

Analiza otpornosti procjednog betona na habanje

Tenčić, Dionora Leana

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:157:669669>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



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**

Dionora Leana Tenčić

**Analiza otpornosti procjdnog betona na habanje
(*Analysis of wearing resistance of pervious concrete*)**

Završni rad

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski stručni studij
Građevinski materijali**

**Dionora Leana Tenčić
JMBAG: 0114033177**

**Analiza otpornosti procjdnog betona na habanje
(*Analysis of wearing resistance of pervious concrete*)**

Završni rad

Rijeka, rujan 2022.

ZAVRŠNI/DIPLOMSKI ZADATAK

(ispunjava mentor, preuzima se u Referadi - mora biti ispisan na memorandumu
Fakulteta)

IZJAVA

Završni rad izradila sam samostalno, u suradnji s 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.

Dionora Leana Tenčić

U Rijeci, 11. rujna 2022.

Naslov rada: Analiza otpornosti procjednog betona na habanje

Student: Dionora Leana Tenčić

Mentor: izv. prof. dr. sc. Silvija Mrakovčić

Studij: Preddiplomski stručni studij

Kolegij: Građevinski materijali

Sažetak: Ovim radom izvršena je analiza otpornosti procjednog betona na habanje. Analiza je izvršena Bohme metodom. Analiza je vršena u laboratoriju Građevinskog fakulteta u Rijeci. Za analizu su pripremljene 4 mješavine različitih udjela agregata, cementa, aditiva te vlakana, iz kojih je dobiveno ukupno 12 uzoraka (kockica). Ovim radom analizirana su stanja područja drugih drugih istraživača koji su obrađivali istu temu. Rad detaljno razrađuje sastav procjednog betona, njegova svojstva i utjecaj sastojaka u mješavini na njegovu otpornost na habanje. Zaključak istraživanja upućuje na daljnje proširivanje područja uporabe ovog građevinskog materijala zbog njegovih brojnih pozitivnih svojstava.

Ključne riječi: procjedni beton, otpornost na habanje, Bohme test, beton armiran polimernim vlaknima

Abstract: This work analyzed the wearing resistance of pervious concrete. The analysis was performed using the Bohme method. The analysis was performed in the laboratory of the Faculty of Civil Engineering in Rijeka. For the analysis, 4 mixtures of different proportions of aggregates, cement, additives and fibers were prepared, from which a total of 12 samples (cubes) were obtained. This work analyzed the state of the field of other researchers who worked on the same topic. The paper elaborates in detail the composition of pervious concrete, its properties and the influence of the ingredients in the mixture on its wear resistance. The conclusion of the research points to the further expansion of the area of use of this construction material due to its numerous positive properties.

Keywords: pervious concrete, wearing resistance, Bohme test, polymer fiber reinforced concrete

Zahvaljujem mentorici izv. prof. dr. sc. Silviji Mrakovčić na pruženom znanju, strpljenju i potpori tijekom izrade ovog završnog rada. Također zahvaljujem tehničkom suradniku Dini Juriševiću na stručnim savjetima i pomoći tijekom izvođenja eksperimentalnog dijela rada u laboratoriju u sklopu Građevinskog fakulteta u Rijeci. Posebne zahvale mojoj obitelji koja mi je pružila veliku podršku tijekom studija.

SADRŽAJ:

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Popis tablica:..... | 3 |
| Popis slika: | 4 |
| 1.UVOD | 6 |
| 1.1. Općenito o betonu | 6 |
| 1.2. Procjedni beton | 6 |
| 2.SASTAV PROCJEDNOG BETONA | 8 |
| 2.1.Agregat | 8 |
| 2.2 Vezivo | 9 |
| 2.3 Voda | 11 |
| 2.4.Aditivi | 11 |
| 2.5 Vlakna | 12 |
| 3. PRIMJENA PROCJEDNOG BETONA | 14 |
| 3.1. Prednosti i nedostaci procjednog betona | 16 |
| 3.2. Proizvodnja, transport, ugradnja i njega procjednog betona | 18 |
| 4. STANJE PODRUČJA ISPITIVANJA OTPORNOSTI PROCJEDNOG BETONA NA HABANJE I ISPITIVANJE OTPORNOSTI MIKROARMIRANIH BETONA NA HABANJE | 21 |
| 4.1. Istraživanje „Pervious concrete pavements“ (Paul D. Tennis, Michael L. Leming, i David J. Akers) | 21 |
| 4.1.1. Svojstva očvrslulog betona | 22 |
| 4.1.2. Otpornost očvrslulog betona | 23 |
| 4.2. Istraživanje „Relation between Strength Properties (Flexural and Compressive) and Abrasion Resistance of Fiber (Steel and Polypropylene)-Reinforced Fly Ash Concrete“, (Cengiz Duran Atis, Okan Karahan, Kamuran Ari, Özlem Celik Sola i Cahit Bilim) | 24 |
| 4.2.1. Utjecaji letećeg pepela na Bohme površinsku abraziju..... | 24 |
| 4.2.2. Utjecaji polipropenskih vlakana na Bohme površinsku abraziju..... | 25 |
| 4.2.3. Utjecaji čeličnih vlakana na Bohme površinsku abraziju..... | 26 |
| 5. EKSPERIMENTALNI DIO RADA..... | 28 |
| 5.1. Priprema mješavine betona..... | 28 |
| 5.2. Ispitivanje gustoće svježeg betona..... | 33 |
| 5.3. Ispitivanje poroznosti svježeg betona | 34 |
| 5.4. Ispitivanje konzistencija svježeg betona slijeganjem | 36 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.5. Ispitivanje konzistencije betona metodom kuglice | 37 |
| 5.6. Ispitivanje otpornosti procjedinog betona na habanje | 37 |
| 6. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA | 41 |
| 6.1. Analiza utjecaja sadržaja šupljina u smjesi na otpornost na habanje..... | 42 |
| 6.2. Analiza utjecaja vlakana u smjesi na otpornost na habanje..... | 43 |
| 6.3. Analiza utjecaja aditiva u smjesi na otpornost na habanje..... | 44 |
| 7.ZAKLJUČAK | 45 |
| POPIS LITERATURE: | 46 |

Popis tablica

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablica 1: Uobičajene količine materijala u procjedinom betonu [2]..... | 8 |
| Tablica 2: Uobičajeni omjer* proporcija materijala u procjedinom betonu [10]..... | 21 |
| Tablica 3: Rezultati čvrstoće i habanja betona od letećeg pepela, [11]..... | 25 |
| Tablica 4: Rezultati čvrstoće i habanja betona ojačanog polipropilenskim vlaknima [11]... | 26 |
| Tablica 5: Rezultati čvrstoće i habanja betona ojačanog čeličnim vlaknima [11]..... | 27 |
| Tablica 6: Recepture za pripravu mješavina (izradio autor) | 28 |
| Tablica 7: Prikaz rezultata ispitivanja gustoće svježeg betona (izradio autor) | 33 |
| Tablica 8: Rezultati ispitivanja sadržaja šupljina u svježem betonu (izradio autor) | 35 |
| Tablica 9: Ispitivanje konzistencije svježeg betona slijeganjem (izradio autor)..... | 36 |
| Tablica 10: Mase uzoraka tokom ispitivanja (izradio autor)..... | 40 |
| Tablica 11: Mase uzoraka prije i nakon ispitivanja (izradio autor)..... | 41 |
| Tablica 12: Rezultati gubitaka mase prema uzorcima nakon ispitivanja (izradio autor).... | 43 |
| Tablica 13: Prisutnost aditiva i vlakana u smjesama (izradio autor)..... | 44 |

Popis slika

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1: Procjedni beton (izvor: vlastita fotografija)..... | 7 |
| Slika 2: Prikaz agregata (izvor: vlastita fotografija) | 9 |
| Slika 3: Veživo – cement (izvor: vlastita fotografija)..... | 10 |
| Slika 4: Ovisnost procjednog betona o sadržaju vode: a) nedostatak vode; b) odgovarajuća količina vode; c) previše vode (izvor: vlastita fotografija)..... | 11 |
| Slika 5: Prikaz aditiva – superplastifikatora (izvor: vlastita fotografija)..... | 12 |
| Slika 6: Polimerna (polipropilenska) mikrovlakna (izvor: vlastita fotografija)..... | 13 |
| Slika 7: Parkiralište ispred upravne zgrade Valamar d.d., Buići 750 m ² [5]..... | 14 |
| Slika 8: Pješačke staze u parku Pomerio, Rijeka (izvor: vlastita fotografija)..... | 15 |
| Slika 9: Dječje igralište na Gregovici, Pula 437 m ² [5] | 15 |
| Slika 10: Krvova plac, Labin (izvor: vlastita fotografija)..... | 16 |
| Slika 11: Procjedni beton od laganog agregata [6]..... | 17 |
| Slika 12: Utjecaj procjednog betona na okoliš [7]..... | 17 |
| Slika 13: Čišćenje procjednog betona [8]..... | 18 |
| Slika 14: Ugradnja procjednog betona [9]..... | 19 |
| Slika 15: Zbijanje betona čeličnim valjkom [9]..... | 20 |
| Slika 16: Njega betona nakon ugradnje [2]..... | 20 |
| Slika 17: Vaganje sastojaka (izvor: vlastita fotografija)..... | 29 |
| Slika 18.: Priprema kalupa (izvor: vlastita fotografija)..... | 30 |
| Slika 19: Miješanje agregata (izvor: vlastita fotografija)..... | 31 |
| Slika 20: Ručno ubacivanje mikro vlakana (izvor: vlastita fotografija)..... | 31 |
| Slika 21: Ugradnja betona u kalupe (izvor: vlastita fotografija)..... | 32 |
| Slika 22: Beton ugrađen u kalupe (izvor: vlastita fotografija)..... | 32 |
| Slika 23: Postupak ispitivanja sadržaja šupljina (izvor: vlastite fotografije)..... | 35 |
| Slika 24: a) Abrahamsov konus na ravnoj podlozi, b) Punjenje smjesom u 3 sloja, c) Poravnavanje gornje površine ravnjačom, d) Mjerenje slijeganja, (izvor: vlastite fotografije)..... | 36 |
| Slika 25: a) Ispitivanje konzistencije mješavine 1 metodom kuglice, b) Ispitivanje konzistencije mješavine 2 metodom kuglice, c) Ispitivanje konzistencije mješavine 3 metodom kuglice, d) Ispitivanje konzistencije mješavine 4 metodom kuglice (izvor: vlastite fotografije)..... | 37 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 26: a) Bohme uređaj za ispitivanje betona na habanje, b) Kocke za ispitivanje, c) Postavljanje uzorka na predviđeno mjesto, (izvor: vlastite fotografije)..... | 38 |
| Slika 27: Abrazivni pijesak, (izvor: vlastita fotografija)..... | 39 |
| Slika 28: a) vaganje uzorka prije ispitivanja, b) vaganje uzorka nakon ispitivanja, c) površina uzorka nakon ispitivanja, (izvor: vlastite fotografije)..... | 39 |
| Slika 29: Udio šupljina u procjednom betonu (izvor: izradio autor)..... | 42 |
| Slika 30: Gubitak mase u procesu habanja s dodatkom vlakana (izvor: izradio autor)..... | 43 |
| Slika 31: Gubitak mase u procesu habanja s dodatkom aditiva (izvor: izradio autor)..... | 44 |

1. UVOD

1.1. Općenito o betonu

Beton je smjesa veziva (najčešće cementa), agregata (pijesak, šljunak) i vode.

Od jednostavnih betona iz rimskih vremena, tehnologija betona se stalno razvijala i danas su na tržištu dostupne razne varijante ovog materijala.

Beton koji danas poznajemo i koristimo sastoji se od najmanje četiri komponente (cement, voda, mineralni agregat i zrak) te mu dodajemo pigmente, kemijske dodatke te armaturu.

Koristeći više od samo tri komponente dobivamo širok raspon kvalitete i karakteristika. Da bi dobili određena svojstva koristimo razne aditive, što proširuje područje uporabe ovog materijala.

1.2. Procjedni beton

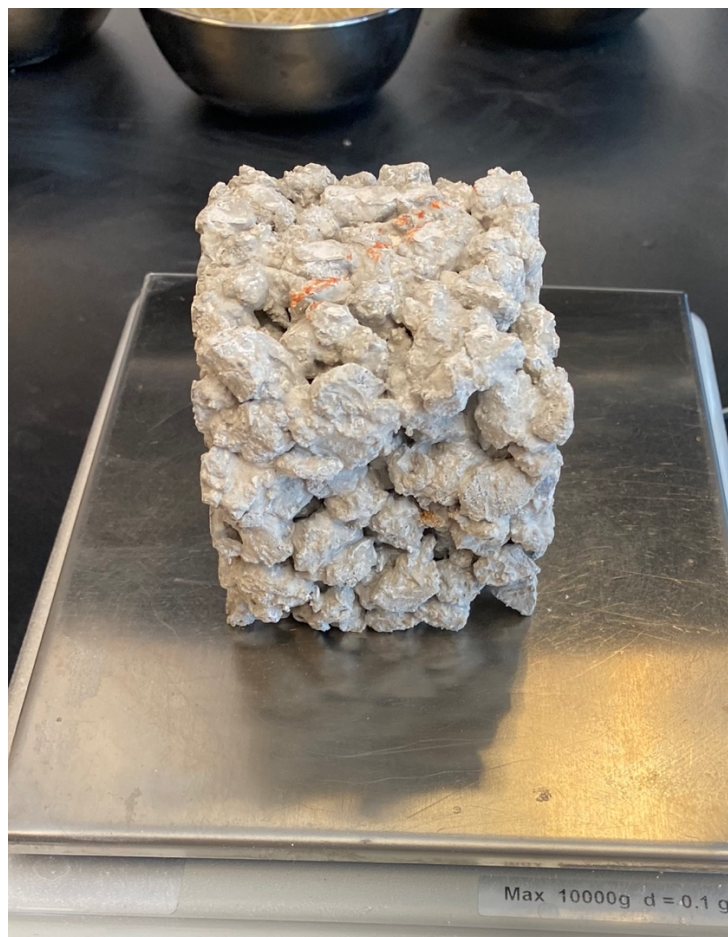
Procjedni beton (Slika 1) posebna je vrsta betona kojeg karakterizira visoka razina propusnosti i poroznosti. Sastoji se od mješavine cementa, krupnog agregata, sitnog agregata u maloj količini ili bez njega, te vode i aditiva. Kada se smanji količina korištenog sitnog agregata, u betonu se stvaraju velike šupljine te se na taj način omogućuje prohod vode kroz beton u podzemne slojeve.

U današnje vrijeme imamo veliku potražnju za održivim rješenjima, a procjedni beton pruža upravo to. Zbog velike naseljenosti u gradovima, imamo sve manji broj prirodnog tla te se ono sve više zamjenjuje nepropusnim površinama koje stvaraju problem kod nakupljanja oborinskih voda i stvaraju rizik od iznenadnih poplava. Da bi se taj problem spriječio koristi se procjedni beton. Glavna karakteristika ovog građevinskog materijala je vodopropusnost. Za razliku od konvencionalnog betona, smjesa sadrži malo ili nimalo pijeska, stvarajući značajan sadržaj šupljina, čak 15%-30% ukupnog volumena betona. Takva struktura dopušta upijanje i propuštanje vode, smanjenje buke, smanjuje rizik od poplave, a može služiti i za pročišćavanje oborinskih voda.

Vodu sa ravne površine propušta u donje slojeve te se voda nikada ne zadržava na površini. Na taj način možemo djelomično ili u potpunosti eliminirati sustav odvodnje. Ako je oborine potrebno sakupiti, procjedni beton omogućava uštedu pri izgradnji radi svog retencijskog

djelovanja. Kombinacijom različitih omjera komponenti dobivamo različite karakteristike za različite potrebe pri uporabi ovog betona.

Unatoč spomenutih prednosti, primjena procjdnog betona u hladnijim klimatskim uvjetima je ograničena zbog svoje niske vlačne čvrstoće, mogućnosti začepjenja te slabe otpornosti na smrzavanje i odmrzavanje. [1]



Slika 1: Procjdni beton (izvor: vlastita fotografija)

2. SASTAV PROCJEDNOG BETONA

Sastav procjedinog betona sličan je onome kod klasičnih betona, uz iznimku sitnog agregata. Najčešće se koriste Portland cementi ili miješani cementi uz mogući dodatak letećeg pepela, pucolana i sl. Prije ugradnje materijal je potrebno ispitati kako bi mu odredili svojstva poput brzine razvoja čvrstoće, poroznosti i propusnosti. Sastav količine materijala procjedinog betona prikazan je u Tablici 1.

Tablica 1: Uobičajene količine materijala u procjedinom betonu [2]

| Uobičajene količine materijala u procjedinom betonu za 1 m ³ | |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Cement (kg) | 267 do 326 |
| Agregat (kg) | 1190 do 1480 |
| Vodocementi omjer (kg) | v/c=0.27 do 0.36 |
| Sitni agregat (kg) | 0 do 297 |

2.1. Agregat

Krupni agregat procjedinog betona ima usku granulaciju. Za izradu procjedinog betona koristi se agregat frakcije 9,5 mm do 19 mm (Slika 2). Sitni agregat se u pravilu ne koristi, ali se u maloj količini može dodati kako bi poboljšao čvrstoću. Za pripravu procjedinog betona najčešće se koristi drobljeni šljunak, ali korištenjem riječnog šljunka postižu se veće čvrstoće.

Ovakvim se granulometrijskim sustavom ne mogu postići velike tlačne čvrstoće te one iznose od 2,8 do 28 MPa (Lencović i dr., 2016/2017).



Slika 2: Prikaz agregata (izvor: vlastita fotografija)

2.2. Vezivo

Najčešće vezivo u procjednom betonu je portland cement ili miješani cement (Slika 3). U njega se često dodaju dodaci poput letećeg pepela, pucolana, silicijske prašine i sl. Oblik zrna i njegova tekstura važna su svojstva agregata. Idealan oblik zrna agregata bio bi kugla jer ona daje minimalnu površinu zrna koju treba obaviti cementna pasta. Osim toga, kuglasti oblik pruža i najmanji otpor pri obradi betona pa bi beton s takvim agregatom imao jako dobru obradivost.

Što možemo dodati cementu kako bi poboljšali kvalitetu betona:

- Silicijska prašina – nusprodukt proizvodnje silikona. Sastoji se od finih sfernih čestica koje značajno povećavaju čvrstoću i trajnost betona. Silicijska prašina može zamijeniti cement u količinama od 5 – 12 %.

- Leteći pepeo – otpadni nusprodukt izgaranja ugljena u elektroenergetskim postrojenjima; nekad se odlagao, a sada se znatna količina koristi u cementu. Ovaj materijal se može koristiti za zamjenu 5 – 65 % Portland cementa.
- Troska visoke peći – otpadni nusprodukt proizvodnje čelika. Daje dodatnu čvrstoću i izdržljivost betonu, a može zamijeniti 20 – 70 % cementa u mješavini. [2]



Slika 3: Vezivo – cement (izvor: vlastita fotografija)

2.3. Voda

Procjedni beton zbog svog specifičnog sastava zahtjeva posebnu kontrolu pri proizvodnji. Važno je biti oprezan kod odabira vode za pripremu betona jer ona može sadržavati štetne tvari koje mogu utjecati na čvrstoću konačnog proizvoda, kao i na vrijeme vezivanja. U pravilu kažemo da je voda koju koristimo za piće dobra i za pripremu procjedinog betona. Uobičajeni vodocementi faktor kreće se u rasponu od 0,27 do 0,3. Posebno treba obratiti pažnju na količinu vode u smjesi. Na slici 4 prikazana je ovisnost procjedinog betona o sadržaju vode. [3]

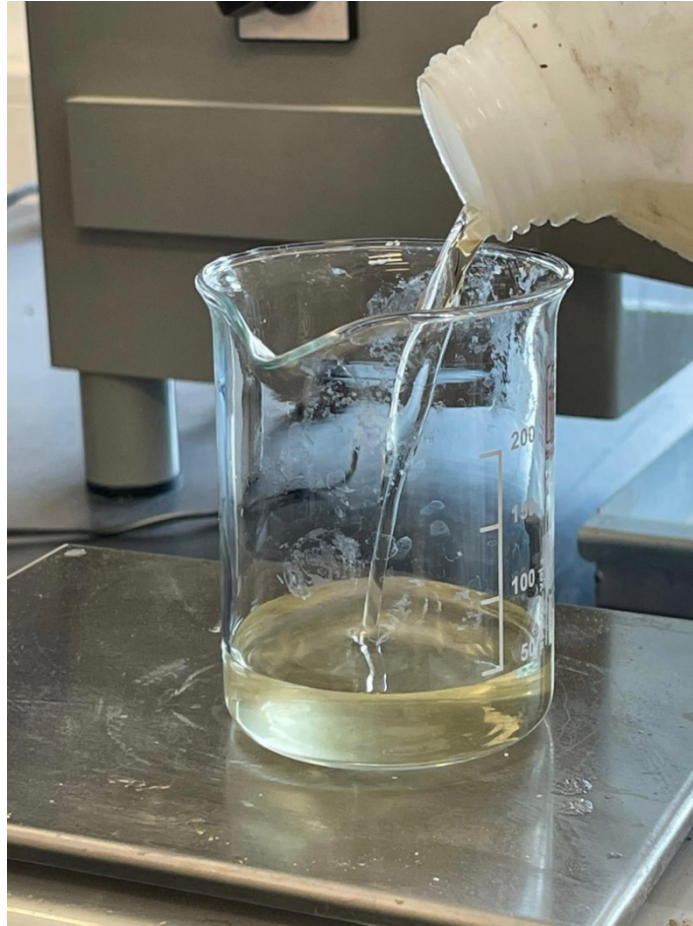


Slika 4: Ovisnost procjedinog betona o sadržaju vode: a) nedostatak vode; b) odgovarajuća količina vode; c) previše vode (izvor: vlastita fotografija)

2.4. Aditivi

Kemijski dodaci se koriste u propusnom betonu, kao i u konvencionalnom betonu za postizanje posebnih svojstava poput veće čvrstoće i poboljšanje obradljivosti (Slika 5). Zbog brzog vremena vezivanja povezanog s propusnim betonom, obično se koriste usporivači ili dodaci koji stabiliziraju hidrataciju.

Upotreba kemijskih dodataka treba strogo slijediti preporuke proizvođača.



Slika 5: Prikaz aditiva – superplastifikatora (izvor: vlastita fotografija)

2.5. Vlakna

Da bi poboljšali svojstva procjdnog betona često se koriste vlakna. Vlakna mogu biti čelična, polimerna, staklena i prirodna, a koristimo ih kako bi poboljšali njegova mehanička svojstva i trajnost.

Čelična vlakna su jedna od najčešće korištenih vlakana. Armiranje betona sa čeličnim vlaknima značajno poboljšava njegove mehaničke osobine. Kod procjdnog betona upotreba ovih vlakana može biti ograničena zbog izravnog kontakta s vodom.

Polimerna vlakna su podskup umjetnih vlakana koja se temelje na sintetičkim kemikalijama, a ne nastaju iz prirodnih materijala čistim fizikalnim procesom. Polimerna vlakna mogu biti polipropilenska (Slika 6), polietilenska, poliesterska i aramidna. Proizvode se u raznim oblicima: monofilamentna, fibrilna i makrovlakna. Glavna uloga polipropilenskih vlakana

je da utječu na povećanje vlačne čvrstoće betona opterećenog na savijanje ili cijepanje, sprječavaju nastanak mikropukotina u betonu i povećavaju otpornost na habanje. Monofilamentna vlakna koriste se kao zamjena za armaturu te u velikoj količini pruža armiranje u 3 smjera. Makrofilamentna vlakna u potpunosti zamijenjuju armaturnu mrežu, ali i čelična vlakna. Makrofilamentna vlakna kombinacija su polipropilena i polietilena zbog čega imaju sve tehničke i sigurnosne zahtjeve tradicionalne armature, te uz njih ne postoji rizik od korozije kao kod čeličnih armatura. Ova su vlakna valovitog oblika koji se utisne u beton te na taj način povećavaju njegovu čvrstoću. [3]

Vlakna imaju minimalan učinak na drenažna svojstva propusnog betona. Uz dodatak vlakana, učinkovitost poboljšanja čvrstoće općenito je veća s obzirom na vlačnu i savojnu čvrstoću u usporedbi s čvrstoćom na pritisak. [4]



Slika 6: Polimerna (polipropilenska) mikrovlakna (izvor: vlastita fotografija)

3. PRIMJENA PROCJEDNOG BETONA

Procjedni beton je najpogodniji za izradu slabije opterećenih površina poput parkirališta (Slika 7), pješačkih staza (Slika 8), biciklističkih staza, dječjih igrališta (Slika 9), kolničkih prilaza, trgova (Slika 10), kampova i sl.

Zbog svoje male čvrstoće na savijanje nije prikladan za više opterećene prometne površine, a mogu se pojaviti i oštećenja zbog smrzavanja vode u betonu koje bi dovele do pukotina.



Slika 7: Parkiralište ispred upravne zgrade Valamar d.d., Buići 750 m² [5]



Slika 8: Pješačke staze u parku Pomerio, Rijeka (izvor: vlastita fotografija)



Slika 9: Dječje igralište na Gregovici, Pula 437 m² [5]



Slika 10: Krvova placa, Labin (izvor: vlastita fotografija)

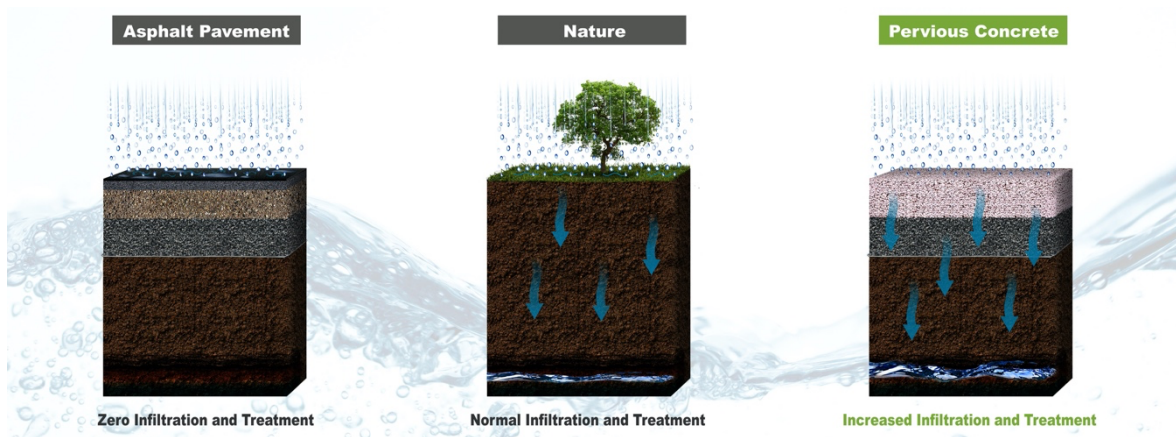
3.1. Prednosti i nedostaci procjedinog betona

Prednosti procjedinog betona:

- smanjuje se ili u potpunosti eliminira sustav za odvodnju
- smanjenje štetnog utjecaja oborinskih voda na ekosustav
- smanjenje buke i zagrijavanja
- olakšano pročišćavanje vode
- površina ostaje suha što sprječava opasnost od proklizavanja vozila (Slika 11, Slika 12)



Slika 11: Procjedni beton od laganog agregata [6]



Slika 12: Utjecaj procjedinog betona na okoliš [7]

Sastav procjedinog betona omogućuje veliku vodopropusnost. Na taj način omogućava da djelomično ili u potpunosti eliminiramo sustav odvodnje. Kod kolničkih objekata površine ostaju suhe te se povećava faktor trenja, na taj se način smanjuje opasnost od proklizavanja.

Nedostaci procjedinog betona:

- smanjena čvrstoća
- potrebno održavanje
- moguće zaleđivanje vode u šuplinama

Prosječna čvrstoća iznosi samo 20 -30 MPa što utječe na stabilnost i trajnost konstrukcije. Uz neredovito održavanje, šupljine betona mogu se začepiti te na taj način gubimo svojstvo vodopropusnosti. (Slika 13)



Slika 13: Čišćenje procjdnog betona [8]

3.2. Proizvodnja, transport, ugradnja i njega procjdnog betona

Procjdni beton zbog svog specifičnog sastava zahtjeva posebnu kontrolu pri proizvodnji. Treba se držati propisanog omjera agregata i cementa te količine vode. Bilo kakva odstupanja mogu rezultirati lošom kvalitetom betona. Postupak proizvodnje sličan je postupku kod klasičnih betona, ali radi svoje smanjene obradivosti zahtjeva ugradnju u puno kraćem roku. Potrebno ga je ugraditi u roku od sat vremena nakon prvog miješanja, a uz posebne dodatke može čekati do sat i pol.

Ako se beton priprema u betonari, transport se obično obavlja automiješalicom. Budući da je procjdni beton potrebno ugraditi brže od klasičnog betona, preferira se miješanje u miješalicama na gradilištu. U tom se slučaju koriste transportne trake ili kolica za transport po samom gradilištu.

Ugradnja procjdnog betona mora teći kontinuirano. Treba napomenuti da se ova vrsta betona ne može pumpati. Potrebno je brzo rasprostiranje i ravnjanje. Obično se koriste ručne ravnalice, a izbjegava se vibriranje betona kako bi izbjegli pretjerano zbijanje ili zatvaranje površinskog sloja, što rezultira blokiranjem šupljina. (Slika 14)

Nakon rasprostiranja beton se zbija čeličnim valjcima do predviđene visine. Zbog brzog stvrdnjavanja i visokog isparavanja zbijanje mora biti dovršeno 15 minuta od trenutka postavljanja. (Slika 15)

Kao i kod klasičnog betona, potrebna je njega nakon ugradnje. Najkasnije 20 minuta nakon zbijanja betona potrebno je površinu prekriti plastičnom folijom te ga ostaviti pokrivenim najmanje tjedan dana da bi se spriječilo isparavanje. (Slika 16)



Slika 14: Ugradnja procjdnog betona [9]



Slika 15: Zbijanje betona čeličnim valjkom [9]



Slika 16: Njega betona nakon ugradnje [2]

4. OPIS STANJA PODRUČJA

4.1. Istraživanje „Pervious concrete pavements“ (Paul D. Tennis, Michael L. Leming, i David J. Akers)

Paul D. Tennis, Michael L. Leming i David J. Akers analizirali su primjene procjedinog betona, njegova tehnička svojstva, uključujući ekološke prednosti, strukturna svojstva i trajnost.

Ovo se istraživanje temelji na uobičajenoj mješavini procjedinog betona (Tablica 2).

Tablica 2: Uobičajeni omjer* proporcija materijala u procjedinom betonu [10]

| Vrsta materijala | Raspon mase za m ³ betona |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Cement (kg) | 270 - 415 |
| Agregat (kg) | 1190 - 1480 |
| vodocementni omjer | 0,27-0,34 |
| omjer agregata i cementa | 4-4,5:1 |
| omjer sitnog i krupnog agregata | 0-1:1 |

*ovi omjeri su samo informativni i ovise o proizvođaču, uspješna mješavina ovisi o svojstvima pojedinih materijala koji se koriste, mješavina se mora testirati u probnim serijama kako bi utvrdili pravilni omjer

Kao i kod tradicionalnog betona, portland cementi (ASTM C 150, C 1157) i miješani cementi (ASTM C 595, C 1157) mogu se koristiti za izradu procjedinog betona. Mogu se koristiti i dodatni cementni materijali poput letećeg pepela i pucolana (ASTM C 618) i troske visoke peći (ASTM C 989). Strogo je preporučeno prethodno probno ispitivanje materijala kako bi se ustanovila svojstva koja mogu bitno utjecati na ponašanje betona (vrijeme stvrdnjivanja, brzina razvoja čvrstoće, poroznost i propusnost).

Količina sitnog agregata u procjedinom betonu je ograničena, a krupni agregat ima granulometrijsku krivulju koja zahvaća uže područje. Uobičajena veličina zrna uključuje ASTM C 33 br. 67 (19,0 do 4,75 mm), br.8 (9,5 do 2,36 mm) ili br. 89 (9,5 do 1,18 mm).

Može se koristiti i agregat veličine do 25 mm, ali se preferira korištenje agregata uže gradacije iz razloga što krupniji agregat rezultira hrapavijom površinom.

Koristi se vodocementi omjer između 0,27 do 0,30. Za razliku od klasičnog betona, odnos čvrstoće i vodocementnog omjera nije poznat za procjedni beton jer je njegov sadržaj paste manji od ukupnog sadržaja šupljina između agregata. Zaključeno je da jačanje paste ne mora uvijek rezultirati povećanjem čvrstoće. Sadržaj vode uvijek mora biti strogo kontroliran te ne smije otjecati s agregata. Provodi se ispitivanje metodom kuglice – formirana kuglica ne smije se raspasti ili izgubiti postotak šupljina.

Kao i kod klasičnog betona, koriste se aditivi za dobivanje željenih uvjeta. Zbog brzog vremena stvrdnjivanja obično se koriste usporivači ili dodaci koji stabiliziraju hidrataciju. Koriste se i aditivi za uvlačenje zraka koji mogu smanjiti štetu od smrzavanja i odmrzavanja. [10]

4.1.1. Svojstva očvrsnulog betona

Gustoća i poroznost

Gustoća propusnog betona ovisi o svojstvima i omjerima materijala te o postupcima zbijanja koji se koriste pri postavljanju. Uobičajena gustoća procjednog betona iznosi 1600 kg/m³ do 2000 kg/m³. Pločnik debljine 125 mm s 20% šupljina može pohraniti 25 mm dugotrajne kišne oluje u svojim prazninama.

Propusnost

Propusnost kroz procjedni beton ovisi o materijalima i načinima postavljanja. Uobičajene brzine protoka vode kroz propusni beton su 120 L/m²/min ili 0,2 cm/s do 320 L/m²/min ili 0,54 cm/s, s brzinama do 1700 L/m²/min, 1,2 cm/s.

Tlačna čvrstoća

Procjedne betonske smjese mogu doseći tlačnu čvrstoću od 3,5 MPa do 28 MPa, što je prikladno za širok raspon primjene. Tipična tlačna čvrstoća iznosi 17 MPa.

Čvrstoća na savijanje

Čvrstoća na savijanje u procjednog betona općenito se kreće između 1 MPa i 3,8 MPa.

Skupljanje

Skupljanje procjedinog betona znatno je manje nego kod klasičnog betona, ali se razvija u kraćem periodu. To svojstvo objašnjuje nizak sadržaj paste i morta u materijalu. Zbog ovog svojstva često dolazi do nepredviđenog pucanja procjedinog betona. [10]

4.1.2. *Otpornost očvrnulog betona*

Otpornost na smrzavanje i odmrzavanje

Pokazalo se da procjedni beton na terenu ovisi o razini zasićenosti šupljina u betonu u vrijeme smrzavanja. Kada su šupljine potpuno zasićene, potpuno smrzavanje može uzrokovati velika oštećenja u samo nekoliko ciklusa. Istraživanje je pokazalo da je uvučeni zrak u pastu drastično poboljšao zaštitu od smrzavanja i odmrzavanja za procjedni beton.

Otpornost na kemijske utjecaje

Štetne tvari koje nalazimo u vodi predstavljaju problem kod procjedinog betona kao i kod konvencionalnog betona. Međutim, procjedni beton je radi svoje otvorene strukture podložniji oštećenjima. Zaključeno je da se procjedni beton može koristiti u područjima tla s visokim sadržajem štetnih tvari samo ako je od njih izoliran.

Otpornost na habanje

Habanje ove vrste betona stvara brigu radi svoje hrapave površine i otvorene strukture. Iz tog razloga je primjena ove vrste betona ograničena. Na primjer, procjedni beton nije pogodan za izradu autocesta. Međutim, propusni beton omogućava da se snijeg brže topi, što zahtjeva manje čišćenja koje nepovoljno utječe na beton. Većina procjedinog betona će u prvih nekoliko tjedana imati nekolicinu rastresenog agregata na površini nakon propuštanja prometa. Nakon nekoliko tjedana stopa površinskog habanja se znatno smanjuje te kolnik postaje mnogo stabilniji. Odgovarajuće tehnike zbijanja i stvrdnjivanja smanjuju pojavu površinskog habanja procjedinog betona. [10]

Zaključcima istraživanja se potiče korištenje procjedinog betona zbog brojnih prednosti, posebice ekoloških, te se potiče daljnja uporaba procjedinog betona uz odgovarajuće tehnike ugradnje. Korištenjem provjerenih odgovarajućih omjera za izradu mješavine procjedinog

betona poboljšavaju se njegova svojstva te se ona mogu prilagoditi svrsi primjene. Uz odgovarajuću tehniku zbijanja i stvrdnjivanja betona može se smanjiti pojava površinskog habanja te proširiti njegova upotreba.

4.2. Istraživanje „Relation between Strength Properties (Flexural and Compressive) and Abrasion Resistance of Fiber (Steel and Polypropylene)-Reinforced Fly Ash Concrete“, (Cengiz Duran Atis, Okan Karahan, Kamuran Ari, Özlem Celik Sola i Cahit Bilim)

U ovom se istraživanju ispituje utjecaj upotrebe letećeg pepela, polipropenskih i čeličnih vlakana u betonu na otpornost na habanje. Pripremljeno je sedam betonskih mješavina koje sadrže 0, 10, 15, 20, 25, 30 i 45% letećeg pepela kao zamjenu za cement. Drugih sedam betonskih mješavina pripremljeno je sa portland cementom ojačanim vlaknima, koje sadrže 0,25, 0,5, 1 i 1,15 % čeličnih vlakana i 0,05, 0,1 i 0,2 % polipropenskih vlakana. Ovih sedam betonskih mješavina portland cementa ojačanih vlaknima bile su modificirane zamjenom cementa s 15 i 30 % letećeg pepela. Vodocementni omjer održavan je na 0,35 za sve betonske mješavine. [11]

4.2.1. Utjecaji letećeg pepela na Bohme površinsku abraziju

Rezultati utjecaja letećeg pepela na tlačnu čvrstoću, vlačnu čvrstoću na savijanje i otpornost na habanje po Bohme ispitivanju prikazani su u tablici 3. Vidljivo je da se habanje betona koji sadrži leteći pepeo povećava kako raste zamjena letećim pepelom. Zaključeno je da se povećanjem sadržaja letećeg pepela smanjuje čvrstoća betona. Poznato je da veća čvrstoća betona rezultira boljom otpornošću na habanje. [11]

Tablica 3: Rezultati čvrstoće i habanja betona od letećeg pepela, [11]

| Rezultati čvrstoće i habanja betona od letećeg pepela | | | |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Oznaka mješavine | Tlačna čvrstoća (MPa) | Čvrstoća na savijanje (MPa) | Otpornost na habanje po Bohme (cm ³ /50 cm ²) |
| FA 00 | 77.10 | 7.82 | 5.09 |
| FA 10 | 72.70 | 7.38 | 5.40 |
| FA 15 | 67.80 | 6.71 | 5.85 |
| FA 20 | 65.60 | 6.51 | 6.00 |
| FA 25 | 65.60 | 6.11 | 6.44 |
| FA 30 | 63.60 | 5.89 | 6.58 |
| FA 45 | 55.80 | 5.50 | 7.08 |

4.2.2. Utjecaji polipropenskih vlakana na Bohme površinsku abraziju

Rezultati mjerenja tlačne čvrstoće, vlačne čvrstoće na savijanje i Bohme površinske abrazije za beton koji sadrži polipropenska vlakna sa i bez letećeg pepela prikazani su u tablici 4. Pokazalo se da dodavanje polipropenskih vlakana u portland cementni beton ili beton od letećeg pepela nije pokazao značajan utjecaj na svojstvo abrazije i čvrstoće. [11]

Tablica 4: Rezultati čvrstoće i habanja betona ojačanog polipropilenskim vlaknima [11]

| Rezultati čvrstoće i habanja betona ojačanog polipropilenskim vlaknima | | | |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Oznaka mješavine | Tlačna čvrstoća (MPa) | Čvrstoća na savijanje (MPa) | Otpornost na habanje po Bohme (cm ³ /50 cm ²) |
| A1 | 77.10 | 7.82 | 5.09 |
| A2 | 81.60 | 7.89 | 5.07 |
| A3 | 72.90 | 7.61 | 5.14 |
| A4 | 73.90 | 7.53 | 5.19 |
| B1 | 67.80 | 6.71 | 5.85 |
| B2 | 70.90 | 6.77 | 5.81 |
| B3 | 66.30 | 6.69 | 5.89 |
| B4 | 63.50 | 6.43 | 6.06 |
| C1 | 63.60 | 5.89 | 6.58 |
| C2 | 58.80 | 5.88 | 6.40 |
| C3 | 62.10 | 5.81 | 6.40 |
| C4 | 60.70 | 5.70 | 6.80 |

4.2.3. Utjecaji čeličnih vlakana na Bohme površinsku abraziju

Rezultati mjerenja tlačne čvrstoće, vlačne čvrstoće na savijanje i Bohme površinske abrazije za beton koji sadrži polipropenska vlakna sa i bez letećeg pepela prikazani su u tablici 5. U tablici se vidi da mješavine napravljene sa ili bez letećeg pepela te s dodatkom čeličnih vlakana imaju veću otpornost na habanje od onih u drugoj kontroli bez čeličnih vlakana. Zaključeno je da se povećanjem volumena čeličnih vlakana povećava otpornost na abraziju. [11]

Tablica 5: Rezultati čvrstoće i habanja betona ojačanog čeličnim vlaknima [11]

| Rezultati čvrstoće i habanja betona ojačanog čeličnim vlaknima | | | |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Oznaka mješavine | Tlačna čvrstoća (MPa) | Čvrstoća na savijanje (MPa) | Otpornost na habanje po Bohme (cm ³ /50 cm ²) |
| A1 | 77.10 | 7.82 | 5.09 |
| A5 | 79.40 | 7.38 | 4.75 |
| A6 | 78.20 | 7.37 | 4.71 |
| A7 | 80.50 | 8.24 | 3.81 |
| A8 | 81.00 | 10.14 | 3.59 |
| B1 | 67.80 | 6.71 | 5.85 |
| B5 | 69.40 | 6.76 | 4.82 |
| B6 | 68.30 | 6.96 | 4.73 |
| B7 | 71.70 | 7.62 | 4.13 |
| B8 | 72.70 | 9.07 | 4.08 |
| C1 | 63.60 | 5.89 | 6.58 |
| C5 | 61.80 | 6.08 | 5.34 |
| C6 | 64.40 | 6.53 | 5.16 |
| C7 | 65.00 | 6.45 | 4.89 |
| C8 | 60.70 | 8.69 | 4.78 |

Rezultati laboratorijskih istraživanja pokazali su da je zamjena letećeg pepela cementom smanjila otpornost na abraziju betona, međutim, dodavanjem čeličnih vlakana poboljšana je otpornost betona na habanje. Korištenje polipropenskih vlakana nije utjecalo na otpornost na habanje. Pokazalo se da postoji jača veza između abrazije i vlačne čvrstoće na savijanje nego između abrazije i tlačne čvrstoće betona koji sadrži leteći pepeo ili vlakna ili oboje. [11]

5. EKSPERIMENTALNI DIO RADA

5.1. Priprema mješavine betona

Za izradu mješavine korištene su četiri različite recepture čiji je sastav prikazan u Tablici 6. Na svježem betonu provedena su ispitivanja gustoće svježeg betona, poroznosti svježeg betona te konzistencije svježeg betona slijeganjem i metodom kuglice. Sva ispitivanja i izrada betonskih mješavina provedena su u Laboratoriju za materijale na Građevinskom fakultetu u Rijeci.

Tablica 6: Recepture za pripravu mješavina (izradio autor)

| SASTAV MJEŠAVINA | | | | | | |
|---------------------|------------------------------|----------------|--------------|-----------------|---------------------------------|---------------------|
| OZNAKA MJEŠAVINE | VELIČINA AGREGATA [kg] | CEMENT [kg] | VODA [kg] | AGREGAT [kg] | SUPER- PLASTIFIKATOR [kg] | MF VLAKNA [%] |
| Mješavina 1 | 0-4 8-16 | 334 | 118 | 156 1356 | 1 | / |
| Mješavina 2 | 0-4 8-16 | 334 | 118 | 156 1356 | 1 | 0,2 |
| Mješavina 3 | 0-4 8-16 | 350 | 122,5 | 148 1333 | / | / |
| Mješavina 4 | 0-4 8-16 | 350 | 122,5 | 148 1333 | / | 0,2 |

Za pripremu mješavine betona najprije su pripremljeni svi potrebni alati:

- vage
- posude za vaganje
- lopatice
- materijal
- štopericu
- Abrahamsov konus, ravnjaču i metalnu šipku
- posudu od 5 l
- posudu od 7 l
- metar
- Proctor čekić

Priprema mješavine započela je vaganjem svih potrebnih sastojaka (Slika 17). U miješalici su najprije dodani suhi sastojci – krupni agregat, pijesak i cement. Suhi sastojci su miješani 1 minutu, nakon čega je dodana voda ili voda s aditivom. Smjesu miješamo 3 minute ili 6 minuta sa ručnim dodavanjem vlakana. Prije izrade mješavine smo također pripremili kalupe i namazali ih strojnim uljem kako bi kasnije lakše izvadili uzorke (Slika 18).



Slika 17: Vaganje sastojaka (izvor: vlastita fotografija)



Slika 18: Priprema kalupa (izvor: vlastita fotografija)

Izrada svih mješavina provođena je na isti način. Za miješanje je korištena prisilna miješalica u kojoj se lopatice vrte oko vertikalne osi. U miješalicu je najprije dodan sav suhi agregat. Najprije se ubacuje krupni agregat, zatim pijesak i na kraju cement.

Takva suha smjesa se miješa 1 minutu. Nakon toga se u mješavinu dodaje voda s aditivom i nastavlja se miješanje još 3 minute. (Slika 19) Kod receptura u koje idu mikro vlakna, miješa se 6 minuta te se ručno ubacuju vlakna kroz otvor na vrhu. (Slika 20)



Slika 19: Miješanje agregata (izvor: vlastita fotografija)



Slika 20: Ručno ubacivanje mikro vlakana (izvor: vlastita fotografija)

Nakon završetka miješanja beton je ugrađen u prethodno nauljene kalupe. Beton je ugrađen u kalupe dimenzija 70 x 70 x 70 mm - 4 uzorka. Beton je ugrađen u dva sloja koristeći lopaticu, te je svaki sloj udaran metalnom šipkom 15 puta (Slika 21). Pri ugradnji nisu korištene nikakve vibronabijače. Nakon ugradnje kalupi su posloženi te je naznačeno u kojem se nalazi koja smjesa te ih se ostavlja da se suše. Nakon 24h beton je dovoljno očvrstnuo i spreman za raskalupljivanje. Na slici 22 prikazan je beton ugrađen u kalupe.



Slika 21: Ugradnja betona u kalupe (izvor: vlastita fotografija)



Slika 22: Beton ugrađen u kalupe (izvor: vlastita fotografija)

5.2. Ispitivanje gustoće svježeg betona

Ispitivanje gustoće svježeg procjedinog betona provedeno je sukladno normi HRN EN 12350-6. Za određivanje gustoće korištena je posuda volumena 7 litara, metalna šipka, te vaga za mjerenje mase preciznosti 0,01 kg.

Ispitivanje je provedeno tako da se smjesa betona puni se u 3 sloja te se svaki sloj udara metalnom šipkom 20 puta. Kada je posuda napunjena do vrha i svi slojevi su zbijeni, površina se izravna pomoću metalne ravnjače. Zatim se posuda važe te se bilježi dobivena vrijednost. U tablici 7 prikazani su rezultati ispitivanja gustoće svježeg betona.

Gustoća je računata po slijedećem izrazu (5.2):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5.2)$$

gdje je:

ρ – gustoća svježeg betona [kg/m³]

m – masa betona u posudi [kg]

V – volumen posude [m³]

Tablica 7: Prikaz rezultata ispitivanja gustoće svježeg betona (izradio autor)

| GUSTOĆA SVJEŽEG BETONA | | |
|----------------------------|------------------|---------------------------------------------|
| oznaka mješavine | masa betona (kg) | gustoća svježeg betona (kg/m ³) |
| 1 | 13,30 | 1899,29 |
| 2 | 12,94 | 1848,57 |
| 3 | 12,77 | 1824,29 |
| 4 | 13,17 | 1881,43 |
| vrijednost srednje gustoće | | 1863,40 |

5.3. Ispitivanje poroznosti svježeg betona

Poroznost se ispituje sukladno normi ASTM C 1688-08 (Standard test method for density and void content of freshly mixed pervious concrete).

Za ispitivanje sadržaja šupljina u svježem betonu koristi se posuda volumena 7 litara i Proctor čekić. U prethodno navlaženu posudu stavlja se beton u dva sloja. Svaki sloj se nabija s 20 udaraca koristeći Proctor čekić kojemu visina padanja iznosi 305 mm. Gornji sloj je bilo potrebno napuniti preko ruba posude kako bi nakon nabijanja bio 3 mm preko ruba posude.

Nakon toga beton je ponovno zbijan 10 puta. Ponovno dodajemo beton i ponavljamo dok gornji sloj ne viri preko ruba posude. Nakon toga je odstranjen višak pomoću metalne ravnjače. Nakon toga je posuda s betonom izvagana i zabilježena je vrijednost koju pokazuje vaga. (Slika 23)

U tablici 8 prikazani su rezultati ispitivanja sadržaja šupljina u svježem betonu.

Sadržaj šupljina betona računat je po slijedećem izrazu (5.3):

$$U = \frac{T - r}{T} \times 100\% \quad (5.3)$$

Gdje je:

U – sadržaj šupljina u svježem procjedinom betonu (%)

T – teoretska gustoća svježeg procjedinog betona (kg/m³)

ρ – gustoća svježeg procjedinog betona (kg/m³)



Slika 23: Postupak ispitivanja sadržaja šupljina (izvor: vlastite fotografije)

Tablica 8: Rezultati ispitivanja sadržaja šupljina u svježem betonu (izradio autor)

| SADRŽAJ ŠUPLJINA U SVJEŽEM BETONU | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| oznaka mješavine | srednja masa betona u posudi volumena 7l (kg) | gustoća svježeg betona (kg/m ³) | teoretska gustoća svježeg betona (kg/m ³) | sadržaj šupljina u svježem betonu (%) |
| 1 | 14,28 | 2040,00 | 2497,14 | 18,31 |
| 2 | 13,35 | 1907,14 | 2495,88 | 23,59 |
| 3 | 14,29 | 2041,43 | 2493,62 | 18,13 |
| 4 | 13,38 | 1911,43 | 2489,18 | 23,21 |

5.4. Ispitivanje konzistencije svježeg betona slijeganjem

Kako bi ispitali konzistenciju betona korišten je Abrahamsov konus, ravnjača i metalna šipka. Navlažen konus postavljen je na ravnu podlogu prethodno namazanu strojnim uljem. Konus je potrebno čvrsto držati pritisnut na podlogu kako se nebi pomicao tokom punjenja. Konus se puni u tri sloja. Svaki sloj je zbijen metalnom šipkom s 25 udaraca. Nakon zbijanja svih slojeva dodano je smjese do vrha konusa. Gornja površina je izravnana uz pomoć ravnjače. Kalup se zatim pažljivo podiže prema gore kako nebi srušili smjesu betona. Neposredno nakon uklanjanja kalupa izmjerena je razlika između visine kalupa i najviše točke slegnutog uzorka. (Slika 24) Postupak je jednak za sve 4 mješavine te su rezultati prikazani u tablici 9. Nakon izvedenog ispitivanja zaključili smo da se najviše slegnula mješavina 3 u iznosu manjem od 1 cm. Mješavina broj 4 nije se uopće slegnula što nam govori da je najčvršće konzistencije.



Slika 24: a) Abrahamsov konus na ravnoj podlozi, b) Punjenje smjesom u 3 sloja, c) Poravnavanje gornje površine ravnjačom, d) Mjerenje slijeganja, (izvor: vlastite fotografije)

Tablica 9: Ispitivanje konzistencije svježeg betona slijeganjem (izradio autor)

| ISPITIVANJE KONZISTENCIJE SVJEŽEG BETONA SLIJEGANJEM | |
|------------------------------------------------------|-----------------|
| oznaka mješavine | slijeganje (cm) |
| mješavina 1 | 0 |
| mješavina 2 | 0 |
| mješavina 3 | 1 |
| mješavina 4 | 0 |

5.5. Ispitivanje konzistencije betona metodom kuglice

Nakon izrade svake mješavine, ispitivali smo konzistenciju tako da smo od smjese napravili kuglicu. Cilj ispitivanja je formirati kuglicu koja se neće raspasti ili izgubiti svojstvo poroznosti tijekom procesa ulijevanja paste u šupljine između agregata. Na slici 25 možemo vidjeti da su sve 4 smjese zadržale svoj oblik što pokazuje da beton ima zadovoljavajuću obradljivost.



Slika 25: a) Ispitivanje konzistencije mješavine 1 metodom kuglice, b) Ispitivanje konzistencije mješavine 2 metodom kuglice, c) Ispitivanje konzistencije mješavine 3 metodom kuglice, d) Ispitivanje konzistencije mješavine 4 metodom kuglice (izvor: vlastite fotografije)

5.6. Ispitivanje otpornosti procjedinog betona na habanje

Habanje je neizbježna pojava svake prometne površine. Na habanje najveći utjecaj ima čvrstoća betona – što je veća čvrstoća to je veća otpornost na habanje.

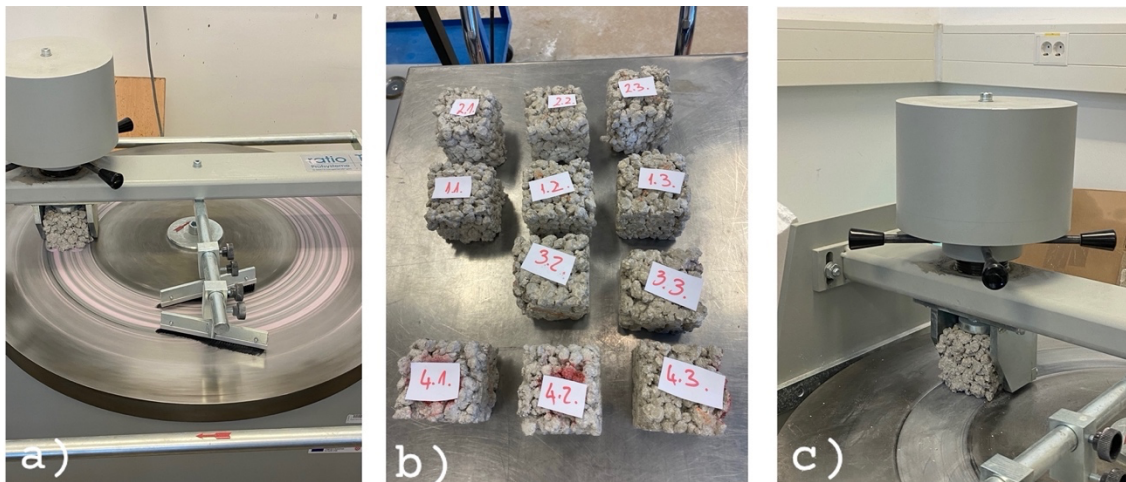
Habanje betona ovisi i o sadržaju i čvrstoći cementa, vrsti i granulometrijskom sastavu agregata i vodocementnom faktoru.

Otpornost betona na habanje možemo povećati dodavanjem vlakana u mješavinu.

Za ispitivanje otpornosti na habanje koristili smo Böhme uređaj (Slika 26,a)). Ispitivanje se provodilo brušenjem uzorka pomoću abrazivnog pijeska na rotirajućoj brusnoj ploči. Učinak abrazije se mjeri kao gubitak debljine ili volumena uzorka. Nakon određenog broja ciklusa okretanja brusne ploče bilježena je se razlika debljine uzoraka i ispituje se masa uzorka.

Ispitivanje se provodilo na kockama približne dužine brida $71 \pm 1,5$ mm (Slika 26,b)). Uzorci betona prethodno su odležali u vodi 28 dana, a nakon vađenja iz vode sušeni su u pećnici na 105 °C. Sušenje se provodilo u periodu od 24 sata. Prije svakog ispitivanja kocke su vagane. Rezultati su zapisani u tablicu radi usporedbe sa težinom nakon ispitivanja na habanje. Uzorak je postavljen u za to predviđen utor (Slika 26,c)), te se po brusnoj ploči ravnomjerno rasporedilo 20 g abrazivnog pijeska (Slika 27).

Ispitivanje svakog uzorka se sastoji od 4 ciklusa od kojih svako traje 16 okretaja. Uzorci su nakon svakog ciklusa okrenuti za 90° po vertikalnoj osi uz novo nasipavanje pijeska te su nakon svakog ciklusa vagani. Nakon izvršenog ispitivanja svih uzoraka kocke su ponovno izvagane., rezultati su prikazani u tablici 10. Na slici 28 prikazao je vaganje mase uzorka prije i poslije ispitivanja te izgled površine uzorka nakon izvršenog ispitivanja.



Slika 26: a) Bohme uređaj za ispitivanje betona na habanje, b) Kocke za ispitivanje, c) Postavljanje uzorka na predviđeno mjesto, (izvor: vlastite fotografije)



Slika 27: Abrazivni pijesak, (izvor: vlastita fotografija)



Slika 28: a) vaganje uzorka prije ispitivanja, b) vaganje uzorka nakon ispitivanja, c) površina uzorka nakon ispitivanja, (izvor: vlastite fotografije)

Tablica 10: Mase uzoraka tokom ispitivanja (izradio autor)

| | Masa uzoraka prije ispitivanja (g) | Masa uzoraka nakon 1. ciklusa (g) | Masa uzoraka nakon 2. ciklusa (g) | Masa uzoraka nakon 3. ciklusa (g) | Masa uzoraka nakon ispitivanja (g) | Razlika u masi prije i nakon ispitivanja (g) |
|----------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|
| Smjesa 1 | 592 | 587,2 | 582,6 | 579,5 | 572,7 | 19,3 |
| | 629,3 | 623,4 | 618,1 | 613,6 | 611,2 | 18,1 |
| | 660 | 656,1 | 652,4 | 646,6 | 642,3 | 17,7 |
| Smjesa 2 | 562,7 | 559,4 | 552,3 | 545,2 | 538,8 | 23,9 |
| | 515,9 | 510,7 | 505,5 | 502,6 | 497,2 | 18,7 |
| | 589,9 | 585,4 | 578,6 | 575,8 | 569,3 | 20,6 |
| Smjesa 3 | 606,1 | 605,2 | 603,2 | 601,4 | 598,1 | 7,9 |
| | 671,6 | 670,1 | 667,5 | 665,9 | 663,8 | 7,8 |
| | 603,3 | 601,7 | 598,8 | 596,6 | 594,8 | 8,5 |
| Smjesa 4 | 590,1 | 589,4 | 586,3 | 584,2 | 582,2 | 7,9 |
| | 563,9 | 562,8 | 560,9 | 558,6 | 556,9 | 7 |
| | 591,7 | 588,7 | 587,4 | 585,3 | 584,6 | 7,1 |

6. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

Nakon provedenog ispitivanja odrađena je analiza rezultata ispitivanja. Rezultate zabilježavamo u tablicu i računamo prosječan gubitak mase. (Tablica 11)

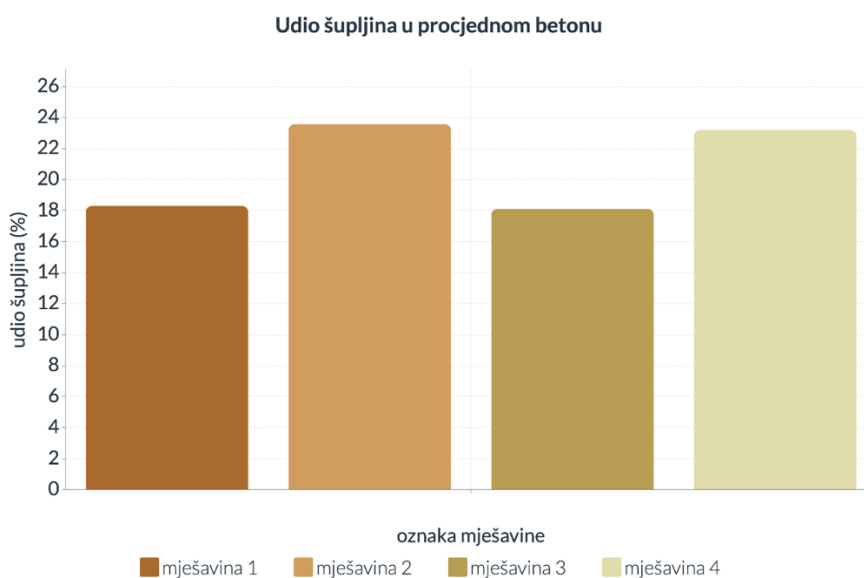
Tablica 11: Rezultati gubitaka mase prema uzorcima nakon ispitivanja (izradio autor)

| Rezultati gubitaka mase prema uzorcima nakon ispitivanja | | | |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| | Prosječna masa prije ispitivanja (g) | Prosječan gubitak mase nakon ispitivanja (g) | Prosječan gubitak mase nakon ispitivanja (%) |
| Smjesa 1 | 627,1 | 18,37 | 2,929 |
| Smjesa 2 | 556,17 | 21,06 | 3,787 |
| Smjesa 3 | 627 | 8,1 | 1,292 |
| Smjesa 4 | 581,9 | 7,33 | 1,26 |

Sve smjese imaju jednak vodocementi omjer, te jednak udio sitnog i krupnog agregata. U svim mješavinama sadržaj šupljina iznosi između 18% i 24% što je zadovoljavajuće za ovu vrstu betona. U tablici 12 je prikazano kojim smjesama su dodani aditivi i vlakna.

6.1. Analiza utjecaja sadržaja šupljina u smjesi na otpornost na habanje

Rezultati su pokazali da mješavina 2 ima najveći gubitak mase i veći postotak šupljina u odnosu na mješavinu 1. Iz toga možemo zaključiti da veći sadržaj šupljina rezultira manjom otpornošću na habanje. Međutim, mješavina 4 ima najmanji gubitak mase dok ima veći postotak šupljina od mješavine 3. Trebalo bi napraviti ispitivanja na više uzoraka da bi se dobilo više podataka. Na slici 29 prikazan je udio šupljina u pojedinim mješavinama.



Slika 29: Udio šupljina u procjedinom betonu (izvor: izradio autor)

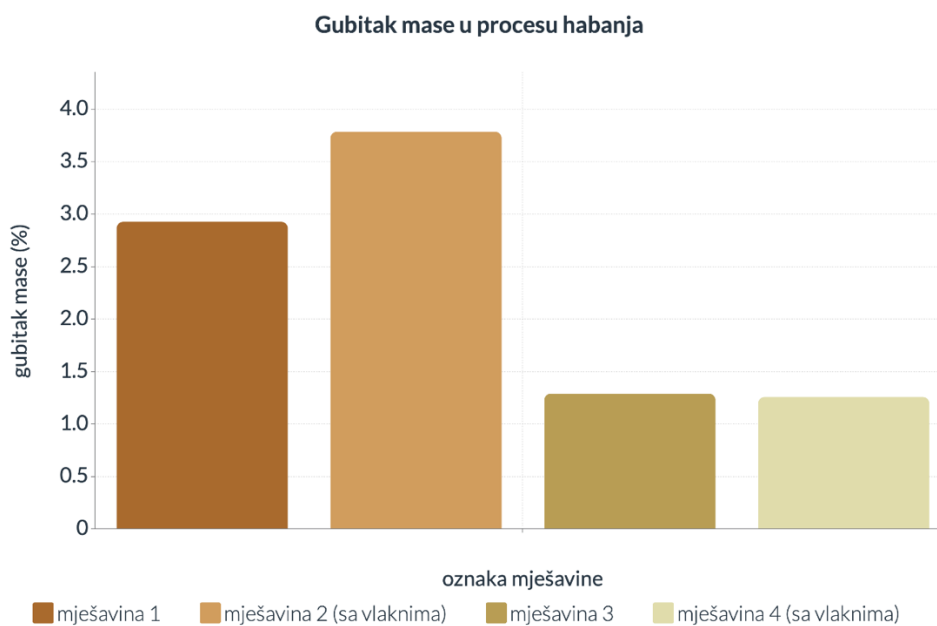
6.2. Analiza utjecaja vlakana u smjesi na otpornost na habanje

Dodavanje vlakana u mješavinu 2 rezultiralo je većim gubitkom mase odnosno manjoj otpornošću na habanje u odnosu na mješavinu 1. Međutim, dodavanjem vlakana u mješavinu 4 ostvarili smo malo veću otpornost na habanje u odnosu na mješavinu 3.

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da je mješavina 4 najotpornija, a mješavina 2 najpodložnija habanju. Budući da su u obje smjese dodana monofilamentna vlakna dolazimo do zaključka da se dodavanjem vlakana ne mijenja otpornost procjednog betona na habanje.

Tablica 12: Prisutnost aditiva u mješavinama (izradio autor)

| Prisutnost vlakana u mješavinama | |
|----------------------------------|----|
| mješavina 1 | ne |
| mješavina 2 | da |
| mješavina 3 | ne |
| mješavina 4 | da |



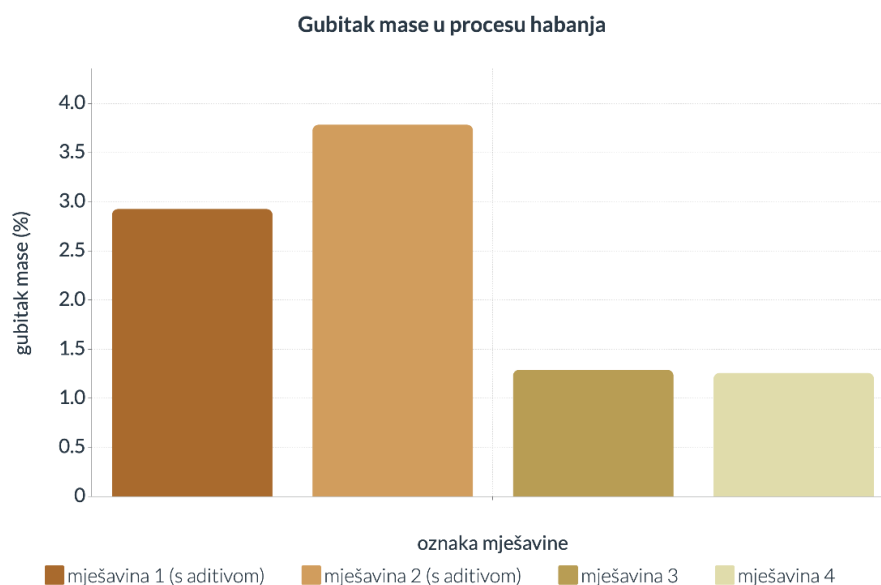
Slika 30: Gubitak mase u procesu habanja s dodatkom vlakana (izvor: izradio autor)

6.3. Analiza utjecaja aditiva u smjesi na otpornost na habanje

U mješavinu 1 i mješavinu 2 dodan je aditiv (superplastifikator), dok u mješavinu 3 i 4 nije (Tablica 13). Na slici 31 prikazani su gubici mase po mješavinama. Usporedbom mješavine 1 i mješavine 3 dolazimo do zaključka da mješavina 1 (u koju je dodan aditiv) ima znatno veći gubitak mase. Također uspoređivanjem mješavine 2 i 4 dolazimo do zaključka da je mješavina 2 znatno sklonija habanju od mješavine 4. Zaključak je da dodavanjem plastifikatora smanjujemo otpornost na habanje.

Tablica 13: Prisutnost aditiva i vlakana u smjesama (izradio autor)

| Prisutnost aditiva u smjesama | |
|-------------------------------|----|
| Smjesa 1 | da |
| Smjesa 2 | da |
| Smjesa 3 | ne |
| Smjesa 4 | ne |



Slika 31: Gubitak mase u procesu habanja s dodatkom aditiva (izvor: izradio autor)

7. ZAKLJUČAK

Glavni cilj ispitivanja navedenih mješavina bio je analizirati utjecaj monofilamentnih vlakana i superplastifikatora, s različitim sadržajem šupljina na otpornost na habanje.

Procjedni beton se koristi već mnogo godina, ali je primjena za sada još uvijek mala. Ova vrsta betona ima brojne ekološke pogodnosti te smatram da će za njim biti sve veća potražnja u budućnosti. Potrebno je provesti daljnja istraživanja kako bi se unaprijedila svojstva ovog betona te se time proširila njegova primjena.

Ova se vrsta betona najčešće koristi za izgradnju parkirališta, parkova i prilaza. Kada bi se unaprijedila njegova tlačna čvrstoća mogao bi se češće koristiti za izradu kolnika.

U odnosu na tradicionalni beton, procjedni beton omogućava lakšu odvodnju oborinske vode što uvelike utječe na troškove gradnje budući da nije potrebno izvoditi sustav odvodnje. Posebice je pogodan za primjenu u gradovima jer apsorbira toplinu i buku.

Na temelju provedenog ispitivanja zaključeno je da postotak šupljina i udio mikrofilamentnih vlakana ne povećavaju otpornost procjedinog betona na habanje. Pokazalo se da se dodavanjem aditiva smanjuje otpornost na habanje. Potrebno je provesti istraživanje na više uzoraka kako bi dobili preciznije podatke.

LITERATURA

- [1] Rama Mahalingam, Shanthi Vaithiyalingam Mahalingam, Analiza svojstava procjednog betona, Građevinar 68, str. 493-501, 2016. (pristup 23.3.2022.)
- [2] <https://www.perviouspavement.org/materials.html> (pristup: 31.03.2022.)
- [3] Vuljanić, D., Analiza svojstava procjednog betona s polimernim vlaknima, diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2017. (pristup 31.3.2022.)
- [4] Bright Singh Seeni, Murugan Madasamy, Pregled čimbenika koji utječu na svojstva poroznog betona, Građevinar 73, 2021. (pristup 31.3.2022.)
- [5] Holcim, <https://www.holcim.hr/reference> (pristup 31.3.2022.)
- [6] Vlašić Kristina, Porozni beton od laganog agregata, diplomski rad, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2015. (pristup 31.3.2022.)
- [7] Bay area, Osnove procjednog betona, <http://www.bayareaperviousconcrete.com/pervious-concrete> (pristup 31.3.2022.)
- [8] Hog technologies, <https://thehog.com/equipment/cleaning-and-tooling/pervious-asphalt-cleaning.html> (pristup 5.4.2022.)
- [9] Bill Palmer, „Heavy duty“ procjedni beton, https://www.concreteconstruction.net/how-to/construction/heavy-duty-pervious-concrete_o (pristup 5.4.2022.)
- [10] Paul D. Tennis, Michael L. Leming, i David J. Akers, Istraživanje „Pervious concrete pavements“, 2004. (pristup 20.4.2022.)
- [11] Cengiz Duran Atis, Okan Karahan, Kamuran Ari, Özlem Celik Sola i Cahit Bilim, Istraživanje „Relation between Strength Properties (Flexural and Compressive) and Abrasion Resistance of Fiber (Steel and Polypropylene)-Reinforced Fly Ash Concrete“, 2009. (pristup 20.4.2022.)