

# Lagani beton s dodatkom granula ekspaniranog polistirena

---

**Pogačić, Toni**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:531931>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-28**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Toni Pogačić**

**Lagani beton s dodatkom granula ekspaniranog polistirena**

**Završni rad**

**Rijeka, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij  
Inženjerski materijali**

**Toni Pogačić  
JMBAG:  
0114027893**

**Lagani beton s dodatkom granula ekspaniranog polistirena**

**Završni rad**

**Rijeka, rujan 2019.**



## **IZJAVA**

Završni/Diplomski rad izradio/izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom/mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Toni Pogačić

U Rijeci, 16. Rujna 2019

Završni rad nastao je kao rezultat rada u okviru projekta

**Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci**

Voditelj projekta     prof. dr. sc. Nevenka Ožanić  
Šifra projekta         RC.2.2.06-0001  
Financijer projekta    Europski fond za regionalni razvoj (EFRR)  
                              Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta RH  
Pravna nadležnost     Republika Hrvatska

## **Zahvala**

Zahvaljujem se tvrtki Holcim Hrvatska na recepturi i svim potrebnim materijalima za izradu betona. Također se zahvaljujem mentorici doc. dr. sc. Nataliji Bede na brojnim stručnim savjetima, strpljenju i potpori prilikom izrade završnog rada. Hvala laborantima na strpljivoj pomoći pri izradi i ispitivanju betona. Veliko hvala mojoj obitelji i prijateljima na potpori

## SAŽETAK

Laganim betonom smatra se beton čija gustoća iznosi od 800 do 2000 kg/m<sup>3</sup>. Lakoagregatni beton, vrsta laganog betona, sastoji se od lakog agregata, cementa, vode i aditiva. U ovom radu kao lagani agregat koristile su se granule ekspaniranog polistirena (EPS) te se takav beton naziva EPS beton. Cilj eksperimentalnog dijela rada bio je izraditi EPS beton ciljane gustoće od 1200 kg/m<sup>3</sup>. Nadalje, prikazani su i analizirani rezultati mjerenja konzistencije na svježem betonu, rezultati ispitivanja osnovnih mehaničkih svojstava kao što su: tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća cijepanjem i čvrstoća savijanjem te rezultati vodoupojnosti metodom potpunog uranjanja. Na osnovu rezultata ispitivanja u svježem i očvrslom stanju donesen je zaključak da se ova betonska mješavina može primijeniti u konstruktivno–izolacijske i izolacijske svrhe.

Ključne riječi: **lagani beton, EPS beton, mehanička svojstva, gustoća, vodoupojnost**



## ABSTRACT

The lightweight concrete is concrete with a density of 800 to 2000 kg/m<sup>3</sup>. Lightweight aggregate concrete, type of light concrete, consist of light aggregate, cement, water and additive. In this work, expanded polystyrene granules were used as a lightweight aggregate and such concrete is called the EPS concrete. The main goal of the experimental part was to produce EPS concrete with a density of 1200 kg/m<sup>3</sup>. The results of measuring the consistency of fresh concrete, the results of testing the basic mechanical properties such as compressive strength, tensile and splitting strength and the results of water absorption by the method of complete immersion are presented and analyzed. Based on the test results conducted on fresh and hardened concrete it is concluded that this mixture can be used only for construction and insulation purposes.

**Keywords: lightweight concrete, EPS concrete, mechanical properties, density, water absorption**

## Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| Popis slika:.....  | IX |
| 1. Uvod.....   | 1  |
| 2. Beton.....  | 2  |
| 2.1. Općenito o betonu .....                                       | 2  |
| 2.2. Lagani beton.....   | 2  |
| 2.2.1. Vrste laganih betona .....                                  | 2  |
| 2.2.1. Svojstva laganih betona.....                                | 6  |
| 3. Sastav i namjena EPS betona .....                               | 8  |
| 3.1. Sastav EPS betona .....                                       | 8  |
| 3.1.1. Lagani agregat (granule ekspaniranog polistirena EPS) ..... | 8  |
| 3.1.2. Pijesak i voda .....  | 8  |
| 3.1.3. Aditiv.....   | 9  |
| 3.2. Namjena EPS betona .....                                      | 9  |
| 4. Ispitivanje svježeg i očvrtnulog betona .....                   | 10 |
| 4.1. Ispitivanje svježeg betona .....                              | 10 |
| 4.1.1. Ispitivanje konzistencije slijeganjem.....                  | 10 |
| 4.1.2. Gustoća svježeg betona.....                                 | 11 |
| 4.1.3. Ispitivanje konzistencije rasprostiranjem.....              | 11 |
| 4.2. Ispitivanje očvrtnulog betona .....                           | 11 |
| 4.2.1. Gustoća očvrtnulog betona .....                             | 11 |
| 4.2.2. Tlačna čvrstoća ispitanih uzoraka .....                     | 11 |
| 4.2.3. Vlačna čvrstoća cijepanjem uzorka .....                     | 12 |
| 4.2.4. Čvrstoća savijanjem kontrolom pomaka .....                  | 12 |
| 4.2.5. Vodupojnost.....  | 14 |
| 5. Izrada mješavina EPS betona .....                               | 15 |

|   |    |
|---|----|
| 5.1. Sastav mješavine .....                               | 15 |
| 5.2. Probne mješavine.....                                | 16 |
| 5.2.1. Izrada prve probne mješavine.....                  | 16 |
| 5.2.2. Ispitivanja prve probne mješavine.....             | 19 |
| 5.2.1. Izrada druge probne mješavine.....                 | 22 |
| 5.2.2 Ispitivanje druge probne mješavine.....             | 24 |
| 5.2.2.1. Ispitivanje svježeg betona .....                 | 24 |
| 5.2.2.2. Ispitivanje očvrsnulog betona nakon 7 dana ..... | 25 |
| 5.2.3 Zaključak druge probne mješavine .....              | 26 |
| 6. Prava mješavina.....                                   | 27 |
| 6.1. Izrada mješavine .....                               | 27 |
| 6.2. Ispitivanje svježeg betona prave mješavine.....      | 29 |
| 6.2.1. Rezultati ispitivanja metodom slijeganja .....     | 29 |
| 6.2.2 Rezultat gustoće svježeg betona .....               | 30 |
| 6.2.3. Rezultat metode rasprostiranja .....               | 30 |
| 6.3. Ispitivanje očvrstlog betona prave mješavine .....   | 31 |
| 6.3.1. Rezultat gustoće očvrsnulog betona .....           | 31 |
| 6.3.2. Rezultat tlačne čvrstoće .....                     | 31 |
| 6.3.3. Rezultati čvrstoće cijepanjem.....                 | 32 |
| 6.3.4. Čvrstoća savijanjem kontrolom pomaka .....         | 33 |
| 6.3.5 Vodoupojnost betona .....                           | 36 |
| 7. Rezultati svih ispitivanja .....                       | 37 |
| 8. Zaključak.....   | 38 |
| 9. Literatura.....  | 39 |

Popis tablica:

Tablica 1 Podjela laganih betona prema namjeni [5]

Tablica 2: Rezultati gustoće očvrstlog betona

Tablica 3: Rezultati tlačne čvrstoće

Tablica 4: Rezultati čvrstoće cijepanjem

Tablica 5: Vrijednosti sila i pomaka

Tablica 6: Tablica sušenja uzoraka

Tablica 7: Tablica vodoupojnosti

Tablica 8: Rezultati svih ispitivanja

### **Popis slika:**

Slika 1: Struktura lakog betona od jednozrnatog materijala, [6]

Slika 2: Struktura lakoagregatnog betona s EPS granulama

Slika 3: Struktura ćelijastog betona, [7]

Slika 4: Izrada plivajućeg poda od EPS betona, [8]

Slika 5: Uzorak prizme prije ispitivanja

Slika 6: Granule EPS-a

Slika 7: Miješanje cementa, pijeska i vode

Slika 8: Dodavanje EPS granula u beton

Slika 9: Izmiješani EPS beton

Slika 10: Uzorkovanje

Slika 11: Mjerenje temperature smjese probne mješavine

Slika 12: Prvo ispitivanje slijeganja

Slika 13: Drugo ispitivanje slijeganja

Slika 14: Određivanje gustoće svježeg betona uz pomoć normirane posude

Slika 15: Uzorak nakon ispitivanja

Slika 16: EPS granule pomiješane s vodom i aditivom

Slika 17: EPS granule s pijeskom

Slika 18: Dodavanje cementa i ostatka vode

Slika 19: Izmiješana druga probna mješavina

Slika 20: Ispitivanje slijeganjem druge probne mješavine

Slika 21: Uzorak nakon ispitivanja

Slika 22: Uzorak nakon ispitivanja

Slika 23: Izmiješana prava mješavina

Slika 24: Kompaktiranje uzoraka drvenim batom

Slika 25: Uzorci prave mješavine

Slika 26: Slijeganje prave mješavine

Slika 27: Rasprostiranje EPS betona

Slika 28: Oblik sloma uzroka ST3 na tlak

Slika 29: Oblici sloma uzorka na cijepanje

Slika 30: Dijagram dila-pomak

Slika 31: Uzorak nakon ispitivanja

Slika 32: Oblici sloma uzorka

## 1. Uvod

Beton je jedan od najkorištenijih građevinskih materijala, a sastoji se od agregata, vode i veziva. Beton se može podijeliti prema volumenskoj masi na običan beton, lagani beton i teški beton. Lagani beton je kompozitni materijal čija gustoća iznosi od 800 do 2000 kg/m<sup>3</sup>. Kako bi se postigla takva gustoća koristi se lagani agregat. Laganim agregatom smatraju se svi agregati volumne mase manje od 1200 kg/m<sup>3</sup>. Lagani agregati mogu nastati iz prirodne sirovine (glinopor, ekspanzirani škriljavac i perlit), sekundarne sirovine (krupni pepeo, ekspanzirana zgura, drobljena opeka i pluto) i ekspanziranih polimera (polistiren i poliuretan). Pojedine vrste lakog betona mogu se koristiti kao konstruktivni materijali, kao na primjer u mostogradnji i izgradnji zgrada. U ovom radu kao lagani agregat koristit će se granule ekspaniranog polistirena (EPS). EPS je vrsta izolacijskog materijala koji je nastao od derivata nafte. Samim time njegovo je deponiranje vrlo zahtjevno i složeno. Prednosti EPS-a su njegova toplinska i zvučna izolacijska svojstva. EPS se može reciklirati i ponovo koristiti. Vrsta betona u kojem su sve ili pojedine frakcije krupnog agregata zamijenjene granulama EPS-a naziva se beton s dodatkom granula ekspaniranog polistirena, odnosno skraćeno EPS beton. Što je količina granula veća to je količina agregata manja, a sukladno smanjuje se i volumna masa betona. Kako bi se osigurala pravilna kohezija i lijepljenje smjese betonu se dodaje specijalni aditiv. Za razliku od običnih betona, EPS beton ima dobra toplinska i zvučna izolacijska svojstva, ali lošiju trajnost i mehanička svojstva.

Cilj rada bio je izraditi beton ciljane gustoće od 1200 kg/m<sup>3</sup> koristeći cement, vodu, pijesak, granule ekspaniranog polistirena (EPS) i aditiv. Eksperimentalni dio rada prikazuje izradu betonskih mješavina i ispitnih uzoraka, uređaje i postupke ispitivanja, te u konačnici usporedbu dobivenih rezultata i zaključke.

## 2. Beton

### 2.1. Općenito o betonu

Kompozitni materijal koji se sastoji od agregata, vode, veziva i u pojedinim slučajevima aditiva naziva se beton. Beton se prvi puta spominje u djelu rimskog arhitekta Vitruvija 25. godine prije Krista. Vezivo koje su koristili Rimljani u to doba bilo je gašeno vapno, a kasnijim razvojem počeli su mješavini dodavati vulkanski pepeo. Time su osigurali puno kvalitetnije vezivo koje može očvrnuti u vodi. Zbog toga mnogo građevina koje su izgradili Rimljani postoje i danas. Kako je Rimsko carstvo propalo, interes za hidrauličnim vezivima nije rastao sve do potkraj 18. st. [1]. Prednost betona u odnosu na druge materijale je taj što se u svježem stanju može lako oblikovati te taj oblik nakon stvrdnjavanja ostaje trajan.

S obzirom na volumensku masu, beton dijelimo na:

- Običan beton
- Lagani beton
- Teški beton

### 2.2. Lagani beton

Lagani betoni su specijalna vrsta betona volumne mase od 600 do 2000 kg/m<sup>3</sup> [2] dok volumna masa običnog betona iznosi od 2400 do 2500 kg/m<sup>3</sup> [2]. Kako bi se smanjila volumna masa običnog betona treba se povećati međuprostor između zrna agregata te sadržaj pora. Prednost laganih betona u odnosu na običan beton je i u izolacijskim svojstvima, s naglaskom na toplinska. Obični beton međutim ima veću čvrstoću i otpornost na habanje. Ozbiljni razvoj lakog betona započinje u 19. st.

#### 2.2.1. Vrste laganih betona

Lagane betone možemo podijeliti prema namjeni na:

- konstrukcijske
- konstrukcijsko-izolacijske
- izolacijske betone

kako je prikazano u tablici 1.

Tablica 1: Podjela laganih betona prema namjeni [3]

| Svojstvo                       | Konstruktivski | Konstruktivsko-izolacijski | Izolacijski |
|--------------------------------|----------------|----------------------------|-------------|
| Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )   | < 2000         | -                          | -           |
| Tlačna čvrstoća (MPa)          | > 15,0         | > 3,5                      | > 0,5       |
| Toplinska provodljivost (W/mK) | -              | < 0,75                     | > 0,30      |

Također, lagani beton se može podijeliti s obzirom na strukturu:

- Lagani beton od jednozrnatog agregata
- Lakoagregatni beton (prirodan ili umjetni)
- Čelijasti betoni

U nastavku je dan kratki pregled laganih betona obzirom na strukturu.

- Laki beton od jednozrnatog agregata.

Kod običnog betona koristi se više frakcija agregata kako bi se postigao što manji postotak šupljina u samom betonu. Upravo zbog toga prilikom izrade lakog betona od jednozrnatog agregata koristimo samo jednu frakciju. Time se postiže da nema sitnijih frakcija koje bi popunile prostor između jednakih zrna agregata te osigurava veći postotak šupljina. Prednost betona od jednozrnatog agregata je u tome što nije moguće skupljanje kapilarne vode kao što je prikazano na slici 1. Samim time smanjen je utjecaj smrzavanja i odmrzavanja na beton. Prilikom izrade ovakve vrste betona treba paziti da količina cementa bude u dozvoljenoj mjeri, jer prevelike količine cementa smanjuju broj šupljina.





Slika 1: Struktura lakog betona od jednozrnatog materijala,[4]

- Lakoagregatni beton (prirodan ili umjetni)

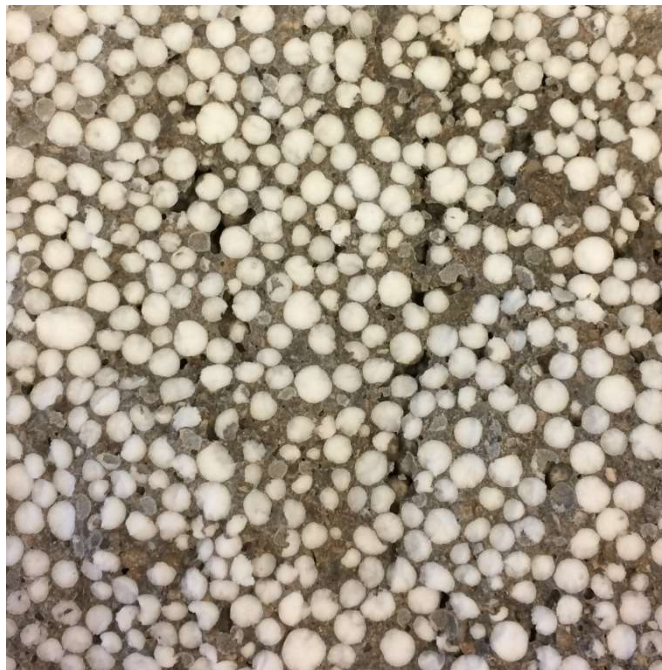
Prilikom izrade lakoagregatnih betona koriste se agregati male težine. Takvi agregati mogu biti prirodnog porijekla (glinopor, ekspanzirani škrljevac i perlit) i umjetnog (krupni pepeo, ekspanzirana zgura, drobljena opeka, polistiren i poliuretani). Mana lakoagregatnog betona je velika vodoupojnost. Prirodni agregati su uglavnom stijene vulkanskog ili sedimentnog porijekla koje imaju visok stupanj poroznosti.

U agregate sedimentnog porijekla spadaju stijene pretežito silikatnog sastava. Zbog taloženja pod utjecajem vode, leda i vjetra u strukturi je moguća pojava velikih pora. Zbog takve strukture imaju vrlo malu volumnu masu pa se tako njihova primjena temelji samo za izolacijske svrhe. Prilikom izrade mješavine potrebno je predvidjeti dodatnu količinu vode.

Agregati vulkanskog porijekla - vulkanske stijene, nastaju prilikom izlaska lave na površinu zemlje te njihovim stvrdnjavanjem. Prilikom izrade betona najviše se koriste stijene pucolana i plovućca. Plovućac nastaje naglim hlađenjem lave. Zapreminska težina obrađenog iznosi 1450-1650 kg/m<sup>3</sup> [2]. Pucolan nastaje sporim hlađenjem lave i s većom količinom uključenih plinova, pa mu zbog tih plinova struktura porasta. Zapreminska težina im se kreće od 700 do 1200 kg/m<sup>3</sup> [2].

Umjetni agregat dobiva se prerađivanjem već gotovih materijala. Ekspandirana glina je mineralni zasipni materijal od fino poroznih čvrstih perlica gline. Posjeduje relativno malu gustoću, što znači da je pogodna za dodavanje estrihu ili betonu. Zbog dobrih izolacijskih svojstava toplinski koeficijent kreće se u granicama od 0,08-0,2 W/mK [2]. Ekspandirana glina proizvodi se od gline ili škrljca koji se miješa s različitim ostalim primjesama da bi se dobio optimalan sastav te se miješa s vodom i gnječi kako bi se dobile granule. Zatim se granule peku. Gotove granule dobivaju opnu koja poboljšava mehanička svojstva.

Ekspandirani polimeri su vrsta materijala koja nastaje propuhivanjem polimernog materijala na zraku određene temperature ili uz pomoć sredstva za pjenjenje. Tim procesom nastaju kuglasta zrna koja sadrže veliku količinu ekspandiranog polistirena. Takav materijal pogodan je za proizvodnju izolacijskog betona zbog svoje male gustoće i slabih mehaničkih svojstava. Struktura betona s granulama EPS-a prikazana je na slici 2.



Slika 2: Struktura lakoagregatnog betona s EPS granulama

- Čelijasti betoni

Čelijasti betoni su vrsta lakog betona u koje će se prilikom stvrdnjavanja utisnuti zrak ili će se kemijskim putem proizvesti plin čiji će mjehurići ekspanirati beton. Gustoća ovakvih betona iznosi od 600 do 1200 kg/m<sup>3</sup>[1] dok mu je čvrstoća na tlak od 3,5 do 10 MPa [2]. Zbog velike količine pora (slika 3.) beton ima dobra izolacijska svojstva.



Slika 3: Struktura ćelijastog betona, [5]

### **2.2.1. Svojstva laganih betona**

Jedno od bitnijih svojstava laganih betona je mala volumna masa čija vrijednost iznosi od 600 do 2000 kg/m<sup>3</sup> [2]. Ista se postiže dodavanjem gore navedenih lakih agregata i većom količinom cementa. Kod izrade laganog betona količina cementa koja se upotrebljava za 1 m<sup>3</sup> je i do 70 % veća od količine cementa potrebne za 1.m<sup>3</sup> standardnog betona [2].

Modul elastičnosti predstavlja omjer vlačnog naprezanja i linijske vlačne deformacije. Bitan je za određivanje sigurnosti i stabilnosti konstrukcije. Lagani betoni se ponašaju totalno elastično sve do samog sloma te samim time imaju manji modul elastičnosti od standardnih betona. Kako bi to usporedili, vrijednost modula elastičnosti standardnoga betona iznosi 35 GPa dok je vrijednost modula elastičnosti lakog betona oko 20 GPa [2].

Tlačna čvrstoća lakog betona ima velike oscilacije koje se kreću u granicama od 1 MPa pa sve do 60 MPa [2]. Razlog za tako veliku razliku ima raznoliki odabir vrsta lakog agregata. Tlačna čvrstoća nije ovisna samo o agregatu već i o volumnoj masi, vrsti i količini veziva te o vodocementnom faktoru. Količina cementa kod izrade laganog betona je u granicama od 150 do 550 kg/m<sup>3</sup> [2].

Najveća čvrstoća betona postiže se s agregatom prirodnog porijekla. Takav beton ima dobru nosivost i dobra izolacijska svojstva. Beton slabe čvrstoće najčešće je izrađen od agregata perlita, vermikulita ili ekspaniranog polimernog materijala. Nosivost mu je manja od 1MPa. Iako mu je čvrstoća izrazito mala primjena takvog materijala je vrlo česta zbog vrlo dobrih izolacijskih svojstava.

Toplinsko izolacijska svojstva laganog betona su u odnosu na standardni beton puno bolja. Samo za primjer, kod standardnih betona koeficijent toplinske provodljivosti kreće se od 1,05 do 1,25 W/mK [2]. Dok se kod laganog betona koeficijent toplinske provodljivosti kreće od 0,05 W/mK za izolacijski lagani beton pa do 0,25 do 0,85 W/mK [1] za izolacijsko konstruktivne lagane betone.

Zvučna izolacija još je jedna od prednosti laganog betona u odnosu na standardni beton. Zvuk koji se širi zrakom ima bolju izolaciju u laganom betonu dok je zvuk koji je nastao udarom bolje izoliran u standardnom betonu.

Kod pojave bubrenja i skupljanja, lagani betoni s laganim agregatom imaju manu u usporedbi sa standardnim betonom. U laganom betonu uslijed gubitka vode dolazi do pojave mrežaste strukturalne promjene u vidu pukotina koje utječu na osnovna svojstva laganog betona. Naprezanja u takvoj pojavi preuzima agregat, stoga elastična svojstva agregata imaju veliku ulogu, određuju kolike deformacije može preuzeti agregat u odnosu na deformacije cementnog kamena. Bubrenje i skupljanje materijala ovisi i o utjecaju vode, cementa i dodataka. Bubrenje nastaje u periodu kad kristalna struktura još nije poprimila potrebnu čvrstoću, a manifestira se uslijed razdvajajućeg utjecaja vode u prostoru između zrna i finih kapilara.

Puzanje betona pojavljuje se kod utjecaja konstantne sile, ovisno o temperaturi, te se počinju postupno rastezati. Puzanje će se zaustaviti ako materijal pri rastezanju očvrstne. U slučaju da se to ne desi puzanje može uzrokovati lom materijala. Kod

laganog betona puzanje je znatno veće nego kod klasičnih betona, ovisno o vrsti agregata od kojeg je beton sastavljen te o uvjetima u kojima se beton nalazi.

Vodopropusnost laganog betona u usporedbi s klasičnim betonima je puno veća zbog manje volumenske mase i većih pora koje lakše upijaju vodu. Pri odabiru laganog betona treba obratiti pažnju na volumensku masu, te time utjecati na upijanje vode.

Otpornost na mraz kod elemenata nosive konstrukcije od laganog betona gotovo uvijek pokazuje zadovoljavajuću otpornost. Visoka vodoupojnost ne stvara negativan utjecaj na njihovu otpornost. Dodavanjem aditiva u smjesu može se uvelike povećati otpornost lakog betona na mraz.

### **3. Sastav i namjena EPS betona**

#### **3.1. Sastav EPS betona**

Kod gustoće EPS betona volumne mase  $1000 \text{ kg/m}^3$ , tlačna čvrstoća nakon 28 dana iznosi oko  $5,8 \text{ N/mm}^2$  [6] dok je vlačna čvrstoća oko  $1,6 \text{ N/mm}^2$  [6]. U nastavku je dan kratki opis pojedinih komponenti EPS betona.

##### **3.1.1. Lagani agregat (granule ekspaniranog polistirena EPS)**

EPS je vrsta izolacijskog materijala izrađena od proizvoda nafte. Klasificira se kao teško zapaljiv materijal [7]. U slučaju da se zapali ne dolazi do razvijanja štetnih plinova. U dodiru s otvorenim plamenom ne gori već se samo tali. Ekspanirani polistiren male je težine, nije topljiv u vodi i ne bubri u njoj. Količina vode koju ekspanirani polistiren može upiti u pravilu je zanemariv. Koeficijent toplinske provodljivosti je vrlo malen te je zbog toga jedan od vodećih materijala za termo izolaciju. Zbog strukture u materijalu pogodan je i za zvučnu izolaciju. Osim navedenog EPS je i jeftin i nema štetnog utjecaja na okoliš. Gore navedena svojstva samog materijala prenose se i na beton u kojem EPS granule imaju ulogu agregata. Također postoje i granule koje su tretirane posebnim aditivima koje eliminiraju pojavu plutanja i garantiraju njihovu homogenu raspodjelu u mješavini.

##### **3.1.2. Pijesak i voda**

Pijesak je frakcije 0-4 mm, a voda je iz vodovoda.

### 3.1.3. Aditiv

Kako bi se osiguralo povezivanje svih sastojaka, mješavini se dodaje aditiv. Stigopor-D je vrsta aditiva potrebna za izradu EPS betona. Koristi se za izradu fasadnih elemenata, betona u padu na ravnim krovovima, plivajućim podovima, industrijskim toplih podovima i raznim drugima elementima. Prilikom upotrebe Stigopora-D mješavina ima 5,4 % zraka što je 3,5 % više od referentnog betona bez Stigopora-D. Za izradu 1m<sup>3</sup> EPS betona potrebno je 5 litara Stigopora-D. Prilikom skladištenja treba voditi brigu da ne dođe do smrzavanja aditiva te se preporučuje skladištiti na temperaturi od +5°C do +30°C [4]. Trajnost aditiva je do jedne godine u originalnom tvorničkom pakiranju. Kako bi se osigurao proces hidratacije cementa mješavini se dodaje voda.

### 3.2. Namjena EPS betona

Zbog velikog udjela ekspaniranog polistirena EPS beton ima izvrsnu toplinsku i zvučnu izolaciju. Također, obradivost betona je vrlo jednostavna. Najveći nedostatak EPS betona je mala tlačna i vlačna čvrstoća koja varira ovisno o količini granula u betonskoj smjesi. Prema tome, EPS beton može se primijeniti za:

- Betone u padu na ravnim krovovima
- Plivajući pod (slika 4)
- Industrijske tople podove
- Slojeve za izjednačenje nekorektno izvedenih betonskih ploča



Slika 4: Izrada plivajućeg poda od EPS betona [8]

## 4. Ispitivanje svježeg i očvrsnulog betona

Na svježem EPS betonu ispitana je konzistencija i gustoća, dok su u očvrnulom stanju ispitana svojstva na tlak, vlak, savijanje i vodoupojnost.

### 4.1. Ispitivanje svježeg betona

Glavna svojstva koju mora imati svježa betonska mješavina su:

- Fluidnost
- Kompaktnost
- Stabilnost ili kohezivnost

Prilikom izrade betona cilj je bio dobiti što homogeniju strukturu kako bi se osigurala stabilnost betona. Fluidnost i kompaktnost se mogu nazivati još i obradivošću betona. Što beton ima veću obradivost njegova je ugradnja lakša. U slučaju da je ta obradivost dobivena povećanjem količine vode takav beton će imati manju čvrstoću i trajanje. U praksi se zbog toga koristi beton manje obradivosti s kojim se može efikasno rukovati i obrađivati.

#### **4.1.1. Ispitivanje konzistencije slijeganjem**

Prilikom ispitivanja metodom slijeganja potrebno je uzorak betona uzeti u skladu s normativima. Svježi uzorak beton treba ponovno izmiješati lopaticom u spremniku za miješanje prije provedbe ispitivanja. Postupak izvođenja ispitivanja sastoji se od normiranog kalupa oblika krnjeg stošca koji se puni betonom u tri jednaka sloja. Svaki sloj se zbija s 25 udaraca sa šipkom za zbijanje. Prilikom zbijanja treba paziti da su udarci raspoređeni po cijelom poprečnom presjeku sloja. Nakon punjenja kalupa višak betona se uklanja s kalupa. Podloga na kojoj se radi ispitivanje treba biti čista. Zatim se kalup pažljivo podiže prema gore. Podizanje treba trajati od 2 do 5 sekundi. Prilikom uklanjanja kalupa treba paziti da kalupom ne zapnemo u formirani stožac od betona kako ne bi došlo do bočnog ili torzijskog kretanja betona. Ukupno vrijeme ispitivanja ne bi trebalo trajati više od 150 sekundi. Odmah nakon skidanja kalupa mjeri se razlika između visine kalupa i najviše točke slegnutog ispitnog uzorka. Ispitivanje je valjano ako se dobije pravilno slijeganje betona što znači da je betonski uzorak ostao kompaktan i simetričan. Ako dođe do smičnog slijeganja potrebno je ponoviti pokus. Ispitivanje se vrši prema normi HRN EN 12350-2:2009

#### **4.1.2. Gustoća svježeg betona**

Ispitivanje se vrši prema normi HRN EN 12350-6:2009. Gustoća svježeg betona određuje se uz pomoć normirane posude poznatog volumena. Normirana posuda napuni se betonom, višak materijala ukloni s ruba posude te se posuda ispunjena svježim betonom važe. Gustoću svježeg betona dobiva se korištenjem izraza

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V} \quad (1)$$

Gdje su simboli  $\rho$ -gustoća svježeg betona,  $m_1$ -masa posude napunjene betonom,  $m_2$ - masa prazne posude,  $V$ - volumen posude.

#### **4.1.3. Ispitivanje konzistencije rasprostiranjem**

Prilikom izrade pokusa koristi se normirana pomičnu podlogu na koju se postavlja normirani kalup koji se nakon toga puni betonom. Nakon punjenja kalupa, kalup se odstranjuje. Nakon podizanja i spuštanja podložne ploče 15 puta mjeri se promjer nastalog oblika. Promjer od oko 40 cm odgovara srednjoj obradivosti, dok je promjer veći od 50 cm velike obradivosti.

### **4.2. Ispitivanje očvrslolog betona**

Ispitivanja su provedena prema standardima važećim za obični beton pri starosti od 43 dana. Uzorci su do dana ispitivanja njegovani u bazenu s vodom. Prije provedbe ispitivanja uzorci su izvađeni iz vode te su uzorci bili u zasićenom površinski suhom stanju. Na 3 uzorka oblika kocke brida 200 mm i na 3 uzorka brida 150 mm ispitana je tlačna čvrstoća. Na uzorcima oblika valjka dimenzija 150 mm x 300 mm ispitana je vlačna čvrstoća cijepanjem, te je na prizmama dimenzija 100 mm x 100 mm x 400 mm ispitana čvrstoća savijanjem. Također, na temelju rezultata mjerenja mase i dimenzija uzoraka određena je i gustoća očvrslolog EPS betona.

#### **4.2.1. Gustoća očvrslolog betona**

Gustoća očvrslolog betona ispitana je prema normi EN 12390-7:2009.

#### **4.2.2. Tlačna čvrstoća ispitanih uzoraka**

Kako bi se ispitalo osnovno svojstvo betona, uzorak se ispituje na tlačnu čvrstoću. Čvrstoća je veličina naprezanja koju uzorak može podnijeti u trenutku sloma, izražena je u MPa (N/mm<sup>2</sup>). Ispitivanje se vrši prema normi EN 12390-3:2009. Uzorci



na kojima se vrši ispitivanje su kocke brida 200 mm i kocke brida 150 mm. Brzina opterećenja iznosila je 0.05 MPa/s. Tlačna čvrstoća izračunava se prema izrazu:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Gdje je  $f_c$ -tlačna čvrstoća (N/mm<sup>2</sup>), P-maksimalna sila (N), A-nominalna površina poprečnog presjeka uzoraka (mm<sup>2</sup>)

#### **4.2.3. Vlačna čvrstoća cijepanjem uzorka**

Vlačna čvrstoća običnog betona u odnosu na tlačnu je vrlo mala i iznosi 10-15% tlačne čvrstoće. Ispitivanje je izvršeno prema normi EN 12390-6:2009 na standardnom uzorak oblika valjka. Brzina opterećenja iznosi 0.005 MPa/s. Kao rezultat dobiva se vlačna čvrstoća cijepanjem prema izrazu:

$$f_s = \frac{2xP}{\pi x h x} \quad (3)$$

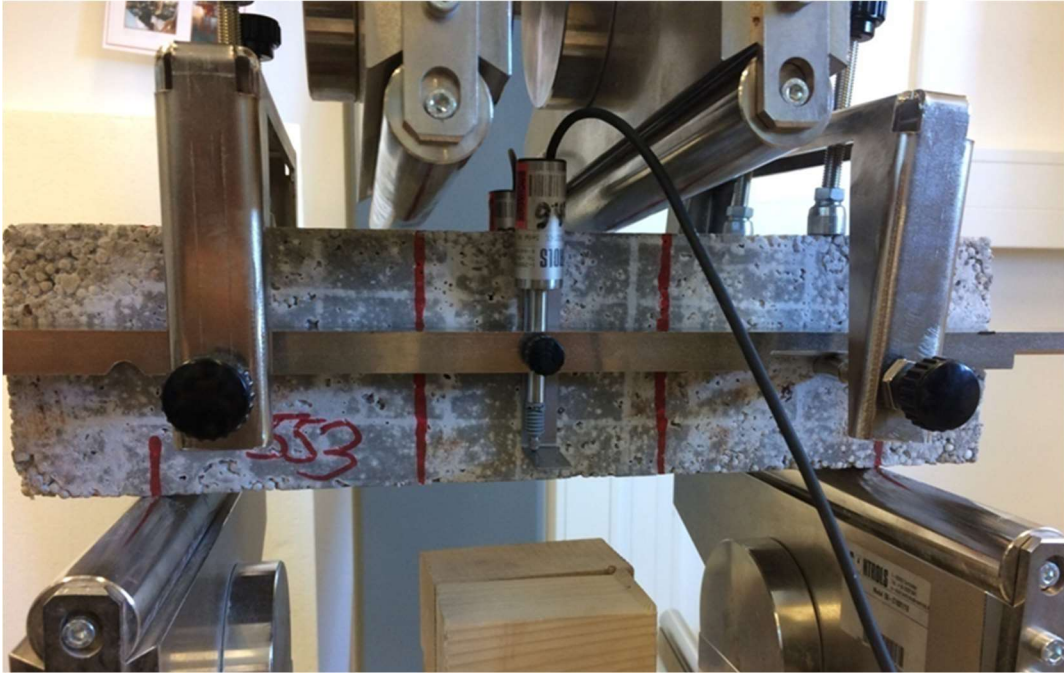
Gdje je  $f_s$ - vlačna čvrstoća, P- maksimalna sila (N), d-promjer uzorka, h-visina uzorka.

#### **4.2.4. Čvrstoća savijanjem kontrolom pomaka**

Ispitivanje čvrstoće na savijanje pod kontrolom pomaka provedeno je na uzorcima oblika prizme dimenzija 100 mm × 100 mm × 400 mm. Prilikom izvođenja pokusa uzorak se opterećivao s dvije koncentrirane sile, te se kontinuirano mjerio pomak na sredini uzorka (slika 5). Čvrstoća na savijanje se izračunava prema formuli:

$$f_{cf} = \frac{F x l}{d_1 x d_2^2} \quad (4)$$

Gdje je  $f_{cf}$ - Čvrstoća savijanjem, F- maksimalna sila, l- razmak između oslonaca, d1- visina uzorka, d2- širina uzorka.



Slika 5: Uzorak prizme prije ispitivanja

#### **4.2.5. Vodoupojnost**

Kako bi mogli izmjeriti vodoupojnost EPS betona uzorak oblika kocke brida 150 mm je prvo sušen do stalne mase u sušioniku na 50°C. Uzorak se smatra suhim kad je razlika masa između dva uzastopna mjerenja u roku od 24 h manja od 0,2%. Nakon toga uzorak se potapa u vodu te se u jednakim vremenskim intervalima ( $t = 0$  s, 15 s, 30 s, 45 s, 60 s, 120 s, 1440 s) mjeri količina upijene vode vaganjem uzorka. Prilikom vaganja uzorka obavezno je obrisati svu površinsku vodu s uzorka, kako bi uzorak bio zasićen površinski suh. Ispitivanje završava nakon 24h.

## 5. Izrada mješavina EPS betona

Sve mješavine EPS betona umiješane su i ispitane u Laboratoriju za materijale Građevinskog fakulteta u Rijeci.

### 5.1. Sastav mješavine

Kako bi dobili odgovarajuća svojstva betona cilj je bio napraviti mješavinu čija će volumna masa biti približno  $1200 \text{ kg/m}^3$ . Agregat koji je korišten u izradi uzoraka EPS betona je Holcim Majstor pijesak. To je fino mljeveni dodatak vapnenca s veličinom granula od 0-4 mm. Cement koji je korišten za izradu lakog betona je Holcim Ekspert CEM II/B-M (S-V) 42,5 N.

Značenje oznake cementa:

- CEM- Cement prema normi HRN EN 197-1
- II – Portland miješani cement
- B- Dodatak 21-35%
- M- Miješani dodatak
- S- Dodatak granulirana zgora visoke peći
- V- Dodatak silicijski leteći pepeo
- 42,5- Razred čvrstoće normiran nakon 28 dana
- N- Obična rana čvrstoća nakon dva dana

Prilikom izrade uzoraka koristile su se granule ekspaniranog polistirena (slika 6). Veličina granula iznosi od 3 mm do 6 mm dok je toplinska vodljivost od 0,065 do 0,103 W/mK. Dodavanjem Stigopora-D osigurano je kvalitetnije povezivanje granula i betona. Korištena je voda iz gradskog vodovoda i prema tome zadovoljava svim uvjetima potrebnim za izradu betona.



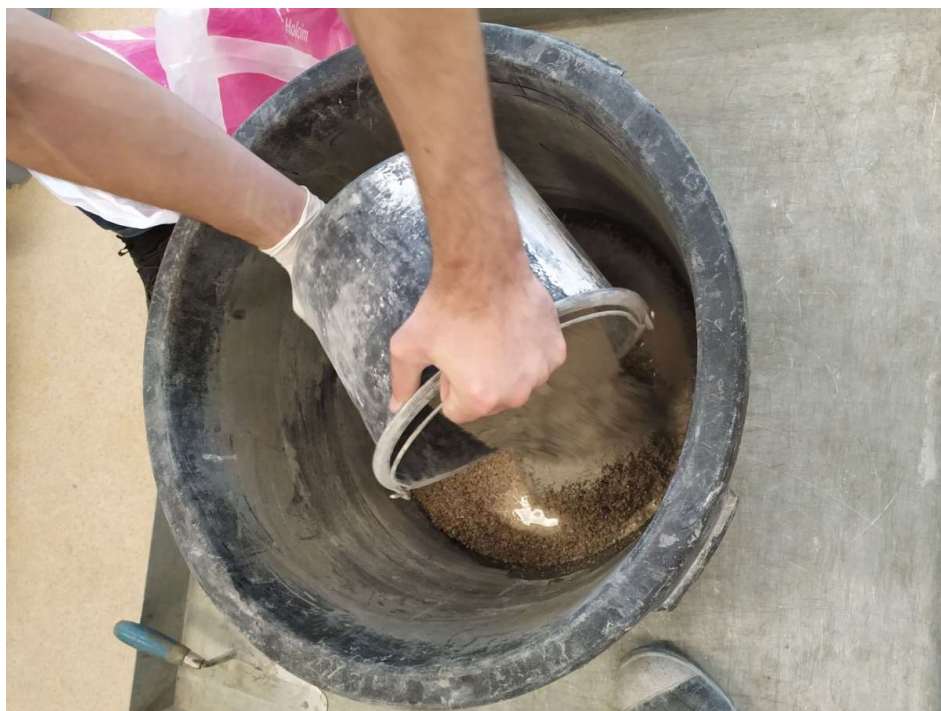
Slika 6: Granule EPS-a

## 5.2. Probne mješavine

### 5.2.1. Izrada prve probne mješavine

Prilikom izrade probne mješavine trebalo je od recepture za 1 m<sup>3</sup> izračunati potrebnu količinu za izradu uzorka dvije kocke duljine brida 150 mm i tri kocke duljine brida 100 mm. Zatim su izvagani svi potrebni sastojci za izradu betona.

Prilikom izrade betona u posudu je prvo dodano 2/3 ukupne količine vode pomiješane s aditivom. Zatim je dodan pijesak te je sve dobro izmiješano. Kad je smjesa postala ujednačena dodan je cement i preostala 1/3 ukupne količine vode (slika 7), te uz ručno miješanje lagano su se dodavale granule ekspaniranog polistirena (slika 8). Beton se miješao dok se smjesa nije ujednačila (slika 9). Prilikom ugrađivanja betona u kalupe smjesa nije kompaktirana (slika 10).



Slika 7: Miješanje cementa, pijeska i vode



Slika 8: Dodavanje EPS granula u beton



Slika 9: Izmiješani EPS beton



Slika 10: Uzorkovanje

## 5.2.2. Ispitivanja prve probne mješavine

### 5.2.2.1. Ispitivanje svježeg betona

Nakon procesa izrade betona izmjerena je temperatura smjese od 25,6°C (slika 11).



Slika 11: Mjerenje temperature smjese probne mješavine

Ispitivanje svježeg betona slijeganjem provedena su tri puta u intervalima od 15 min. Prvo ispitivanje nije imalo pravilni oblik slijeganja (slika 12). Ostala dva ispitivanja imala su rezultat koji je iznosio oko 5 mm (slika 13).

Gustoća svježeg betona prve probne mješavine iznosi 715 kg/m<sup>3</sup>. Kako je cilj bio dobiti gustoću od približno 1200 kg/m<sup>3</sup> gustoća nije zadovoljila uvjete.





Slika 12: Prvo ispitivanje slijeganja



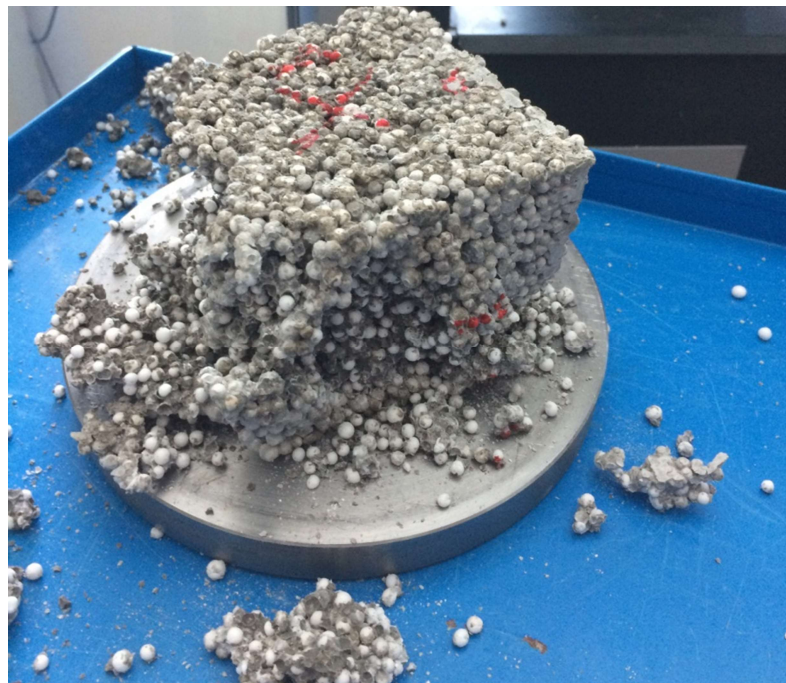
Slika 13: Drugo ispitivanje slijeganja



Slika 14: Određivanje gustoće svježeg betona uz pomoć normirane posude

#### **5.1.2.2. Ispitivanje očvrsnulog betona nakon 14 dana**

Nakon 14 dana ispitani su uzorci na tlačnu čvrstoću uz pomoć preše. Prilikom vađenja uzoraka iz kalupa moguće je primijetiti kako granule ekspaniranog polistirena međusobno nisu pravilno povezane i obavijene cementnom pastom (slika 15). Srednja vrijednost čvrstoće iznosila je samo 0,72 MPa.



Slika 15: Uzorak nakon ispitivanja

### **5.1.3. Zaključak prve probne mješavine**

Nakon provedenih ispitivanja ustanovilo se da beton nije imao ciljanu volumensku masu. Na temelju rezultata ispitivanja i oblika sloma uzoraka (slika 15), došlo se do zaključka da ova mješavina nije dobro ugrađena u kalupe. Dakle, potrebno je promijeniti način ugradnje i sami proces izrade betona kako bi se pokušala dobiti odgovarajuću volumnu masu.

### **5.2.1. Izrada druge probne mješavine**

Kod izrade druge probne mješavine receptura je ostala ista međutim izmijenjen je redoslijed miješanja sastojaka. Količina betona rađena je za tri kocke brida 200 mm i jednu kocku brida 150 mm. Beton je rađen u laboratorijskoj miješalici kapaciteta 150 l. Prvo je stavljen ekspanzirani polistiren i 2/3 ukupne količine vode s aditivom kako bi aditiv i voda obavili granule ekspaniranog polistirena (slika 16). Zatim su dodani ostali materijali (slika 17, 18) koji su se miješali dok se smjesa nije ujednačila (slika 19). Prilikom ugradnje betona u kalupe smjesa je kompaktirana laganim pritiscima drvenog nabijača.



Slika 16: EPS granule pomiješane s vodom i aditivom



Slika 17: EPS granule s pijeskom



Slika 18: Dodavanje cementa i ostatka vode



Slika 19: Izmiješana druga probna mješavina

## **5.2.2 Ispitivanje druge probne mješavine**

### **5.2.2.1. Ispitivanje svježeg betona**

Odmah nakon miješanja betona, izmjerena je temperatura smjese od 27°C. Ponovno je konzistencija svježeg betona ispitana metodom slijeganja. Svježa mješavina je sada zadržala oblik krnjeg stošca, odnosno uočen je pravilni oblik slijeganja (slika 20). Izmjerena vrijednost slijeganja je bila 0 mm. Gustoća druge mješavine iznosi 925 kg/m<sup>3</sup> što je 30 % više od prve probne mješavine međutim opet nije zadovoljen cilj od 1200 kg/m<sup>3</sup>.



Slika 20: Ispitivanje slijeganjem druge probne mješavine

#### **5.2.2.2. Ispitivanje očvrsnulog betona nakon 7 dana**

Prilikom raskalupljivanja uzoraka iz kalupa mogla se primijetiti puno bolja struktura betona u usporedbi s prvom probnom mješavinom (slika 21). Nakon ispitivanja tlačne čvrstoće uočen je slom uzorka sličan jkao i kod običnog betona (slika 22). Srednja vrijednost tlačne čvrstoće ispitana nakon 7 dana iznosi 2,6 MPa.



Slika 21: Uzorak nakon ispitivanja



Slika 22: Uzorak nakon ispitivanja

### ***5.2.3 Zaključak druge probne mješavine***

Izradom druge probne mješavine spoznat je način ugradnje i izrade betona kako bi se postigli puno bolji rezultati. Tlačna čvrstoća druge probne mješavine je za više od 3,5 puta veća od srednje vrijednosti prve probne mješavine. Sami uzorci druge probne mješavine vizualno su izgledali puno bolje od prve probne mješavine, odnosno veza EPS granula s cementnim kamenom bila je kvalitetnije izvedena.

## 6. Prava mješavina

Nakon izrade probnih mješavina te definiranja načina miješanja i ugradnje počela je izrada prave mješavine.

### 6.1. Izrada mješavine

Prilikom izrade prave mješavine na kojoj će se provoditi ispitivanja definiran je točan postupak miješanja betona te kojim procesom ga je potrebno ugraditi u kalupe. Ukupna količina pijeska povećana je u odnosu na drugu probnu mješavinu za 30.67 % dok je količina EPS granula smanjena za 8.33 %. Količine vode, cementa i aditiva ostale su jednake kao i kod prve i druge probne mješavine.

Beton je spravljan na jednaki način kao i kod druge probne mješavine. Prvo je zamiješan EPS, i 2/3 vode s aditivom. Zatim je mješavini dodan pijesak, cement i preostala 1/3 vode. Nakon par minuta miješanja dobivena je dobro povezanost betona (slika 23). Uzorci za ispitivanje svježeg i očvrslog betona su kompaktirani drvenim batom u odgovarajuće kalupe (slika 24 i slika 25).



Slika 23: Izmiješana prava mješavina





Slika 24: Kompaktiranje uzoraka drvenim batom



Slika 25: Uzorci prave mješavine

## 6.2. Ispitivanje svježeg betona prave mješavine

### 6.2.1. Rezultati ispitivanja metodom slijeganja

Prema očekivanju prilikom ispitivanja svježeg betona metodom slijeganja, tip slijeganja je bio pravilan i izmjerena je veličina slijeganja od 0 mm (slika 26)



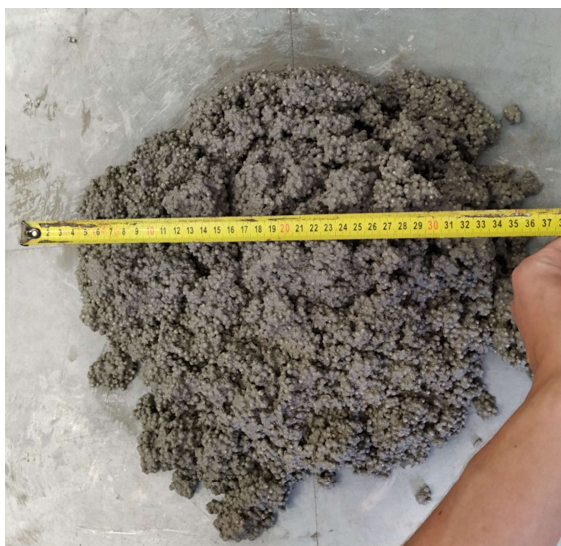
Slika 26: Slijeganje prave mješavine

### **6.2.2 Rezultat gustoće svježeg betona**

Ispitivanje gustoće svježeg betona je provedeno na uzorcima oblika kocke dimenzije 200 mm a gustoća je izračunata korištenjem izraza (1). Srednja vrijednost gustoće mješavine je  $1175.67 \text{ kg/m}^3$  čim je ispunjen zadan cilj

### **6.2.3. Rezultat metode rasprostiranja**

Ispitivanje metodom rasprostiranja dobiven je promjer od 38 cm (slika 27) što znači da beton spada u skupinu srednje obradivosti T2 .



Slika 27: Rasprostriranje EPS betona

### 6.3. Ispitivanje očvrsllog betona prave mješavine

#### 6.3.1. Rezultat gustoće očvrslulog betona

Srednja vrijednost gustoće očvrslulog betona iznosi 1168,43 kg/m<sup>3</sup> što je približno jednako ciljanoj gustoći od 1200 kg/m<sup>3</sup> (Tablica 2.).

Tablica 2: Rezultati gustoće očvrslulog betona

| Uzorak  | duljina stranice u mm |        |        | masa (kg) | gustoća kg/m <sup>3</sup> |
|---------|-----------------------|--------|--------|-----------|---------------------------|
|         | a                     | b      | c      |           |                           |
| ST1     | 200,52                | 202,45 | 200,49 | 9,5068    | 1168,1                    |
| ST2     | 202,36                | 200,51 | 200,61 | 9,5       | 1167,1                    |
| ST3     | 200,53                | 201,36 | 200,42 | 9,4692    | 1170,1                    |
| Ukupno: |                       |        |        |           | 1168,43 kg/m <sup>3</sup> |

#### 6.3.2. Rezultat tlačne čvrstoće

Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće provedeni na uzorcima kocke brida 200 mm su prikazani u tablici 3. Srednja vrijednost tlačne čvrstoće EPS betona iznosi 5,87 MPa, što je u odnosu na drugu probnu mješavinu približno dva puta veća čvrstoća.. Oblik sloma vizualno je jednak običnom betonu (slika 28).

Tablica 3: Rezultati tlačne čvrstoće

| Uzorak  | duljina stranice u mm |        |        | masa (kg) | Tlačna čvrstoća (MPa) |
|---------|-----------------------|--------|--------|-----------|-----------------------|
|         | a                     | b      | c      |           |                       |
| ST1     | 200,52                | 202,45 | 200,49 | 9,5068    | 6,03                  |
| ST2     | 202,36                | 200,51 | 200,61 | 9,5       | 5,87                  |
| ST3     | 200,53                | 201,36 | 200,42 | 9,4692    | 5,7                   |
| Ukupno: |                       |        |        |           | 5,87MPa               |



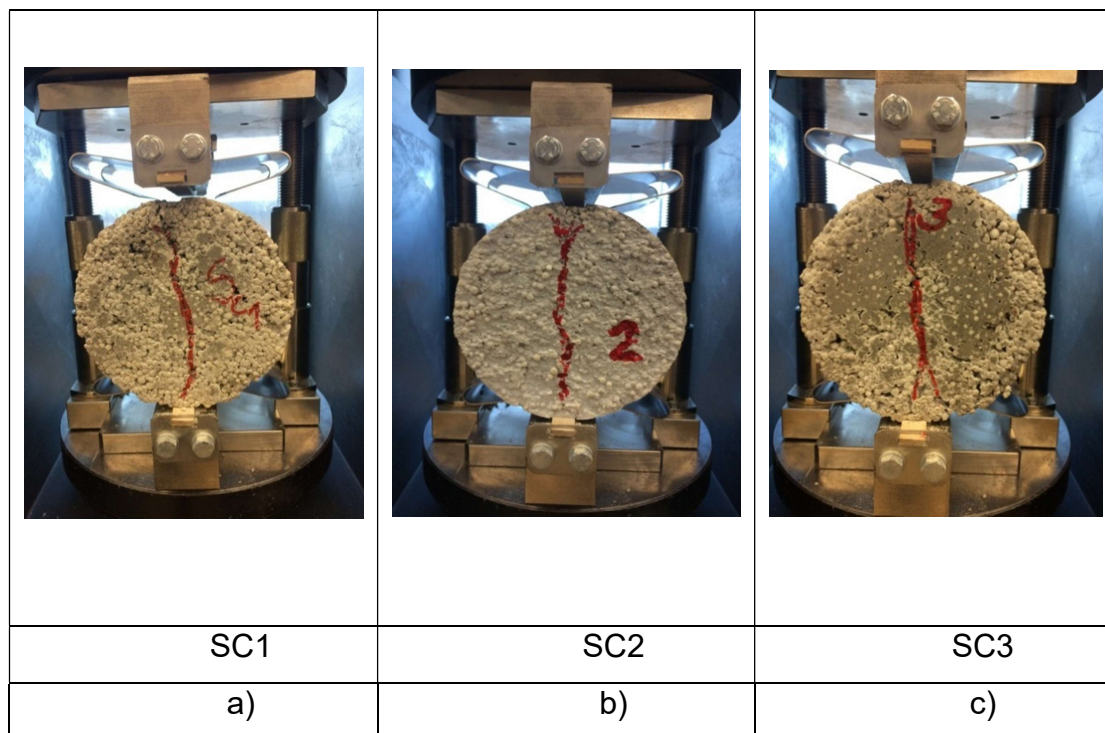
Slika 28: Oblik sloma uzroka ST3 na tlak

### **6.3.3. Rezultati čvrstoće cijepanjem**

Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće cijepanjem prikazani su u tablici 4. Čvrstoća cijepanjem je 8 puta manja od tlačne čvrstoće. Oblik sloma valjka od EPS betona jednak je obliku sloma običnog betona (slika 29).

Tablica 4: Rezultati čvrstoće cijepanjem

| Uzorak  | L (mm) | d (mm) | masa (kg) | Vlačna čvrstoća(Mpa) |
|---------|--------|--------|-----------|----------------------|
| SC1     | 301,3  | 150,1  | 6,27      | 0,66                 |
| SC2     | 300,8  | 150,1  | 6,304     | 0,73                 |
| SC3     | 302,5  | 150,1  | 6,28      | 0,73                 |
| Ukupno: |        |        |           | 0,71 MPa             |



Slika 29: Oblici sloma uzorka cijepanjem

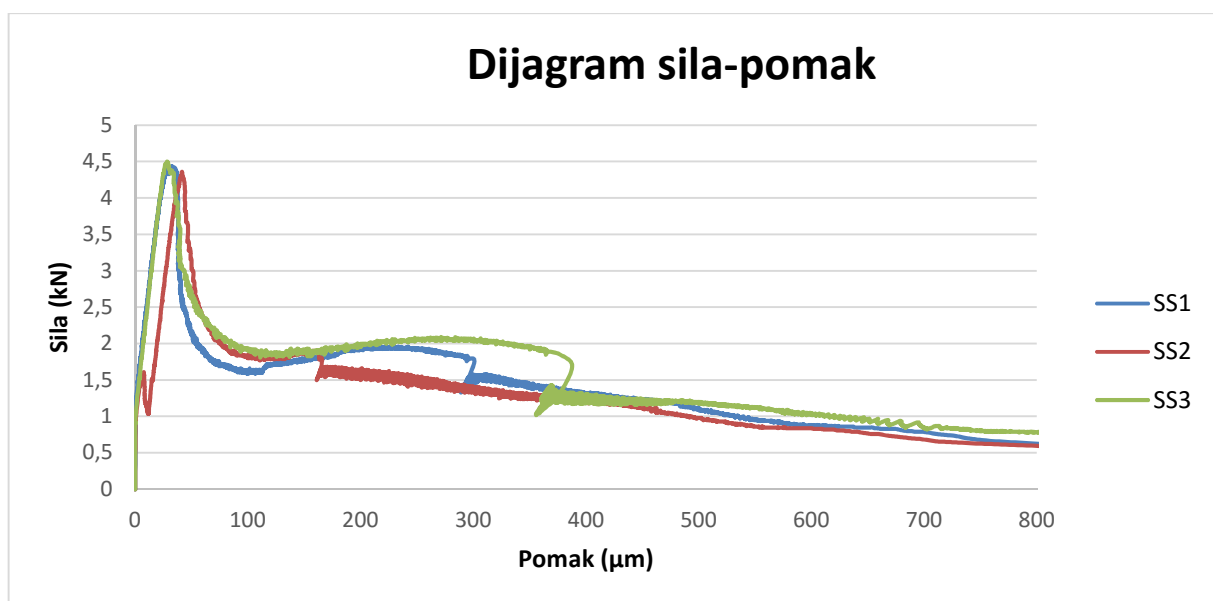
#### 6.3.4. Čvrstoća savijanjem kontrolom pomaka

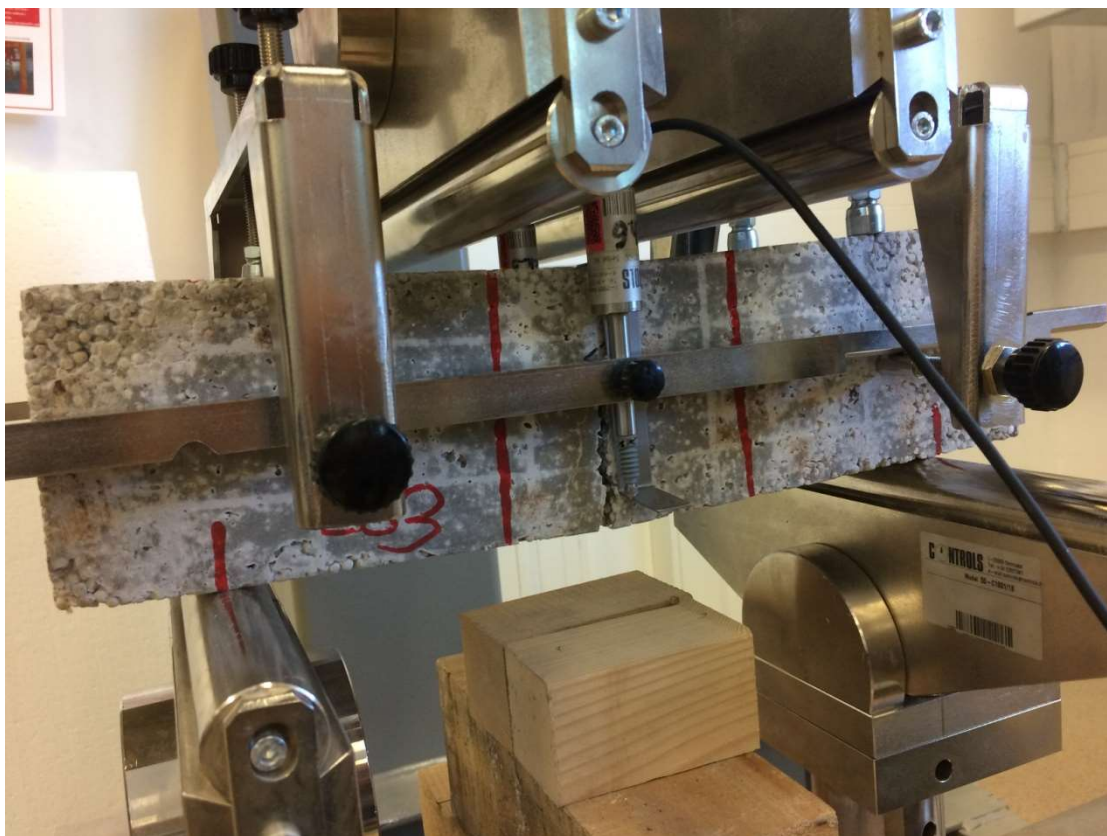
Rezultati ispitivanja pojedinačnih uzoraka zajedno sa srednjom vrijednošću su prikazani u Tablici 5. Srednja vrijednost maksimalne sile iznosi 4,423 kN, dok je srednja vrijednost čvrstoće na savijanje 1.327 MPa Na slici 30 prikazani su dijagrami sila-pomak na temelju kojih je vidljivo da prizme izrađene od EPS betona pokazuju puno duktilniji lom u odnosu na normalni beton.

Tablica 5: Rezultati ispitivanja na savijanje

| Uzorak             | Maksimalna sila (kN) | Čvrstoća savijanje (MPa) | na | Pomak ( $\mu\text{m}$ ) |
|--------------------|----------------------|--------------------------|----|-------------------------|
| SS1                | 4,42                 | 1,326                    |    | 28,855                  |
| SS2                | 4,36                 | 1,308                    |    | 41,515                  |
| SS3                | 4,49                 | 1,347                    |    | 28,915                  |
| Srednja vrijednost | 4,42                 | 1,327                    |    | 33,095                  |

Slika 30: Dijagram sila-pomak





Slika 31: Uzorak nakon ispitivanja



Slika 32: Oblici sloma uzorka

Oblik sloma uzorka nakon ispitivanja nalazi se u zoni kao i kod običnog betona, međutim i oblik površine sloma opet upućuje na duktilniji materijal (slika 31i slika 32).



### 6.3.5 Vodoupojnost betona

Uzorci su sušeni 6 dana u sušioniku pri temperaturi od 50°C , prikazano u tablici 6. Vodoupojnost uzorka prikazan u tablici 7 pokazuje količinu vode koju je uzorak upio u određenom vremenskom periodu. Vodoupojnost nema nikakav utjecaj na čvrstoću samog uzorka.

Tablica 6: Tablica sušenja uzorka

|            |            |            |            | masa<br>(g)   | masa<br>(g) | masa<br>(g) | masa<br>(g) | masa<br>(g) | masa<br>(g)   |              |
|------------|------------|------------|------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------|
| Uzora<br>k | a          | b          | c          | <b>3.ruj</b>  | 4.ruj       | 5.ruj       | 6.ruj       | 9.ruj       | <b>10.ruj</b> | Postota<br>k |
| Sv1        | 150,1      | 151,2<br>9 | 150,1<br>2 | <b>4025,3</b> | 3893,2      | 3832,9      | 3805        | 3744,4      | <b>3728,9</b> | 0,41%        |
| Sv2        | 151,7<br>4 | 149,9<br>6 | 149,9<br>6 | <b>4021,1</b> | 3892,9      | 3822,8      | 3792,7      | 3733,3      | <b>3715,7</b> | 0,47%        |
| Sv3        | 150,0<br>9 | 150,0<br>9 | 150,0<br>7 | <b>3961,7</b> | 3822,9      | 3761,5      | 3732,4      | 3670,2      | <b>3654,4</b> | 0,43%        |

Tablica 7: Tablica vodoupojnosti

| Uzorak | Težina suhog uzorka (g) | 15 min | 30 min | 45 min | 60 min | 120 min | 24 sata |
|--------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Sv1    | 3728,9                  | 91,7g  | 30,6g  | 23,6g  | 16,1g  | 33,6g   | 75,9g   |
| Sv2    | 3715,7                  | 91,2g  | 28,4g  | 24,3g  | 16,3g  | 37,3g   | 83 g    |
| Sv3    | 3654,4                  | 95g    | 28,3g  | 23,8g  | 15,8g  | 36,5g   | 83.3g   |

## 7. Rezultati svih ispitivanja

Pregled rezultati svih provedenih ispitivanja nalaze se u tablici 8. Ispitivanja koja nisu vršena na mješavinama označena su oznakom minus (-).

Tablica 8: Rezultati svih ispitivanja

| Mješavine              | Beton u svježem stanju       |                 |                  |                     | Beton u očvrslom stanju |                           |                             |                    |
|------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------|
|                        | Gustoća (kg/m <sup>3</sup> ) | Slijeganje (cm) | Temperatura (°C) | Rasprirošćenje (cm) | Tlačna čvrstoća (MPa)   | Čvrstoća cijepanjem (MPa) | Čvrstoća na savijanje (MPa) | Vodopropusnost (%) |
| Prva probna mješavina  | 715                          | 0,05            | 25,6             | -                   | 0,72                    | -                         | -                           | -                  |
| Druga probna mješavina | 917,45                       | 0               | 27               | -                   | 2,6                     | -                         | -                           | -                  |
| Prava mješavina        | 1175,67                      | 0               | 31,5             | 8                   | 5,87                    | 0,71                      | 1,327                       | 7,57               |

## 8. Zaključak

U radu je izrađen EPS beton čija volumenska masa iznosi  $1168,43 \text{ kg/m}^3$  što je približno jednako ciljanoj volumnoj masi od  $1200 \text{ kg/m}^3$ . Takva volumenska masa dobivena je promjenom recepture betona, gdje je povećana količina pijeska i smanjena količina EPS granula. Također, pravilnijim načinom ugradnje utjecalo se na povećanje volumenske mase. Beton u svježem stanju nije imao velika odstupanja a. Ispitivanje konzistencije slijeganjem pokazalo je da uzorak nema slijeganja. Metodom rasprostiranja dobili smo EPS beton kategorije T2.

Jedan od najbitnijih parametara očvrsnulog betona je tlačna čvrstoća koja se povećavala od prve probne mješavine do zadnje prave mješavine. Prva probna mješavina imala je tlačnu čvrstoću od  $0,72 \text{ MPa}$ , dok je s promijenjenim načinom ugradnje druga probna mješavina imala tlačnu čvrstoću od  $2,58 \text{ MPa}$ . Glavna mješavina imala je tlačnu čvrstoću od  $5,87 \text{ MPa}$ . Na temelju toga možemo zaključiti da porastom volumenske mase raste i tlačna čvrstoće EPS beton. Srednja vrijednost čvrstoće cijepanjem iznosila je  $0,71 \text{ MPa}$ , te je uzorak EPS betona imao oblik sloma kao i obični beton. Ispitivanje čvrstoće savijanjem kontrolom pomaka dobili smo srednju maksimalnu silu koja iznosi  $4,423 \text{ kN}$  dok je srednja vrijednost čvrstoće na savijanje  $1,327 \text{ MPa}$ . Oblik dijagrama sila-pomak dobiven prilikom ispitivanja pokazuje znatno veću duktilnost od običnog betona. Kapacitet vodoupojnosti EPS betona iznosi  $7,57 \%$ . Sama izrada EPS betona nije kompliciranija od izrade običnog betona. Prilikom dodavanja EPS granula treba paziti da se granule ne rasprše. Na temelju rezulta ispitivanja zaključujemo da se umiješani EPS beton može koristiti isključivo kao nekonstruktivni beton. Najbolja primjena bila bi u izolacijama krovova i podnih konstrukcija.

## 9.Literatura

- [1] PRO Gradnja, Povijest betona, <http://www.gradimo.hr/clanak/povijest-betona/37675> 11.8.2019.
- [2] Radmilo, Ivan, Laki beton, završni rad, Sveučilište u Splitu fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2014.
- [7] Kamenović, Stiropor-beton, <https://www.kemenovic.hr/sites/default/files/dokumenti/Stiropor%20beton.pdf>, 11.8.2019.
- [6] Magić, Marko, Proces proizvodnje EPS i kontrola kvalitete na primjeru Lim-monta d.o.o. iz Vrbovca, Sveučilište Sjever, 2016.
- [3] Štirmer N., Bjegović D., Teorija i tehnologija betona, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2015.
- [4] <http://www.clubedoconcreto.com.br/2016/03/gestao-de-aguas-pluviais-por-concreto.html> , 3.9.2019.
- [5] <https://www.webgradnja.hr/clanci/prednosti-pjenobetona/536/>, 3.9.2019
- [8] [http://www.rubigrad.hr/eps\\_beton.php](http://www.rubigrad.hr/eps_beton.php), 3.9.2019