

Utjecaj dodatka tekstilnog i medicinskog otpada na mehanička svojstva i svojstva trajnosti betona

Sakić, Paula

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:473213>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-28**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

DIPLOMSKI RAD

Paula Sakić

Split, 2022.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Paula Sakić

**Utjecaj dodatka tekstilnog i medicinskog otpada na
mehanička svojstva i svojstva trajnosti betona**

Diplomski rad

Split, 2022.

Utjecaj dodatka tekstilnog i medicinskog otpada na mehanička svojstva i svojstva trajnosti betona

Sažetak:

Generiranjem velike količine otpada uz iscrpljivanje neobnovljivih izvora energije, stvara se potreba za novim načinom proizvodnje i zbrinjavanjem otpada. U ovom radu korišten je otpad tekstilne industrije i medicinski otpad kao dodatak betonu, a u svrhu ojačanja. Krpice pamučnog tekstilnog otpada dodane su betonu u količini od 1,70 i 3,50 % ukupnog volumena betona. Medicinski otpad-jednokratne zaštitne maske za lice, dodane su betonu u količini od 0,75 i 1,00 % volumena betona. Uzorcima betonskih mješavina ispitivana su mehanička i trajnosna svojstva, te uspoređena sa referentnom mješavinom. U radu je prikazana i usporedba sa rezultatima iz prijašnjih ispitivanja.

Ključne riječi:

Tekstilni otpad, medicinski otpad, beton, mehanička svojstva, trajnost, kružno gospodarstvo.

Textile and medical waste impact on mechanical properties and durability of concrete

Abstract:

Today's generation of enormous amount of waste and exploitation of non-renewable energy sources leads to new methods of production and waste disposal. In this thesis, textile waste and medical waste is used to reinforce concrete. Textile waste, by content 1,70 and 3,50 % of total concrete volume, and medical waste by content 0,75 and 1,00 % of total concrete volume specimens were investigated to characterize the mechanical and durability properties.

Keywords:

Textile waste, medical waste, concrete, mechanical properties, durability, circular economy.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT: Paula Sakić
BROJ INDEKSA: 788
KATEDRA: **Katedra za građevinske materijale**
PREDMET: Građevinski materijali I

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Utjecaj dodatka tekstilnog i medicinskog otpada na mehanička svojstva i svojstva trajnosti betona

Opis zadatka: Zadatak kandidatkinje je proučiti svojstva betona, te primjenu recikliranog tekstilnog i medicinskog otpada kao dio građevinskog materijala. U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je izraditi uzorke betona sa dodatkom komadića tekstilne tkanine i polipropilenskih maski za lice. Svi uzorci sadrže silikatnu prašinu. Referentna mješavina je beton D = 16 mm bez dodataka. Dvije mješavine imaju dodatak tekstilnog otpada dimenzija 6-8 cm x 2 cm u količini od 1.7 i 3.5 % ukupnog volumena, jedna mješavina dodatak polipropilenskih vlakana, te dvije mješavine sa dodatkom polipropilenskih maski za lice. Na uzorcima se u svježem stanju mjeri obradivost, temperatura, sadržaj zraka i gustoća a u očvrstlom stanju čvrstoća na savijanje i tlak, dinamički modul elastičnosti, gustoća, kapilarno upijanje, apsorpcija, vodonepropusnost, plinopropusnost i otpornost na habanje. Rezultate je potrebno prikazati i komentirati, te usporediti sa rezultatima na istovrsnim uzorcima koji su ranije izrađeni i ispitani na Katedri za građevinske materijale, ali ne sadrže silikatnu prašinu. Temeljem dobivenih rezultata potrebno je ocijeniti koja je količina otpada primjenjiva i kako utječe na svojstva betona.

U Splitu, 11.10.2021.

Voditelj Diplomskog rada:

Prof.dr.sc. Sandra Juradin

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:

Doc. dr. sc. Ivo Andrić

Sadržaj

1. Uvod	2
1.1. Općenito o betonu.....	2
1.2. Osnovne komponente betona.....	3
1.2.1. Cement	3
1.2.2. Agregat	5
1.2.3. Zahtjevi kvalitete agregata	6
1.2.5. Mehanička svojstva agregata	8
1.2.6. Granulometrijski sastav agregata	8
1.2.7. Voda	9
1.2.8. Aditivi.....	10
2. Održiva gradnja i zagađenja tekstilne industrije	12
2.1. Kružno gospodarstvo i održiva gradnja	12
2.2. Zagađenja tekstilne industrije	14
2.3. Medicinski otpad	15
3. Prethodna istraživanja tekstilnog i medicinskog otpada u betonu	18
3.1. Sveobuhvatni pregled utjecaja recikliranog tekstilnog otpada pri ojačanju betona vlaknima (N.P. Tran, C. Gunasekara, D.W. Law, S. Houshyar, S. Setunge)[11].....	18
3.2. Utjecaj tekstila na tlačnu čvrstoću betona (Muhammad Faizan Ali, Noor Ahmed Memon, Bashir Ahmed Memon, Muneeb Ayoub Memon, Ammaar Noor Memon) [11]...	20
3.3. Mehanička svojstva i svojstva trajnosti cementnih kompozita ojačanih mikrovlaknima tekstilnog otpada (P. Sadrolodabae, J. Claramunt, M, Ardanuy, A. de la Fuente) [12]	23
3.4 Preliminarna procjena izvedivosti upotrebe polipropilenskih jednokratnih zaštitnih maski za lice u betonu u svrhu poboljšanja njegovih mehaničkih svojstava (S. Kilmartin-Lynch, M. Saberian, J. Li, R. Roychand, G. Zhang)[13]	25

3.5. Mogućnosti korištenja otpada pamučne tkanine u betonu (B. Bartulović, S. Juradin, D. Žižić, S Markovčić) [14]	28
4. Eksperimentalni dio.....	32
4.1. Uvod.....	32
4.2. Korišteni materijali.....	33
4.2.1. Cement	34
4.2.2. Agregat	35
4.2.3. Voda	35
4.2.4. Aditivi.....	35
4.2.5. Silikatna prašina	36
4.2.6. Tekstilni otpad.....	36
4.2.7. Polipropilenska vlakna za beton.....	37
4.2.8. Jednokratne maske za lice	38
4.3. Izrada mješavina.....	39
4.4. Metode ispitivanja	43
4.4.1. Mjerenje temperature betona.....	43
4.4.2. Ispitivanje gustoće betona	43
4.4.3. Ispitivanje konzistencije betona	44
4.4.4. Ispitivanje sadržaja zraka u svježem betonu	45
4.4.5. Ispitivanje tlačne čvrstoće	45
4.4.6. Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem	47
4.4.7. Ispitivanje dinamičkog modula elastičnosti betona	47
4.4.8. Ispitivanje kapilarnog upijanja vode	48
4.4.9. Ispitivanje apsorpcije vode.....	49
4.4.10. Ispitivanje otpornosti betona na habanje	49
4.4.12. Ispitivanje plinopropusnosti	50
4.4.13. Ispitivanje vodonepropusnosti.....	52

5. Rezultati i analiza ispitivanja betona.....	53
5.1. Rezultati ispitivanja temperature betona	53
5.2. Rezultati ispitivanja gustoće betona	53
5.3. Rezultati ispitivanja konzistencije betona	55
5.4. Rezultati ispitivanja sadržaja zraka u betonu	57
5.5. Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće betona	58
5.6. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem.....	61
5.7. Rezultati ispitivanja dinamičkog modula elastičnosti.....	69
5.8. Rezultati ispitivanja kapilarnog upijanja.....	71
5.9. Rezultati ispitivanja apsorpcije vode.....	73
5.10. Rezultati ispitivanja otpornosti betona na habanje.....	75
5.11. Rezultati ispitivanja plinopropusnosti betona	77
5.12. Rezultati ispitivanja vodonepropusnosti	79
6. Zaključak	86
7. Literatura	88

1. Uvod

1.1. Općenito o betonu

Beton, najraširenije gradivo konstrukcija današnjice, zahvalnim svojstvima omogućio je projektiranje fascinantnih građevina. Velika tlačna čvrstoća, mogućnost raznolikog oblikovanja i relativno mali troškovi istaknulo je beton kao povoljnije rješenje u ekonomskom, funkcionalnom i estetskom smislu.

Beton je mješavina agregata, cementa, vode, zraka i dodataka. Ispuna, odnosno agregat čini $\frac{3}{4}$ volumena betona, dok cement služi kao hidrauličko vezivo koje u kontaktu s vodom započinje sa procesom hidratacije odnosno očvršćivanjem betona. Dodaci ili aditivi su tvari koje se dodaju u vodu tokom izrade betona i poboljšavaju svojstva svježeg i očvrstlog betona. Osim osnovnih komponenti u mješavinu betona mogu se dodati kemijski i mineralni dodaci.[1]

Beton se ističe velikom tlačnom čvrstoćom, dok je vlačna čvrstoća znatno manja i kreće se u granicama od $\frac{1}{5}$ do $\frac{1}{15}$ tlačne čvrstoće. Ovisno o sastavu betona, ponajviše o agregatu, gustoća betona varira od 1900 do 2700 kg/m³.

Glavne mehaničke karakteristike su njegova tlačna, vlačna i posmična čvrstoća te deformabilnost. Deformabilnost je njegovo svojstvo da se elastično i plastično deformira do trenutka razaranja. Na ova svojstva betona ponajviše utječu: kakvoća cementa, kakvoća i granulometrijski sastav ispunje, vodocementni faktor, prirodne primjese u ispuni i vodi, način pripreme betona, ugradnja i njega i starost betona.[1]

Beton kakav se danas poznaje intenzivno se razvija od 19. stoljeća, a sve promjene betona događale su se kroz nova znanja i iskustva u proizvodnji cementa. Početak ovog razdoblja pokrenuo je Joseph Aspdin kad je izumio portland cement, vrlo ubrzo u Francuskoj, Joseph Monier je odlučio žicom ojačati lonce za cvijeće i tako predstavio ideju o armiranom betonu. [2]

Iako se beton smatra modernim materijalom koji se i dalje unaprjeđuje i razvija, iskustva u dobivanju betona su vrlo stara. Istraživanja pokazuju kako su stari narodi, Azijati, Hebreji, Grci i Egipćani poznavali hidraulička svojstva mješavine pucolana, pečene gline i vapna, dok neka novija istraživanja dokazuju prisutnost betona u graditeljstvu još u kamenom dobu kod nekih civilizacija, naravno beton se stalno mijenjao kroz povijest i civilizacije te su ti betoni posve različitih svojstava, kvalitete i načina primjene. Najširu upotrebu dosegao je u

Rimskom carstvu. Rimljani su proizvodili hidraulička veziva, miješali ih s pijeskom i drobljenom opekom te na taj način dobivali mort. Zanimljiva je činjenica da ti mortovi, proučavani u ruševinama Pompeja, pokazuju bolju očuvanost od samog kamena ugrađenog u zidove prije gotovo 2000 godina. Impozantne građevine iz rimskog doba u vrlo dobrom stanju intrigiraju znanstvenike. Tako je tim s University of Utah proveo studiju objavljenu u časopisu *American Mineralogist*. Prema toj studiji rimski beton spravlja se od mješavine vulkanskog pepela, vapna, odnosno kalcijeva oksida, morske vode i vulkanskog kamenja. Takva mješavina, kada se koristila za gradnju luka, lukobrana i brana, u kontaktu s vodom postajala je sve čvršća što je posljedica kemijske reakcije morske vode s vulkanskim materijalima u kojoj se formiraju novi minerali koji jačaju beton. Ovakve informacije ostavljaju još više prostora za razvoj betona.[2]

1.2. Osnovne komponente betona

1.2.1. Cement

Vezivni materijali dobivaju se pečenjem sirovine na visokim temperaturama. Veziva u kontaktu s vodom stvaraju kemijsku reakciju preko koje dobivaju svojstva krutog tijela. Svojstva veziva ovisna su o dva osnovna parametra: temperatura pečenja i kemijski sastav sirovine.

Prvo hidraulično vezivo dobio je Englez Smeaton tako što je, 1756. godine ispekao vapnenac koji je sadržavao 20-25% gline i dobio vapno koje veže pod vodom. I drugi su isto vrijeme proizvodili slična veziva, Aspdin je dobio hidraulično vezivo pečenjem fino mljevene krede s glinom u prahu u peći za vapno, sve do odstranjivanja ugljikovog dioksida. Dobiveni materijal je svojom bojom podsjećao na kamen u blizini mjesta Portland u Engleskoj i tako stekao naziv portland-cement. [3]

Prema kemijskom sastavu cement se može podijeliti u dvije grupe. Prva u koju spada i portland-cement su silikatni cementi, dobivaju se pečenjem lapora i vapnenca, druga grupa su aluminatni cementi koji nastaju pečenjem vapnenca i boksita. Aluminatni cementi vrlo brzo razvijaju veliku čvrstoću pri znatnoj toplini hidratacije, koriste se kada je potrebno hitno postići znatnu čvrstoću, kao vatrostalno vezivo i za radove u morskoj i sulfatnoj vodi. U nastavku će pozornost biti posvećena silikatnim cementima, odnosno portland-cementu.

Portland-cement proizvodi se u rotacijskim pećima suhog postupka a sirovine za proizvodnju su vapnenac i glina, mada većina tvornica koristi umjetno sastavljene sirovine. Prirodna mješavina vapnenca i gline prikladna za proizvodnju cementa je lapor, a jedno od najvećih

nalazišta lapora nalazi se u okolici Splita. Laporu se dodaju vapnenac ili glina za postizanje optimalnog sastava, sirovina se drobi, suši, zatim melje dok ne postane homogenizirano brašno. Brašno se uz dodatak vode granulira i ulazi u rotacijsku peć. U rotacijskoj peći odvija se proces sinteriranja, pri temperaturama od 1380 do 1450 °C. Gotov proizvod naziva se klinker. Nakon hlađenja klinker se melje uz dodatak sadre i ostalih dodataka kako bi mu se poboljšala svojstva.

Glavni oksidi klinkera vezani u cementnim mineralima su: vapno CaO, silicijev oksid SiO₂, hematit Fe₂O₃ i aluminijski oksid Al₂O₃.

Ispravno sastavljen klinker sadrži slijedeće količine glavnih oksida[3]:

CaO 54-68%

SiO₂ 20-25%

Al₂O₃ 2-8%

Fe₂O₃ 2-5%

Hidratacija cementa je kemijski proces koji nastaje kontaktom cementa i vode, cementni minerali u tom trenutku s vodom generiraju potpuno nove minerale. U svakom portland-cementu postoje 4 glavna minerala koja utječu na proces hidratacije[3]:

- Aliti ili trikalcijski silikat, 3CaO · SiO₂

Nema hidraulična svojstva ali uz prisustvo drugih minerala i oksida poprima ta svojstva. Alit brzo razvija čvrstoću i doprinosi ranom razvoju čvrstoće cementnog kamena, posebno kroz prvih 7 dana. Nakon 28 dana njegov doprinos je neznatan.

- Belit ili dikalcijski silikat, 2CaO·SiO₂

Javlja se u četiri kristalne modifikacije, od kojih samo jedna ima dobru kemijsku aktivnost a razvija se naglim hlađenjem klinkera. U slučaju sporog hlađenja klinkera javit će se modifikacija sa slabim hidrauličnim svojstvima. Belit doprinosi razvoju čvrstoće cementnog kamena jednoliko tijekom prvih 28 dana i glavni je nositelj razvoja čvrstoće nakon tog perioda.

- Celit ili tetrakalcijski aluminat-ferit, 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃

Doprinosi podjednako čvrstoći u svim fazama razvoja.

- Trikalcijski aluminat, 3CaO·Al₂O₃

Glavni je nositelj čvrstoće cementnog kamena u prvih 24 sata, a za njegov razvoj kao i za belit također je potrebno naglo hlađenje klinkera.

Portland-cementu mogu se dodati i umjetni pucolani, kao što su leteći pepeo i silikatna prašina, tada nastaje miješani cement koji mora imati barem jednaku čvrstoću kao čisti portland-cement dobiven od istog klinkera. Posebne vrste cementa su još supersulfatni cement, prikladan za gradnju konstrukcija izloženih morskoj i otpadnoj vodi, i ekspazivni cement.

Kvaliteta cementa ocjenjuje se prema njegovim mehaničko fizikalnim svojstvima [3]:

- Volumna masa
- Gustoća, varira između 2,9 i 3,2 g/cm³
- Finoća mliva, veličina zrnaca je uglavnom između 0,002 i 0,09 mm
- Vlaga, njezin udio ne bi trebao biti veći od 2 % mase cementa
- Postojanje volumena
- Vezanje, u vremenskim granicama od 1 sat do 10 sati nakon kontakta s vodom
- Mehaničke čvrstoće: čvrstoća na pritisak i čvrstoća na vlak pri savijanju
- Skupljanje i bujanje

1.2.2. Agregat

Ispuna betona naziva se agregatom. Može biti prirodnog i umjetnog podrijetla. Agregat prirodnog podrijetla naziva se kameni ili mineralni agregat i dobiva se od kamena, koristi se za obični beton. Umjetni agregat dobiva se žarenjem, sinteriranjem i ekspaniranjem materijala kao što su ložišna zgura, kristalna zgura visokih peći, granulirana zgura, ekspanirana pečena glina, leteći pepeo, perlit, vermikulit i polimerni materijali. [4]

Kameni agregat može biti prirodno ili umjetno drobljen. Raspadanjem kamenih masiva djelovanjem ledenjaka i atmosferilija, nastaju glacijalni odnosno riječni nanosi izvaljanih, izbrušenih i zaobljenih zrna te čine prirodni agregat ili šljunak. Drobljenjem stijena u drobilicama nastaje drobljeni agregat. Čestice zrna do veličine 4 mm su sitni agregat i kod prirodnog agregata radi se o pijesku, čestice veće od 4 mm spadaju u krupni agregat ili šljunak.

S obzirom da tri četvrtine volumena betona otpada na agregat, razumljivo je da se njegovoj kvaliteti pridaje puno pažnje. Agregat, osim što ograničava čvrstoću betona te se sa slabim agregatom ne može dobiti čvrst beton, on u velikoj mjeri utječe i na postojanost kao i na konstruktivno ponašanje betona. [3]

1.2.3. Zahtjevi kvalitete agregata

Agregat je potrebno za svako nalazište ispitati i dokazati njegovu kvalitetu za upotrebu pri izradi betona. Zahtjev je da zrna budu od kamena dobre kvalitete a količina svih štetnih sastojaka, ne računajući sitne čestice, dopušta se do 4%. Kamen za proizvodnju agregata mora imati minimalno 80 MPa čvrstoću na pritisak na suhom i 160 MPa za beton izložen habanju i eroziji. Čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju mora iznositi najmanje 80 % od tih vrijednosti. [3]

Komponente koje su štetne s aspekta fizičko-mehaničkih svojstava betona definiraju se mineraloško-petrografskim ispitivanjima [3]:

- Izmijenjena (slaba) zrna, glinoviti pješčari, lapori i laporovski karbonati, argilošisti, mikašisti, filiti, škrljci, gips, glina i glinci, serpentin, liskun, ugalj.
- Uzročnici alkalno-silikatne reakcije (opal-amorfni, tridimit, kristobalit, rožnjaci, vulkanska stakla, hidroliskuni i drugi)
- Uzročnici korozije armature (minerali koji sadrže halogene elemente: halit, silvin i minerali koji sadrže sumpor: pirit, markiz, pirotin, anhidrit)
- Uzročnici sprječavanja hidratacije (saharit, masti)

1.2.4. Fizikalna svojstva agregat

Gustoća zrna agregata je masa zrna agregata osušenog na temperaturi 100-110 °C u volumenu zrna agregata bez pora.

Prividna gustoća zrna agregata je masa osušenog zrna agregata u volumenu zrna agregata sa zatvorenim porama, odnosno volumenu vodom zasićenih zrna agregata.

Volumna masa zasićenog površinski suhog zrna agregata je masa zasićenog površinski suhog agregata u ukupnom volumenu zrna agregata. To je volumna masa s kojom se proračunava sastav betona.

Volumna masa zrna agregata je masa osušenog zrna u ukupnom volumenu zrna agregata zajedno s porama. To je svojstvo koje se najizravnije određuje.

Volumen se određuje potapanjem i vaganjem pod vodom, masa se zatim određuje vaganjem osušenog uzorka agregata. [3]

Poroznost i apsorpcija vode

Poroznost agregata, propusnost za vodu i apsorpcija vode su svojstva koja utječu na prionjivost cementnog kamena i agregata u betonu, otpornost betona na djelovanje mraza, kemijsku i erozijsku otpornost betona. Pore u agregatu različite su po veličini, neke zatvorene u unutrašnjosti zrna, neke otvorene prema površini a propustljivost za vodu zavisi od ukupnog volumena, veličine i povezanosti pora. [3]

Obzirom na sadržaj vlage, razlikuju se 4 stanja agregata:

- Potpuno suh agregat, sušen na temperaturi 100-110 °C do konstantne težine
- Prirodno suh agregat, manja količina vlage u agregatu ali suh na površini
- Zasićen površinski suh agregat, otvorene pore ispunjene vodom
- Vlažan agregat, pore ispunjene vodom a na površini ima adsorbirane i slobodne vode

Šupljine u agregatu

Količina šupljina u agregatu ovisit će o granulometrijskom sastavu, obliku i teksturi zrna, i zbijenosti, ispituje se u nasutom i zbijenom agregatu. Bitno je i svojstvo utjecaja vlažnosti na promjenu volumena nasutog agregata. Povećanjem volumena pijeska koji se razmiče zbog sloja adsorbirane vode udio šupljina se povećava. Što je pijesak sitniji efekt je veći.[3]

Oblik i tekstura zrna

Oblik i tekstura zrna imaju utjecaj na obradljivost betona, naročito kod onih s manjom količinom cementa. Idealan oblik zrna bila bi kugla zbog minimalne specifične površine koju treba obaviti cementnom pastom i kugla pruža najmanji otpor pri obradi svježeg betona.

Koeficijent oblika zrna ili koeficijent prema Faury-u je omjer stvarnog volumena zrna agregata većih od 4 mm i volumena opisanih kugli. Stvarni volumen izmjeri se potapanjem pod vodu, a volumen opisanih kugli istog uzorka izračuna se iz izmjerenih najvećih promjera svih pojedinačnih zrna. Drugi način, odrede se količine pločastih i igličastih zrna u

frakcijama krupnijim od 4 mm. Mjeri se uzorak od oko 100 zrna najveće i najmanje dimenzije zrna. Ona zrna kod kojih je omjer najveće i najmanje dimenzije veći od 3 klasificiraju kao pločasta i igličasta zrna.[3]

1.2.5. Mehanička svojstva agregata

Prionjivost

Vlačna i savojna čvrstoća betona prvenstveno ovise o prionjivosti agregata i cementnog kamena, a sama prionjivost posljedica je hrapavosti površine zrna. Prionjivost se ocjenjuje prema izgledu plohe preloma nakon testiranja tlačne čvrstoće, dobra je ako je na plohi preloma neko zrno presječeno.[3]

Čvrstoća agregata

Standardom je zadana minimalna čvrstoća od 80 MPa, ispituje se da se iz stijene ispili kocka ili valjak i testira se, a za agregat iz vučenog nanosa ispitivanje se provodi tako da se napravi uzorak od tog agregata, provede se testiranje i uspoređuje se sa uzorkom spravljenim sa agregatom poznate čvrstoće. [3]

Žilavost i tvrdoća

Žilavost je otpornost agregata na udarce, a tvrdoća otpornost na prodiranje i paranje. Ocjenjuju se standardnim Los Angeles testom: uzorak određene granulacije stavi se u bubanj zajedno sa čeličnim kuglama, i zavrti se 500 puta, zatim se agregat prosije i izmjeri postotak razbijenog materijala. [3]

1.2.6. Granulometrijski sastav agregata

Granulometrijski sastav daje prikaz od kakvih se zrna sastoji agregat i koliki je udio svake vrste zrna. Sastav se ispituje standardnim postupkom suhog prosijavanja na sitima sa slijedećim otvorima u mm:

0,063 0,125 0,25 0,5 1 2 4 8 16 16 31,5 63 125

Postupkom prosijavanja se utvrđuje masa agregata koji je prošao kroz svako sito i izražava se u % ukupne mase uzorka. Rezultati tog ispitivanja prikazuju se granulometrijskom krivuljom,

gdje se prolaz kroz sito nanosi na ordinatu a veličina zrna na apscisu. Područje između dva susjedna sita naziva se razred veličine zrna.

Dio agregata koji sadrži zrna određenih veličina naziva se frakcija. Najčešće se agregat razdvaja u slijedeće frakcije:

0-4 mm 0-2 mm 0-1 mm

4-8 mm 2-8 mm 1-4 mm

8-16 mm 8-16 mm 4-16 mm

16-31,5 mm

31,5-63 mm

63-125 mm

Granice razdvajanja frakcija zovu se donja i gornja nazivna veličina frakcije. Gornja nazivna veličina najkрупnije frakcije u betonu je maksimalno zrno agregata, D_{max} .

Ne postoji jedna univerzalna granulometrijska krivulja agregata koja bi se smatrala prikladnom za sve vrste betona, optimalna granulometrijska krivulja određuje se eksperimentalno za zahtjeve betona jer agregat sa različitih nalazišta ima svoja specifična svojstva kao što su mineraloški sastav, oblik zrna, sastav sitnog agregata i dr. Optimalna granulometrijska krivulja određuje se za svako nalazište posebno a pri tome se za polazište koriste eksperimentalne krivulje, to su: Fullerova krivulja, krivulja EMPa i Fauryjeva krivulja i ostale krivulje oblika parabole.

1.2.7. Voda

Za izradu betona koristi se čista voda, bez otopljenih tvari ili tvari koje lebde ili plivaju na vodi, koje mogu štetno djelovati na kvalitetu svježeg i očvrstlog betona. Obavezno je da ne sadrži šećere, masti, sapune i deterdžente koji sprječavaju proces hidratacije. Voda za izradu betona smije imati pH faktor u granicama od 4,5 do 9,5.

U vodi se najčešće mogu javiti sulfati, spojevi klora, anorganske i organske soli i organske tvari, djeluju štetno na način da: utječu na vezanje, smanjuju čvrstoću betona, mogu učiniti beton volumenski nepostojanim i razoriti ga.

Pitka voda je najsigurniji izbor. Može se koristiti bez prethodnog ispitivanja, jedini uvjet je da ne sadrži previše klora, dok se sve ostale vode moraju prethodno kemijski ispitati prije upotrebe za izradu betona. Osim kemijskog ispitivanja vode, izrađuju se ispitni uzorci napravljeni od pitke vode i uzorci napravljeni s vodom koja se ispituje, naprave se testiranja uzoraka na pritisak te se uspoređuju rezultati.

Svi prethodno navedeni zahtjevi za vodu za izradu betona vrijede i za vodu koja se koristi kao vlažna njega betona.

1.2.8. Aditivi

Aditivi su kemijski dodatci koji se dodaju betonu kako bi se poboljšala neka svojstva betona radi postizanja željenog efekta. Primjenjuju se samo ako se zato dokaže tehnička i ekonomska opravdanost, a vrste aditiva i njihova količina određuju se eksperimentalno. Beton s aditivima mora imati povoljnija osnovna svojstva nego etalon istog sastava.

Većina aditiva na tržištu dolazi u tekućem stanju, doziraju se težinski u postotcima mase cementa a skladište se i čuvaju na temperaturi iznad 0°C. Prije upotrebe promiješa se aditiv i dodaje u vodu za izradu neposredno prije miješanja. Ukoliko se istovremeno koristi više različitih aditiva, oni se međusobno ne smiju miješati prije dodavanja u beton kako ne bidošlo do međusobne kemijske reakcije.[3]

U načelu, aditivi se mogu podijeliti u dvije grupe. Prvu grupu čine aditivi koji ne sudjeluju u kemijskom procesu hidratacije ali mogu utjecati na brzinu vezanja. To su:

-aeranti

-plastifikatori

-superplastifikatori

-usporivači vezanja

-aditivi za vodonepropusnost

Drugu grupu čine oni koji sudjeluju u kemijskom procesu hidratacije i tako utječu na konačni mineraloški sastav i svojstva cementnog kamena. Dodaju se u količini do 10% na masu cementa, to su:

-ubrzivači vezanja i očvršćivanja

-aditivi za betoniranje na niskim temperaturama

2. Održiva gradnja i zagađenja tekstilne industrije

2.1. Kružno gospodarstvo i održiva gradnja

Kružno gospodarstvo je model proizvodnje i potrošnje koji uključuje dijeljenje, posudbu, ponovno korištenje, popravljanje, obnavljanje i reciklažu postojećih proizvoda i materijala što je dulje moguće kako bi se stvorila dodatna-duža vrijednost proizvoda. Na ovaj način produljuje se životni vijek proizvoda te se istovremeno smanjuje količina otpada. [5]

Model kružnog gospodarstva suprotan je linearnom modelu u kojem proizvod prolazi faze „uzmi-napravi-iskoristi-baci“. Ovakav način potrošnje i proizvodnje ima negativan utjecaj na klimu i okoliš, nepovratno se troše prirodni resursi, troši se energija i povećavaju se emisije CO₂. Samo Europska Unija proizvodi više od 2,5 milijardi tona otpada svake godine. Iz tog razloga kružno gospodarstvo istovremeno je i potreba današnjice jer je sve veća potražnja za sirovinama a sve je manje resursa. Cijeli niz materijala koji se koriste je ograničen dok populacija globalno raste i potražnja se povećava. [5]

Kružna ekonomija, dakle, nije samo oblik recikliranja i prikupljanja otpada, već se bavi proučavanjem mjera i procesa kako iskoristiti nusproizvod kao resurs za novi proizvod. Na taj način sklanja se fokus sa isključivo novih sirovina i tako se smanjuje eksploatacija ograničenih resursa uz istovremeno smanjenje zagađenja okoliša.

Modeli poslovanja kružne ekonomije su:

- Korištenje recikliranih sirovina i obnovljivih izvora energije
- Princip vraćanja korisnih materijala u proizvodnju
- Proizvodnja proizvoda koji ima duži vijek trajanja
- Pravo na popravak
- Model dijeljenja-zajedničko korištenje

Poseban je fokus na resursno intenzivnim sektorima, poput elektronike i informacijske i komunikacijske tehnologije, plastike, tekstila i građevine.

Održivi razvoj, općenito je zadovoljavanje potreba sadašnje generacije, bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje potrebe. Temelji se na razumijevanju povezanosti tri glavna faktora, to su: društvo, okoliš i gospodarstvo.

Kao jedan od najvećih potrošača prirodnih resursa, gospodarska grana građevinarstva ima vrlo važan segment u cilju održivog razvoja. Pojam održive gradnje obuhvaća uporabu materijala koji nisu štetni za okoliš, energetska učinkovitost zgrada i gospodarenje građevinskim otpadom. Održiva gradnja mora osigurati trajnost i kvalitetu oblikovanja konstrukcija uz financijsku, ekonomsku i ekološku prihvatljivost.

Kako kružno gospodarstvo pruža potporu održivom razvoju, isto se nastoji implementirati u građevinskom sektoru. Otpad se u konstrukcijama može koristiti na dva načina: kao sekundarna sirovina i korištenjem recikliranih materijala. Korištenje otpada i industrijskih nusproizvoda u betonu primjenjuje se već duže vremena i to kao zamjena ispunje otpadnim materijalima i korištenje industrijskih nusproizvoda kao dodatak vezivu.

U tablici 2.1 navedeni su otpadni materijali koji se koriste pri izradi betona.

Tablica 2.1: Otpadni materijali koji se koriste pri izradi betona [6]

Poljoprivredni otpad	Industrijski otpad	Komunalni otpad
Pepeo trstike	Leteći pepeo	Guma
Pepeo od piljevine	Silikatna prašina	Plastika
Pepeo rižinih ljuski	Crveni mulj	Građevinski otpad
Gorivo palminog ulja	Nuklearni otpad	Papir
Pepeo kukuruznog klipa	Troska	Staklo
Kokosove ljuske	Otpaci rude	Pepeo spaljenog
Prirodna vlakna		komunalnog otpada

Reciklirani agregat može se dobiti od građevinskog otpada nastalog rušenjem betonskih konstrukcija, otpada iz tvornica prefabriciranih betonskih elemenata, testnih uzoraka, otpada keramike i mramora. Njime se može djelomično ili potpuno zamijeniti ispuna u betonu i na taj način štede se sredstva, zbrinjava otpad iz okoliša i čuvaju se prirodni resursi.

Korištenjem industrijskih nusproizvoda kao pucolana u betonu poboljšavaju se njegova svojstva i trajnost uz istovremeno zbrinjavanje otpada koji može biti opasan za okoliš, zapaljiv, kemijski reaktivan i sam kao takav nema vrijednost. [6]

Ekološki dizajn kojim se aspekti utjecaja na okoliš uključuju u samo projektiranje i korištenje sekundarnih sirovina u gradnji, budućnost su građevinarstva i cijele jedne gospodarske grane koja će se sigurno nastaviti nadopunjavati novim inovativnim idejama i istraživanjima.

2.2. Zagađenja tekstilne industrije

Tekstilna industrija je najveći svjetski zagađivač okoliša. Emitira 1,7 milijardi tona CO₂ godišnje i proizvodi 2,1 milijardi tona otpada od kojeg samo 20 % bude reciklirano. Industrija se pretežno nalazi u nerazvijenim zemljama gdje se koristi jeftina radna snaga i iskorištava nedostatak zakona i regulativa vezanih za očuvanje okoliša, a neke od tih država 80 % svog gospodarstva zasnivaju na tekstilnoj industriji.[8]

Za proizvodnju tekstila potrebne su velike količine vode, procjenjuje se da je globalna tekstilna i odjevna industrija u 2015. godini potrošila 79 milijardi kubičnih metara vode, slika 2.1. Za proizvodnju jedne pamučne majice potrebno je 700 litara pitke vode, količina koju jedna osoba popije u dvije i pol godine. Osim velike potrošnje pitke vode tokom bojanja i završne obrade tekstila dolazi do velikog onečišćenja voda. Čak 20 % globalnog onečišćenja voda dolazi od tekstilne industrije. Konzumiranjem sintetičke odjeće i pranjem iste u perilici ispuštaju se mikrovlakna u okoliš. Jednim pranjem sintetičke odjeće u perilici rublja može se ispustiti 700 tisuća mikrovlakana u okoliš koji završavaju u morima i oceanima, i naposljetku u prehrambenom lancu. Pranjem sintetike u more se ispušta 0,5 milijuna tona mikrovlakana godišnje. [9]



Slika 2.1 Utjecaj proizvodnje tekstila na okoliš [9]

Iako su pamučne tkanine biorazgradive i potrošači ih smatraju ekološki prihvatljivim, one to ipak nisu. Proces proizvodnje pamučnih tkanina vrlo je štetan za okoliš. Naime, pamuk je nježna biljka vrlo osjetljiva na napade kukaca i gljivica koji utječu na kvalitetu uzgajanog

pamuka pa se koristi enormna količina pesticida i fungicida. Pamuk zauzima 3 % svjetske poljoprivredne površine ali i 25 % svjetske potrošnje pesticida. [8]

Procjenjuje se da je za rast jednog kilograma pamuka potrebno 20 tisuća litara vode. Aralsko jezero, nekoć četvrto najveće na svijetu, žrtva je proizvodnje pamuka. Sovjetske vlasti koje su tada pamuk nazivale „bijelim zlatom“, rijeke koje su prihranjivale jezero preusmjerile su prema kanalima za navodnjavanje velikih plantaža pamuka. Vremenom je veliki dio jezera presušio, došlo je do promjene klime tog područja, porasta saliniteta i zagađenja vode pesticidima.

Također, pamuk nije čisto bijele boje kakvim ga se često predstavlja, već se izbjeljuje klorom što je štetno za ljudsko zdravlje.

Odgovornost prema okolišu ne snosi samo tekstilna industrija već i potrošačko društvo. Prosječno, svaka osoba na Zemlji godišnje kupi 5 kg odjeće dok u SAD-u taj broj se penje na 16. Modne kuće su uvele princip „brze mode“ gdje novu modnu kolekciju prezentiraju svakih 6 tjedana. Za primjer, prije 30 godina predstavljale su se dvije kolekcije godišnje, ljetna i zimska. Danas su cijene odjeće toliko niske da ju mnogi potrošači smatraju proizvodom za jednokratnu upotrebu. To je prethodno spomenuti linearni model „uzmi, koristi, baci“ i na taj način se stvara gomila tekstilnog otpada. Kružnom ekonomijom nastoji se prekinuti taj model upotrebe odjeće, širi se svijest o očuvanju okoliša u potrošača a industrijski otpad nastoji se reciklirati i koristiti kao sekundarna sirovina. Mnoge tvrtke uvele su politiku da je 30 % njihovih proizvoda nastalo postupkom recikliranja, nažalost takav način proizvodnje i dalje je štetan za okoliš. Proizvodnja odjeće recikliranjem košta više nego da se ista napravi od novog materijala, a postupak recikliranja stvara veliku količinu stakleničkih plinova. Stoga, optimalno je rješenje industrijski otpad uzeti u obzir kao sekundarnu sirovinu, potrošačko društvo podučiti principima održivosti gdje proizvode mogu dijeliti i popravljati, a u samoj proizvodnji uvesti alternative.

2.3. Medicinski otpad

Posljednjih nekoliko godina, otkako se svijet nalazi u razdoblju pandemije, došlo je do priljeva nove vrste otpada. Mjere za suzbijanje širenja virusa su nošenje zaštitne opreme, maske za prekrivanje respiratornih kanala, rukavice i zaštitna odijela koja se nose u bolnicama. Zbog obaveznog nošenja maske za lice u javnom prijevozu i zatvorenim prostorima, maske su postale dio svakodnevnice bilo da su jednokratne ili višekratne.

Jednokratne maske uglavnom se izrađuju od netkanih plastičnih materijala u tri sloja, materijal koji se najčešće koristi je polipropilen, a osim njega koriste se još i polistiren, polietilen, polikarbonat i poliester. Napravljene od ovih materijala, maske imaju svojstva vodonepropusnosti do određene mjere, vrlo su zapaljive i teško se razgrađuju. Nažalost, jednokratne medicinske maske osim u spremnicima za komunalni otpad često završe u neposrednom okolišu gdje ih zbog male mase raznosi vjetar (slika 2.2), a zbog vodonepropusnosti plutaju na površini vode. [7]

Uzme li se da Europska Unija ima 500 milijuna stanovnika od kojih 2/3 nosi jednokratne medicinske maske a ostali nose pamučne višekratne, računajući da ih nose samo radnim danom u 250 dana to je potrošenih 83,25 milijardi jednokratnih maski, mase više od 200 tisuća tona. Iz primjera se vidi da uz već navedene mjere očuvanja okoliša i zbrinjavanja otpada stalno dolazi do novih problema za koje je potrebno pronaći optimalno rješenje. Jedno od mogućih načina zbrinjavanja ovakvog otpada je korištenje maski kao sekundarnih sirovina.





Slika 2.2 Odbačene maske nakon nošenja

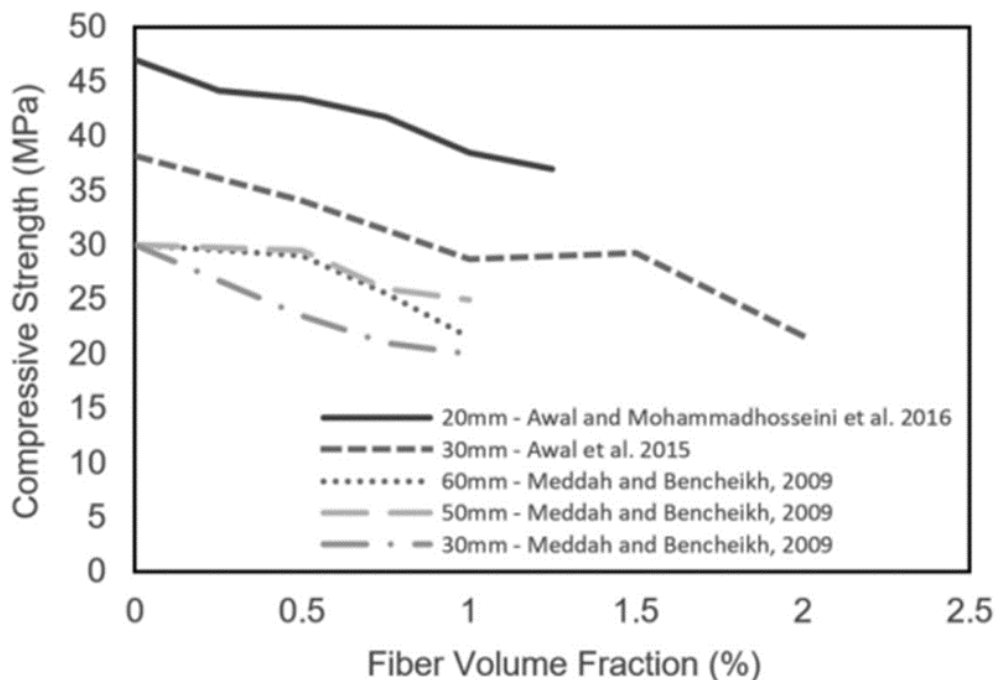
3. Prethodna istraživanja tekstilnog i medicinskog otpada u betonu

3.1. Sveobuhvatni pregled utjecaja recikliranog tekstilnog otpada pri ojačanju betona vlaknima (N.P. Tran, C. Gunasekara, D.W. Law, S. Houshyar, S. Setunge)[11]

Članak sadrži osvrt na mnoga ispitivanja betona ojačanog vlaknima od recikliranih tekstilnih materijala, polipropilen (PP) i najlon. Dan je pregled ispitivanja utjecaja PP vlakana i vlakana od najlona na svojstva betona: obradivost, gustoća, tlačna, vlačna i savojna čvrstoća, modul elastičnosti, ponašanje beton nakon loma, i svojstva trajnosti. Pokazano je kako na skoro sva svojstva ima utjecaj duljina vlakana i udio vlakana u volumenu betona.

Dodavanjem vlakana mješavini betona, znatno se smanjuje njegova obradljivost. PP vlakna smanjuju obradljivost za 38,1 %, 66,7 % i 88 % za udjele volumena PP u betonu od 0,25 %, 0,5 % i 1,25 %, u usporedbi sa referentnim betonom. U jednom istraživanju je pokazano i kako duljina vlakana utječe na svojstvo obradljivosti, točnije dulja vlakna istog radijusa imala su povoljniji utjecaj na obradljivost. Također kod usporedbe vlakana od novog i recikliranog najlona u volumenu od 0,1 % pokazano je da je obradljivost bolja kod betona sa vlaknima od recikliranog najlon. Promjene u gustoći betona ipak nisu toliko velike, iz razloga što je udio vlakana malen, manji od 2%. Gustoća betona koji sadrži vlakna od otpada tepiha varira između 2150 i 2328 kg/m³.

Dodavanje PP i najlonskih vlakana betonu izaziva štetni utjecaj što se tiče tlačne čvrstoće. Više autora je pokazalo kako se povećanjem količine vlakana u betonskoj mješavini tlačna čvrstoća betona smanjuje.



Slika 3.1: Utjecaj volumnog udjela vlakana na tlačnu čvrstoću [11]

Iako je zaključeno da dodavanjem vlakana mješavini betona linearno opada tlačna čvrstoća, u nekim istraživanjima pokazano je da se u malim volumenima (0,07 %) može postići prirast tlačne čvrstoće i uz korištenje duljih vlakana, a prednost imaju i vlakna od recikliranih materijala naspram novih. Udjelom od 0,12 % postignut je optimalan rezultat, 40,12 MPa za vlakna duljine 12 mm i 41,47 MPa za vlakna duljine 19 mm, u tom istraživanju tlačna čvrstoća referentnog uzorka iznosila je 39,8 MPa.

Vlačna čvrstoća na cijepanje poboljšava se ojačanjem vlaknima. Najbolji rezultat postignut je sa 1,5 % vlakana i iznosi 2.9 MPa što je za 30 % bolje od etalona u tom ispitivanju. Vlačna čvrstoća nije linearno rasla dodavanjem količine vlakana, dapače ali je i dalje bila veća od etanola. Isto vrijedi i za vlačnu čvrstoću savijanjem.

Modul elastičnosti betona ojačanog PP i najlon vlaknima smanjuje se proporcionalno sa količinom dodanih vlakana, za 1% dodanih vlakana modul elastičnosti opada za 6 %.

Ispitivanje ponašanja ojačanog betona nakon loma pokazalo je povećanu žilavosti i visoku rezidualnu čvrstoću nakon dostizanja vršnog napreznja, što je posljedica efekta povezanosti vlaknima betonske smjese. Uz to kraća vlakna su imala bolji indeks žilavosti. Također, beton

ojačan recikliranim vlaknima pokazuje tri puta veću otpornost na udar za udio od 1 % u volumenu betona.

Ispitivanja navedena u članku pokazuju da se dodatkom vlakana u maloj količini smanjuje upijanje u usporedbi sa mješavinom bez ojačanja. Apsorpcija vode smanjila se za oko 4 % dodavanjem 0,5 % PP vlakana. Daljnjim povećanjem volumena vlakana u betonu dolazi do većeg upijanja što je posljedica povećanja pora. Utjecaj klorida i otpornost betona na djelovanje kiselina i sulfata te karbonizacija imaju pozitivne rezultate za volumen vlakana do 0,5%. što se tiče skupljanja betona, istraživanja su potvrdila kako vlakna recikliranog materijala imaju bolji efekt i to smanjenje skupljanja za 15-30 %. Nekoliko studija potvrdilo je i veće smanjenje skupljanja u slučaju korištenja kratkih vlakana u odnosu na druga. Prisutnost vlakana u cementnoj ili betonskoj mješavini poboljšava rezidualnu čvrstoću kompozita na višim temperaturama, točnije iznad 200 °C jer se ojačanjem vlaknima smanjuje otpadanje krhotina i ljuštenje ali tada znatno gubi masu.

Autori su zaključili da iako reciklirani PP i najlon imaju manju vlačnu čvrstoću i modul elastičnosti od novih, nerecikliranih materijala, pokazuju bolju izvedbu svojstava trajnosti, žilavosti i otpornosti na udar. Razlog tome mogu biti dvije činjenice: efekt mikroarmiranja i finijeg rasporeda pora unutar betona. Optimalna količina vlakana u betonu je 0,5 % ukupnog volumena betona.

3.2. Utjecaj tekstila na tlačnu čvrstoću betona (Muhammad Faizan Ali, Noor Ahmed Memon, Bashir Ahmed Memon, Muneeb Ayoub Memon, Ammaar Noor Memon) [11]

Autori su istraživali utjecaj sadržaja tekstilnog otpada u betonu na tlačnu čvrstoću betona. Za izradu testnih uzoraka korišten je tekstilni otpad iz tamošnjih lokalnih šivaćih radnji, probrane su pamučne krpice koje su izrezane na komade 25 mm x 5 mm. Izrađeno je ukupno 10 mješavina sa dodatkom tekstilnih krpica u postocima volumena od 0,1 % do 1 % sa korakom promjene od 0,1 %.

Tablica 3.1: Mješavine [11]

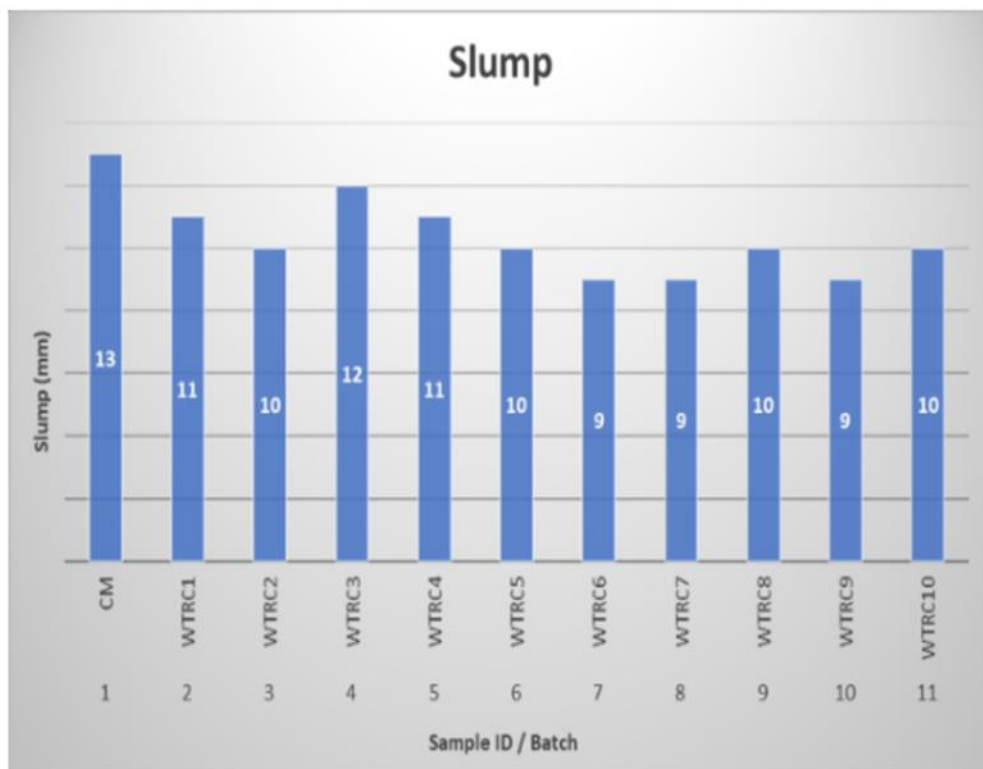
Br	Oznaka uzorka	Voda (kg)	Cement (kg)	Sitni agregat (kg)	Krupni agregat (kg)	Tekstil (%)	Tekstil (g)	Voda za tekstil (g)	Voda ukupno (g)
1	CM0	1,5	3	6	12	0	0	0	1500
2	WTRC1	1,5	3	6	12	0,1	21	21	1542
3	WTRC2	1,5	3	6	12	0,2	42	42	1584
4	WTRC3	1,5	3	6	12	0,3	63	63	1626
5	WTRC4	1,5	3	6	12	0,4	84	84	1668
6	WTRC5	1,5	3	6	12	0,5	105	105	1710
7	WTRC6	1,5	3	6	12	0,6	126	126	1752
8	WTRC7	1,5	3	6	12	0,7	147	147	1794
9	WTRC8	1,5	3	6	12	0,8	168	168	1836
10	WTRC9	1,5	3	6	12	0,9	189	189	1878
11	WTRC10	1,5	3	6	12	1,0	210	210	1920

Na svježem betonu testirano je slijeganje i zaključeno je da mješavina sa tekstilnim krpicama ima smanjenu obradivost te da je za dostatnu obradivost mješavini potrebno dodati još vode.

Ukalupljeni beton u kockama njegovan je i čuvan u pitkoj vodi. Testirana je tlačna čvrstoća i izmjerena gustoća očvrstlog betona od 14 dana starosti i 28 kako bi se uvidjela promjena parametara u vremenu.

Tablica 3.2: Prikaz promjene gustoće betona nakon 14 dana njegovanja i nakon 28 [11]

Br	Oznaka uzorka	14 dana		28 dana	
		Gustoća (kg/m ³)	Promjena (%)	Gustoća (kg/m ³)	Promjena (%)
1	CM0	2510	-	2500	-
2	WTRC1	2500	-0,5	2500	-0,2
3	WTRC2	2500	-0,4	2500	-0,2
4	WTRC3	2490	-0,6	2490	-0,5
5	WTRC4	2490	-0,6	2490	-0,5
6	WTRC5	2490	-0,7	2490	-0,3
7	WTRC6	2490	-0,8	2490	-0,5
8	WTRC7	2490	-0,9	2490	-0,6
9	WTRC8	2480	-1,1	2480	-0,9
10	WTRC9	2480	-1,3	2480	-0,8
11	WTRC10	2470	-1,6	2480	-0,9



Slika 3.2: Rezultati mjerenja slijeganja svježeg betona [11]

U tablici 3.3 dane su prosječne vrijednosti tlačne čvrstoće nakon testiranja uzoraka starih 14 i 28 dana, prikazana je promjena čvrstoće u postocima u odnosu na referentnu mješavinu.

Tablica 3.3 : Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće [11]

Br	Oznaka uzorka	Tekstil (%)	14 dana		28 dana	
			Tlačna Čvrstoća (Mpa)	Promjena (%)	Tlačna Čvrstoća (Mpa)	Promjena (%)
1	CM0	0	21,1	-	31,36	-
2	WTRC1	0,1	28,22	33,79	32,19	2,65
3	WTRC2	0,2	26,18	24,1	32,6	3,93
4	WTRC3	0,3	27,67	31,15	32,64	4,06
5	WTRC4	0,4	30,56	44,87	32,9	4,9
6	WTRC5	0,5	31,15	47,65	34,31	9,38
7	WTRC6	0,6	31,27	48,21	35,03	11,71
8	WTRC7	0,7	32,94	56,16	33,42	6,56
9	WTRC8	0,8	28,22	33,78	30,38	-3,15
10	WTRC9	0,9	27,32	29,5	28,66	-8,62
11	WTRC10	1,0	21,23	0,65	22,18	-29,27

Pokazano je da se prirast tlačne čvrstoće događa do udjela tekstila od 0,7 % za beton star 14 dana, odnosno od 0,6 % za beton star 28 dana. U većim dozama tekstila dolazi do opadanja tlačne čvrstoće.

Autori zaključuju da upotreba tekstilnog otpada u betonu može imati pozitivan učinak na tlačnu čvrstoću betona u optimalnoj količini tekstila 0,6 % od ukupnog volumena betona.

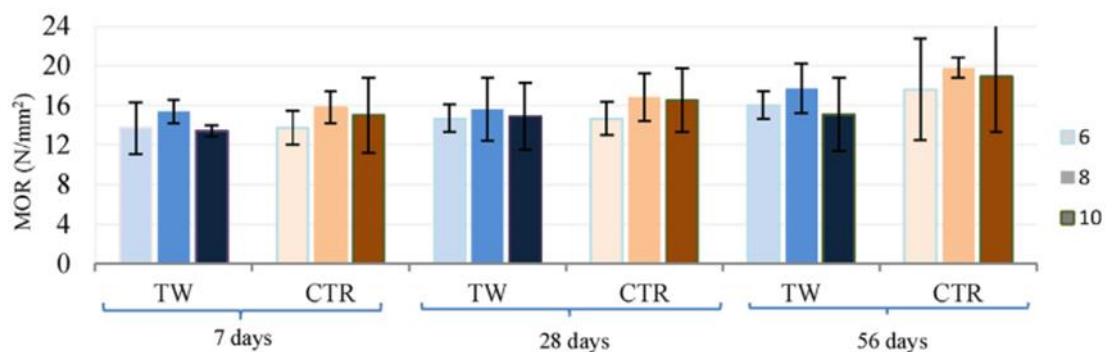
3.3. Mehanička svojstva i svojstva trajnosti cementnih kompozita ojačanih mikro-vlaknima tekstilnog otpada (P. Sadrolodabae, J. Claramunt, M. Ardanuy, A. de la Fuente) [12]

Cilj istraživanja bilo je provjeriti mehanička svojstva i svojstva trajnosti cementne paste ojačane mikro-vlaknima od tekstilnog otpada u svrhu kreiranja cementnih kompozita za izradu nenosivih elemenata konstrukcija. Tekstilna vlakna, korištena u istraživanju, sadržana su od 30,7 % poliestera i 69,3 % pamuka. Izrađene su i ispitivane tri različite mješavine, udjela 3, 6 i 8 % tekstilnih vlakana. Rađena su ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem i tlačna čvrstoća na uzorcima starosti 7, 28 i 56 dana, te žilavost i krutost. U svrhu prikazivanja trajnosti materijala, isti ovi testovi ponovljeni su nakon simulacije starenja cementa, odnosno naon 25 ciklusa potapanja i sušenja cementnih prizmi.

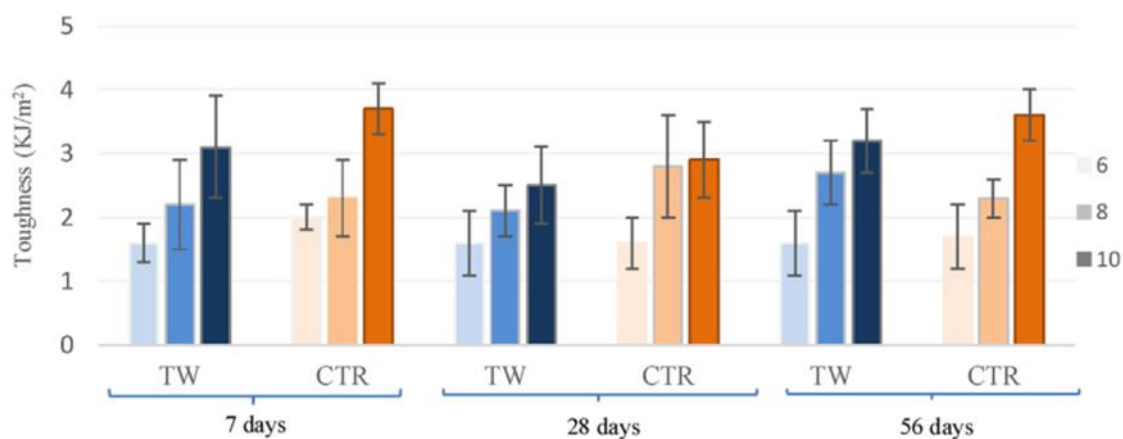
Za referentnu mješavinu uzet je cement ojačan kraft vlaknima iz pulpe borovine, celulozna vlakna visoke čvrstoće. U tablici 3.4 prikazani su udjeli i vodocementni faktori mješavina sa tekstilnim vlaknima (TW) i sa kraft vlaknima (CTR). TW cementi imaju vodocementni faktor 0,5 dok je kod cementa sa kraft vlaknima broj veći iz razloga što su prije miješanja saturirana u vodi radi boljeg raspršivanja vlakana u pasti.

Tablica 3.4: Mješavine cementnih kompozita [12]

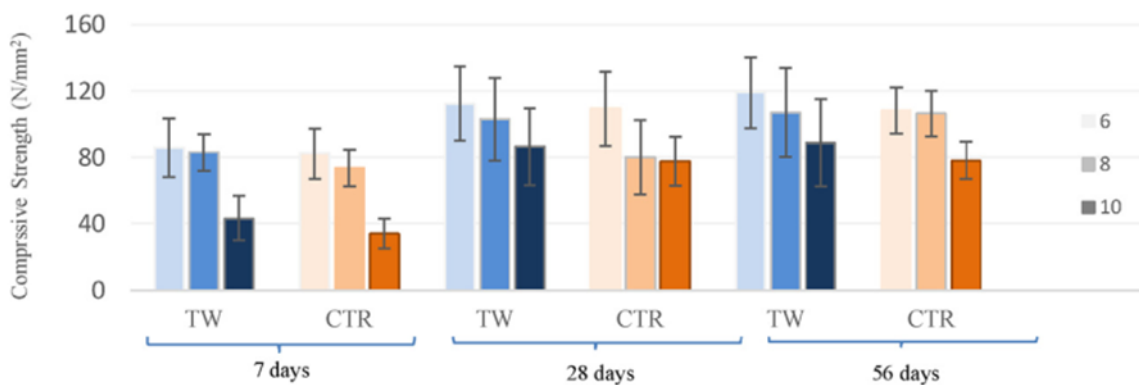
Oznaka		TW6	TW8	TW10	TWD8	CTR6	CTR8	CTR10	CTRD8
w/c početni		0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,5	1,4	1,5
w/c finalni	7 dana	0,42	0,44	0,44	-	0,43	0,44	0,44	-
	28 dana	0,4	0,5	0,5	0,45	0,42	0,42	0,35	0,5
	56 dana	0,45	0,4	0,45	-	0,45	0,39	0,35	-
Cement (g)		1600	1400	1200	1400	1600	1400	1200	1400
Voda (g)		800	700	600	700	500	440	360	440
Vlakna (g)		96	112	120	112	96	112	120	112



Slika 3.3: Prikaz rezultata čvrstoće na vlak savijanjem za uzorke različite starosti [12]



Slika 3.4: Rezultati ispitivanja indeksa žilavosti [12]



Slika 3.5: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće [12]

Čvrstoća na vlak savijanjem raste povećanjem udjela vlakana do 8 %. Indeks žilavosti, određen posredno iz krivulje naprezanja, raste povećanjem udjela vlakana dok krutost opada. Opažen je i pad tlačne čvrstoće ali i to da postiže značajan rast sa starosti cementa i TW cement ima prednost nad referentnom pastom. TW8 uzeta je kao optimum te se nadalje svojstva trajnosti ispituju na pastama sa 8 % kraft i tekstilnih vlakana.

Ispitivanje trajnosti provedeno je nakon 25 ciklusa potapanja i sušenja cementnih prizmi 28 dana starosti. Ciklus se sastoji od sušenja uzorka 6 sati na 60 °C i 60 % vlažnosti, zatim uranjanja u vodu na 18 sati temperature 20 °C.

Tablica 3.5. : Rezultati ispitivanja trajnosti cementne paste [12]

Oznaka	Vlačna čvrstoća (N/mm ²)	Žilavost (KJ/m ²)	Krutost (Gpa)	Tlačna čvrstoća (N/mm ²)
TWD8	15,2	1,2	4	101,8
CTRD8	13,3	1,1	3	63,5

Zaključno, cementna pasta ojačana mikro-vlaknima tekstilnog otpada pokazala je prosječno bolju vlačnu i tlačnu čvrstoću za 12 % te bolja svojstva trajnosti za 10 % u odnosu na cementnu pastu ojačanu celuloznim kraft vlaknima. Autori smatraju da boljim svojstvima TW paste pridonosi prisustvo poliestera a celulozna vlakna imaju smanjena svojstva trajnosti zbog alkalne okoline i prodiranja produkata hidratacije u jezgru prirodnih vlakana što čini vlakna krtime te tako gube svoja mehanička svojstva.

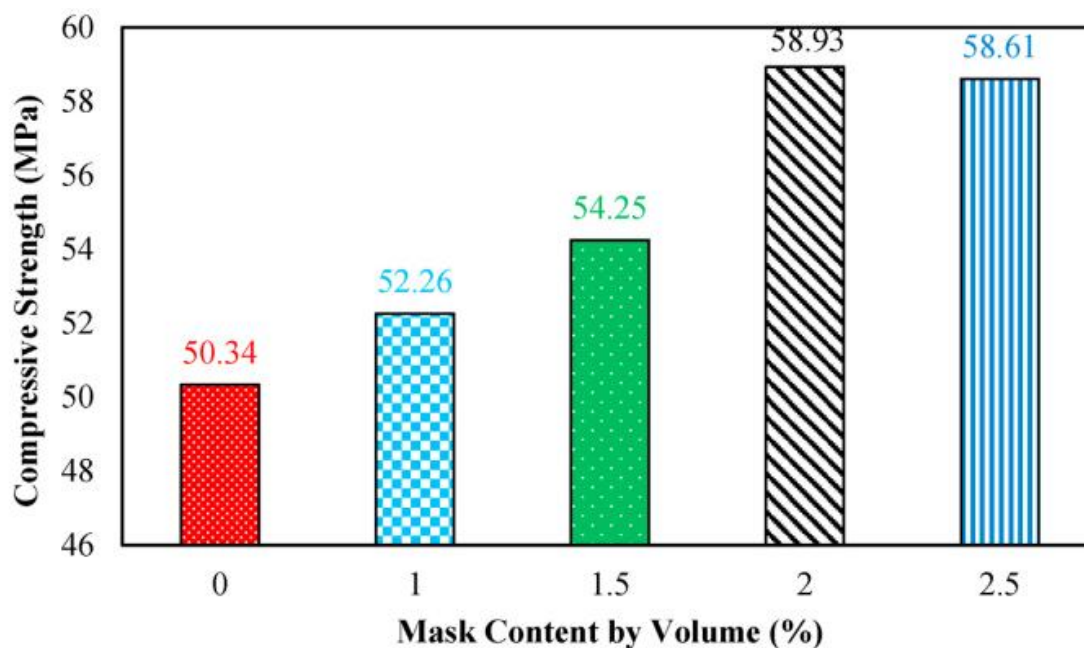
3.4 Preliminarna procjena izvedivosti upotrebe polipropilenskih jednokratnih zaštitnih maski za lice u betonu u svrhu poboljšanja njegovih mehaničkih svojstava (S. Kilmartin-Lynch, M. Saberian, J. Li, R. Roychand, G. Zhang)[13]

Članak sadrži ispitivanje betona sa dodatkom izrezanih polipropilenskih jednokratnih zaštitnih maski za lice za čije razgrađivanje u prirodi bi bilo potrebno 25 godina. Autori su izradili pet različitih mješavina, prikazanih u tablici 4.5. Maske ne sadrže vezicu za uho, prethodno je uklonjena. Ispitni uzorci napravljeni su kao cilindri d/h=100/200 mm, nakon 24 sata izvađeni iz kalupa i 28 dana njegovani u čistoj vodi pri temperaturi 22 °C. Provedena su ispitivanja tlačne čvrstoće, vlačne čvrstoće, modula elastičnosti i mjerenje brzine ultrazvučnog impulsa.

Tablica 3.6: Mješavine [13]

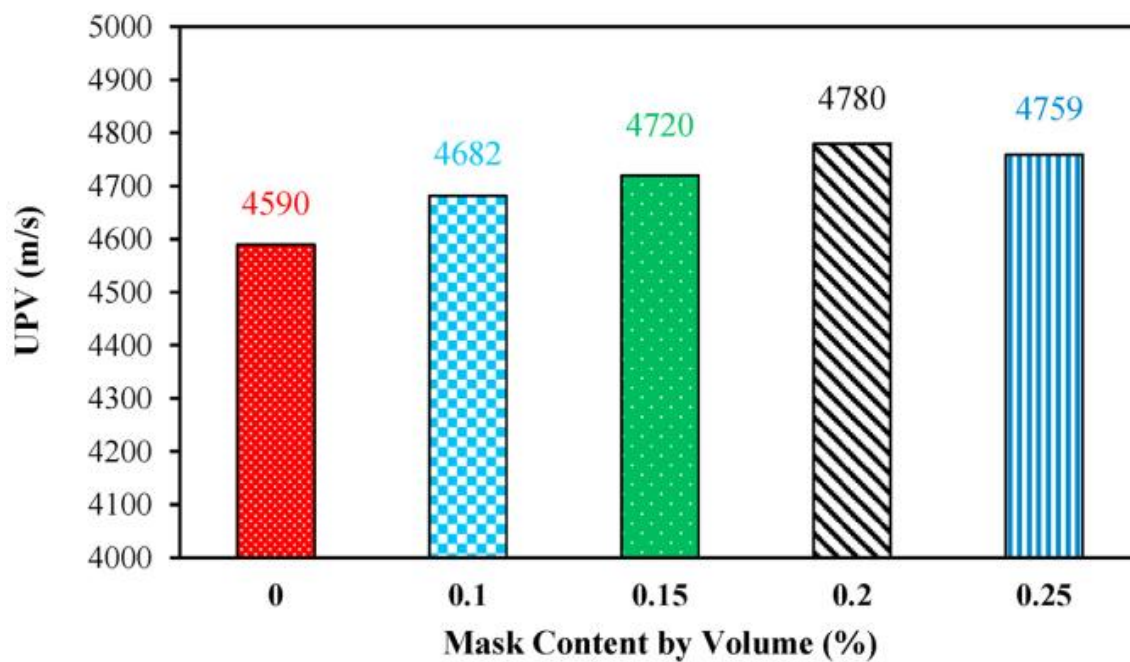
Materijal (kg/m ³)	CM0	CM10	CM15	CM20	CM25
Voda	210	210	210	210	210
Cement	420	420	420	420	420
Krupni agregat	1260	1260	1260	1260	1260
Sitni agregat	630	630	630	630	630
Superplastifikator (mL/m ³)	1260	1260	1260	1260	1260
Maske	0	3,7	5,55	7,41	9,26

Po tri uzorka su testirana za svaku mješavinu u ispitivanju tlačne čvrstoće, a pokazalo se da se događa prirast tlačne čvrstoće do 0,2 % maski. Autori smatraju da je razlog tome što u udjelu većem od 0,2 % dolazi do stvaranja neraspoređenih šupljina u betonu koje ga slabe.

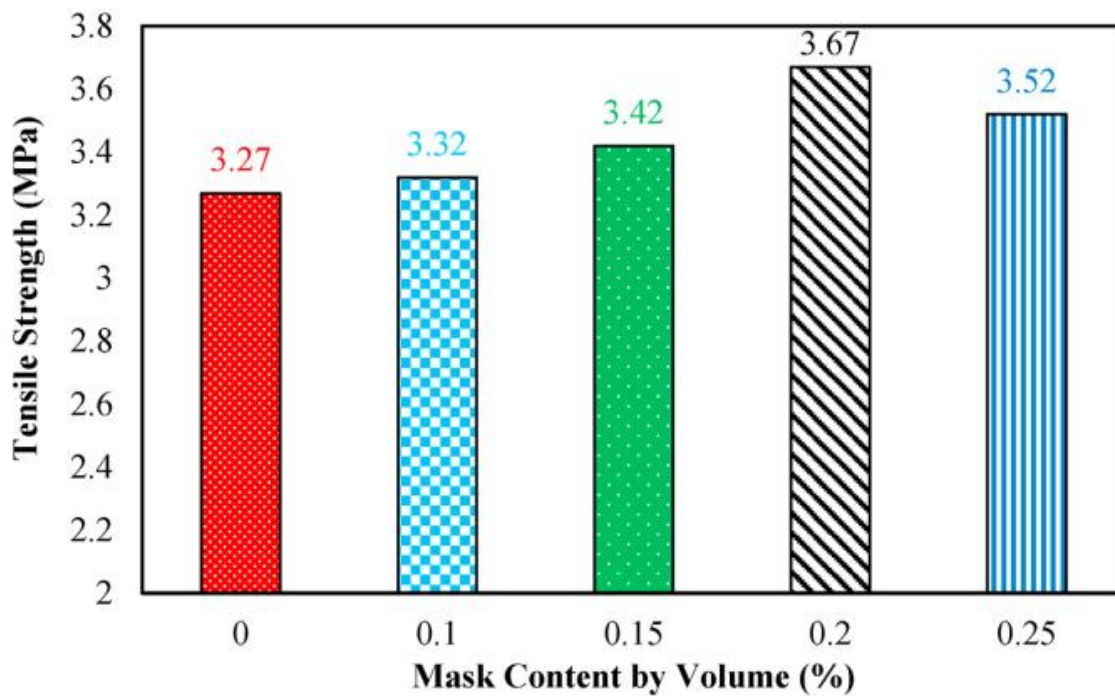


Slika 3.6: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće betona [13]

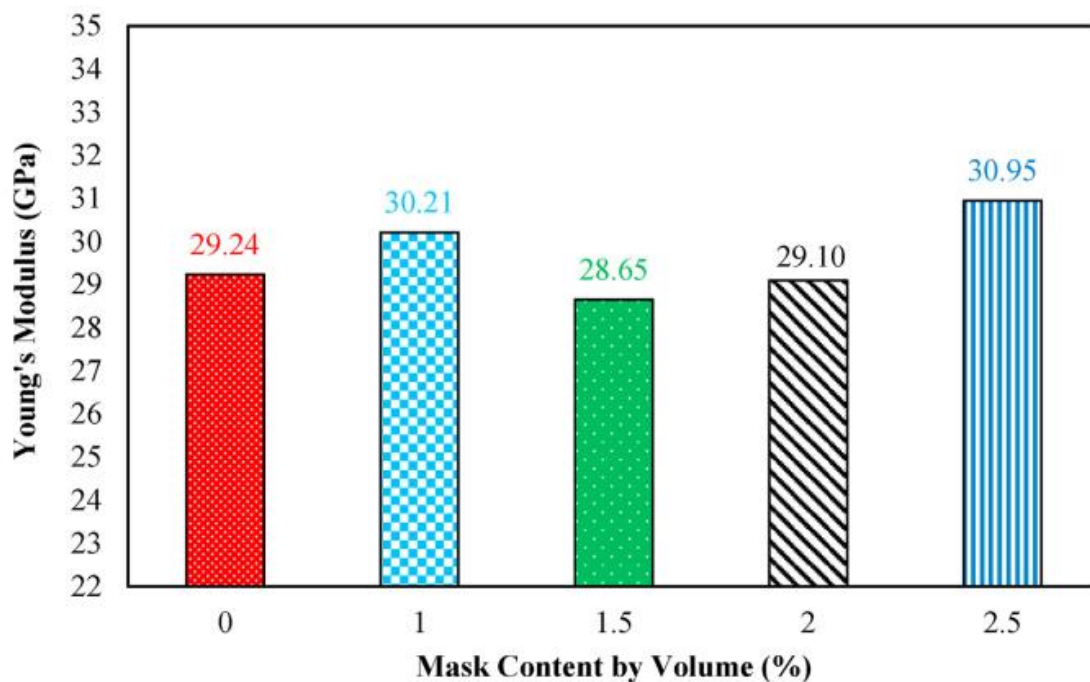
Mjerenje brzine ultrazvučnog impulsa ima isti trend kao tlačna čvrstoća, a beton je ocijenjen kao vrlo dobre kvalitete, prema UZV.



Slika 3.7: Rezultati mjerenja brzina ultrazvučnog impulsa kroz beton [13]



Slika 3.8: Rezultati ispitivanja indirektno vlačne čvrstoće [13]



Slika 3.9: Rezultati ispitivanja Youngovog modula elastičnosti [13]

Na kraju, autori zaključuju: upotreba jednokratnih maski za lice u malom postotku definitivno može poboljšati mehanička svojstva betona, idealno u postotku 0,20 % volumena betona. U usporedbi sa referentnom mješavinom polipropilenske maske, odnosno izrezane krpice, su poboljšale svojstva betona smanjenjem mikro pukotina, promjena modula elastičnosti smatra se zanemarivom.

3.5. Mogućnosti korištenja otpada pamučne tkanine u betonu (B. Bartulović, S. Juradin, D. Žižić, S Markovčić) [14]

Ispitivana su svojstva betona kojem je agregat djelomično zamijenjen tekstilnim otpadom odnosno pamučnom tkaninom izrezanom na male komade, 2 x 6-8 cm, u postotcima 2,5 %, 5 % i 10 % ukupnog volumena agregata. Tekstilni otpad dobiven je iz lokalne tvornice odjeće i sastoji se samo od pamuka, a komadi tkanine prije miješanja saturirani su vodom. U svim mješavinama količina cementa, vode i plastifikatora je jednaka. Cilj istraživanja je kreiranje lakog betona koji je istovremeno ekološki učinkovit tako da se koriste sekundarne sirovine u zamjenu za prirodne resurse.

Tablica 3.7: Sastav mješavina [14]

	Cement (kg)	w/c	CKFW (kg)	Agregat (kg)			SP (kg)
				0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	
T0	350	0,5	-	968,7	279,4	614,8	2,1
T2.5	350	0,5	3,8	944,5	272,5	599,4	2,1
T5	350	0,5	7,7	920,3	265,5	584	2,1
T10	350	0,5	15,3	871,8	251,5	553,3	2,1

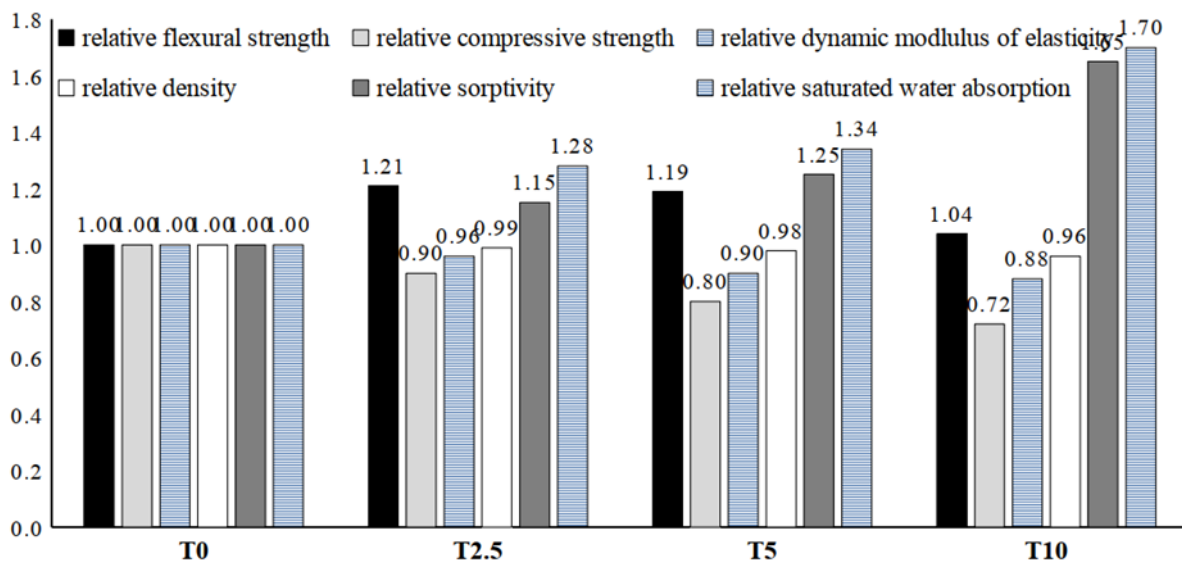
Mjereno je slijeganje svježeg betona (tablica 3.8), nakon čega je ukalupljen u kocke brida 15 cm i prizme 10x10x15 cm, nakon 24 sata beton je izvađen iz kalupa i njegovan u vodi 28 dana. Ispitivanja očvrstlog betona su: dinamički modul elastičnosti, vlačna čvrstoća savijanjem, tlačna čvrstoća te apsorpcija i upijanje vode koje je usko povezano sa trajnosti betona. Upijanje je mjereno nakon 2, 4, 8, 15, 30 i 60 min i nakon 4 i 24 sata. U tablici 3.9 su prikazani rezultati.

Tablica 3.8: Rezultati mjerenja slijeganja [14]

	Zrak (%)	Temperatura (°C)	Slijeganje (mm)	Razred konzistencije
T0	2,2	18,6	170	S4
T2.5	1,5	18,5	135	S3
T5	1,2	19,1	70	S2
T10	2,7	20,3	15	S1

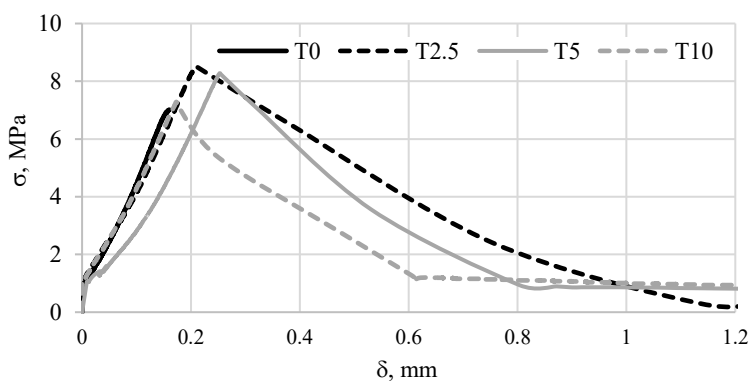
Tablica 3.9: Rezultati ispitivanja očvrstlog betona [14]

Oznaka	Savojna čvrstoća (MPa)	Tlačna čvrstoća (MPa)	Dinamički modul elastičnosti (GPa)	Gustoća (kg/m ³)	Upijanje x 10 ⁻⁴ mm/min ^{0.5}	Apsorpcija vode %
T0	7,00	66,4	52,6	2421,5	0,79	3,3
T2.5	8,5	59,5	50,6	2399,8	0,91	4,2
T5	8,3	53,4	47,5	2378,8	0,99	4,4
T10	7,3	47,9	46,3	2335,5	1,3	5,6



Slika 3.10: Prikaz rezultata u relativnom obliku u odnosu na referentnu mješavinu betona

Vidi se da zamjena agregata malim komadima pamučne tkanine poboljšava savojnu čvrstoću betona, za 4-21 % u odnosu na etalon, slika 3.10. Najbolje rezultate pokazuju mješavine sa 2,5 i 5 % tkanine. Dijagram naprezanja mjeren za vrijeme ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem pokazuje rast deformabilnosti betona sa dodanim pamučnim tkaninama iz razloga što one djeluju kao mikro ojačanje u betonu, slika 3.11.



Slika 3.11 : Dijagram naprezanje-pomak [14]

Na kraju, autori zaključuju:

- Tekstilni otpad može se koristiti kao djelomična zamjena ispune u betonu, sa efektom smanjenja jedinične težine betona.
- Tlačna čvrstoća betona smanjuje se proporcionalno sa postotkom zamjene agregata tekstilom.

- Zamjenom agregata tekstilnim otpadom raste vlačna čvrstoća i duktilnost betona, što je posljedica efekta ojačanja betona vlaknima tekstila.
- Mješavine sa većim dijelom tekstila teže se lijevaju i imaju veći udio šupljina koje posljedično smanjuju čvrstoću betona.
- Obradivost betona ovisi o postotku tekstila.
- Mješavine s većim udjelom tekstila imaju veće upijanje i apsorpciju vode, što bi moglo utjecati na trajnost betona.

4. Eksperimentalni dio

4.1. Uvod

Eksperimentalnim radom nastoji se nastaviti put istraživanja betonskih mješavina sa dodatkom otpada, u konkretnom slučaju sa dodatkom tekstilnog otpada i otpada koji je značajno više generiran u proteklom pandemijskom razdoblju a to su polipropilenske jednokratne zaštitne maske za lice. Želi se postići beton koji će predstavljati ekološki dizajn u kojem će otpad služiti kao ojačanje ali s optimalnim mehaničkim svojstvima i svojstvima trajnosti. Cilj je istražiti mogućnosti postizanja boljih svojstava prethodno ispitivanih betona sa dodatkom tekstilnog otpada, tako da se mješavini doda silikatna prašina. Kao polazna točka pri projektiranju mješavina sa tekstilnim otpadom uzeto je istraživanje od Bartulović i ostali [14], iz kojeg su odabrane dvije mješavine sa najboljim rezultatima te im je dodano 10 % silikatne prašine. Odabrane mješavine sadržavale su 2,5 % i 5% tekstilnog otpada u volumenu agregata, odnosno 1,7 % i 3,5 % u ukupnom volumenu betona.

Za potrebe istraživanja i usporedbu rezultata izrađena je i jedna mješavina sa dodatkom polipropilenskih vlakana u količini od 0,18 % volumena. Količina je odabrana prema [3] gdje se navodi da za PP vlakna i maksimalno zrno od 16 mm udio vlakana iznosi od 0,15 do 0,9 % volumena betona.

Druga vrsta ugrađenog otpada su polipropilenske jednokratne maske. Napravljene su dvije različite mješavine, jedna sa sitno izrezanim maskama zajedno sa trakicama sa maski koje se hvataju za uho, u postotku 0,75 % ukupnog volumena betona (0,5 % maska + 0,25 % gumica) te druga 1 % volumena gdje su maske jednostavno izrezane na 4 jednaka dijela, također sa sadržajem trakica za uho.

Mješavine su označene sa:

E-etalonska mješavina

TX1.7-mješavina sa dodatkom pamučnih krpica 1,7 % u ukupnom volumenu betona

TX3.5- mješavina sa dodatkom 3,5 % pamučnih krpica u ukupnom volumenu betona

PP- mješavina sa dodatkom polipropilenskih vlakana 0,18 % u ukupnom volumenu betona

M0.75- mješavina sa dodatkom sitno izrezanih jednokratnih polipropilenskih maski za lice 0,75% u ukupnom volumenu betona

M1.0- mješavina sa dodatkom jednokratnih polipropilenskih maski za lice, izrezanih na četiri dijela, 1,0 % u ukupnom volumenu betona

Sve navedene mješavine imaju istu količinu cementa, 350 kg/m^3 , jednak vodocementni faktor, 0.5, i istu količinu silikatne prašine i superplastifikatora. Jedina je razlika što je u 5 mješavina dodano ojačanje koje se razlikuje po količini i vrsti. Za izradu uzoraka betona korišten je drobljeni agregat sa nalazišta Plano, u tri različite frakcije: 0-4, 4-8 i 8-16 mm.

Beton je ispitan u svježem i očvrslom stanju. U svježem stanju ispitana je konzistencija metodom slijeganja, te je izmjerena temperatura, udio zraka u betonu porometrom i gustoća. Beton se ugradio pomoću uranjajućeg vibratora u kocke brida 150 mm, prizme $100 \times 100 \times 500$ i valjke promjera 150 mm. Nakon 24 sata beton se izvadilo iz kalupa i čuvao 28 dana u bazenu s vodom pri temperaturi $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tlačna čvrstoća betona ispitivana je na kockama starim 28 dana kao i dinamički modul elastičnosti, te vlačna čvrstoća savijanjem. Nakon ovih ispitivanja uslijedila su posredna ispitivanja trajnosti, to su: mjerenje kapilarnog upijanja, apsorpcija vode, habanje, plinopropusnost i vodonepropusnost.

4.2. Korišteni materijali

Prilikom izrade mješavina betona korišteni su slijedeći materijali:

- Cement CEM I 42.5
- Agregat
- Voda
- Aditivi
- Silikatna prašina
- Pamučni tekstilni otpad
- Polipropilenska vlakna za beton 19 mm
- Jednokratne maske za lice

4.2.1. Cement

Korišteni cement je CEM I 42.5 proizvođača Dalmacija cement, portland cement s udjelom 95-100 % klinkera certificiran prema zahtjevima HRN EN 197-1, HRN EN 197-2, BAS EN 197-1 I BAS EN 197-2. Klasificira se kao cement za opću uporabu i specijalnu uporabu u proizvodnji betona, morta, žbuke i estriha, niske potrebe za vodom za obradivost i optimalno održavanje ugradljivosti, vrlo visoke čvrstoće i kratkog vremena vezivanja, prikladan za radove na niskim temperaturama. Pogodan za izradu betona otpornih na mraz i soli, betonskih elemenata visokih čvrstoća tanjih presjeka, kod gradnje elemenata gdje se traži brzo skidanje oplate, manipulacija i opterećenje u ranoj dobi konstrukcije te za izradu specijalnih injekcijskih mortova i žbuka za brže radove rekonstrukcije.

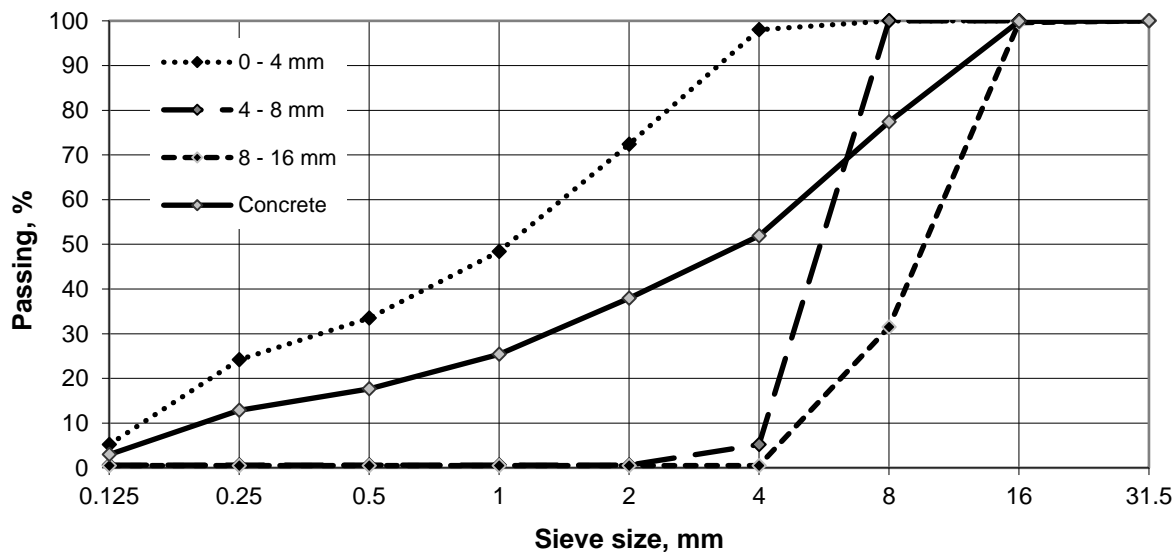
Prilikom transporta potrebno je osigurati zaštitu od utjecaja vlage a istovar obavezno vršiti u natkrivenom prostoru ili po suhom vremenu. Vreće cementa skladište se na suhoj dasci ili paleti u suhim prostorima zaštićenim od vlage i kiše. Ne preporuča se slagati više od deset vreća jednu na drugu. U tablici 4.1. dana su tipična svojstva i sastav cementa preuzet od proizvođača.

Tablica 4.1. : Tipična sastav i svojstva cementa

TIPIČAN SASTAV	ZAHTJEV NORME
Klinker (K) + Gips (G) 95-100 %	95-100
Sporedni sastojci 0-5 %	0-5
TIPIČNA SVOJSTVA	ZAHTJEV NORME
Gubitak žarenjem 2,5 ±0,5 %	<0,5
Netopivi ostatak 0,20 ± 0,10 %	<0,5
% SO ₃ 3,0 ± 0,2 %	<4,0
Kloridi 0,01 %	<0,1
Postojanost volumena (Le Chatelier) 1 mm	<10
Vrijeme vezivanja (početak) 180 ± 25 min	>60
Rana čvrstoća (2 dana) 30 MPa	>20
Normirana čvrstoća (28 dana) 54 MPa	>42,5 <62,5

4.2.2. Agregat

Za sve betonske mješavine korišten je drobljeni vapnenac sa nalazišta Plano pokraj Trogira, u tri različite frakcije: 0/4 , 4/8 i 8/16 mm. Na slici 4.1. su prikazane granulometrijske krivulje svih frakcija i kumulativna krivulja agregata za beton. Maksimalno zrno agregata je $D=16$ mm. Apsorpcija zrna agregata je 1,4 %, 0,95 % i 0,39 % po redu za frakcije 0/4, 4/8 i 8/16 mm.



Slika 4.1. : Granulometrijske krivulje frakcija agregata i kumulativna krivulja agregata za beton

4.2.3. Voda

Za pripremu betona korištena je pitka voda iz vodovoda stoga nije rađeno dodatno ispitivnje vode.

4.2.4. Aditivi

Od aditiva korišten je superplastifikator. Prisustvom superplastifikatora u vodi za pripremu betona stvara se deblji adsorpcijski sloj oko čestica cementa koji ima negativan naboj na vanjskoj površini čestice. Time se stvara razmak između čestica cementa i manja potreba za vodom i bolja obradivost betona. Za primjene ovog rada korišten je superplastifikator Masterglenium SKY 658, namjenjen za sve vrste cementa i za svaki željeni učinak.

Prednosti pri korištenju Masterglenium SKY 658:

- Dobro kontrolira učinak ukapljivanja
- Moguće velike uštede vode
- Niska vrijednost vodocementnog faktora
- Optimiziran sadržaj veziva
- Širok raspon upotrebe
- Vrlo mali gubitak konzistencije
- Visoke rane i konačne čvrstoće
- Nema kašnjenja u ranoj fazi
- Beton niskog ljepljenja

4.2.5. Silikatna prašina

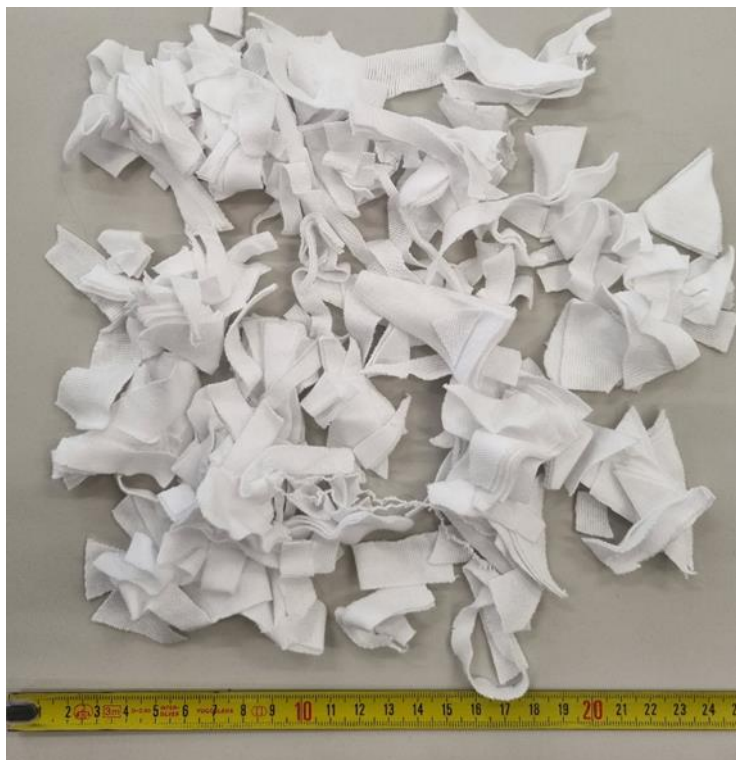
Silicijska prašina je mineralni dodatak betonu i ima pucolanska svojstva, nastaje kao nusproizvod pri proizvodnji silicijskih i ferosilicijskih legura, izdvaja se u procesu predsepariranja i filtriranja prašine iz proizvedenih otpadnih dimnih plinova na tehničkom sustavu za otprašivanje. To je prah vrlo sitnih čestica (0,1-0,5 mikrometara), i kad se upotrijebi u betonu ima dvojako djelovanje: kao vrlo reaktivan pucolan i poboljšanju obradivosti udjelom sitnih čestica. Utječe na povećanje čvrstoće i smanjenje propusnosti betona za vodu, agresivne tekućine i plinove. Povećava potrebu za vodom stoga preporuča ju se koristiti zajedno s plastifikatorom ili superplastifikatorom.

U ovom istraživanju korišten je Mapeplast SF proizvođača Mapei, mineralni dodatak u prahu na osnovu silikatne prašine, dodaje se suhoj mješavini cementa prije dodavanja vode i dozira se u količini 5-10 % na težinu cementa. Specifična površina iznosi 2.2 g/cm^3 .

4.2.6. Tekstilni otpad

Tekstilni otpad korišten kao ojačanje preuzet je iz tvornice Galeb d.o.o. Radi se o industrijskom otpadu nastalom tokom izrade novih proizvoda. Tvornica Galeb većinski se bavi proizvodnjom donjeg rublja te je preuzeti otpad prirodni pamučni tekstil.

Tekstil je izrezan na male komade nepravilnih oblika i raznih dimenzija, od 2 cm do cca 6 cm najveće dimenzije.



Slika 4.2: Izrezani tekstilni otpad

4.2.7. Polipropilenska vlakna za beton

PP vlakna dodaju se mješavini betona u svrhu ojačanja mortova, estriha i betona. Djeluju pozitivno na mehanička svojstva i svojstva trajnosti. Dodaju se u suhu smjesu prije dodavanja vode i ne zahtjeva se nikakav dodatni postupak kod izrade mješavina te nema tendenciju formiranja gnjezda unutar betonske smjese. Dolaze u standardnim dužinama od 6, 12, 19 i 25 mm.

Tokom izrade ovog rada korištena su vlakna dužine 19 mm. U tablici 4.2. dane su tehničke specifikacije proizvođača.

Prednosti korištenja PP vlakana u betonu:

- Bolja otpornost na habanje i udar
- Bolja savojna čvrstoća
- Smanjuje težinu betona i poboljšava obradivost
- Nema kemijske reakcije

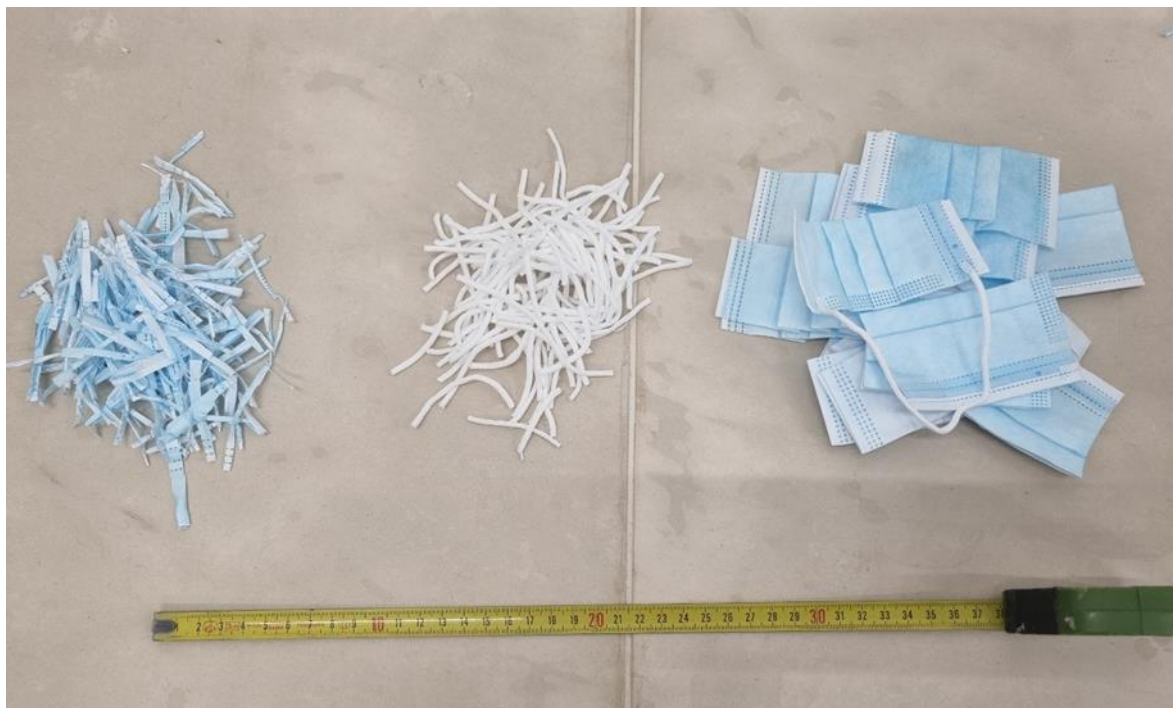
- Prikladan za sve betonske mješavine
- Otporan na alkalije

Tablica 4.2 : Tehničke specifikacije PP vlakana

Materijal	100 % polipropilen
Specifična težina	0,915 g/cm ³
Vlačna čvrstoća	28-77 kN/mm ²
Modul elastičnosti	2,1-3,5 kN/mm ²
Temperatura taljenja	160-170 °C
Temperatura zapaljenja	>320 °C
Apsorpcija vode	Nula

4.2.8. Jednokratne maske za lice

Za izradu mješavina M0.75 i M1.0 korištene su medicinske maske tipa 1, odnosno maske od netkane tkanine, polipropilena u tri sloja sa gumicom za uho. Iako je ideja da se koristi otpad jednokratne zaštitne opreme, tokom istraživanja korištene su nove, ne korištene maske, radi pojednostavljenja postupka izrade mješavina. Maske su izrezane, izvagane zajedno sa gumicama i dodane u suhu mješavinu na samom početku miješanja. Za razliku od krpica, maske su stavljene u vodu ali je nisu upijale. Maske za mješavinu M0.75 izrezane su na sitne trakice duljine 20-30 mm dok su maske za mješavinu M1.0 izrezane poprečno na 4 jednaka dijela, slika 4.3.



slika 4.3.: Jednokratne maske

4.3. Izrada mješavina

Ukupno je izrađeno šest mješavina, etalon, dvije mješavine sa tekstilnim otpadom, jedna sa PP vlaknima i dvije sa jednokratnim maskama za lice. Sve mješavine imaju jednaku količinu cementa, silike i superplastifikatora i jednak vodocementni faktor. Razlikuju se jedino po načinu i udjelu ojačanja. Za sve mješavine korišten je jednak agregat u tri frakcije. Receptura svih mješavina prikazana je u tablici 4.3.

Tablica 4.3: receptura svih mješavina

Sastojak (kg)	E	TX1.7	TX3.5	PP	M0.75	M1.0
Cement	350	350	350	350	350	350
Silikatna prašina	35	35	35	35	35	35
w/c	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Agregat						
0-4 mm	968,7	944,5	920,3	965,7	961,4	959,0
4-8 mm	279,4	272,5	265,5	278,6	277,3	276,6
8-16 mm	614,8	599,4	584,0	612,9	610,1	608,6
SP 0,6 %	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Krpice/ Maske /PP vlakna	-	3,8	7,7	1,6	1,95	3,6

Sve mješavine izrađene su u laboratoriju za građevinske materijale na Fakultetu građevinarstva, arhitekture i geodezije, po propisanim standardima. Suhi sastojci dodaju se u mješalicu zajedno te se mješaju 90 s, nakon dodavanja vode i superplastifikatora miješanje traje još 180 s. Prvo je napravljena referentna mješavina, etalon, bez dodataka. Krpice su izrezane, izvagane i potopljene u vodu, dodale su se suhoj mješavini prije početka miješanja u zasićenom stanju bez površinske vode.



Slika 4.4: Izrada betonskih mješavina

Tokom izrade betona TX3.5 primijećeno je da je smjesu teško homogenizirati miješanjem te da dolazi do efekta stvaranja klupka unutar betona tzv. „balling effect“, slika 4.4. Dodatni problem su stvarali pojedini komadići tkanine koji su se rastezali. Standardnim postupkom pripremljen je i beton sa 0,18 % PP vlakana i zatim sa dodatkom maski. Kako je prije napomenuto, maske nisu upijale vodu, slika 4.5 i 4.6. Za razliku od tekstila rastezljive gumice koje su dodane zajedno sa maskama nisu predstavljale problem kod homogeniziranja smjese.

Sve mješavine ugrađene su u kalupe kocke brida 150 mm, prizme i valjke, zbijene uranjajućim vibratorom, i nakon 24 sata skinute iz kalupa i spremljene na čuvanje u bazen vode pri temperaturi 20 ± 2 °C . Kod ugradnje smjese M1.0 primijećen je odmah veliki udio zraka i smjesa se znatno zapjenila, slika 4.7.



Slika 4.5: Kapljica vode na maski



Slika 4.6: Postupak izrade mješavine M1.0



Slika 4.7: Lijevo-izrada ispitnih tijela, desno-detalj pjenjenja betona M1.0

4.4. Metode ispitivanja

Ispitivanja su se vršila u svježem i očvrslom stanju betona. U svježem stanju mjerila se temperatura, gustoća, konzistencija i sadržaj zraka u betonu. U očvrslom stanju ispitivana je tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća savijanjem, dinamički modul elastičnosti, habanje, upijanje i apsorpcija betona, te plinopropusnost i vodonepropusnost.

4.4.1. Mjerenje temperature betona

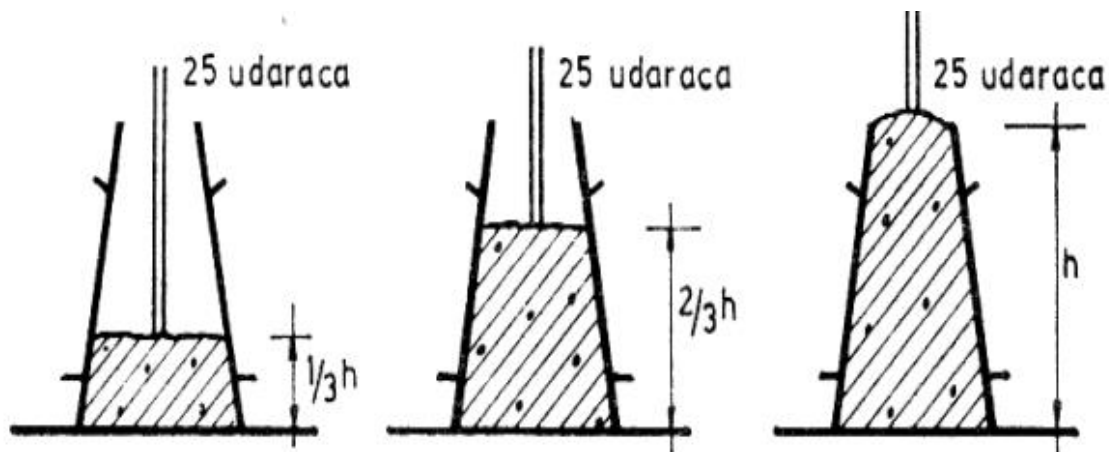
Odmah po miješanju izmjerila se temperatura digitalnim termometrom sa iglom koja se postavlja u sredinu pripravljene smjese, vodeći računa da se iglom ne dodiruje bubanj.

4.4.2. Ispitivanje gustoće betona

Gustoća svježe betonske smjese odredi se ugradbom betona u kalup poznatih dimenzija i mjerenjem mase na preciznoj laboratorijskoj vagi. Gustoća očvrsllog betona mjerena je na uzorcima starima 28 dana, prije početka testiranja tlačne čvrstoće svim uzorcima su izmjerene dimenzije i masa.

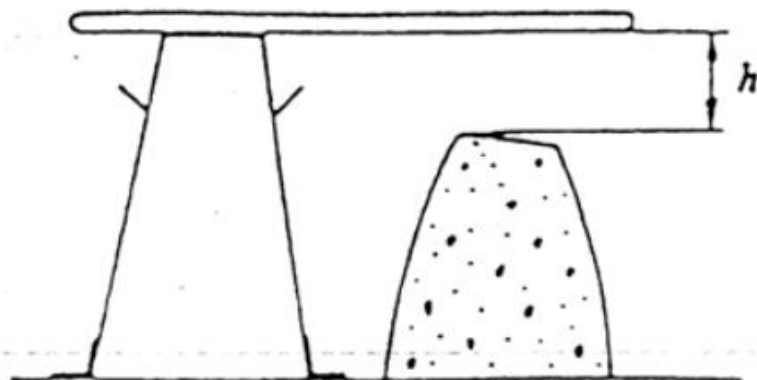
4.4.3. Ispitivanje konzistencije betona

Za ispitivanje konzistencije betona korištena je metoda slijeganja. Svježe pripremljen beton zbijaju se standardnim postupkom u Abramsov kalup, krnji stožac visine 30 cm, donja baza promjera 20 cm a vrh promjera 10 cm. Kalup je postavljen na plastičnu površinu, prethodno navlaženu kako se ne bi upila voda iz smjese, kao i unutarnja strana kalupa. Beton je zbijen u kalup u tri sloja sa zbijanjem po 25 puta šipkom promjera 16 mm nakon svakog sloja, pazeći pritom na pomicanje kalupa tako što ga se čvrsto drži za ručke, slika 4.8 .



Slika 4.8: Standardni postupak zbijanja betona u Abramsov kalup [4]

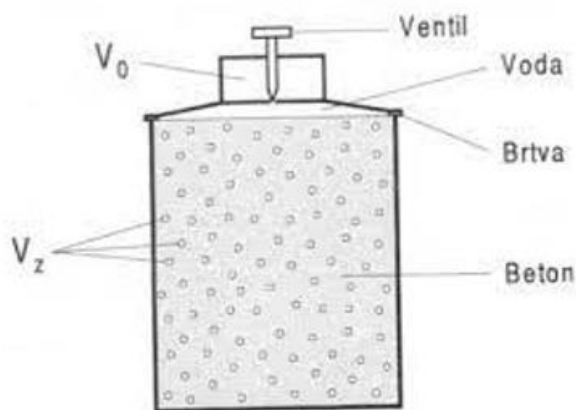
Nakon zbijanja poravnata je površina betona i izvučen je kalup u vertikalnom smjeru u vrlo kratkom vremenu, te je odmah izmjereno slijeganje, visinska razlika između vrha kalupa i vrha slegnutog betona, slika 4.9.



Slika 4.9: Mjerenje slijeganja[4]

4.4.4. Ispitivanje sadržaja zraka u svježem betonu

Sadržaj zraka u svježem betonu određen je metodom pomoću porometra. Beton je sipan u čvrstu posudu nepromijenjivog volumena i zbijen vibratorom. Nakon zbijanja rub posude se obriše te se na nju stavlja poklopac na kojem je mali rezervoar zraka, manometar, ručna pumpa i ventil. Nakon postavljanja poklopca u preostali prostor između betona i poklopca ulivena je voda, a u rezervoar je napumpan zrak do tlaka od 10^5 Pa. Zatim je otvoren ventil i dio zraka je ispušten u donju posudu i na manometru se direktno očita postotak zraka u betonu.



Slika 4.10: Porometar [3]

4.4.5. Ispitivanje tlačne čvrstoće

Ispitivanje tlačne čvrstoće vršilo se na kockama dimenzije 150 mm, starim 28 dana, saturirane vodom, nakon vađenja iz bazena za njegu površinski su samo obrisane. Prije stavljanja pod ploču hidrauličke preše izmjerene su im sve dimenzije i masa. Tlačna čvrstoća betona ispitivana je prema normi HRN EN 12390-3, za sve mješavine na po tri uzorka, sila je nanijeta jednolikom brzinom sa prirastom $0,6 \text{ N/mm}^2$ sve do loma ispitnog tijela, slika 4.11.



Slika 4.11: Ispitivanje tlačne čvrstoće

Rezultat ispitivanja je tlačna čvrstoća i iznosi:

$$f_k = \frac{F}{A} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

Gdje je: F = sila u trenutku loma (N)

A = površina poprečnog presjeka u sredini ispitnog tijela (mm^2)

4.4.6. Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem

Vlačna čvrstoća betona određena je neposrednim putem na uzorku betonske prizme dimenzija 100 x 100 x 500 mm, prema normi HRN EN 12390-5:2019. Gredica, odnosno prizma stavljena je na dva oslonca i pritisnuta silom u sredini raspona.

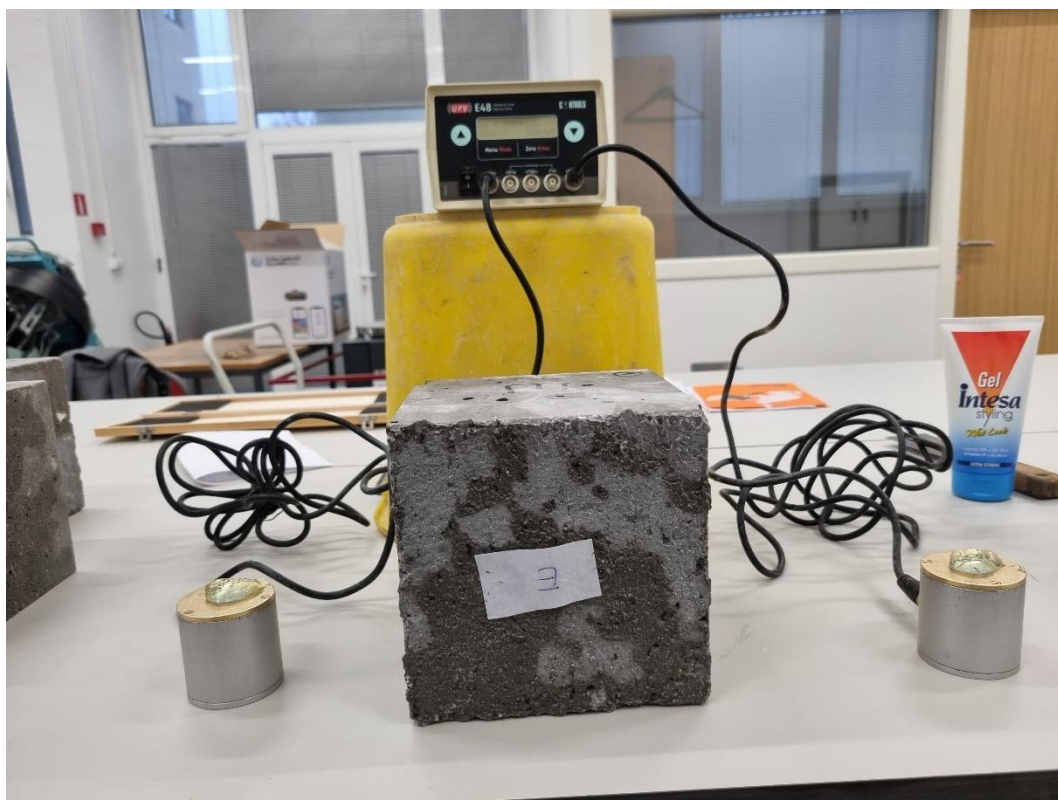
$$\text{Savojna čvrstoća iznosi: } \sigma_s = \frac{M}{W} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

Gdje je: $M = \text{Moment savijanja kod sloma (Nmm)}$

$$W = \text{moment otpora poprečnog presjeka (mm}^3\text{)}$$

4.4.7. Ispitivanje dinamičkog modula elastičnosti betona

Dinamički modul elastičnosti betona određen je posredno iz mjerenja brzine prolaza ultrazvučnih valova. Na površinu betona, namazanu gelom radi boljeg prijanjanja, postavljaju se generatori ultrazvučnog impulsa, valovi prolaze kroz poznatu udaljenost (dimenzija betonske kocke) i na prijemu se očitava vrijeme prolaska, brzina se izračuna, slika 4.12.



Slika 4.12: Mjerenje brzine ultrazvučnih valova kroz betonsku kocku

Brzina širenja ultrazvučnog vala je $v=L/T$ (m/s) a dinamički modul elastičnosti iznosi:

$$E_{din} = \frac{v^2 \rho}{K}$$

Gdje je ρ gustoća betona $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$, a $K = \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ a ν je Poissonov koeficijent. [3]

4.4.8. Ispitivanje kapilarnog upijanja vode

Mjerenje kapilarnog upijanja vode jedna je od metoda za određivanje potencijalne trajnosti betona. Postupak ispitivanja rađen je tako da se uzorak betona najprije osuši do stalne mase (M_0) na temperaturi od 105 ± 5 °C, te ga se ostavi da se ohladi na sobnoj temperaturi. Uzorak se zatim izvaže i uranja samo jednom svojom plohom u posudu s vodom razine manje od 5 mm a uzorak je postavljen na oslonce, slika 4.13. Mjerenjem mase uzorka u određenim intervalima vremena dobiva se masa M_i te se može izračunati vodoupojnost:

$$S = \frac{M_i - M_0}{A} \left(\frac{kg}{m^2}\right)$$

Gdje je M_i = masa uzorka nakon i vremena u kontaktu s vodom (kg)

M_0 = masa suhog uzorka (kg)

A = ploština površine uzorka u kontaktu s vodom (m^2)

Kapilarno upijanje mjerno je nakon: 2, 4, 8, 15, 30 i 45 minuta, nakon 1 sat, 4 sata i nakon 24 sata. Rezultat ispitivanja je dijagram kapilarnog upijanja i koeficijent vodoupojnosti w .

$$w = \frac{S}{\sqrt{t}} \left(\frac{kg}{m^2} \cdot s^{-\frac{1}{2}}\right)$$



Slika 4.13: Ispitivanje kapilarnog upijanja

4.4.9. Ispitivanje apsorpcije vode

Slično prethodnoj metodi, ispituje se trajnost betona u obliku njegove sposobnosti za apsorpiranje tekućina. Betonske kocke osušene su do stalne mase (M_0) pri temperaturi 105 ± 5 °C, ohlađene na sobnoj temperaturi, izvagane i uronjene u vodu na 24 sata do postizanja konstantne mase (M_1). Apsorpcija vode iznosi:

$$W = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \cdot 100 \%$$

4.4.10. Ispitivanje otpornosti betona na habanje

Ispitivanje otpornosti betona na habanje izvršeno je brušenjem po Bohme-u, prema normi HRN EN 1128, dodatak M. Ispitivanje se provodi na uzorcima $71 \pm 1,5$ mm a jedna serija sastoji se od minimalno tri uzorka. Uzorak se stavlja pod opterećenje od 294 N i brusi se brusnim papirom sa sve 4 strane po 4 puta na rotacijskoj brusnoj ploči. Svaki uzorak brusi se

u 16 ciklusa, a svaki ciklus ima 22 okretaja ploče. Nakon 16 ciklusa utvrđuje se obrušeni volumen ispitane betonske površine i određuje se razred otpornosti na habanje.

Otpornost na habanje se izračuna pomoću izraza:

$$H = \frac{\Delta V}{50 \text{ cm}^2} = \frac{\frac{\Delta m}{\rho}}{50 \text{ cm}^2} = \frac{m_0 - m_{16}}{50 \text{ cm}^2}$$

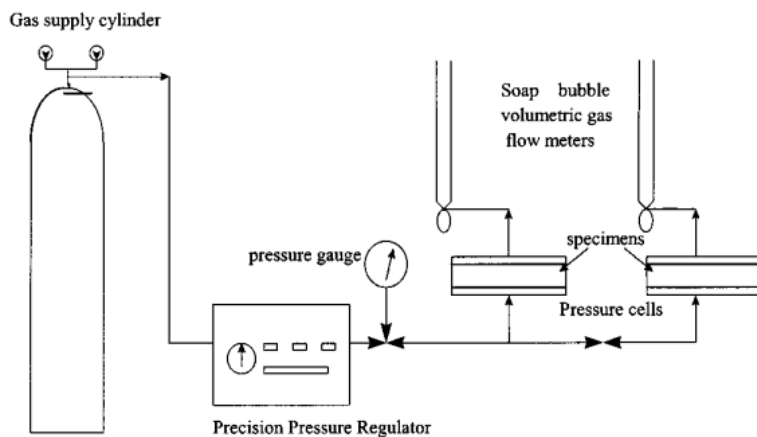
Ocjenjuje se gubitak volumena prema površini stranice ispitane kocke.

4.4.11. Propusnost je, općenito, proces pri kojem se tvari transportiraju iz jednog dijela materijala u drugi zbog hidrauličkog gradijenta, a jednosmjerni protok tvari kroz zasićeni porozni materijal opisuje se Darcyjevim zakonom: $Q = K \cdot A \cdot I$

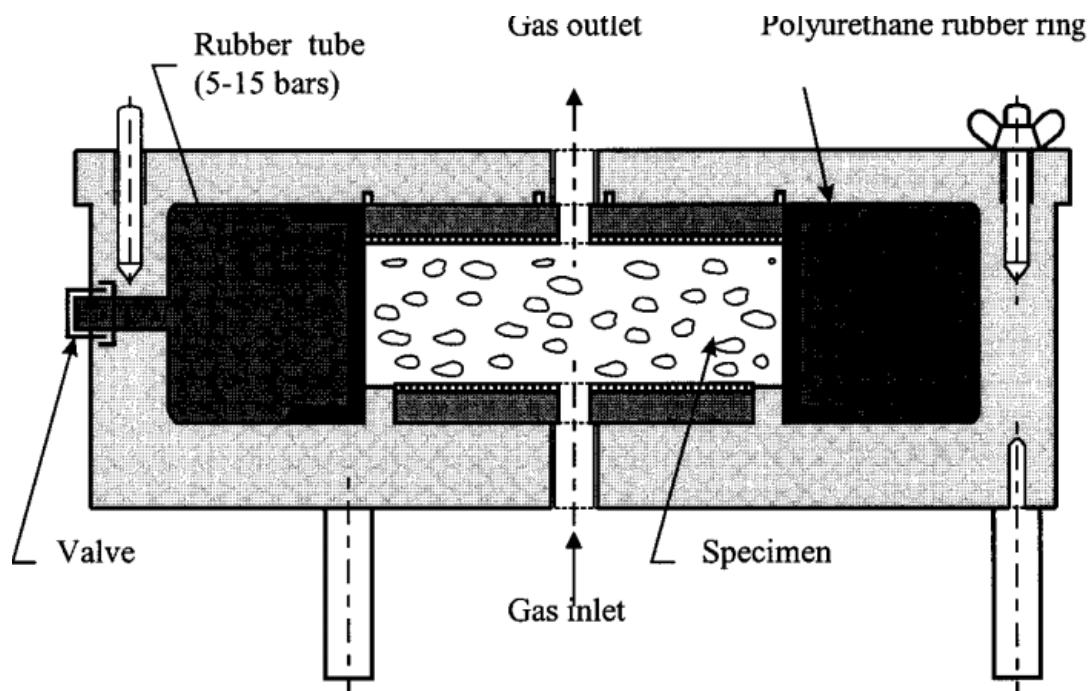
Gdje je Q stupanj protoka (m^3/s), K koeficijent propusnosti koji ovisi o strukturi materijala (vodocementni faktor mješavine i starost betona) ali i o svojstvima tekućine. A je poprečni presjek područja protoka (m^2), I hidraulični gradijent. prebacit u niži naslov

4.4.12. Ispitivanje plinopropusnosti

Ispitivanje plinopropusnosti obavlja se na uzorcima oblika diska, promjera 150 ± 1 mm i debljine 50 ± 1 mm, betona starog 28 dana ili i više. Uzorci su osušeni na 105 ± 5 °C do stalne mase a ispitivanje se mora provoditi u uvjetima bez vanjskog prirodnog dotoka zraka u blizini aparature. Aparatura za mjerenje plinopropusnosti sastoji se od Cembureau permometra sa komorom u koju se postavlja betonski uzorak obložen gumom, slike 4.14-4.15. Na komoru je priključen dovod zraka, u konkretnom slučaju odabran je kisik, sa regulacijom tlaka preciznosti ± 0.01 MPa. Iznad komore nalazi se kalibrirana cjevčica za mjerenje kretanja mjehurića sapunice i kronometar.



Slika 4.14: Aparatura za mjerenje plinopropusnosti[15]



Slika 4.15: Komora u koju se postavlja betonski disk [15]

Kad se uzorak postavi u komoru, postavi se bočni tlak na uzorak od 0,7 MPa na gumenoj cijevi oko diska i odaberu se tri razine tlaka pod kojim će se promatrati prodor zraka: početak sa 0,15 MPa, povećanje na 0,20 MPa i na kraju 0,30 MPa. Mjeri se vrijeme kretanja mjehurića u kalibriranoj cijevi a započinje kad je mjehurić na najnižoj koti cjevčice do trenutka kad je vrijeme za prolazak konstantno. Posredno iz tog mjerenja odredi se koeficijent plinopropusnosti:

$$K_i = \frac{2P_a Q_i L \mu}{A(P_i^2 - P_a^2)}$$

Gdje je:

Q_i = protok pri tlaku i ($\frac{m^3}{s}$)

L = debljina uzorka (m)

A = porpečni presjek uzorka (m^2)

P_a = atmosferski tlak (Pa)

P_i = primjenjeni tlak, aposlutna vrijednost (Pa)

μ = dinamička viskoznost plina pri temperaturi $20 \pm 2^\circ C$; za kisik iznosi $20,27 \cdot 10^6$ ($Pa \cdot s$)

Koeficijent plinopropusnosti u pravilu povećanjem primijenjenog tlaka opada ali kao konačni rezultat uzima se srednja vrijednost mjerenja.

4.4.13. Ispitivanje vodonepropusnosti

Ispitivanje vodonepropusnosti betona je na principu određivanja prodora vode u beton pod tlakom. Kocka betona dimenzija 150x150x150 mm starosti betona najmanje 28 dana prvo se osuši na 105 ± 5 °C do stalne mase. Zatim se stavlja u VDP uređaj na 72 sata gdje je pod konstantnim tlakom od 0,5 MPa, slika 4.16. Nakon proteklog vremena uzroci se lome i izmjeri se koliko je voda prodrla u uzorak te se beton ocjenjuje prema razredima vodonepropusnosti.



Slika 4.16: Uzorci postavljeni u VDP uređaj pod stalnim tlakom

5. Rezultati i analiza ispitivanja betona

5.1. Rezultati ispitivanja temperature betona

Temperatura svih mješavina nije pokazala znatna odstupanja, iz tablice 5.1 vidljivo je da temperatura svježeg betona ovisi o temperaturi okoline.

Tablica 5.1: Izmjerena temperatura betona

Oznaka	E	TX1.7	TX3.5	PP	M0.75	M1.0
Temperatura (°C)	24,2	22,9	23,0	23,0	23,2	22,6

5.2. Rezultati ispitivanja gustoće betona

Mjerenjem mase svježeg betona zbijenog u kalup lako se odredi gustoća. Nakon 28 dana starosti betona izmjerene su dimenzije svih uzoraka i masa te se odredila gustoća očvrslom betona. Rezultati mjerenja i izračunate gustoće prikazane su u tablici 5.2 za svježi beton i 5.3 za beton u očvrslom stanju.

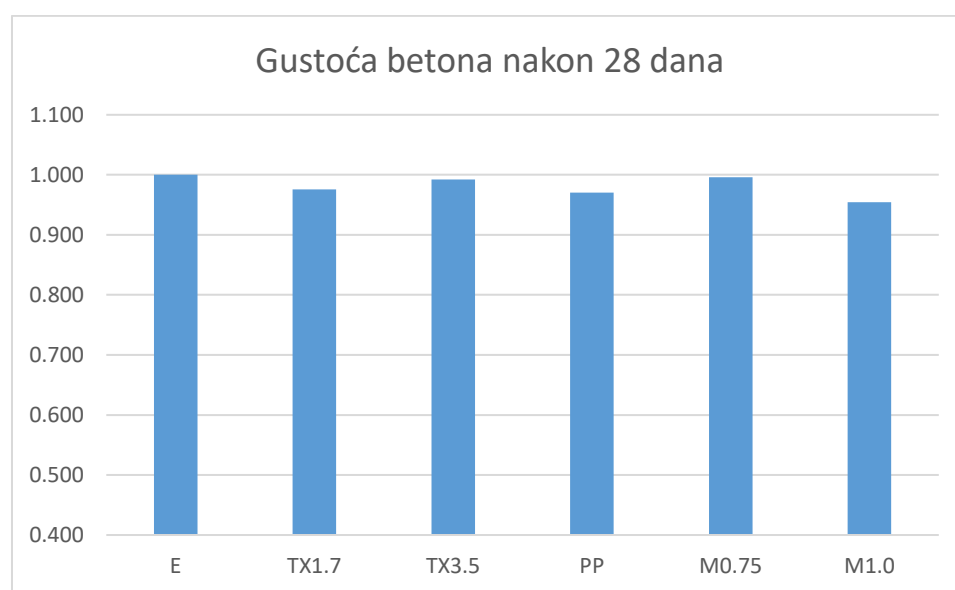
Tablica 5.2: Gustoća svježeg betona

OZNAKA	V (m ³)	masa (g)	Gustoća (kg/m ³)
E	0,003375	7849,2	2325,689
TX1.7	0,003375	7754,9	2297,748
TX3.5	0,003375	7949,4	2355,378
PP	0,003375	7674,6	2273,956
M0.75	0,003375	7818,2	2316,504
M1.0	0,003375	7583,3	2246,904

Tablica 5.3: Gustoća betona nakon 28 dana

Uzorak	a (mm)	b (mm)	c (mm)	masa (g)	V (m ³)	Gustoća (kg/m ³)
E	152	150	150	7844,1	0,00342	2293,596
	150	150	150	7893,6	0,003375	2338,844
	151	150	150	7778,5	0,003398	2289,478
TX1.7	151	150	150	7705	0,003398	2267,844
	153	150	150	7753,5	0,003443	2252,288
	152	150	150	7641,4	0,00342	2234,327
TX3.5	151	150	150	7777,7	0,003398	2289,242
	150	150	150	7736,8	0,003375	2292,385
	150	150	150	7720,1	0,003375	2287,437
PP	151	150	150	7603,6	0,003398	2237,999
	152	150	150	7666,6	0,00342	2241,696
	150	150	150	7553,5	0,003375	2238,074
M0.75	152	150	150	7830	0,00342	2289,474
	151	150	150	7849,3	0,003398	2310,316
	152	150	150	7846,4	0,00342	2294,269
M1.0	152	150	150	7505,8	0,00342	2194,678
	153	150	150	7607,9	0,003443	2209,993
	150	150	150	7428,1	0,003375	2200,919

Najmanja gustoća je kod betona sa 1% jednokratnih maski (M1.0) dok je kod betona M0.75, najveća u odnosu na etalon, slika 5.1. Betoni sa tekstilom prosječno imaju sličnu gustoću a najlakši beton postignut je sa PP vlaknima.



Slika 5.1: Relativni prikaz gustoće u odnosu na etalon

5.3. Rezultati ispitivanja konzistencije betona

Konzistencija betona ispitivana je prethodno opisanom metodom slijeganja. U tablici 5.4 dani su podaci mjerenja svih mješavina kao i ocjena razreda konzistencije betona.

Tablica 5.4: Rezultati ispitivanja konzistencije za sve mješavine

Oznaka	E	TX1.7	TX3.5	PP	M0.75	M1.0
Slijeganje (cm)	10,0	14,0	8,5	12,0	9,0	15,0
Razred konzistencije	S3	S3	S2	S3	S2	S3

Slijeganje za S3 je u razredu 100-150 mm. S2 se klasificira kao standardni beton u razredu slijeganja 50-90 mm. Mješavina TX1.7 ima veće slijeganje u odnosu na etalon, što nije u skladu s prethodnim ispitivanjima.

Na slikama od 5.2 do 5.5 su prikazana mjerenja slijegnja na ispitnim mješavinama.



Slika 5.2: Mjerenje slijeganja za mješavine TX1.7 i TX3.5



Slika 5.3: Mjerenje slijeganja za mješavinu PP

Obzirom da sve mješavine imaju isti vodocementni faktor, razliku u obradivosti betona čine samo dodatci. Sve mješavine imaju dostatnu obradivost, a TX3.5 i M0.75 klasificiraju se u betone standardno obradive.



Slika 5.4: Mjerenje slijeganja za mješavinu M1.0



Slika 5.5: Mjerenje slijeganja za mješavinu M0.75

5.4. Rezultati ispitivanja sadržaja zraka u betonu

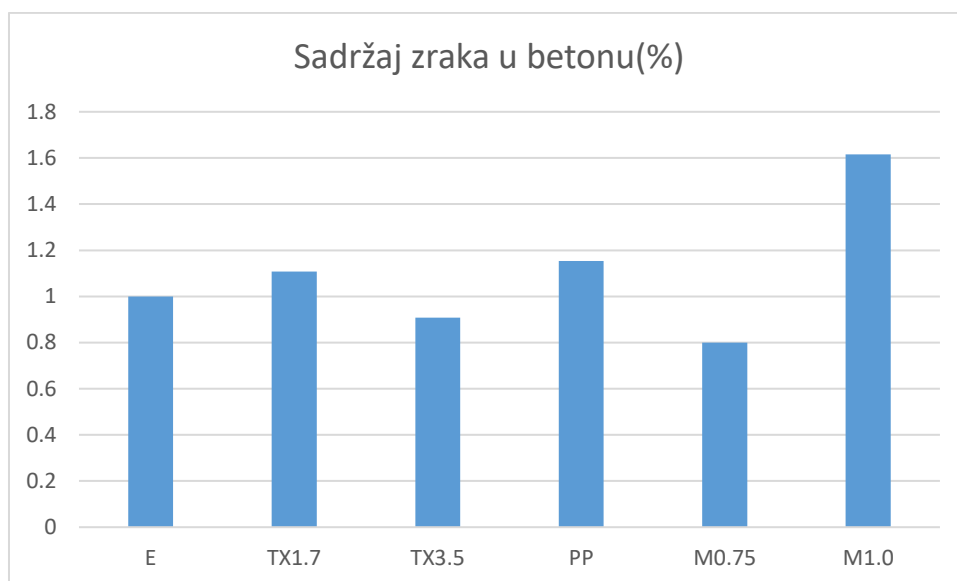
Sadržaj zraka određen je metodom porometra opisanom u poglavlju 4.4.4., a u tablici 5.5 dani su rezultati mjerenja.

Tablica 5.5: Rezultati ispitivanja sadržaja zraka u betonu

Oznaka	E	TX1.7	TX3.5	PP	M0.75	M1.0
Sadržaj zraka (%)	6,5	7,2	5,9	7,5	5,2	10,5

Prema podacima iz [3] za mješavine s dodatkom vlakana i maksimalno zrno agregata od 16 mm očekivana je količina zraka od 4 do 6 %. Etalon, koji nema vlakna ni ojačanja trebao bi imati još manju količinu zraka. Iz slike 5.6 jasno je vidljivo da M1.0 ima 62% više udjela zraka u odnosu na referentnu mješavinu, što se moglo naslutiti još tokom ugrađivanja betonske mješavine u kalupe gdje se M1.0 znatno zapjenio. Uzrok tome je vjerojatno u velikim komadima izrezanih maski koje su svojim oblikom zarobljavale prostor unutar mješavine ili eventualno u nekoj kemijskoj reakciji. Ponovo, suprotno M0.75 i TX3.5 imaju

najmanji udio pora u betonu i u skladu sa [3], a TX1.7 i PP nemaju velika odstupanja od referentnog betona.



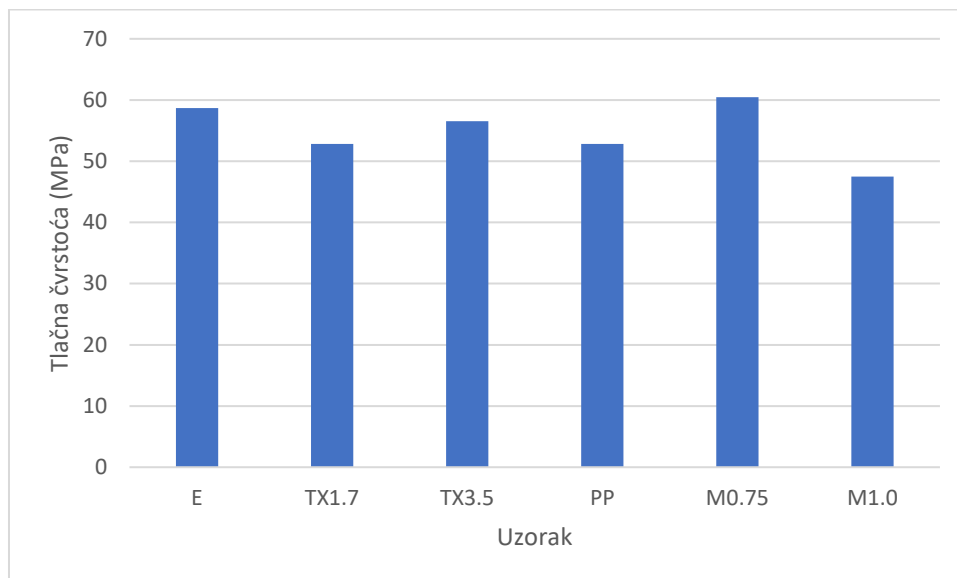
Slika 5.6: Relativni prikaz sadržaja zraka u betonu u odnosu na etalon

5.5. Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće betona

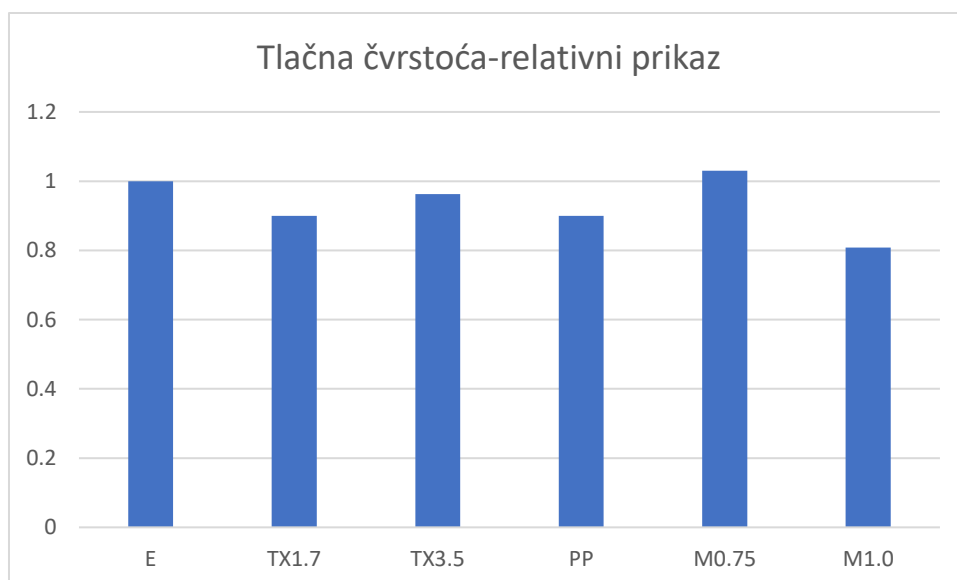
U poglavlju 4.4.5. opisan je postupak ispitivanja tlačne čvrstoće betona. Za svaki tip mješavine dobivena su po tri rezultata, a u tablici 5.6 i na slici 5.7 prikazane su srednje vrijednosti tlačne čvrstoće.

Tablica 5.6: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće betona

Oznaka	E	TX1.7	TX3.5	PP	M0.75	M1.0
Tlačna čvrstoća (MPa)	58,70	52,80	56,53	52,80	60,47	47,47



Slika 5.7: Rezultati ispitivanjaje tlačne čvrstoće betona

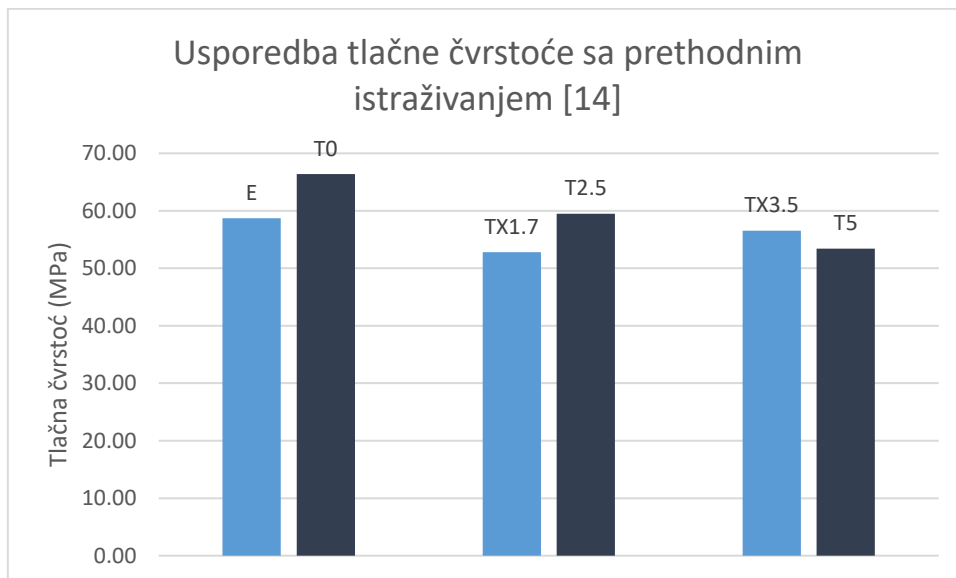


Slika 5.8: Prikaz rezultata tlačne čvrstoće u odnosu na etalon

Mješavina M0.75 postigla je najbolju tlačnu čvrstoću, za 3 % bolju od etalona, dok M1.0 ima 20% manju tlačnu čvrstoću u odnosu na referentnu mješavinu. TX3.5 mješavina postigla je 96 % tlačne čvrstoće etalona, slika 5.8 . Mješavine TX1.7 i PP postigle su 90 % tlačne čvrstoće od etalona. Za usporedbu rezultata u prethodnom istraživanju Bartulović, i ostali [14] mješavine sa istim postotkom tekstila, bez silikatne prašine, postigle su 90 % i 80 % tlačne čvrstoće etalona, za 1,7 i 3,5 % dodanog tekstila. Također, mješavina TX1.7 postigla je isti rezultat u ispitivanju tlačne čvrstoće kao i PP, što indicira da tekstilna vlakna imaju sličan učinak kao i standardna PP vlakna koja se dodaju betonu. Rezultat M0.75 pokazuje da

polipropilenske maske izrezane na komadiće pridonose ojačanju betona, odnosno tlačnoj čvrstoći. Rezultat je bolji od etalona i zbog manjeg udjela zraka u mješavini M0.75.

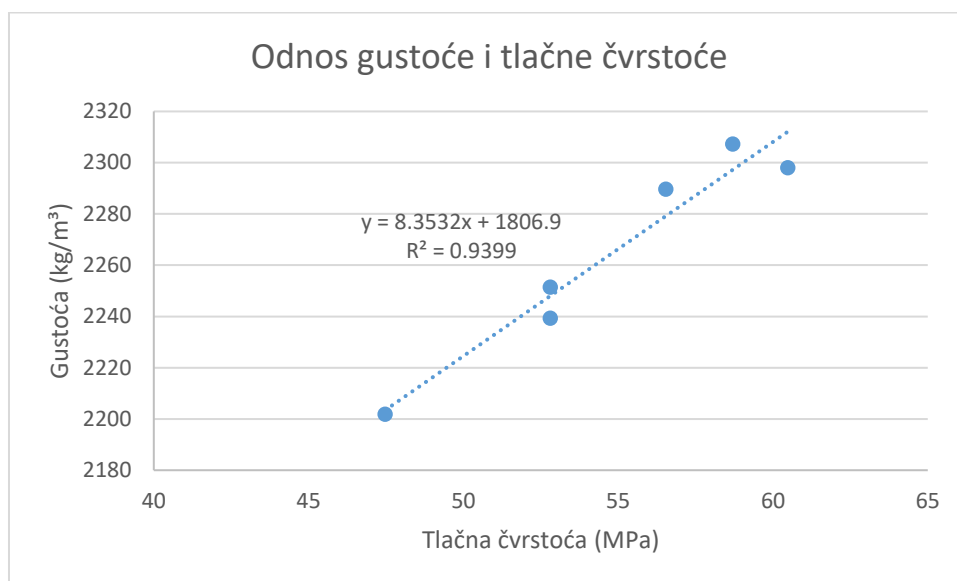
Na slici 5.9 je prikazana usporedba rezultata iz [14] i rezultata dobivenih u ovom ispitivanju.



Slika 5.9: Prikaz usporedbe tlačne čvrstoće sa prethodnim istraživanjem

Prema slici 5.9 dodatak silikatne prašine samo je povećao čvrstoću mješavine TX3.5 dok mješavina iz prethodnog ispitivanja T2.5 ima bolju čvrstoću od etalona E. S obzirom da mješavine sa silikatnom prašinom imaju veću količinu veziva nego mješavine iz ispitivanja [14], postavlja se pitanje aktivnosti silikatne prašine.

Na slici 5.10 prikazan je odnos tlačne čvrstoće i gustoće. Prema dobivenom koeficijentu korelacije $R = 0,969$ potvrđeno je da beton veće gustoće postiže veće tlačne čvrstoće.



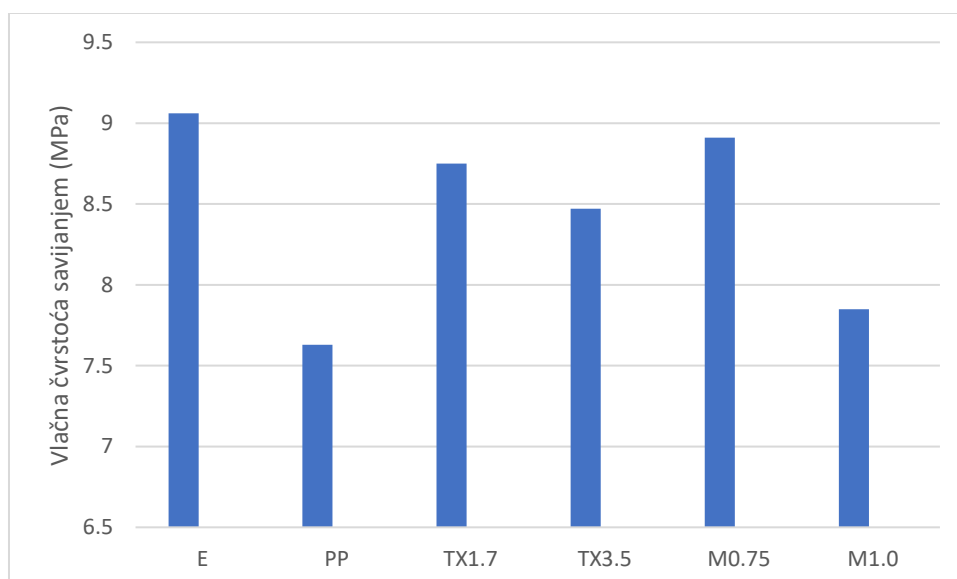
Slika 5.10: Grafički prikaz odnosa gustoće betona i tlačne čvrstoće

5.6. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem

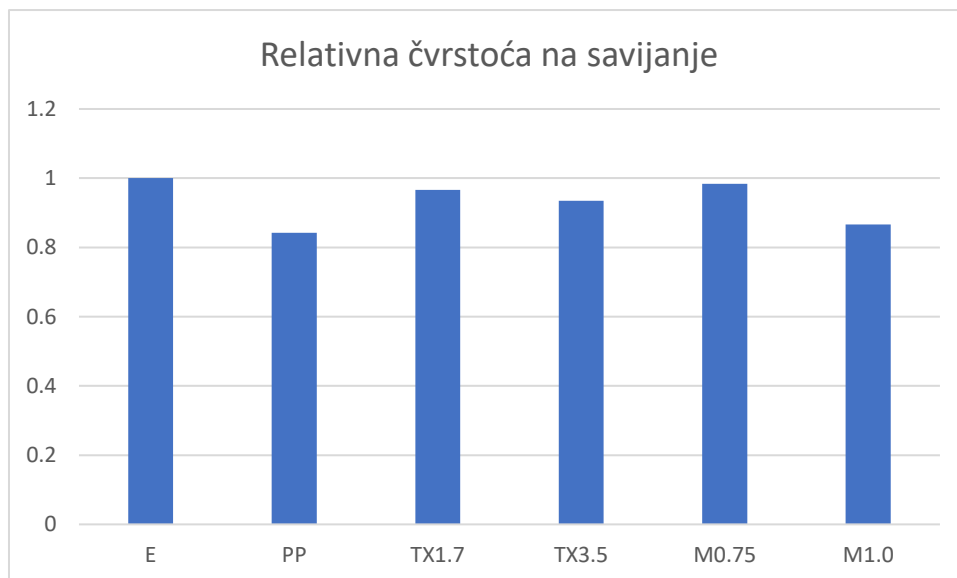
Vlačna čvrstoća betona ispitana je metodom savijanja, u tablici 5.7 i na slici 5.11 su prikazani rezultati.

Tablica 5.7: Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem

Uzorak	Čvrstoća na savijanje (MPa)
E	9,06
PP	7,63
TX1.7	8,75
TX3.5	8,47
M0.75	8,91
M1.0	7,85

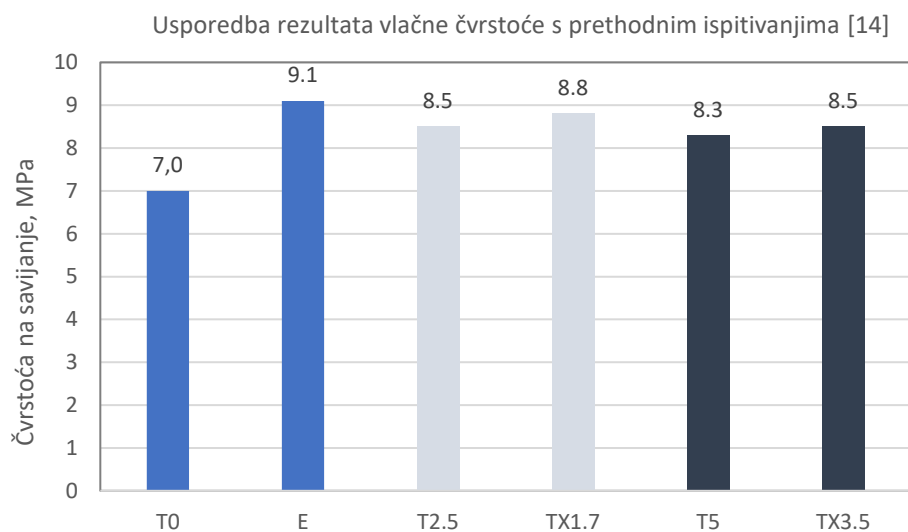


Slika 5.11: Prikaz rezultata ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem



Slika 5.12: Prikaz relativne čvrstoće na savijanje u odnosu na etalon

Za razliku od prethodnog istraživanja Bartulović i ostali [14], niti jedna mješavina nije pokazala bolju savojnu čvrstoću od referentne mješavine, iako su brojčano rezultati bolji, slika 5.13. U spomenutom istraživanju [14] mješavine sa 1.7 % i 3.5 % dodatka tekstila bile su bolje od etalona 21 i 19%. U ovom istraživanju sa dodatkom samo silikatne prašine, mješavine TX1.7 i TX3.5 su dosegle 96%, odnosno 93 % savojne čvrstoće etalona sa silikatnom prašinom, slika 5.12. Dodatak silikatne prašine poboljšao je vlačnu čvrstoću svake mješavine u odnosu na rezultate prethodnih ispitivanja. Izuzev etalona, najbolji rezultat pokazala se mješavina M0.75, sa sitno izrezanim jednokratnim maskama, sa 98 % savojne čvrstoće etalona. M1.0 postigla je 7,85 MPa odnosno 86 % a PP sa najnižom vrijednosti postignuto je 84 % od savojne čvrstoće etalona.



Slika 5.13: Usporedba rezultata vlačne čvrstoće s prethodnim istraživanjem

Na slikama od 5.14 do 5.19 prikazani su detalji lomova svih uzoraka nastali savijanjem. Na slici 5.17 vidi se gnijezdo formirano tekstilom u mješavini TX3.5 a na slici 5.19 vidljivi su komadi korištenih maski, iznad kojih je vidljiv dio betona u kojem se nalaze samo sitnija zrna agregata u cementnom kamenu. Vlakna iz dodanih materijala nastavljaju „pridrživati“ beton i nakon sloma.



Slika 5.14: Lom etalona nastao savijanjem



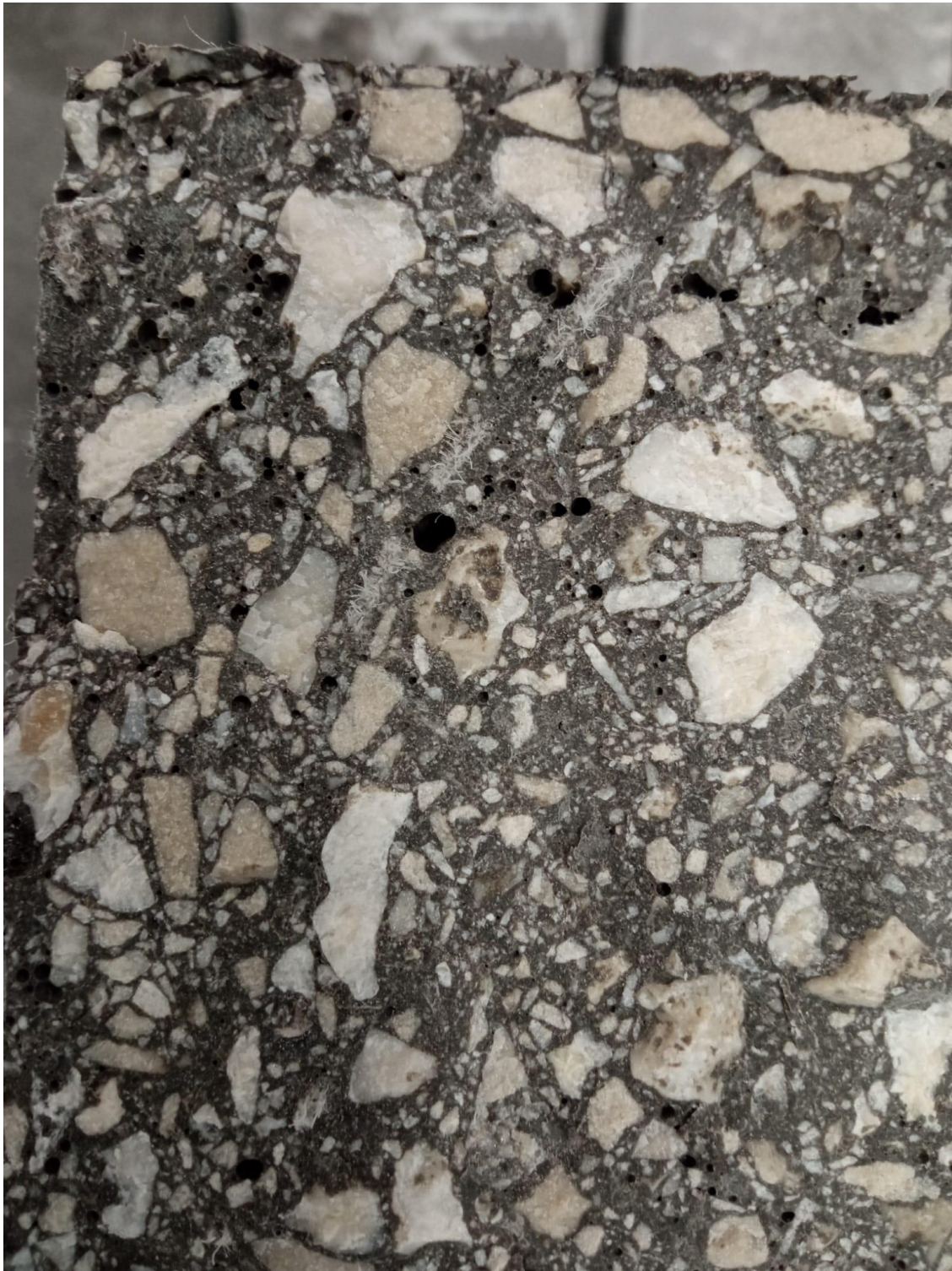
Slika 5.15: Lom uzorka PP nastao savijanjem



Slika 5.16: Lom uzorka TX1.7 nastao savijanjem



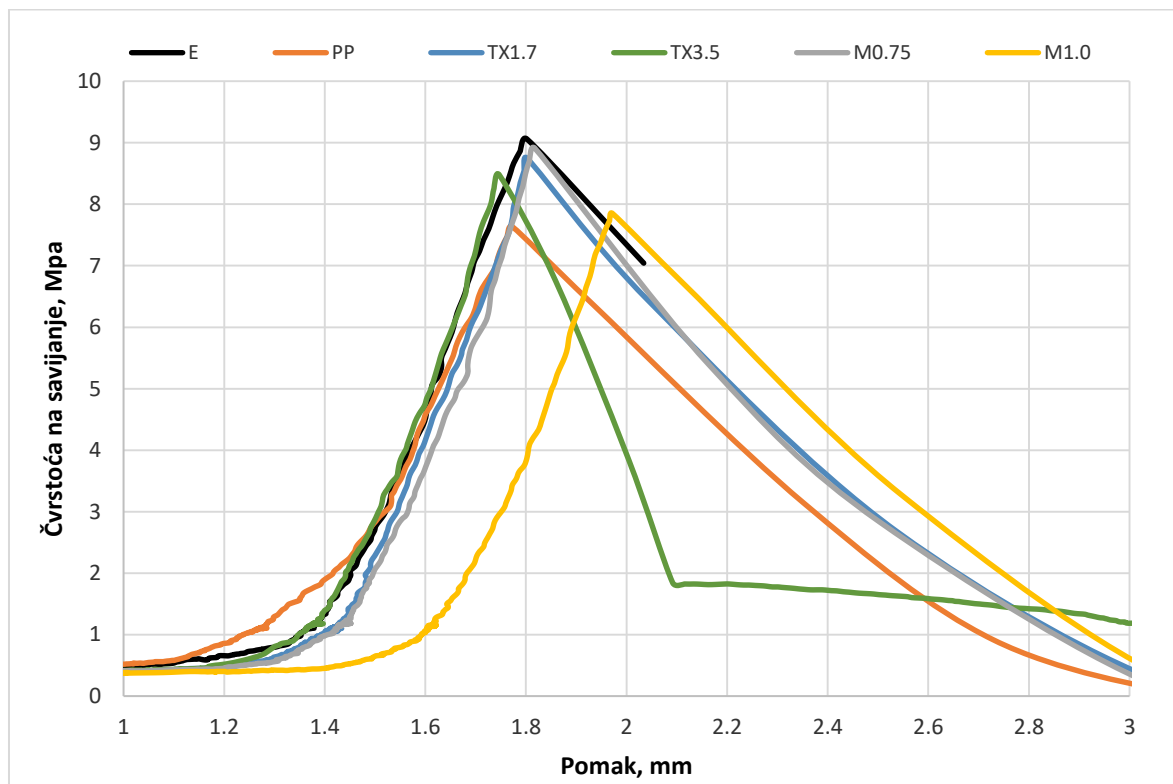
Slika 5.17: Detalj loma uzorka TX3.5 nastao savijanjem



Slika 5.18: Detalj loma uzorka M0.75 nastalog savijanjem



Slika 5.19: Detalj loma uzorka M1.0 nastalog savijanjem

Slika 5.20: $\sigma - \delta$ dijagram

Usporedno sa mjerenjem savijanja dat je i dijagram naprezanje-pomak, slika 5.20. Utjecaj dodatka na duktilnost betona najbolje je vidljiv na ovakvim dijagramima. Uzorci koji nemaju ojačanja nakon loma odmah puknu na 2 dijela, dok uzorci s ojačanjem i nakon loma ostaju u komadu i dalje nose opterećenje.

5.7. Rezultati ispitivanja dinamičkog modula elastičnosti

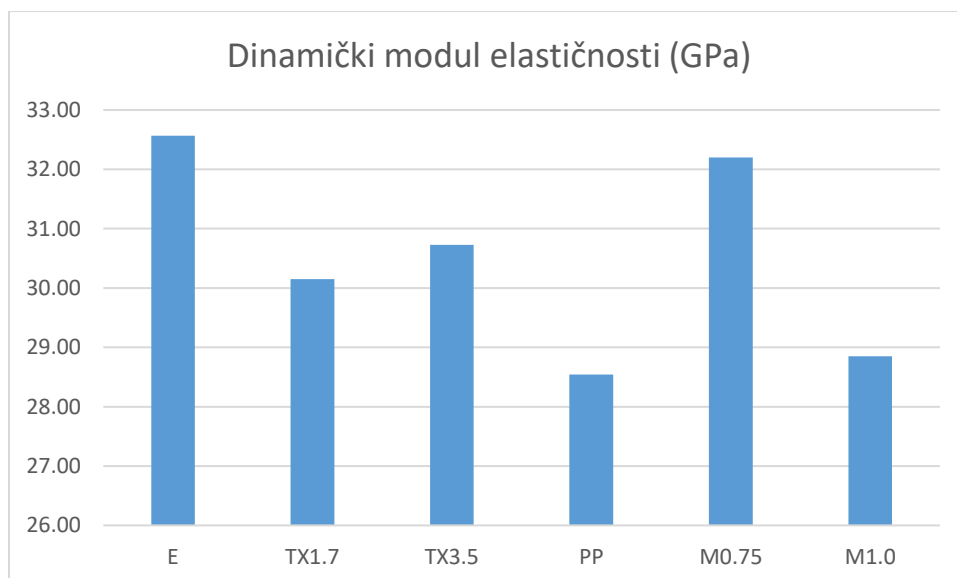
Postupak ispitivanja pojašnjen je u točki 4.4.7. Za svaku mješavinu starosti 28 dana mjereno je vrijeme prolaska ultrazvučnog vala na po tri uzorka kroz tri točke. Izračunata je prosječna brzina prolaska ultrazvučnog vala te dinamički modul elastičnosti. Rezultati su prikazani u tablici 5.8, 5.9 i slici 5.21. Prema slici 5.21 i tablici 5.9 etalon i mješavina M0.75 su postigli najbolje rezultate. Najniži dinamički modul elastičnosti imaju mješavine PP i M1.0.

Tablica 5.8: Rezultati mjerenja brzine prolaska ultrazvučnog vala

	E	TX1.7	TX3.5	PP	M0.75	M1.0
Brzina ultrazvučnog vala (m/s)	3960,19	3857,31	3861,61	3763,27	3945,61	3815,52

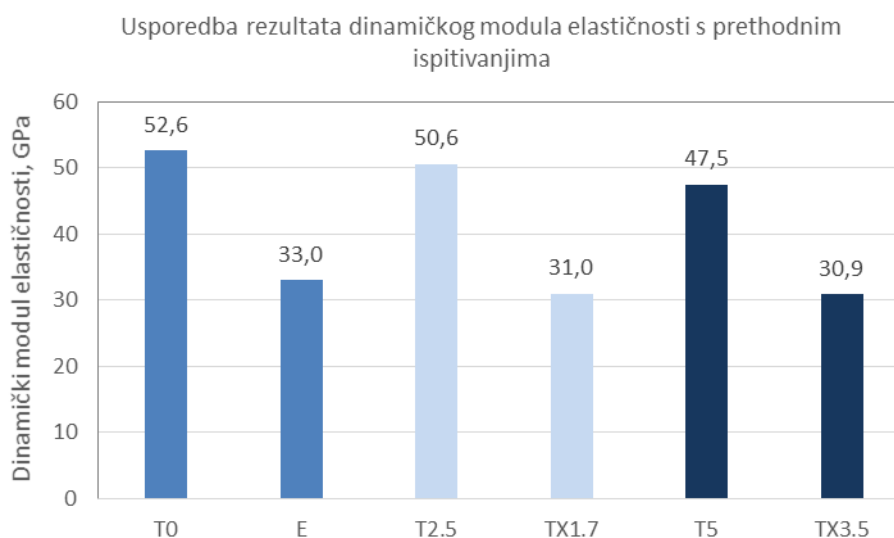
Tablica 5.9: Rezultati ispitivanja dinamičkog modula elastičnosti betona

	E	TX1.7	TX3.5	PP	M0.75	M1.0
Dinamički modul elastičnosti (GPa)	32,57	30,15	30,73	28,54	32,20	28,85



Slika 5.21: Grafički prikaz rezultata dinamičkog modula elastičnosti

Na slici 5.22 prikazana je usporedba sa prethodnim ispitivanjima [14]. Prema dobivenim rezultatima, svi uzorci ovog ispitivanja imaju znatno lošije rezultate od prethodnih. Uzorak može biti u velikoj količini zraka, jer je poznato da je brzina ultrazvuka kroz zrak znatno manja nego kroz beton i iznosi oko 340 m/s. Količina zraka u prethodnom ispitivanju je bila od 1,2 do 2,2 % što je znatno manje nego u ovom ispitivanju.



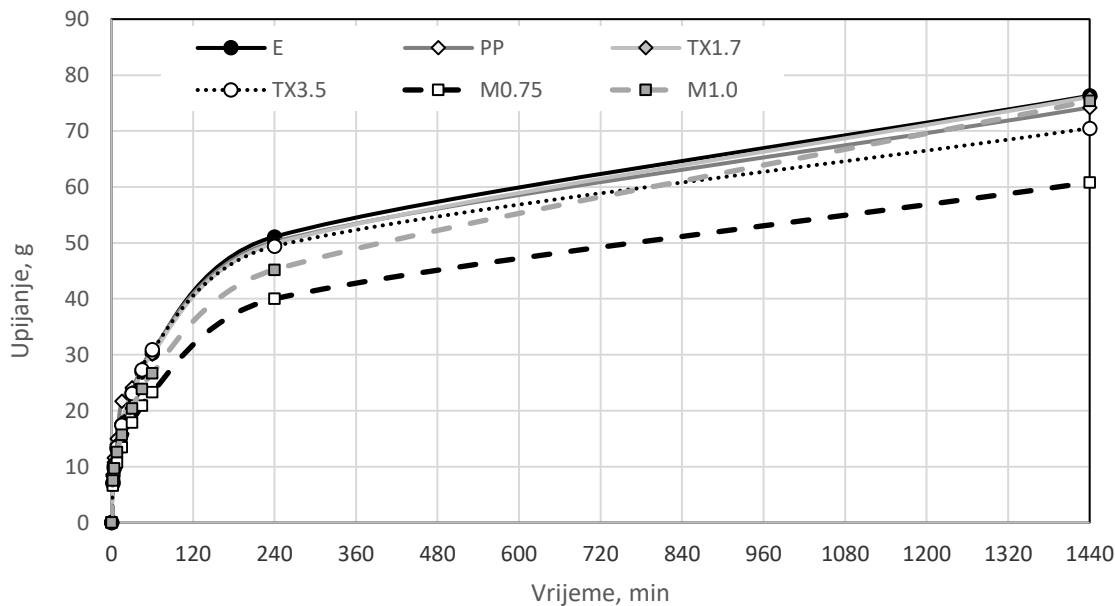
Slika 5.22: Usporedba dinamičkog modula elastičnosti s prethodnim istraživanjem

5.8. Rezultati ispitivanja kapilarnog upijanja

U tablici 5.10 prikazani su rezultati mjerenja kapilarnog upijanja betona.

Tablica 5.10: Rezultati mjerenja kapilarnog upijanja

Uzorci Mase	E	PP	TX1.7	TX3.5	M0.75	M1.0
m_0	7492,4	7305,0	7427,8	7679,3	7601,2	7178
m_2	7499,6	7313,6	7436,1	7686,3	7607,8	7185,5
m_4	7502,1	7316,6	7438,6	7689,4	7609,5	7187,7
m_8	7505,6	7320	7441,8	7692,8	7611,9	7190,6
m_{15}	7509,9	7326,7	7445,6	7696,7	7614,7	7193,7
m_{30}	7515,6	7329,1	7451	7702,4	7619,1	7198,4
m_{45}	7519,4	7332,5	7454,7	7706,6	7622,1	7201,9
m_{60}	7522,7	7335,7	7457,9	7710,2	7624,5	7204,7
m_{4h}	7543,5	7355,2	7477,7	7728,7	7641,2	7223,2
m_{24h}	7568,7	7379,2	7503,9	7749,8	7662	7253,4
$\Delta = m_{24h} - m_0$	76,3	74,2	76,1	70,5	60,8	75,4

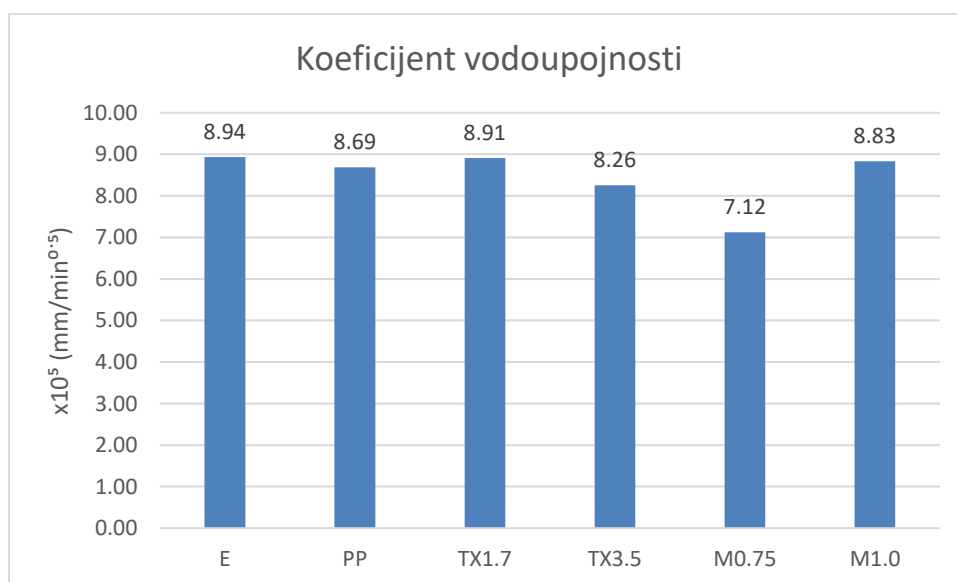


Slika 5.23: Dijagram kapilarnog upijanja betona

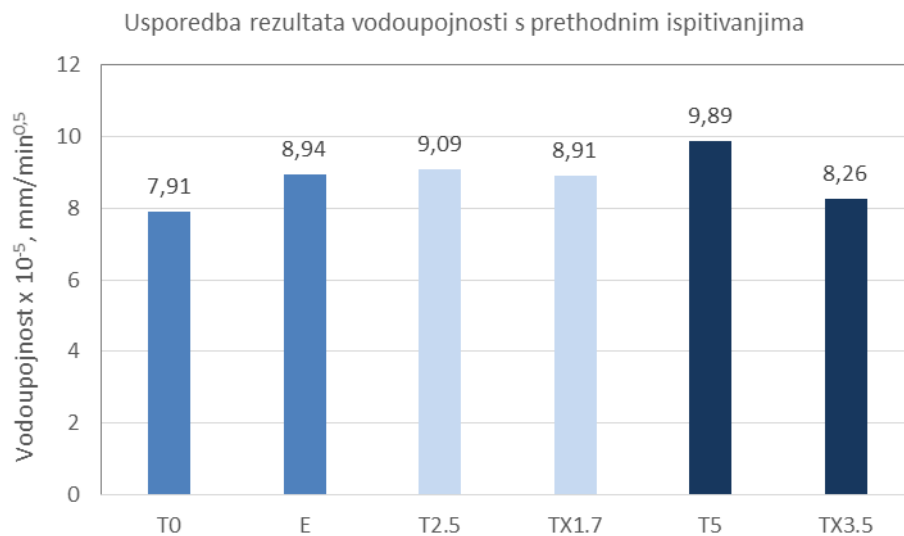
Prema slici 5.23 sve mješavine pokazale su se bolje od etalona u svojstvu kapilarnog upijanja. Najmanje kapilarno upijanje dala je mješavina M0.75, nakon 24 sata upijanje je iznosilo oko 20 % manje vode od etalona. PP ima gotovo jednaku krivulju upijanja kao i etalon, dok se kod

mješavina sa tekstilom pokazala boljom ona sa više dodanog tekstila, TX3.5. Vjerojatno je razlog što je mješavina imala manju količinu zraka u odnosu na etalon. TX1.7 ima gotovo jednako upijanje kao i etalon. Prema mješavinama sa maskama može se pretpostaviti da dodavanje polipropilenskog otpada od netkanog materijala koji ne upija tekućinu zaustavlja kapilarno upijanje, iako PP nema takav učinak može se uzeti u obzir činjenica da je dodan u manjoj količini nego što su maske. Vjerojatnije je da je mješavina M0.75 dobro promješana i ugrađena. Očekivalo se da će mješavine sa više pamučnog tekstila imati mnogo veće upijanje što se ovdje nije pokazalo iz razloga što ista ima manji udio šupljina te je zato postigla bolji rezultat.

Bartulović i ostali, [14] ispitivanjem kapilarnog upijanja za mješavine betona sa dodatkom iste količine tekstila kao TX1.7 i TX3.5 dobili su znatno lošije vrijednosti rezultata, slika 5.25. Mješavina sa 1.7 % tekstila u ukupnom volumenu betona imala je upijanje 15 % veće od referentne mješavine a mješavina sa 3,5 % tekstila imala je 25 % veću vrijednost od etalona. Obzirom da je razlika u mješavinama dodatak 10 % silikatne prašine dade se zaključiti da je ista poboljšala svojstva trajnosti betona. Na slici 5.25 je etalon iz prethodnog istraživanja imao manju vodoupojnost od referentne mješavine iz ovog rada, razlog tome je manji udio šupljina u betonu.



Slika 5.24: Grafički prikaz rezultata izračunatog koeficijenta vodoupojnosti



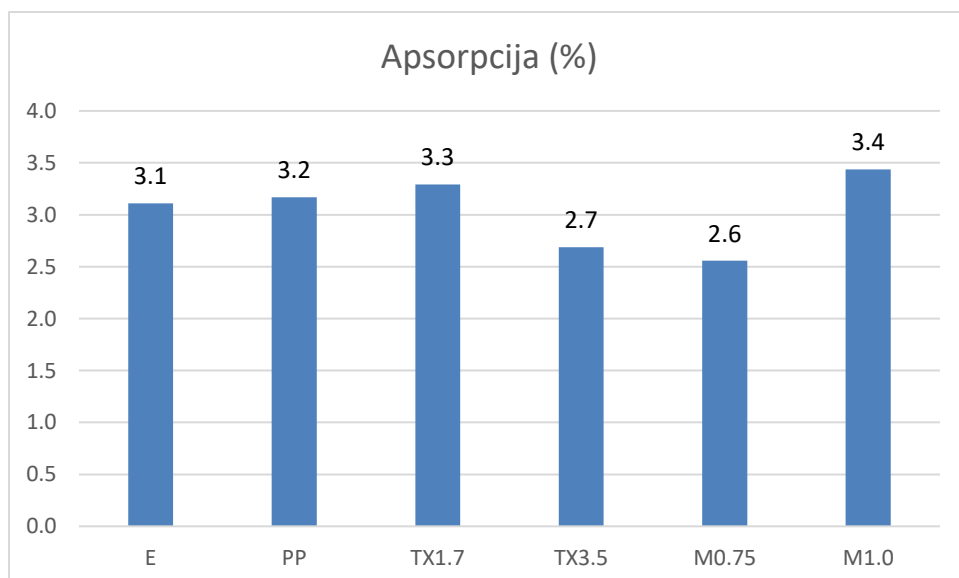
Slika 5.25: Usporedba rezultata vodoupojnosti s prethodnim istraživanjem

5.9. Rezultati ispitivanja apsorpcije vode

Rezultati ispitivanja dani su u tablici 5.11.

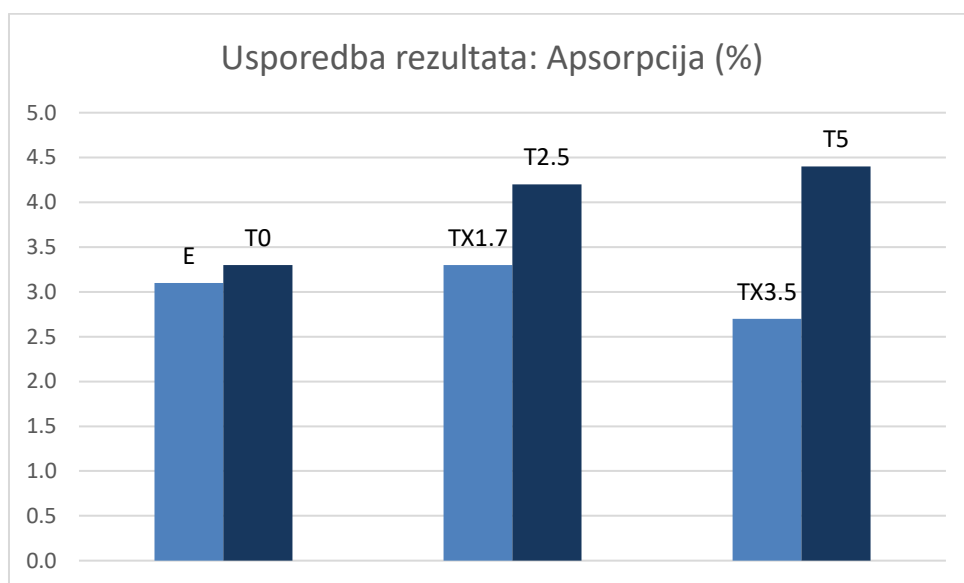
Tablica 5.11: Rezultati ispitivanja apsorpcije vode

	<i>E</i>	<i>PP</i>	<i>TX1.7</i>	<i>TX3.5</i>	<i>M0.75</i>	<i>M1.0</i>
zasićeno, g	7725,4	7536,5	7672,4	7885,7	7795,7	7424,7
suho, g	7492,4	7305,0	7427,8	7679,3	7601,2	7178
razlika, g	233,0	231,5	244,6	206,4	194,5	246,7
upijanje, %	3,1	3,2	3,3	2,7	2,6	3,4

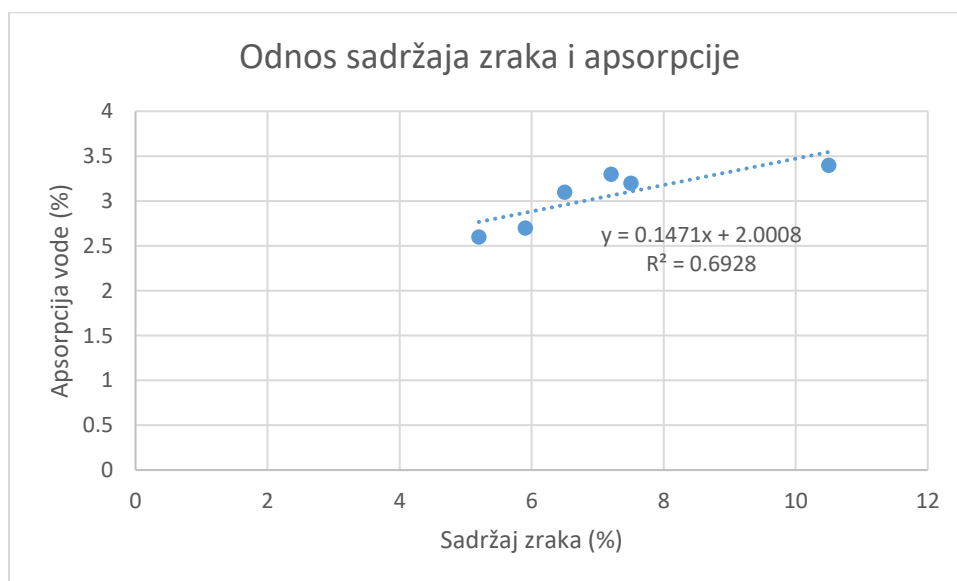


Slika 5.26: Grafički prikaz mjerenja apsorpcije

Prema slici 5.26, M1.0 pokazala se kao najlošija. TX3 i M0.75 slijede isti trend kao kod upijanja, dok TX1 i PP opet imaju slične rezultate ali ovaj put veće vrijednosti od etalona. Ispitivanje se može smatrati uspješnim jer su u prethodnom istraživanju, Bartulović i ostali [14] vrijednosti apsorpcije za betone sa udjelom tekstila 1,7% i 3,5 % ukupnog volumena betona vrijednosti apsorpcije bile 28% i 34 % veće od tamošnjeg etalona. Na slici 5.27 prikazani su rezultati etalonskih mješavina iz oba istraživanja, beton sa dodatkom silikatne prašine, unatoč većem udjelu šupljina ima bolje svojstvo apsorpcije. Usporedbom svih mješavina sa referentnom mješavinom iz [14] može se zaključiti da upotreba silikatne prašine u mješavinama sa tekstilom daje pozitivan učinak.



Slika 5.27: Grafički prikaz rezultata ovog rada i iz prethodnog istraživanja[14]

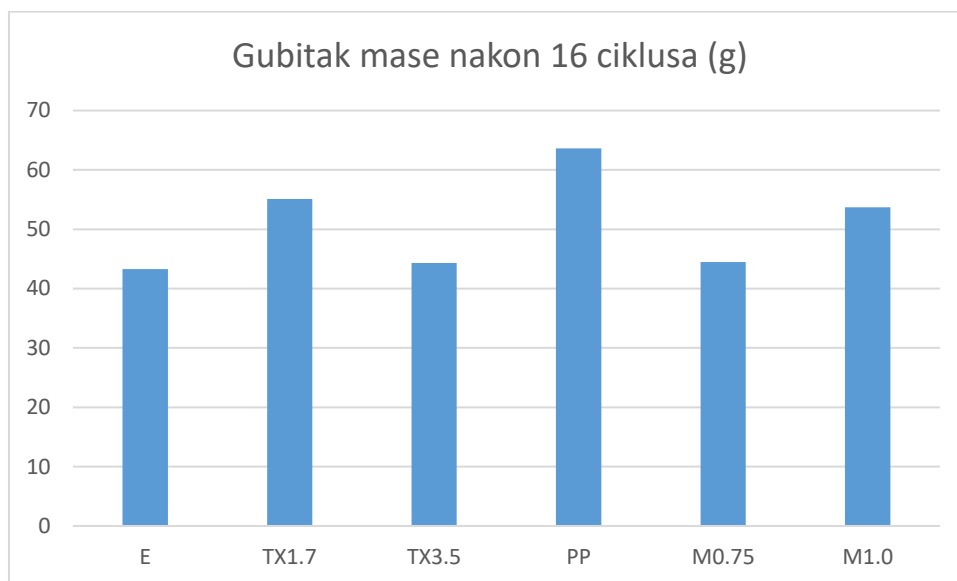


Slika 5.28: Prikaz odnosa sadržaja zraka u betonu i apsorpcije

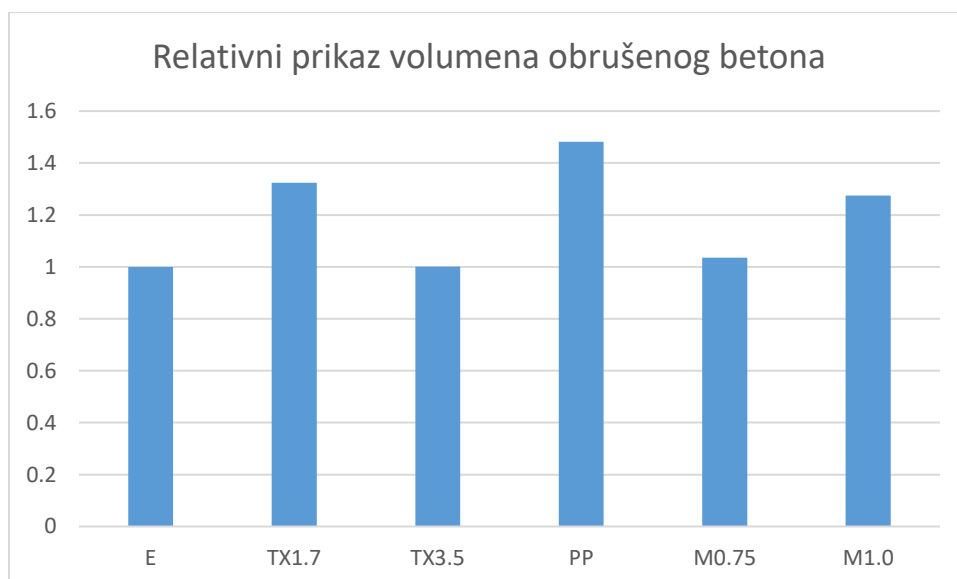
Na slici 5.28 prikazana je visoka povezanost sadržaja zraka u betonu i apsorpcije, koeficijent korelacije iznosi $R=0,8323$.

5.10. Rezultati ispitivanja otpornosti betona na habanje

Postupak ispitivanja po Bohme-u opisan je u poglavlju 4.4.10. Okretajem ploče 16 puta po ciklusu prati se masa uzorka, odnosno gubitak mase nakon određenog broja ciklusa. Na slici 5.29 dan je prikaz gubitka mase nakon 16 ciklusa.



Slika 5.29: Grafički prikaz gubitka mase uzoraka nakon 16 ciklusa



Slika 5.30: Relativni prikaz obrušenog betona nakon 16 ciklusa

Prema slici 5.30 vidi se da mješavine sa dodatkom tekstila i maski, sa manjim udjelom zraka, daju zadovoljavajuće rezultate u odnosu na etalon. TX3.5 ima prednost pred TX1.7 zbog manjeg broja pora u betonu i malu prednost od M0.75 što ukazuje da tekstil može imati povoljan utjecaj na svojstvo otpornosti na habanje.

Trajnost betona, odnosno otpornost na habanje ocjenjuje se razredom otpornosti na habanje prema količini obrušenog betona.

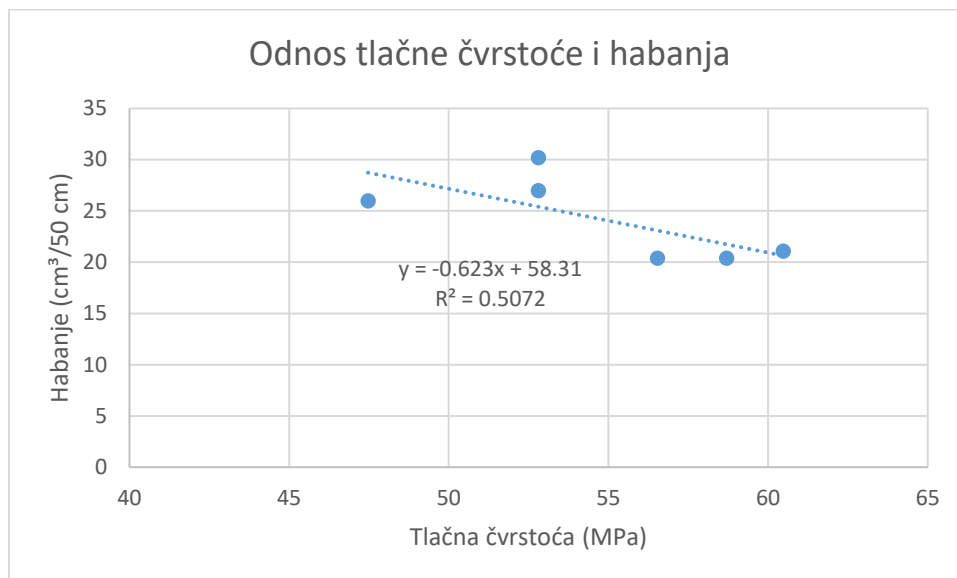
Tablica 5.12: Razredi otpornosti na habanje

Razred otpornosti na habanje	Max. Dopuštena količina brušenog betona (cm ³ /50 cm ²)
XM1	25
XM2	21
XM3	18

Tablica 5.13: Rezultati ispitivanja otpornosti na habanje

Uzorak	Obrušeni beton (cm ³ /50 cm ²)
E	20,38
TX1.7	26,99
TX3.5	20,39
PP	30,20
M0.75	21,09
M1.0	25,99

Sukladno tablici 5.12 etalon i TX3.5 spadaju u XM2 razred otpornosti, M0.75 u XM1 dok ostale mješavine nemaju razred.



Slika 5.31: Odnos tlačne čvrstoće betona i habanja

Na slici 5.31 prikazan je odnos tlačne čvrstoće i otpornosti betona na habanje. Koeficijent korelacije je $R=0,7122$ što ukazuje na povezanost rezultata.

5.11. Rezultati ispitivanja plinopropusnosti betona

Postupak ispitivanja opisan je u poglavlju 4.4.11. a u tablici 5.14 dani su rezultati, odnosno izračunati koeficijent plinopropusnosti.

Tablica 5.14: Rezultati ispitivanja plinopropusnosti

UZORAK	E	PP	TX1.7	TX3.5	M0.75	M1.0
KOEF.	1,28338·	7,08742·	2,70045·	6,37759·	3,1145·	7,22299·
PLINOPROPUSNOSTI	10^{-16}	10^{-16}	10^{-16}	10^{-16}	10^{-16}	10^{-16}

Koeficijent plinopropusnosti izračunat je prema formuli:

$$K_i = \frac{2P_a Q_i L \mu}{A(P_i^2 - P_a^2)}$$

Gdje je:

Q_i = protok pri tlaku i ($\frac{m^3}{s}$)

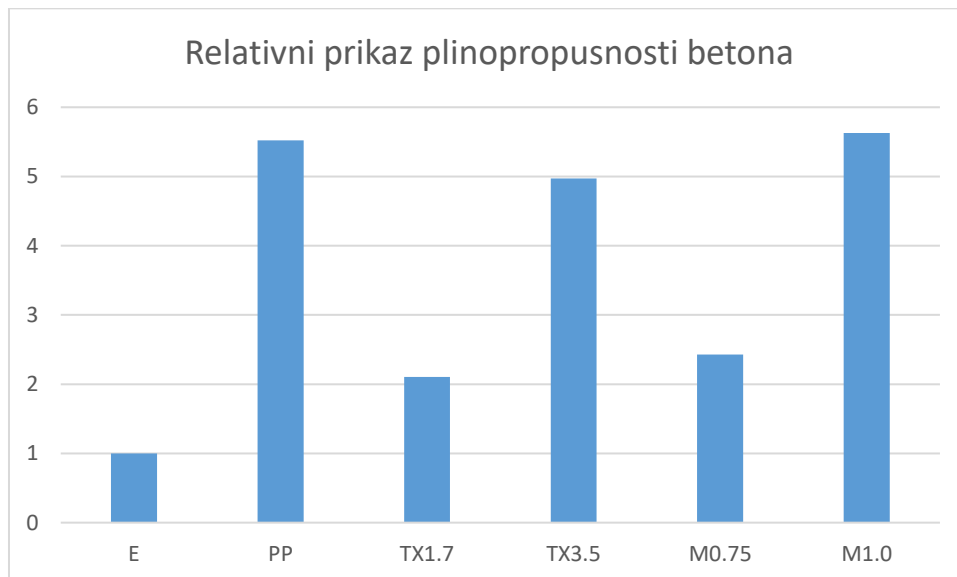
L = debljina uzorka (m)

A = porpečni presjek uzorka (m^2)

P_a = atmosferski tlak (Pa)

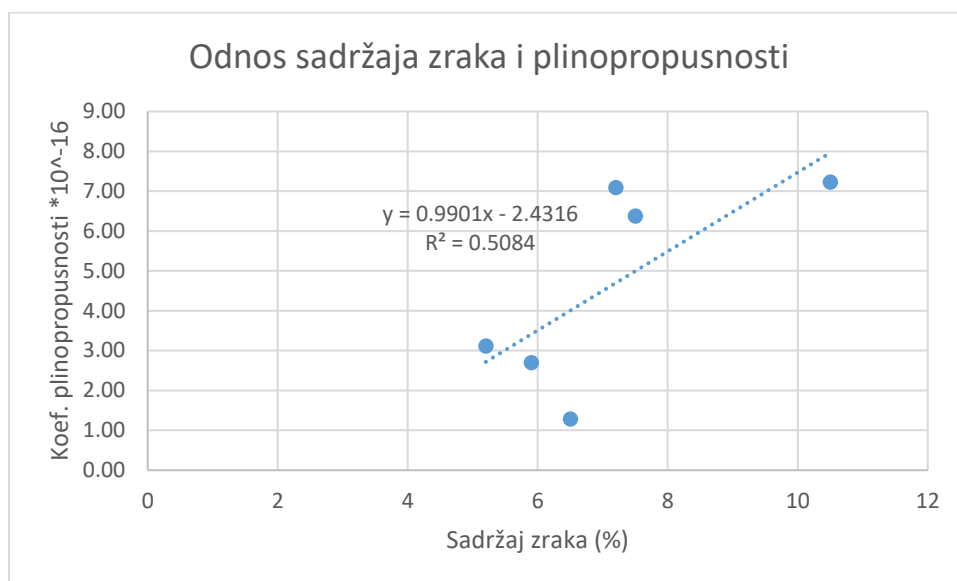
P_i = primjenjeni tlak, aposlutna vrijednost (Pa)

μ = dinamička viskoznost plina pri temperaturi $20 \pm 2^\circ C$; za kisik iznosi $20,27 \cdot 10^{-6}$ ($Pa \cdot s$)



Slika 5.32: Prikaz koeficijenta plinopropusnosti u relativnom obliku u odnosu na etalon

Sadržaj pora u betonu ima utjecaj na propusnost betona, obzirom na najmanji udio sadržaja zraka u betonu mješavine TX1.7 i M0.75 imaju niži koeficijent od ostalih, što je vidljivo na slici 5.32. M1.0 i PP imaju gotovo 6 puta veći koeficijent. Prema ocjeni standarda, etalon i TX1.7 imaju srednju otpornost betona na plinopropusnost, svi ostali malu otpornost. Na slici 5.33 prikazan je odnos sadržaja zraka u betonu i plinopropusnosti. Koeficijent korelacije je $R = 0,7130$ što ukazuje na povezanost ta dva svojstva.



Slika 5.33: Odnos sadržaja zraka u betonu i plinopropusnosti

5.12. Rezultati ispitivanja vodonepropusnosti

U tablici 5.15 dane su vrijednosti izmjerene nakon cijepanja uzoraka betona izvađenih iz VDP uređaja. Betonske kocke bile su pod tlakom 72 sata.

Tablica 5.15: Rezultati ispitivanja vodonepropusnosti

Uzorak	Prodor Vode (mm)
E	82
PP	90
TX1.7	83
TX3.5	72
M0.75	79
M1.0	113



Slika 5.34: Relativni prikaz rezultata vodonepropusnosti u odnosu na etalon

Prema slici 5.34 mješavina M1.0 sa najvećim brojem šupljina u uzorku dosegla je skoro 40 % veću vrijednost od etalona. Poboljšanje vodonepropusnosti dobiveno je kod mješavine TX3.5, suprotno očekivanom za pamučne krpice. Razlog tome može biti raspored tekstila u betonu i način ugradnje.

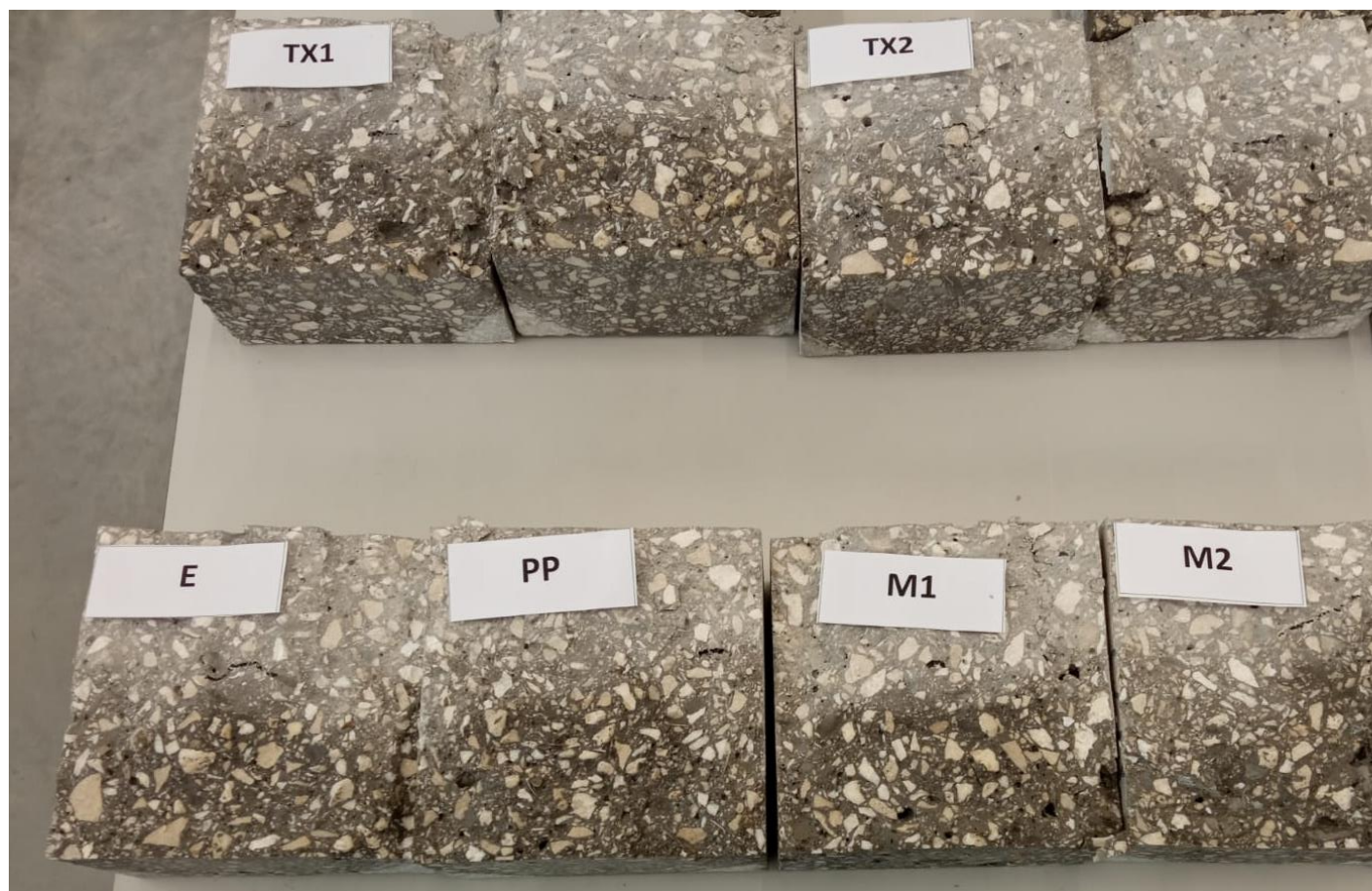
Vodonepropusnost se ocjenjuje razredima prema dopuštenom prosječnom prodoru vode u beton.

Tablica 5.16: Razredi vodonepropusnosti

Razred Vodonepropusnosti	Dopušteni prosječni prodor vode (mm)
VDP1	50
VDP2	30
VDP3	15

Prodor vode u svim uzorcima prekoračio je dopuštene vrijednosti tablice 5.16 stoga im se ne dodjeljuje razred.

Na slikama od 5.35 do 5.40 prikazan je detalj prodora vode u uzorke, može se primjetiti da porast broja šupljina generira veći prodor vode.



Slika 5.35: Mjerenje dubine prodora vode u uzorcima



Slika 5.36: Detalj prodora vode u uzorak PP



Slika 5.37: Detalj prodora vode u uzorak TX1.7



Slika 5.38: Detalj prodora vode u uzorak TX3.5

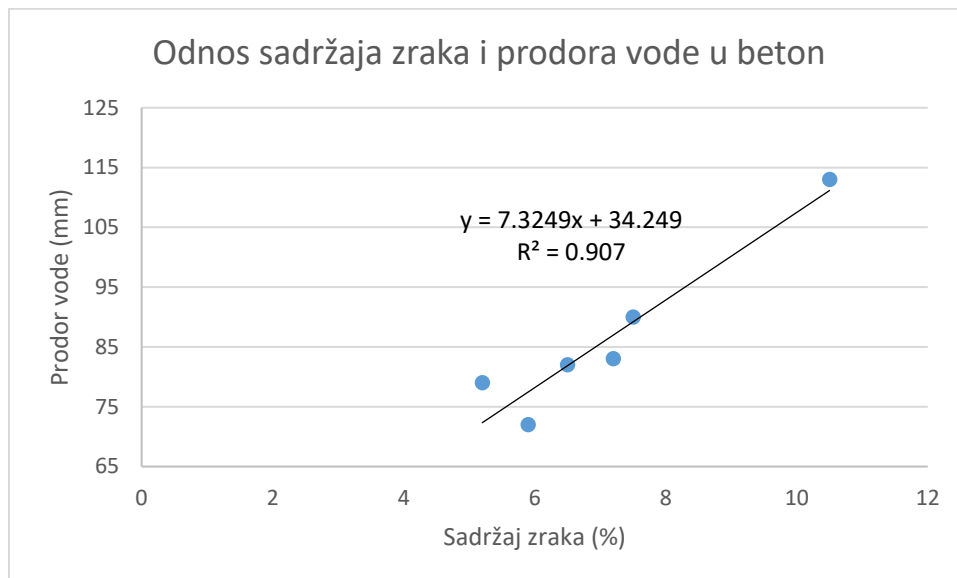


Slika 5.39: Detalj prodora vode u uzorak M0.75

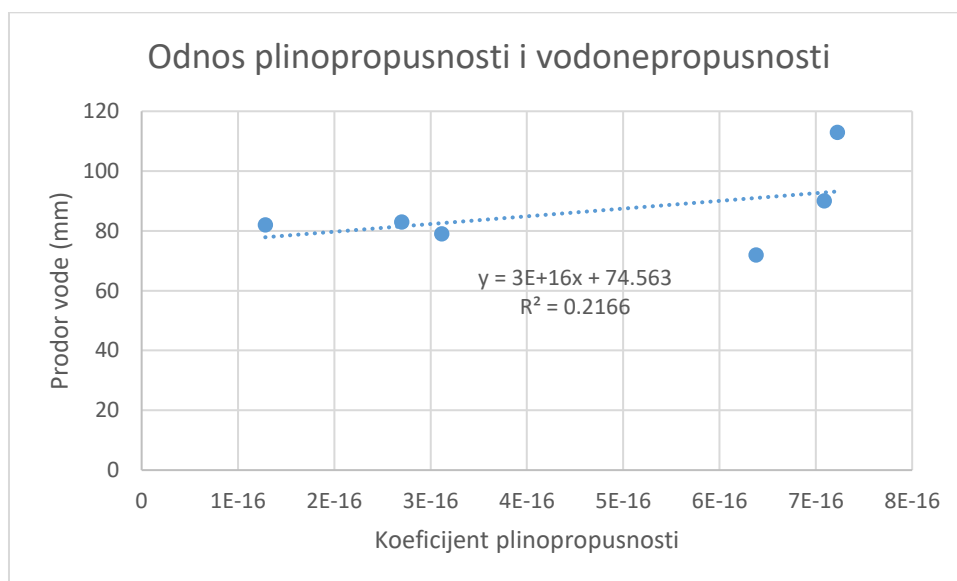


Slika 5.40: Detalj prodora vode u uzorak M1.0

Na slici 5.41 prikazan je odnos sadržaja zraka u betonu i prodor vode. Koeficijent korelacije je $R=0,98$ što pokazuje na veliku povezanost ova dva svojstva.



Slika 5.41: Grafički prikaz odnosa sadržaja zraka u betonu i prodora vode u uzorak



Slika 5.41: Grafički prikaz odnosa plinopropusnosti i vodonepropusnosti

Na slici 5.41 prikazan je odnos plinopropusnosti i vodonepropusnosti betona, koeficijent korelacije je $R=0,47$ što ukazuje na slabu povezanost ova dva svojstva.

Svi rezultati dobiveni prethodnim ispitivanjima prikazani su zajednički u tablici 5.17.

Tablica 5.17: Ukupni rezultati za sve mješavine

Svojstvo/Uzorak	E	TX1.7	TX3.5	PP	M0.75	M1.0
Temperatura (°C)	24,2	22,9	23	23	23,2	22,6
Slijeganje (cm)	10	14	8,5	12	9	15
Sadržaj zraka (%)	6,5	7,2	5,9	7,5	5,2	10,5
Gustoća (kg/m ³)	2307,306	2251,49	2289,69	2239,26	2298,02	2201,86
Tlačna čvrstoća (MPa)	58,7	52,8	56,53	52,8	60,47	47,47
Din. Modul elastičnosti (Gpa)	32,567	30,149	30,729	28,541	32,198	28,849
Svojna Čvrstoća (MPa)	9,06	7,63	8,75	8,47	8,91	7,85
Kapilarno upijanje (g)	76,3	76,1	70,5	74,2	60,8	75,4
Apsorpcija (%)	3,1	3,3	2,7	3,2	2,6	3,4
Habanje (cm ³ /50cm ²)	20,38	26,99	20,39	30,2	21,09	25,99
Koeficijent plinopropusnosti *	1,28338	7,08742	2,70045	6,37759	3,1145	7,22299
Prodor vode (mm)	82	83	72	90	79	113

*vrijednostima se dodaje $\cdot 10^{-16}$

6. Zaključak

U svijetu konstantnog stvaranja novog razgradivog i nerazgradivog otpada, te iscrpljivanja prirodnih resursa potrebno je osmisliti nove načine proizvodnje kako bi se postiglo očuvanje okoliša. Tekstilna industrija ističe se kao jedan od najvećih zagađivača okoliša, kako procesom proizvodnje sirovine i proizvodnje produkta tako i načinom upotrebe i recikliranja. Građevinska industrija materijala iscrpljuje prirodne resurse a proizvodnjom cementa kao i samim recikliranjem tekstila ispušta se velika količina stakleničkih plinova u atmosferu. Ekološki dizajn je dizajn koji nalazi optimum u zadovoljenju ekoloških standarda i potreba potrošača, kreira se proizvod koji ima dostatnu kvalitetu ali i pozitivan učinak na okoliš.

U ovom radu istraživana su mehanička svojstva i svojstva trajnosti betona sa dodatkom otpada. Otpad je ovdje u funkciji ojačanja betona a koristio se otpad tekstilne industrije (pamučna tkanina) i medicinski otpad (polipropilenska netkana tkanina). Betoni sa ovakvom zamjenom već su prethodno ispitivani te je u ovom ispitivanju dodana i slikatna prašina, 10 % kako bi dodala pozitivan učinak na svojstva betona. Izrađeno je ukupno 6 mješavina, dvije sa tekstilom, dvije sa dodatkom jednokratnih maski za lice masovno korištenih u proteklom razdoblju pandemije, te mješavina sa dodatkom polipropilenskih vlakana i etalon. Sve mješavine imaju istu količinu cementa, silikatne prašine i vodocementni faktor, razlikuju se u načinu i dodanoj količini ojačanja. U svježem stanju betona ispitivana je konzistencije, mjerena temperatura i sadržaj zraka. U očvrslom stanju ispitivana je tlačna i savojna čvrstoća, dinamički modul elastičnosti, otpornost betona na habanje, kapilarno upijanje i apsorpcija, plinopropusnost betona i vodonepropusnost.

Nakon provedenih ispitivanja može se zaključiti:

- Rezultati ispitivanja slijeganja dobiveni su u granicama od 9 cm do 15 cm i svrstani su u razrede konzistencije S2 i S3.
- Mjerenjem sadržaja zraka u betonu dobiveno je od 5,2 % do 10, 5 %. Količina zraka i pora u betonu ima neposredan utjecaj na sva mehanička svojstva i svojstva trajnosti betona stoga je prosječno najbolja svojstva pokazao upravo beton sa 5,2 % zraka, riječ je o mješavini sa dodanim sitno izrezanim polipropilenskim jednokratnim maskama (M0.75)
- Prosječne vrijednosti tlačne čvrstoće kreću se u rasponu od 47,47 MPa do 60,47 MPa. Etalon je postigao tlačnu čvrstoću 58,7 MPa, beton sa 0.75 % dodanih maski u odnosu na ukupni volumen betona ostvario je 60,47 MPa.

- Porastom gustoće betona linearno raste tlačna čvrstoća, linearnost je prekinuta sa betonom M0.75 koji ima manju gustoću ali veću tlačnu čvrstoću od etalona kao i manji sadržaj zraka.
- Savojna čvrstoća dobivena je u rasponu od 7,63 MPa do 9,06 MPa a etalon ima najvišu vrijednost. Iz rezultata se može pretpostaviti da dodatkom otpada od polipropilena daje bolji učinak mikroarmiranja u odnosu na prirodni pamučni otpad.
- Otpornost na habanje linearno raste sa porastom tlačne čvrstoće betona. Beton s 3.5 % tekstila pokazuje malo bolju otpornost u odnosu na beton sa polipropilenskim maskama.
- Ispitivanjem kapilarnog upijanja dobiveni su dobri rezultati, sve mješavine dale su bolji rezultat od referentne mješavine a ponajbolje one sa najmanjim udjelom pora, M0.75 i TX3.5.
- Propusnost za plin i vodu i apsorpcija u direktnom je odnosu sa količinom zraka u svježem betonu.
- Dodatak silikatne prašine u betonsku mješavinu poboljšava svojstva vlačne čvrstoće savijanjem, vodupojnost i apsorpciju. Učinak bi bio još vidljiviji kod bolje ugradnje i smanjenja pora u betonu.

Prosječno, najbolji rezultati ovog ispitivanja dobiveni su mješavinom M0.75 sa sadržajem 0,75% jednokratnih maski za lice. Posljedica je to najmanjeg udjela zraka u betonskoj mješavini, stoga se ostavlja prostora za nova istraživanja u kojem bi se taj sadržaj smanjio što bi za posljedicu imalo bolja svojstva u ostalim mješavinama. Također, korištenjem recikliranog polipropilena može se postići dobar učinak mikroarmiranja i smanjiti korištenje novih materijala.

7. Literatura

- [1] Alen Harapin, Jure Radnić, Nikola Grgić, Marija Smilović Zulim, Marina Sunara, Ante Buzov: Osnove betonskih konstrukcija: interna skripta, skripta, 2020.
- [2] Ivan Grgurev: Pregled razvoja cementa i betona, završni rad, 2017.
- [3] Velimir Ukrainczyk: Beton, struktura, svojstva, tehnologija, ALCOR, 1994.
- [4] Petar Krstulović: Svojstva i tehnologija betona, Institut građevinarstva Hrvatske, 2000.
- [5] <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/economy/20151201STO05603/kruzno-gospodarstvo-definicija-vrijednosti-i-korist> (Pristupljeno 13.11.2021.)
- [6] Waqas Ahmad, Ayaz Ahmad, Krzysztof Adam Ostrowski, Fahid Aslam, Panuwat Joyklad: A scientometric review of waste material utilization in concrete for sustainable construction, *Case Studies in Construction Materials*, 15, 2021, pp. 00683.
- [7] Branimir Fuk: Kuda s jednokratnim medicinskim maskama nakon upotrebe, *Sigurnost* 62(4),421-424, 2020.
- [8] Daria Gmižić: Utjecaj tekstilne industrije na okoliš u nerazvijenim zemljama, završni rad, 2018.
- [9] <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20201208STO93327/utjecaj-proizvodnje-tekstila-i-tekstilnog-otpada-na-okolis-infografika> (Pristupljeno 13.11. 2021.)
- [10] Nghia P. Tran, Chamila Gunasekara, David W. Law, Shadi Houshyar, Sujeeva Setunge & Andrzej Cwirzen: Comprehensive review on sustainable fiber reinforced concrete incorporating recycled textile waste, *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 11:1, 2022, pp. 41-61.
- [11] Muhammad Faizan Ali, Noor Ahmed Memon, Bashir Ahmed Memon, Muneeb Ayoub Memon, Ammaar Noor Memon: The effect of textile on compressive strength of concrete, *Quest research journal*, 17, 2, 2019, pp. 21–26.
- [12] Payam Sadrolodabae, Josep Claramunt, Monica Ardanuy, Albert de la Fuente: Mechanical and durability characterization of a new textile waste micro-fiber reinforced cement composite for building application, *Case Studies in Construction Materials*, 14, 2021, pp. 00492.
- [13] Shannon Kilmartin-Lynch , Mohammad Saberian , Jie Li *, Rajeev Roychand ,

Guomin Zhang: Preliminary evaluation of the feasibility of using polypropylene fibres from covid-19 single use face masks to improve mechanical properties of concrete, *Journal of Cleaner Production*, 296, 2021, pp. 126460.

[14] Bruno Bartulović, Sandra Juradin, Dujmo Žižić, Silvija Mrakovčić: Possibility of using cotton knitted fabric waste in concrete

[15] Rilem tc 116-PCD: Permeability of Concrete as a Criterion of its Durability, *Materials and Structures/Matériaux et Constructions*, 32, pp. 174-179, 1999.