postupak miješanja betona

Nakon što je smjesa dovoljno izmiješana i svi sastojci su jednoliko raspoređeni, uzorak se pomoću metalne špatule prebacuje u metalni kalup volumena 1 dm^3 tako da zapunjava ukupan volumen kalupa kao što je prikazano na slici 6., nakon čega se uzorak i kalup važu.



Slika 6 Kalup zapunjen lakim betonom



Slika 7 Uzorci u vlažnoj komori

Kao što je vidljivo iz tablice 7. za svaku kombinaciju sastojaka samo radili po dva jednaka uzorka s ciljem reprezentativnosti rezultata. Prema normi, uzorak u kalupu mora stajati 24 sata u vlažnoj komori (slika 7) kako bi očvrsnuo i tek onda se vadi iz kalupa, važe, stavlja na sušenje u vlažnu komoru na 28 dana te se podvrgava ispitivanju tlačne čvrstoće. Tlačnu čvrstoću uzorka koji je očvrsnuo i osušio se ispitujemo tako da ga stavljamo u prešu između gornje i donje ploče koje približe dovoljno da prihvate uzorak. Zatim nanosimo silu inkrementalno dok ne dođe do sloma kao što je prikazano na slici 8.



Slika 8 (a) Uzorak u uređaju za ispitivanje tlačne čvrstoće (b) Detaljniji prikaz

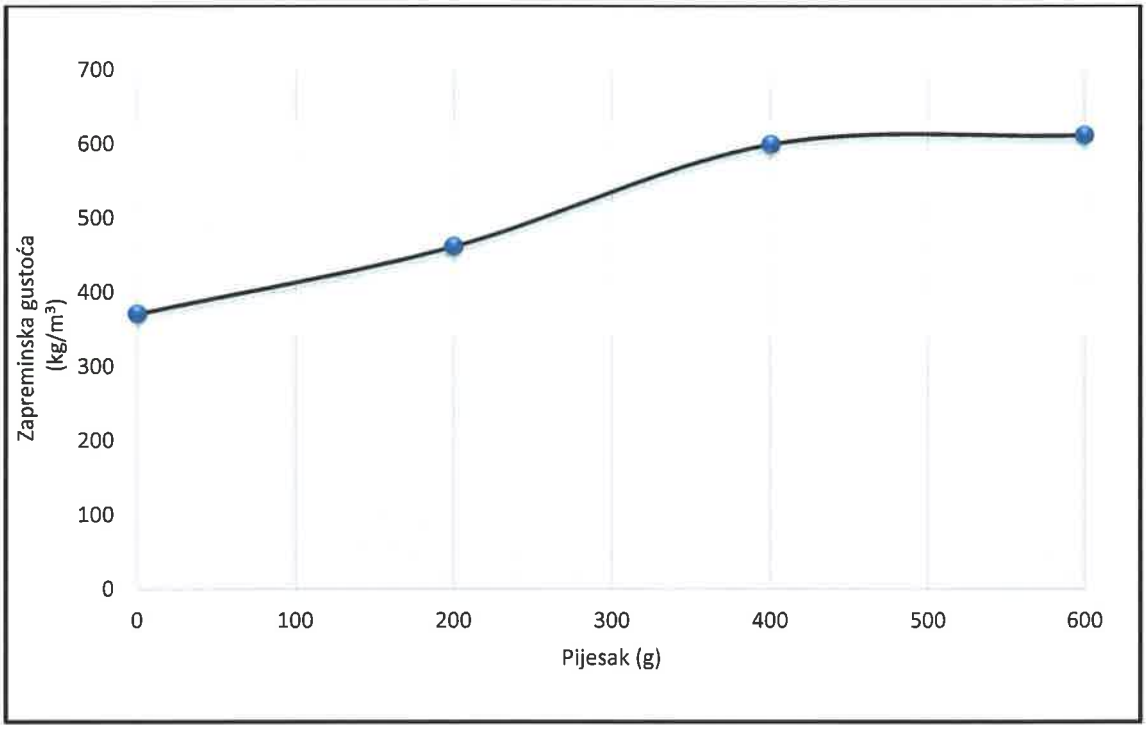
6.3. Rezultati s diskusijom

Vrijednosti tlačne čvrstoće pri slomu dobivene svim ispitivanjima su prikazane u tablici 8. Dobiveni su rezultati ispitivanja zapreminske težine i čvrstoće uzoraka stiropor betona načinjenog s kuglicama EPS-a kao lakoagregatnim punilom i 450 g cementa po uzorku. U proračunu su korištene srednje vrijednosti karakteristične tlačne čvrstoće pri slomu i srednje vrijednosti mase suhog uzorka.

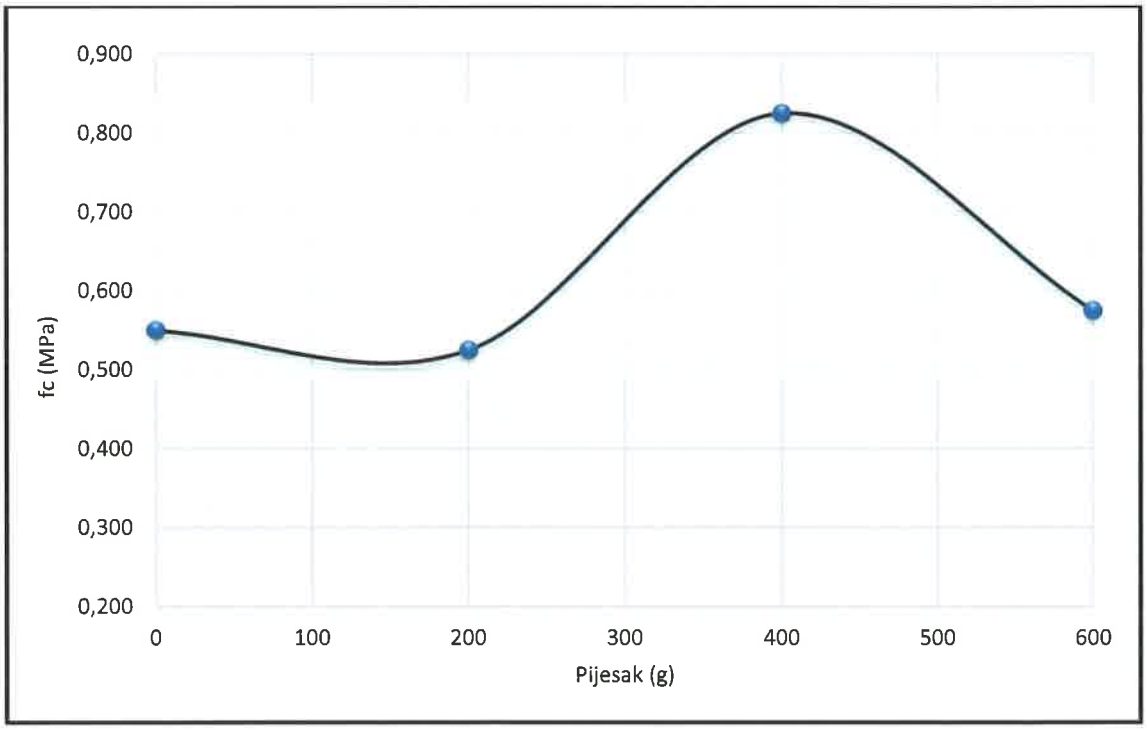
Tablica 8 Rezultati ispitivanja uzorka sa novim granulama stiropora

SASTOJAK	Uzorak 1		Uzorak 2		Uzorak 3		Uzorak 4	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Pijeska (g)	600	600	400	400	200	200	0	0
Masa suhog uzorka (g)	630	593	588,5	609,8	425	498	354	387
Masa, srednja vrijednost, %	611,5		599,15		462,0		370,5	
f_{ck} *(MPa)*	0,55	0,60	0,80	0,85	0,50	0,55	0,50	0,60
Srednja vrijednost f_{ck} *(MPa)*	0,575		0,825		0,525		0,550	

Na slici 9 je prikazan odnos suhe gustoće uzorka u ovisnosti o količini pijeska u smjesi betona. Naime, količine pijeska variraju od 0 g do 600 g i samim time se mijenja i gustoća betona. Krivulja poprima trend rasta i maksimalna vrijednost suhe gustoće zabilježena pri 600 g pijeska, dok je najmanja zabilježena kada nema pijeska. Za betone u kojima nema pijeska zapreminska težina iznosi 370,5 kN/m^3, dok kod betona sa 600 g pijeska ta vrijednost iznosi 611,5 kN/m^3. Ako uzmemo u obzir zapreminske težine normalnih betona koje su znatno veće, možemo zaključiti kako smanjena gustoća, za istu razinu čvrstoće, omogućuje uštede na stalnom opterećenju kod projektiranja konstrukcija i temelja.



Slika 9 Grafički prikaz odnosa mase pijeska i zapreminske gustoće uzorka



Slika 10 Grafički prikaz odnosa mase pijeska i tlačne čvrstoće uzorka

Kod primjene lakog betona kao konstruktivnog betona često je važnija njegova gustoća nego čvrstoća. Odnos tlačne čvrstoće i pijeska vidljiv je slici 10, gdje je jasno kako je tlačna čvrstoća najveća pri količini od 400 g pijeska u smjesi, iz čega možemo zaključiti kako kvaliteta betona uvelike ovisi o količini materijala koji se miješa. Dakle, ako količinu određene komponente u smjesi povećamo ili smanjimo gubimo na kvaliteti betona. Ovakve vrijednosti rezultata nisu očekivane i krivulja nema trend rasta. Moramo uzeti u obzir eventualne greške pri provođenju ispitivanja.

7. STIROPOR BETONI S OTPADNIM EKSPANDIRANIM POLISTIRENOM

S ciljem usporedbe rezultata dobivenih pri izradi uzoraka lakog betona u ovom poglavlju će biti prikazani i rezultati dobiveni identičnim postupkom opisanim u poglavlju 6. samo sa primjenom otpadnog stiropora. Ispitivanja su provedena u laboratoriju Geotehničkog fakulteta i objavljena u radu Bedeković, G., et al. (2019). Recovery of Waste Expanded Polystyrene in Lightweight Concrete Production, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 34(3), str. 73-80. te će služiti za usporedbu rezultata.

Rezultati korišteni u ispitivanjima su mnogo detaljniji ali će se ovdje radi usporedbe koristiti vrijednosti dobivene pri količini od 450 g cementa u smjesi betona.

Vrijednosti dobivene ispitivanjem prikazane su u tablici 9.

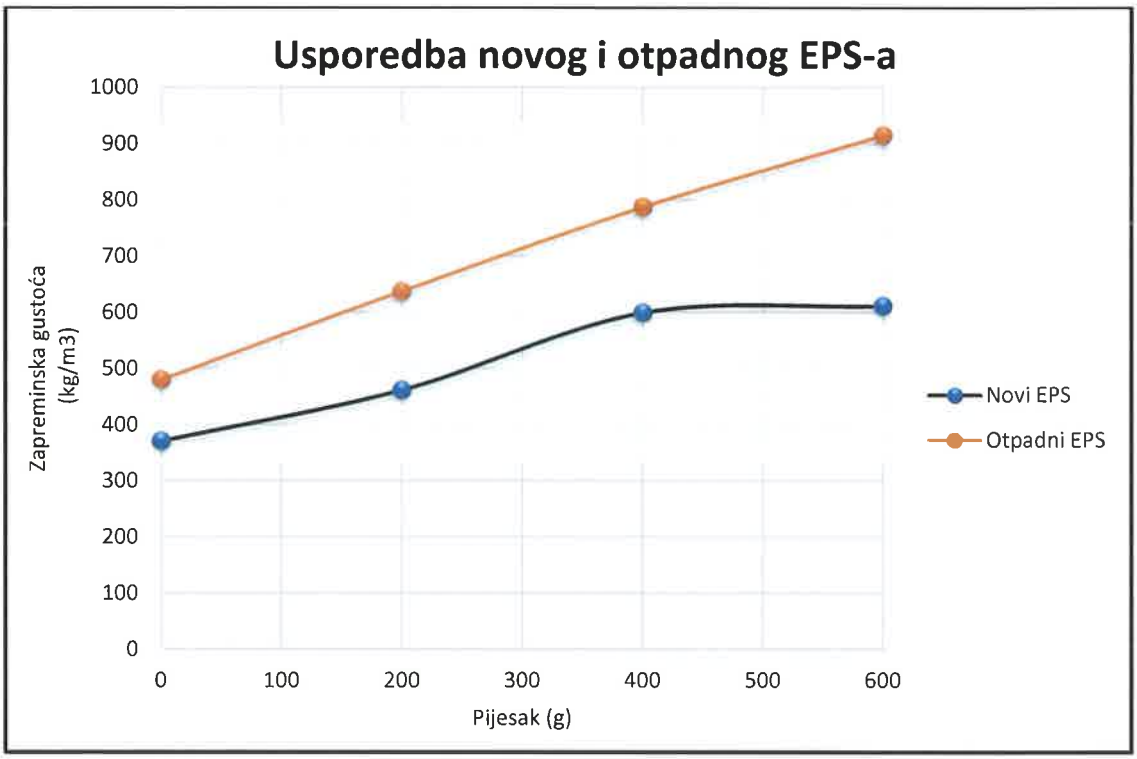
Tablica 9 Rezultati ispitivanja uzorka sa otpadnim granulama stiropora

SASTOJAK	**Uzorak 1**	**Uzorak 2**	**Uzorak 3**	**Uzorak 4**
Pijesak (g)	600	400	200	0
Masa suhog uzorka (g)	915	787	637	480
Srednja vrijednost f_{ck} (MPa)	2,538	1,925	1,210	0,838

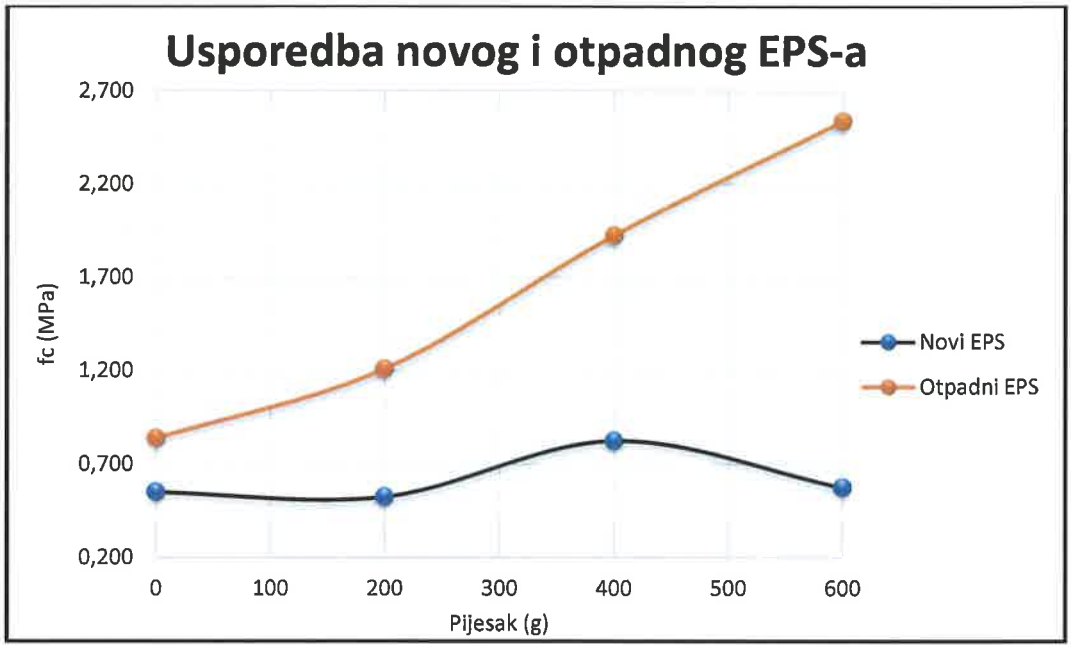
Na slici 11 prikazan je odnos suhe gustoće i količine pijeska u uzorku. Krivulja ima trend rasta i može se vidjeti kako povećanjem količine pijeska raste

zapreminska gustoća uzorka. Vrijednosti gustoće variraju u rasponu od 480 – 915 kg/m^3 .

Na slici 12 se može vidjeti odnos mase pijeska i tlačne čvrstoće uzorka gdje se jasno vidi kako povećanjem količine pijeska raste tlačna čvrstoća uzorka. Ukoliko se u uzorku povećavala masa cementa prema principu povećanja pijeska, vrijednosti tlačne čvrstoće bi poprimale veće vrijednosti.



Slika 11 Grafički prikaz odnosa mase pijeska i zapreminske gustoće uzoraka



Slika 12 Grafički prikaz odnosa mase pijeska i tlačne čvrstoće uzoraka

8. ZAKLJUČAK

Beton je polifazni kompozit koji nastaje miješanjem većeg broja sastojaka. Osnovni sastav betona sastoji se od cementa, vode i agregata. Upotreba lakih betona u građevinarstvu našla je vrlo široku primjenu prvenstveno zbog svojstava koja su potrebna za projektiranje i ugradnju a to su: otpornost, čvrstoća, koeficijent toplinske vodljivosti, otpornost na mraz itd. Laki betoni se praktički do potpunog sloma ponašaju elastično radi modula elastičnosti koji je manji u odnosu na obične betone. Gustoća lakih betona kojoj je posvećena posebna pažnja u ovom radu je važna s obzirom da želimo da beton bude što lakši radi stvaranja manjeg opterećenja od vlastite težine. Zapreminska težina lakih betona kreće od 600-2000 kg/m^3.

Recikliranje predstavlja djelatnost koja danas dobiva sve veće značenje. U mnogim industrijama, a posebice u građevinarstvu svake godine se proizvedu velike količine otpadnog stiropora. Vrlo mali dio stiropora se doista i reciklira, tako da materijali poput lakih betona koji upotrebom otpadnog materijala postižu znatno bolje fizičko-mehaničke karakteristike predstavljaju napredak u tehničkom i ekološkom smislu.

Rezultati dobiveni ispitivanjem uzoraka lakih betona upotrebom otpadnog i novog granuliranog stiropora, uz uvjet da su količina cementa, pijeska, vode i aditiva jednake; pokazuju različite vrijednosti. Vrijednosti tlačne čvrstoće pri slomu kod upotrebe otpadnog stiropora znatno su veće od vrijednosti tlačne čvrstoće dobivene ispitivanjem uzorka sa novim granulama stiropora. Ovakav trend prate i veće suhe gustoće uzoraka u kojima se nalazio otpadni stiropor. Rezultati su iznenađujući ali predstavljaju dobar pokazatelj načina recikliranja otpadnih stiropora u okolišu.

9. LITERATURA

1. Bedeković, G., et al. (2019). Recovery of Waste Expanded Polystyrene in Lightweight Concrete Production, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 34(3), str. 73-80.
2. Krstulović, P., (2000): Svojstva i tehnologija betona, Građevinsko – arhitektonski fakultet sveučilišta u Splitu i Institut građevinarstva Hrvatske, Split.
3. Kemenović, I., (n.d.) : O stiroporu, Zagreb, Dostupno na https://www.kemenovic.hr/content-2/o-stiroporu, Pristupljeno 19. siječnja 2020.
4. Ukrainczyk, V. (1994): Beton, ALCOR, Zagreb

INTERNET

5. Nexe, (n.d.), Dostupno na : https://www.nexe.hr/UserDocsImages/proizvod_dokumenti/Tehni%C4%8Dka%20uputa%2042,5N.rasuti%20(RH).pdf , Pristupljeno 21.prosinca.2019.

10. POPIS SLIKA

Slika 1 Granulometrijske krivulje cementa i pijeska 17
Slika 2 EPS u granulama 19
Slika 3 (a) Metalni kalup (b) Uređaj za mjerenje tlačne čvrstoće 20
Slika 4 (a) Uzorak cementa (b) Uzorak pijeska 21
Slika 5 Postupak miješanja betona 22
Slika 6 Kalup zapunjen lakim betonom 22
Slika 7 Uzorci u vlažnoj komori 23
Slika 8 (a) Uzorak u uređaju za ispitivanje tlačne čvrstoće (b) Detaljniji prikaz 24
Slika 9 Grafički prikaz odnosa mase pijeska i suhe gustoće uzorka 26
Slika 10 Grafički prikaz odnosa mase pijeska i tlačne čvrstoće uzorka 26
Slika 11 Grafički prikaz odnosa mase pijeska i suhe gustoće uzorka 28
Slika 12 Grafički prikaz odnosa mase pijeska i tlačne čvrstoće uzorka 29

11. POPIS TABLICA

Tablica 1 Orijentacijski volumni udjeli osnovnih sastojaka u betonu 2
Tablica 2 Primjeri (ne)postojanosti stiropora 11
Tablica 3 Receptura za izradu stiropor betona 14
Tablica 4 Fizičko-mehaničke karakteristike cementa CEM II/A-M (S-V) 42,5 N 16
Tablica 5 Maseni udjeli materijala prisutni u pijesku 16
Tablica 6 Tehničke karakteristike aditiva Stigodur-D 18
Tablica 7 Količine sastojaka pri izradi uzoraka lakog betona 20
Tablica 8 Rezultati ispitivanja uzorka sa novim granulama stiropora 25
Tablica 9 Rezultati ispitivanja uzorka sa otpadnim granulama stiropora 27

12. POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
f_{ck}	Pa	tlačna čvrstoća kocke