

# Utjecaj otopine za povećanje prionjivosti na čvrstoću estriha ojačanog komadićima pamučnog tekstilnog otpada

---

Dlaka, Lara

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*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:123:818139>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-04**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



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

# **ZAVRŠNI RAD**

**Lara Dlaka**

**Split, 05.07.2023.**

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

**Utjecaj otopine za povećanje prionjivosti na čvrstoću  
estriha ojačanog komadićima pamučnog tekstilnog  
otpada**

**Split, 05.07.2023.**

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

**STUDIJ: PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

**KANDIDAT:** Lara Dlaka

**BROJ INDEKSA:** 4883

**KATEDRA:** **Katedra za građevinske materijale**

**PREDMET:** Građevinski materijali

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Utjecaj otopine za povećanje prionjivosti na čvrstoću estriha ojačanog komadićima pamučnog tekstilnog otpada

Opis zadatka: Zadatak kandidatkinje je proučiti pojam mikroarmiranja kao i problem tekstilnog otpada. U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je izraditi uzorke estriha sa dodatkom komadića tkanog tekstila koji su prethodno namočen u otopini za povećanje prionjivosti, uzorak referentnog estriha i uzorak estriha ojačan polipropilenskim vlaknima. Na uzorcima se u svježem stanju mjeri se obradivost metodom formiranja kuglice, količina zraka i gustoća, a u očvrstlom stanju čvrstoća na savijanje i tlak. Temeljem dobivenih rezultata potrebno je ocijeniti kako upotrijebljena otopina utječe na kvalitetu estriha, koja je količina otpada primjenjiva i kako utječe na svojstva cementnog estriha.

U Splitu, 06.03.2023.

Voditelj Završnog rada:

Prof.dr.sc. Sandra Juradin

# **Utjecaj otopine za povećanje prionjivosti na čvrstoću estriha ojačanog komadićima pamučnog tekstilnog otpada**

## ***Sažetak:***

U današnje doba sve se više pažnje pridaje očuvanju okoliša. Iz tog razloga se i u građevinarstvu sve više nastoje primjenjivati vlakna tekstilnog otpada koja su lako dostupna i pristupačna. U ovom radu ispitani su uzorci cementnog estriha, ojačani komadićima pamučnog tekstilnog otpada, te uzorci ojačani polipropilenskim vlaknima. Pamučni komadići (krpice) prije ugradnje su bili natopljeni sa sredstvom za povećanje prionjivosti. U svježem stanju na mješavinama estriha određena je količina zraka i gustoća. Uzorci su ispitani na tlačnu čvrstoću i čvrstoću na savijanje pri starosti od 28 dana, te su uspoređeni njihovi rezultati.

## ***Cljučne riječi:***

estrih, vlakna, komadići pamučnog tekstilnog otpada, čvrstoća, količina zraka, gustoća

# **The influence of the solution for increasing adhesion on the strength of cotton textile waste reinforced cement screed**

## ***Abstract:***

Currently, there is a growing focus on environmental preservation. For this reason, even the construction industry is making greater efforts to utilize fibers from textile waste, which are easily available and affordable. In this study, samples specimens of cement screed reinforced with cotton textile waste fibers and samples reinforced with polypropylene fibers were tested. Cotton cloths were soaked with an agent to increase adhesion. In the fresh state, the amount of air and density was determined on the screed mixtures. The samples were tested for compressive strength and flexural strength at the age of 28 days, and their results were compared.

## ***Keywords:***

screed, fibers, cotton textile waste, strength, amount of air, density

## SADRŽAJ:

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. MIKROARMIRANI BETON</b> .....	2
2.1. Općenito o mikroarmiranom betonu .....	2
2.2. Svojstva mikroarmiranog betona .....	4
2.3. Primjena mikroarmiranog betona .....	5
<b>3. VLAKNA</b> .....	5
3.1. Općenito o vlaknima .....	5
3.2. Prirodna vlakna .....	7
3.3. Umjetna vlakna .....	8
3.4. Tekstilna vlakna .....	10
<b>4. TEKSTILNI OTPAD</b> .....	11
4.1. Problem tekstilnog otpada .....	11
4.2. Raznovrsnost tekstilnog otpada .....	13
4.3. Recikliranje tekstilnog otpada .....	14
4.4. Primjena tekstilnog otpada u građevinarstvu .....	15
<b>5. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	17
5.1. Općenito .....	17
5.2. Suha mješavina cementnog estriha .....	17
5.3. Voda .....	19
5.4. Otopina Beton 1.....	19
5.5. Polipropilenska vlakna ( PP vlakna ) .....	20
5.6. Pamučne tekstilne krpice .....	20
5.7. Priprema uzoraka .....	21
5.8. Rezultati ispitivanja .....	27
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	36
<b>7. LITERATURA</b> .....	38

## 1. UVOD

Beton je građevinski materijal koji se u svježem stanju može lako oblikovati po volji i nakon stvrdnjavanja trajno zadržava svoj oblik. Karakterizira ga velika tlačna čvrstoća 10-60 N/mm<sup>2</sup>, ali je s druge strane vlačna čvrstoća izrazito mala i iznosi 1/11 do 1/8 tlačne. Iznos tlačne čvrstoće ogovara pojedinom razredu tlačne čvrstoće, a uzorci su oblika kocke i valjaka. Kod uzoraka oblika kocke svaki brid je dimenzije 15cm, a kod valjaka primjer iznosi 15cm, a visina 30 cm. [1]

Kompoziti su dobiveni umjetnim spajanjem dvaju ili više različitih materijala u svrhu dobivanja materijala poboljšanih svojstava. U odnosu na klasični materijal, kompozit ima bolja mehanička svojstva, otpornost na koroziju i umor te malu volumnu masu. Također, ima i neke mane poput puzanja same matrice te visokih troškova proizvodnje kompozita. Vlakna mogu biti čeličnog, staklenog, polimernog i prirodnog podrijetla. U današnje vrijeme, sve se više koriste vlakna prirodnog podrijetla zbog njihove ekonomičnosti, dostupnosti te biorazgradivosti. [2]

Danas se sve veća pozornost pridaje ekološkim aspektima proizvodnih procesa te se nastoji smanjiti količina otpada u što većoj mjeri razvijanjem novih tehnologija zbrinjavanja otpada. Manje od polovice korištene odjeće se prikuplja za ponovnu upotrebu ili recikliranje, pri čemu samo jedan posto se reciklira u novu odjeću. Razlog tome je djelomično nedostatak razvijenih tehnologija za recikliranje odjeće u neobrađena vlakna, koje su tek nedavno počele biti razvijene. U razdoblju od 2000. do 2015., proizvodnja odjeće se udvostručila, dok se istovremeno smanjila prosječna duljina korištenja pojedinog odjevnog predmeta. [3]

Sve se više razmatraju načini primjene tekstilnog otpada u drugim granama industrije, a posebna pozornost je usmjerena na korištenje tekstilnog otpada u građevinarstvu.

## 2. MIKROARMIRANI BETON

### 2.1. Općenito o mikroarmiranom betonu

Beton je građevinski materijal dobiven iz mješavine nekog veziva (npr. cement, bitumen), agregata (pijesak, šljunak, drobljeni kamen) te vode. Razlikujemo više vrsta betona, od kojih je najčešće u uporabi beton s cementnim vezivom. Postoji mnogo vrsta specijalnih betona koji su podijeljeni ovisno o gustoći, čvrstoći na vlak te trajnosti. S obzirom na gustoću, razlikujemo lake i teške betone, a s obzirom na trajnost, vatrobetone, impregnirane betone te PPCC. Ovisno o vrijednosti čvrstoće na vlak, razlikujemo mikroarmirani beton, ferocement, polimerni beton, PPCC. [1]



*Slika 2.1.1. Mikroarmirani beton [4]*

Mikroarmirani beton, slika 2.1.1., postiže se dodavanjem diskontinuiranih vlakana velike vlačne čvrstoće uobičajenoj mješavini za pripremu betona. Vlakna se mogu dozirati volumno i težinski.

Primarni motiv za dodavanje vlakana u betonsku matricu je poboljšanje ponašanja nakon pojave pukotina i povećanje njegove duktilnosti. Nakon što dođe do puknuća betonske matrice, ponašanje mikroarmiranog betona ovisi o različitim faktorima kao što su vrsta, količina i orijentacija vlakana, adhezija između vlakana i betona, te kvaliteta samog betona.

U odnosu na običan beton, sastav mikroarmiranog betona se pomalo razlikuje. Pri izradi mikroarmiranog betona koristi se veća količina cementa, veća količina sitnog agregata, manja količina krupnog agregata te manje maksimalno zrno agregata.

Pri većoj količini vlakana u sastavu, beton može posjedovati svojstvo deformacijskog očvršćavanja, nakon pojave prve pukotine može preuzeti još veće opterećenje pri savijanju. [5] Dodavanje vlakana u beton može otežati proces zbijanja, što rezultira većom poroznošću materijala. Kao rezultat toga, beton s vlaknima može imati nižu tlačnu čvrstoću u usporedbi s



betonom bez vlakana. Osim toga, veća količina cementa u mikroarmiranom betonu može doprinijeti smanjenju modula elastičnosti. [6]

Pri izradi mikroarmiranog betona treba spriječiti mogući nastanak gruda (snop) vlakana. Uzorci nastajanja gruda su prevelika količina vlakana, prekomjerno miješanjem neadekvatna oprema za miješanje, loš sastav betona, prebrzo dodavanje vlakana mješavini, dodavanje vlakana prije ostalih komponenti betona. [5]

U Tablici 1. prikazana su različita fizikalna, mehanička i kemijska svojstva vlakna koja se koriste za mikroarmiranje.

Vrsta vlakna	Vlačna čvrstoća (MPa)	Modul elastičnosti (GPa)	Produljenje pri prekidu (%)	Gustoća (kg/dm <sup>3</sup> )
<b>Akrilno</b>	207-1000	13.8-19.3	7.5-50	1.1
<b>Aramidno</b>	2340-3620	62-117	2.5-4.4	1.44
<b>Azbestno</b>	552-966	84.2	0.6	3.2
<b>Pamučno</b>	414-960	4.8	3-10	1.5
<b>Stakleno</b>	1035-3795	68.9-80	1.5-3.5	2.5
<b>Grafitno</b>	1310-2620	230-415	0.5-1.0	1.9
<b>Karbonsko</b>	1792-2620	230-380	0.5-1.5	1.9
<b>Najlonsko</b>	799-970	4.1-5.1	16-20	1.1
<b>Poliestersko</b>	228-1172	8.3-17.3	11-150	1.4
<b>Polipropilensko</b>	140-759	3.5-4.8	15-25	0.9
<b>Polietilensko</b>	200-3000	5-172	3-80	0.92-0.96
<b>Rajonsko</b>	414-621	6.9	10-25	1.5
<b>Sisal</b>	800	-	3	1.5
<b>Kamena vuna</b>	480-760	69-117	0.5-0.7	2.7
<b>Čelično</b>	276-2760	210	0.5-3.5	7.8
<b>Cementna matrica</b>	2-4	30	0.35	2.35

Tablica 1 - Vrste vlakana za mikroarmiranje [5]

Uz obični mikroarmirani beton, javlja se i posebna vrsta koju nazivamo hibridni mikroarmirani beton koji se sastoji od dviju ili više vrsta vlakana. Kombinacijom više vrsta vlakana potrebna je manja količina vlakana da bi se postigla jednaka ili bolja mehanička svojstva nego u slučaju korištenja samo jedne vrste. Jedan od primjera je hibrid s polipropilenskim i čeličnim vlaknima pri čemu čelična vlakna utječu na poboljšanje mehaničkih svojstava u očvrslom stanju, a polipropilenska vlakna djeluju na reduciranje pukotina u svježem betonu. [5]

## **2.2. Svojstva mikroarmiranog betona**

Za određivanje trajnosti i mehaničkih svojstava, koja ovise o svojstvima matrice, mogu se koristiti isti postupci ispitivanja kao i kod ispitivanja običnog betona. To su svojstva poput vlačne i tlačne čvrstoće, modula elastičnosti, skupljanje, puzanje itd. Naprotiv, svojstva koja su poboljšana uslijed dodavanja vlakana, poput žilavosti, otpornosti na udar, otpornosti na pojavu i širenje pukotina i sl., zahtijevaju posebne metode ispitivanja po određenim normama.

U svježem stanju, mikroarmirani beton s čeličnim vlaknima treba imati dovoljnu obradljivost da bi se mogao pravilno ugraditi, zbijati i njegovati, a da se pri tome spriječi segregacija i osigura pravilna raspodjela vlakana. Na svojstva u svježem stanju ponajviše utječu količina i vrsta čeličnih vlakana, koeficijent oblika, veličina maksimalnog zrna agregata te količina sitnih čestica. Najčešća metoda za ispitivanje konzistencije betona je metoda slijeganja.

Treba naglasiti da poboljšanje svojstava betona mikroarmiranjem nije proporcionalno povećanju količine vlakana. Dodavanjem čeličnih vlakana u količini do 1,5 vol.% tlačna čvrstoća betona povećava se do 15%. [5]

Mikroarmirani beton sa čeličnim vlaknima ima bitno poboljšana sljedeća svojstva:

- Žilavost
- Sprječavanje nastanka pukotina
- Duktilnost
- Sposobnost apsorpcije energije
- Otpornost na udar
- Čvrstoća na umor

Mikroarmirani beton sa polipropilenskim vlaknima ima bitno poboljšana sljedeća svojstva:

- Žilavost

- Sprječavanje nastanka pukotina
- Otpornost na udar
- Otpornost na djelovanje požara

### **2.3. Primjena mikroarmiranog betona**

Ova posebna vrsta betona ima široku uporabu, a neke vrste primjene su:

- Tunelogradnja
- Aerodromi
- Ploče mostova
- Kolničke konstrukcije
- Rezervoari
- Bazeni
- Pomorske građevine
- Sanacije armiranobetonskih konstrukcija

Mikroarmirani beton se primjenjuje i pri izradi predgotovljenih elemenata poput fasadnih panela, krovnih nosača, betonskih cijevi, garaža, za izradu tunelskih i cestovnih elemenata i sl. Njihova važnost za izradu predgotovljenih elemenata proizlazi iz bolje otpornosti na oštećenja elemenata pri skladištenju, transportu i ugradnji, pružaju veću trajnost, manje dimenzije, smanjivanje napora i vremena na postavljanju armature. [5]

## **3. VLAKNA**

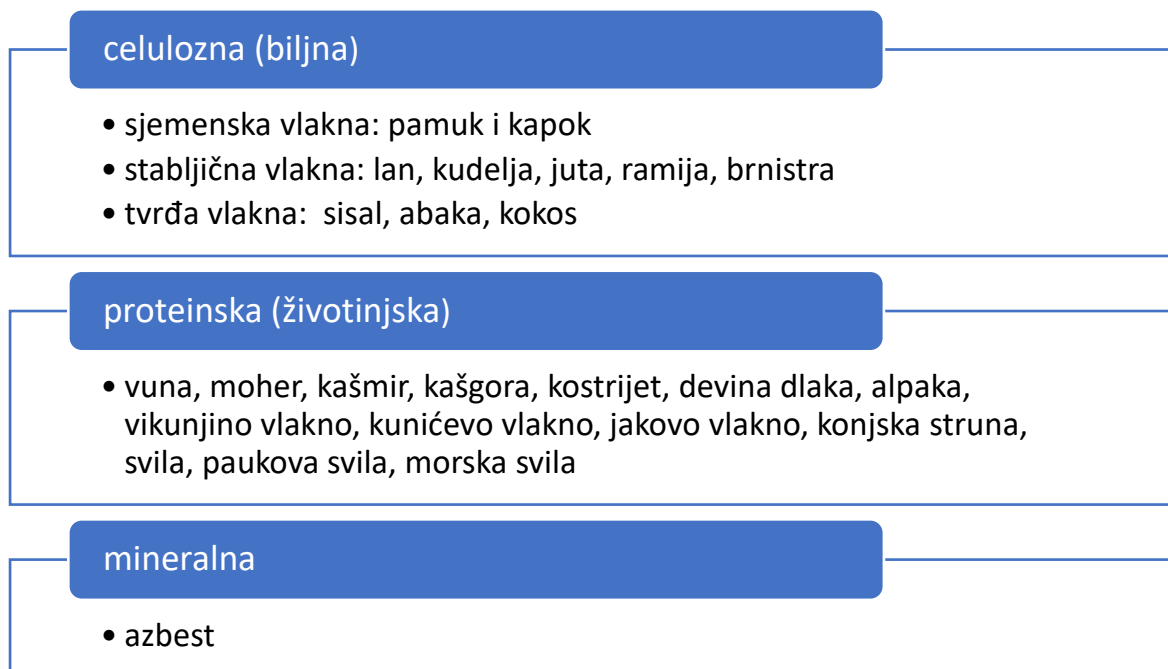
### **3.1. Općenito o vlaknima**

Vlakna su tanke, savitljive niti kojima je duljina mnogo veća od debljine, osnovni strukturni sastojci tekstilnih proizvoda i papira. U tekstilnoj se industriji upotrebljava više od stotinu vrsta vlakana, koja se međusobno razlikuju po podrijetlu, kemijskom sastavu, građi i svojstvima, pa imaju i različito područje primjene. Vlakno je osnova cjelokupne tekstilne proizvodnje i sirovina za proizvodnju pređe, koja se industrijskom preradbom oblikuje u plošne i konfekcijske tekstilne proizvode.

Sposobnost prerade je ključna karakteristika koja određuje vlakno. Ona se određuje kroz prikladnu kombinaciju duljine i finoće vlakna, dostatnu čvrstoću i kemijsku otpornost, savitljivost te kohezivnost. Također važno je da svojstva budu konzistentna među pojedinačnim vlaknima iste vrste. [8]

Za izradbu tekstila upotrebljava se mnogo vrsta vlakana različitog podrijetla, kemijskog sastava, strukture i svojstava. Vlakna se mogu svrstati u dvije osnovne skupine, prirodna i kemijska (umjetna), što je prikazano na dijagramu 1. i dijagramu 2.

## PRIRODNA VLAKNA



Dijagram 1 – podjela prirodnih vlakana [8]

## KEMIJSKA (UMJETNA) VLAKNA

#### od prirodnih polimera

- Celulozna: viskozna (CV), modalna (CMD), bakrena (CUP), liocelna
- Celulopzni derivati: acetatna (CA), triacetatna (CT), proteinska (PROT)

#### od sintetskih polimera

- poliesterska (PES), poliamidna (PA), aramidna (AR), poliakrilonitrilna (PAN), modakrilna (MAC), polipropilenska (PP), polietilenska (PE), fluorna (PTFE), klorna (CLF), vinilalna (PVAL), elastanska (EL), elastodienska (ED)

#### od anorganskih tvari

- ugljična (CF), staklena (GF), kremenata, bazaltna, polikristalasta, monokristalna, metalna (MF)

Dijagram 2 – podjela umjetnih vlakana [8]

### 3.2. Prirodna vlakna

Prirodna vlakna su proizvod prirodnih procesa živog i neživog svijeta, uključujući biljni i životinjski svijet, kao i minerale (slika 3.2.1.). U prirodi se mogu naći u obliku koji omogućuje njihovu direktnu upotrebu kao tekstilna sirovina ili nakon određenih fizikalno-mehaničkih operacija.

Postoje tri glavne skupine prirodnih vlakana :

1. Celulozna vlakna koja se dobivaju iz sjemenki, stabljike, plodova i lišća biljaka
2. Proteinska vlakna, koja uključuju dlake različitih životinja, kao i svilu dobivenu iz kukuljica dudova svilca i drugih svilenih gusjenica
3. Mineralna vlakna, pri čemu je azbest jedini predstavnik, a preporučuje se što manja upotreba zbog njegove štetnosti za zdravlje



*Slika 3.2.1. Prirodna vlakna [10]*

Prirodna vlakna imaju mnoge prednosti kao što su ekonomičnost, mala gustoća, biorazgradivost, lako korištenje i nabavka.

Također, prirodnim celuloznim vlaknima čvrstoća se povećava u mokrom stanju, dok se mokroj vuni, dlakama i viskozi čvrstoća smanjuje. [8]

Biljna vlakna dobro podnose toplinu u suhom stanju, ali su istovremeno lako zapaljiva i brzo gore. Zahvaljujući prisutnosti celuloze, imaju dobru sposobnost upijanja vlage iz zraka, što rezultira time da odjeća izrađena od prirodnih vlakana ne nakuplja statički elektricitet i pruža ugodan osjećaj prilikom nošenja. Međutim, su slabo elastična i sklonija gužvanju. Različite vrste biljnih vlakana značajno se razlikuju po finoći, duljini i čvrstoći, što određuje njihova različita područja primjene.[9]

### **3.3. Umjetna vlakna**

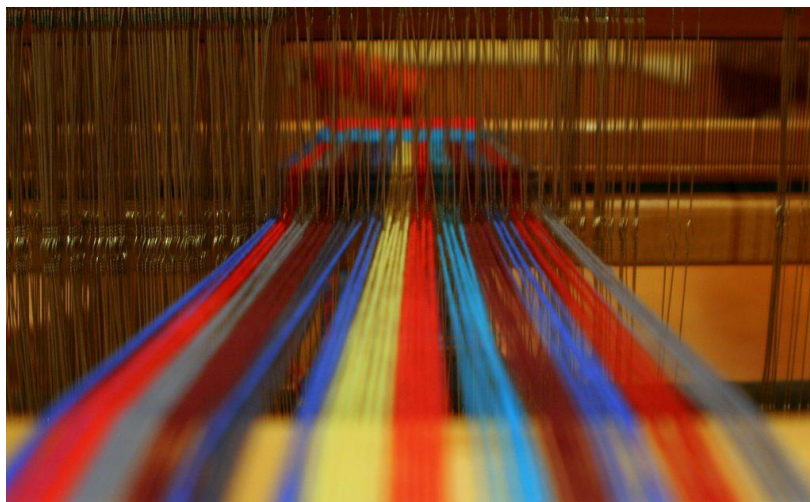
Umjetna vlakna se proizvode industrijskim postupkom. Kroz odgovarajuće fizikalno-kemijske procese i preradu, neki prirodni polimeri kao što su drvena celuloza te bjelančevine biljnog i životinjskog podrijetla mogu biti pretvoreni u vlaknasti oblik i ekstrudirani u vlakna kroz kemijske procese. Primjer takvih vlakana su vlakna od regenerirane celuloze i celuloznih derivata te proteinskih vlakna. Ističu se dobrom apsorpcijom vlage, što daje potrebnu udobnost odjeće, dok su glavni nedostaci sklonost gužvanju i smanjenje čvrstoće u mokrom stanju. Acetatna i triacetatna vlakna osjetljiva su na glačanje, odjeća se manje gužva, ali je smanjena i udobnost zbog slabijeg upijanja vlage (slika 3.3.2.). [9]

Druga skupina umjetnih vlakana obuhvaća vlakna od sintetskih polimera. Polimeri se sintetiziraju iz monomernih spojeva koji mogu polimerizirati u dovoljno dugolančane makromolekule u odgovarajućim uvjetima. Dobiveni polimer se potom ekstrudira u vlakna.

Među različitim vrstama vlakana u ovoj skupini posebno se ističu poliesterska, poliamidna i polipropilenska vlakna (slika 3.3.3.). Vrlo su čvrsta i trajna, tekstilni proizvodi lako se peru i ne gužvaju se, no lako se deformiraju tijekom pranja na višoj temperaturi i slabo upijaju vlagu.

[8]

Posebno se ističe i skupina kemijskih vlakana koja su izrađena od anorganskih tvari. [8] Odlike su im negorivost (osim ugljičnih vlakana), velika vlačna čvrstoća te većinom veliki modul elastičnosti, relativno velika kemijska otpornost i nekoroziivnost. Neka anorganska vlakna apsorbiraju ultraljubičasto zračenje i štetna svemirska zračenja te su samim time vrlo otporna na trošenje trenjem, a bitno su lakša od drugih materijala visokih svojstava. [9]



*Slika 3.3.1. Tekstilna vlakna [12]*



*Slika 3.3.2. Acetatna vlakna [13]*



*Slika 3.3.3. Polipropilenska vlakna [14]*

### 3.4. Tekstilna vlakna

Vlakna su izdužene tvorevine koje se koriste za izradu složenijih tekstilnih proizvoda. Njihova duljina je uvijek mnogo veća od promjera, najmanje 100 puta, a kod većine komercijalnih vlakana često i znatno više od 1000 puta. Prema duljini vlakna, možemo ih podijeliti na kratka, vlasasta vlakna i neograničeno duga filamentna vlakna.

Također, vlakna se mogu podijeliti na dvije glavne skupine prema podrijetlu: prirodna i umjetna tekstilna vlakna. [11]

Prirodna vlakna potječu iz prirodnih izvora, kao što su biljke (npr. pamuk, lan), životinje (npr. vuna, svila) ili minerali (npr. azbest).

Umjetna tekstilna vlakna proizvode se industrijskom proizvodnjom i mogu biti napravljena od različitih materijala, uključujući prirodne polimere i sintetičke materijale poput poliestera ili poliamida. [11]

Da bi se vlakna mogla dalje prerađivati u pređu i plošne tekstilne proizvode poput tkanina i pletiva, trebaju posjedovati određena svojstva koja se nazivaju primarna svojstva. Ta svojstva uključuju duljinu, čvrstoću, finoću, savitljivost i jednoličnost vlakana.

Duljina vlakana je važna jer utječe na kvalitetu pređe i tekstilnih proizvoda. Vlakna s većom duljinom obično daju bolju kvalitetu pređe i tkanine. Čvrstoća vlakana odnosi se na njihovu otpornost na napetost i pruža mehaničku čvrstoću tekstilnih proizvoda. Finoća se odnosi na debljinu vlakana, pri čemu manja finoća obično rezultira mekšim i finijim tekstilnim proizvodima.

Savitljivost je važno svojstvo koje omogućuje vlaknima da se savijaju bez lomljenja, što je bitno za fleksibilnost tekstila. Jednoličnost vlakana odnosi se na njihovu konzistentnost u smislu dimenzija i svojstava tijekom proizvodnje.

Osim tih primarnih svojstava, tekstilna vlakna imaju i niz drugih, sekundarnih svojstava koja ih čine prikladnima za određene primjene. Ta svojstva uključuju finoću, sjaj, mogućnost upijanja vlage, bojenje, zadržavanje topline, propusnost zraka, zadržavanje oblika nakon djelovanja sila, otpornost na visoke temperature, gorenje, UV zračenje i kemikalije, te druge specifične zahtjeve. [11]

Različita svojstva i karakteristike vlakana omogućuju njihovu raznoliku primjenu u tekstilnoj industriji i izradu različitih tekstilnih proizvoda.

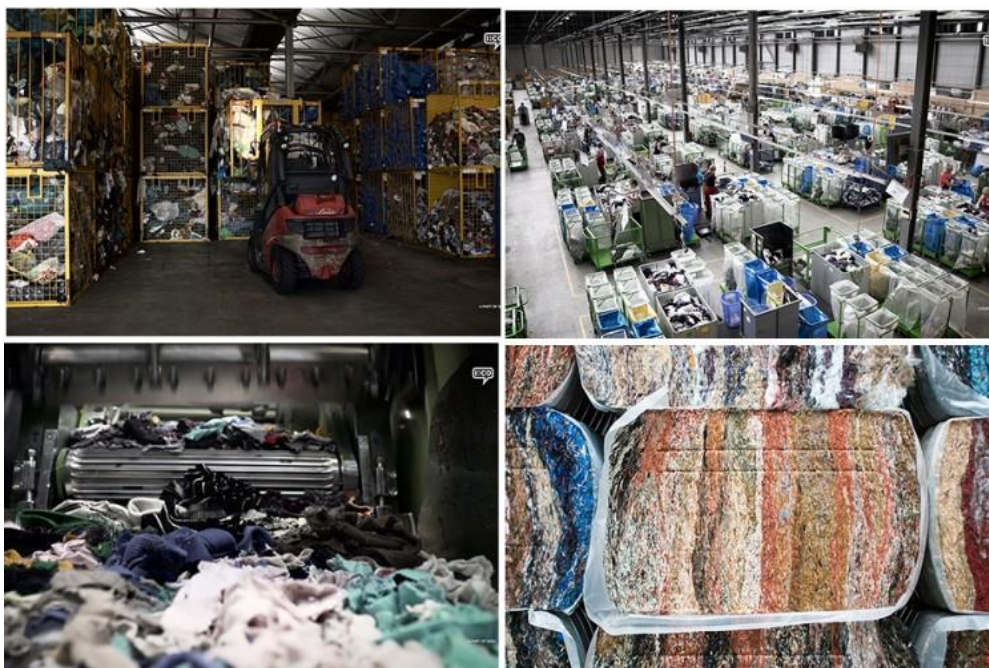


## 4. TEKSTILNI OTPAD

### 4.1. Problem tekstilnog otpada

Procjenjuje se da na svjetskoj razini nastane 92 milijuna tona tekstilnog otpada svake godine, a očekuje se da će taj broj do 2030. godine porasti na 134 milijuna tona. U isto vrijeme, tekstilna industrija sve više koristi materijale koji se teško recikliraju, što dovodi do zaključka da se problem tekstilnog otpada odnosi i na rane faze inovacijskih procesa.

Ova situacija predstavlja kompleksan izazov za održivost tekstilne industrije i zahtijeva sveobuhvatan pristup u rješavanju problema tekstilnog otpada (slika 4.1.1.). Potrebno je usmjeriti inovacije prema održivim materijalima i procesima proizvodnje kako bi se smanjila količina otpada i olakšala reciklaža. Također je važno poticati svijest o potrebi za odgovornim postupanjem s tekstilnim proizvodima, kao i promovirati modele kružne ekonomije u tekstilnoj industriji kako bi se smanjila potrošnja resursa i otpada. [15]



*Slika 4.1.1. Tekstilni otpad [17]*

U Hrvatskoj se vrlo malo tekstila odvojeno sakuplja, što rezultira niskom razinom recikliranja i ponovne uporabe. Prema podacima iz 2019. godine, samo 20 posto ukupne količine otpadnog tekstila i obuće je odvojeno sakupljeno. Čak 64 posto od ukupne količine završilo je na odlagalištima. Konkretno, u 2019. godini ukupno je proizvedeno 60.190 tona otpadnog tekstila,

od čega je samo 12.061 tona bilo odvojeno sakupljeno, dok je 42.325 tona završilo u miješanom komunalnom otpadu.

Osim toga, statistika pokazuje da veći dio jedinica lokalne samouprave u Hrvatskoj nema posebne spremnike za odvojeno sakupljanje tekstila (slika 4.1.2.). U 2019. godini, samo nešto više od polovice jedinica lokalne samouprave je osiguralo kontejnere za odvojeno sakupljanje tekstila. [15]

Ovi podaci ukazuju na potrebu za poboljšanjem sustava sakupljanja i recikliranja tekstilnog otpada u Hrvatskoj, kao i na važnost podizanja svijesti o važnosti odgovornog postupanja s tekstilnim proizvodima i poticanja građana na odvajanje i recikliranje otpada.

Aktualni Zakon o gospodarenju otpadom (ZGO) iz srpnja 2021. godine (NN 84/2021) obvezuje jedinice lokalne samouprave (JLS) organizirati odvojeno prikupljanje otpadnog tekstila. Isto je propisao i prethodni Zakon o održivom gospodarenju otpadom (ZOGO) iz srpnja 2013., ali tu obvezu općine i gradovi još uvijek rijetko provode. [16]



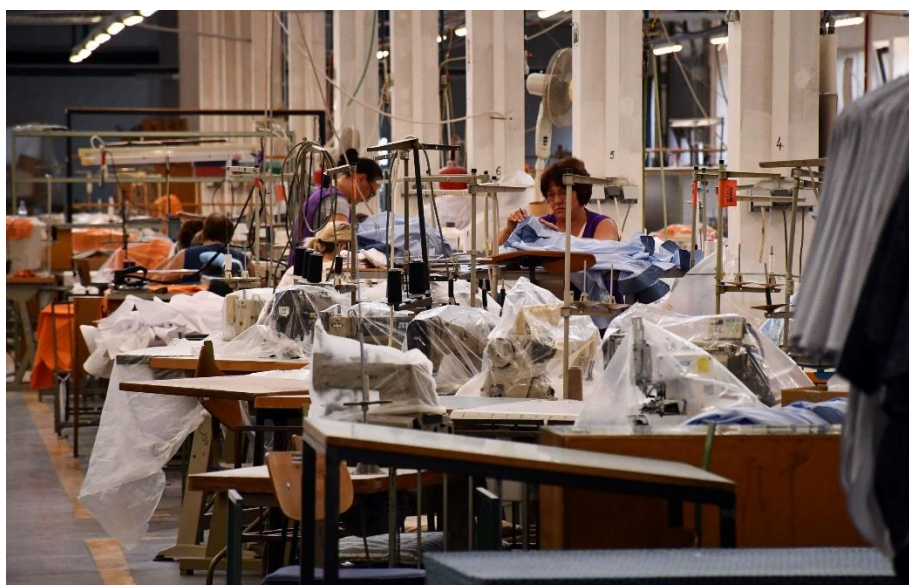
*Slika 4.1.2. Spremnici za recikliranje otpada [19]*

## 4.2. Raznovrsnost tekstilnog otpada

Među komunalnim otpadom se pojavljuje otpadna odjeća, otpadna posteljina, otpadne krpe, otpadne zavjese i sl. Neki od navedenih proizvoda izrađeni su od prirodne ili umjetne kože. Među proizvodima od umjetne kože i tekstila ne može se povući oštra granica. Većina umjetne kože je zapravo tekstil s različitom vrstom premaza. Čak je u proizvoda deklariranih kao proizvodi od kože prisutna određena količina tekstila. Slično tome je s tehničkim tekstilima (tende, cerade, šatori itd.) i suvremenim tekstilnim proizvodima .

Za navedeni otpad može se razmisliti o upotrebi izraza „tekstilni i njemu sličan otpad“. U tu skupinu otpada bi se osim konvencionalnog tekstila: odjeće, posteljine, stolnjaka, zavjesa, vreća i sl. svrstao i otpad tekstilnih proizvoda u nekonvencionalnim primjenama: tekstil primijenjen u građevini (sjenila, tapete, podne obloge), tekstil za agronomiju i geotekstil (slika 4.2.2.), te tekstil koji se primjenjuje u industriji i obrtu (tekstilni filteri, transportne trake, presvlake, itd.).

Značajnu skupinu tekstilnog otpada čini otpad pri proizvodnji (slika 4.2.1.) ili potrošnji tekstilnih proizvoda. Veliki proizvođači takvog otpada su predionice, tkaonice i odjevne tvrtke. Posebno značajno mjesto unutar tekstilne proizvodnje ima proizvodnja sastavnih dijelova za automobilsku industriju (presvlake sjedišta, unutarnje obloge), te industrija namještaja (tapecirani namještaj). [18]



*Slika 4.2.1. Tekstilna industrija [20]*



*Slika 4.2.2. Geotekstil [21]*

### **4.3. Recikliranje tekstilnog otpada**

Kod recikliranja tekstilnih otpadaka, postoji nekoliko različitih tehnoloških postupaka koji se mogu primijeniti, a odabir postupka ovisi o vrsti otpada i potencijalnoj namjeni dobivenog reciklata. Svaki postupak reciklaže obično započinje rastrgavanjem tekstilnih otpadaka na manje dijelove koji su pogodni za daljnju preradu. [18]

Neki od često korištenih tehnoloških postupaka u reciklaži tekstilnih otpadaka uključuju:

1. Mehaničko recikliranje: Ovaj postupak uključuje mehaničko raspadanje i usitnjavanje tekstilnih otpadaka kako bi se dobili manji dijelovi. Nakon toga, materijali se mogu koristiti za proizvodnju novih tekstilnih proizvoda ili drugih materijala kao što su izolacijski materijali, jastučići itd.
2. Kemijsko recikliranje: U kemijskom recikliranju, tekstilni otpad se obrađuje kemijskim postupcima kako bi se razgradili u osnovne kemijske komponente. Te komponente mogu se koristiti za dobivanje novih vlakana ili kemijskih proizvoda.
3. Biološko recikliranje: Ovaj postupak uključuje razgradnju tekstilnih otpadaka pomoću mikroorganizama ili enzima kako bi se dobili biološki razgradivi materijali. Ti materijali mogu se koristiti za proizvodnju gnojiva ili drugih bioloških proizvoda.
4. Termičko recikliranje: Ovaj postupak uključuje termičku obradu tekstilnih otpadaka da bi se dobila energija ili korisni proizvodi.

Važno je razvijati i unapređivati tehnološke postupke recikliranja kako bi se maksimizirala upotreba tekstilnih otpadaka i smanjila njihova deponiranja na odlagališta.

#### **4.4. Primjena tekstilnog otpada u građevinarstvu**

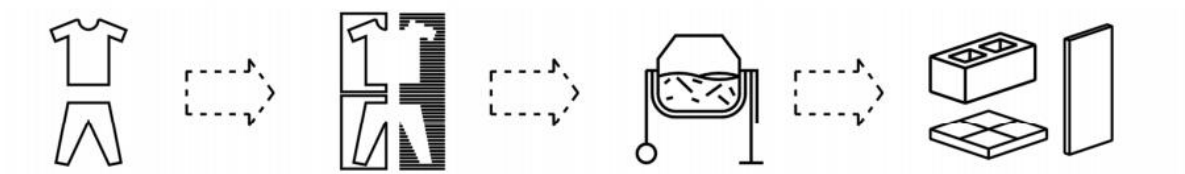
Najveća mogućnost uporabe materijala dobivenih od tekstilnog otpada postoji u građevinarstvu i automobilske industriji.

Mogu se upotrebljavati za podnu izolaciju, izolaciju zidova ili krovova. Ploče od tekstilnog otpada mogu biti zamjena za ploče od pjenastog poliestera ili pjenastog betona. U tom slučaju jako je važno da su vlakna i dijelovi tekstilnog materijala međusobno dobro povezani zbog postizanje dovoljne čvrstoće ploča.

Tekstilni otpad može se upotrebljavati i u mješavinama s cementom, gipsom, polimernim smolama i sl., slika 4.4.1. [18]

Upotreba ovih recikliranih materijala i otpada u građevinarstvu postaje sve popularnija zbog nedostatka prirodnih mineralnih resursa i povećanja troškova odlaganja otpada. Međutim, s povećanom upotrebom otpada u inženjerskim primjenama, potrebno je dodatno razumijevanje inženjerskog ponašanja kompozitnog materijala. Istraživanja su pokazala da mnoge vrste vlakana dobivenih iz različitih vrsta otpada mogu biti prikladne za beton kako bi djelovala kao ojačanje. Također, dokazano je da se polimerni betoni mogu ojačati vlaknima kako sintetičnim tako i prirodnim. Kada se tekstilna vlakna pomiješaju s polimerom kao vezivom, proizvodi se jedinstveni tip kompozitnog materijala koji se može koristiti za izradu lakih materijala niskih troškova. Postiže se poboljšana kemijska otpornost i mehanička čvrstoća. [22]

Glavni razlog relativno malog udjela upotrebe tekstilnog otpada su povoljnije cijene drugih, "čišćih" materijala poput sirovih vlakana. Drugi razlog relativno niskog stupanja reciklaže tekstila je i taj da ga se do sada moglo odlagati na deponije bez ograničenja. [18]



*Slika 4.4.1. Industrijski tekstilni otpad [28]*

Godišnje se u tekstilnoj industriji potroši 53 milijuna tona tekstilnog materijala od čega 25% otpada na pamučni materijal. Količina pri samoj proizvodnji okvirno iznosi 12% međutim pri rezanju materijala za postizanje željenog oblika dolazi do stvaranja većih količina industrijskoj tekstilnog otpada u iznosu od 20-25% ukupne količine materijala. [28]

## **5. EKSPERIMENTALNI DIO**

### **5.1. Općenito**

U eksperimentalnom dijelu rada izrađeno je ukupno 5 vrsta mješavina estriha. Izrađena je referentna mješavina (etalon) bez vlakana, jedna mješavina etalona s polipropilenskim vlaknima te tri mješavine cementnog estriha s tekstilnim krpicama koje su natopljene s otopinom za povećanje prionjivosti (otopina Beton 1). U svakoj od tri navedene mješavine, krpice su dodane u različitim količinama. Udio tekstilnih krpica u mješavini je 2.5%, 5 % i 10% ukupnog volumena. Sve mješavine napravljene su u jednakim uvjetima.

Za svaki od pet navedenih tipova estriha napravljene su po dvije mješavine. Jedna mješavina korištena je za ispitivanje gustoće i količine zraka u estrihu, a od druge mješavine izrađene su prizmice u trodijelnom kalupu na kojima su se provela ispitivanja čvrstoće na tlak i na savijanje.

#### **Oznake uzoraka**

E-RM → etalon, referentna mješavina bez vlakana

E-RM-PP → mješavina sa polipropilenskim vlakancima

CTC-2.5-TK → mješavina estriha s dodatkom tekstilnih krpica u količini od 2,5% ukupnog volumena

CTC-5-TK → mješavina estriha s dodatkom tekstilnih krpica u količini od 5% ukupnog volumena

CTC-10-TK → mješavina estriha s dodatkom tekstilnih krpica u količini od 10% ukupnog volumena

#### **Materijali**

Za izradu uzoraka korišteni su sljedeći materijali:

- Suha mješavina cementnog estriha, Baumit Solido 225
- Voda
- Otopina za povećanje prionjivosti, Beton 1
- Polipropilenska vlakna
- Pamučni tekstilni otpad u obliku krpica

### **5.2. Suha mješavina cementnog estriha**

Za izradu uzoraka korištena je suha mješavina cementnog estriha oznake Baumit Solido 225 (slika 5.2.1.).

Suha mješavina sastavljena je od cementa, pijeska za estrihe s maksimalnom veličinom zrna 4 mm te od dodataka.

Ovu vrstu cementnog estriha odlikuje laka ugradnja, mogućnost vanjske i unutarnje primjene te pogodnost materijala u upotrebi za podno grijanje. Sam estrih univerzalno je primjenjiv te je moguća upotreba i u vlažnim prostorijama, a posebno se ističe izrazito malim naknadnim vlaženjem.

Bitno je naglasiti da minimalna savojna čvrstoća nakon 28 dana propisana tehničkim uvjetima iznosi 4 MPa, a minimalna tlačna čvrstoća poslije 28 dana iznosi 20 MPa.

Procijenjen iznos suhe specifične gustoće kreče se između 2100 i 2200 kg/m<sup>3</sup>.

Materijal koji je spreman za isporuku pakira se u vreće od 25 i 40 kg.

Baumit Solido 225 može se miješati ručno u miješalici sa slobodnim padom te u protočnoj ili tlačnoj miješalici.

Kod materijala isporučenog u vrećama potrebno je 1-2 l vode po vreći, uz napomenu da voda mora biti čista.

Tijekom obrade i vezivanja, temperatura zraka, materijala i podloge ne smije biti ispod +5°C. U svrhu postizanja brzog i povoljnog očvršćivanja, na kraju predviđenog vremena za sušenje potrebno je osigurati intenzivno provjetranje.

Navedeni proizvod može se nanositi kao plivajući, klizajući i vezani estrih, a u slučaju da nema dodataka upotrebljava se i kao estrih za podno grijanje. [23]



Slika 5.2.1. Cementni estrih [23]



### 5.3. Voda

Najvažnija karakteristika vode koja se koristi za pripremu mješavine je njezina čistoća. Ta voda ne smije sadržavati alkalije, kiseline, soli, ulja, šećer, organske materijale i druge tvari. Ako takva nečista voda bude korištena, to može negativno utjecati na kvalitetu morta, na primjer, na čvrstoću i vezanje između cementne paste i agregata. [24]

### 5.4. Otopina Beton 1

Kao sredstvo za povećanje prionjivosti između tekstilnih krpica i mješavine cementnog estriha korištena je otopina Beton 1.

Koristi se elastični i ljepljivi temeljni premaz koji se odlikuje izrazito visokom prionjivošću i ljepljivim suhim filmom. Taj premaz se koristi kao vezivni sloj između starog i novog betona, morta, žbuke ili podne glazure.

Vodena disperzija polimernih veziva i aditiva prodire duboko u porozne strukture građevnih materijala, učvršćuje ih i time poboljšava prionjivost između podloge i novog sloja.

Proizvod je u tekućem agregatnom stanju, mliječno bijele boje te relativne gustoće 0,990-0,993 g/cm<sup>3</sup>. Temperature pri kojima se preporuča primjena otopine Beton 1 kreću se između +5°C i +30°C, a pH otopine uzima vrijednosti u rasponu 6,0-7,0.

Omjer razrjeđivanja betona 1 i voda je 1 : 1 te ga je potrebno dobro promiješati.

Skladišti se u čvrstom zatvorenom spremniku, zaštićen od direktnog sunčeva svjetla i smrzavanja.

Dolazi u pakiranjima od 1 l (slika 5.4.1), 5 l, 10 l i 18 l. [25]



Slika 5.4.1. Beton 1

## 5.5. Polipropilenska vlakna ( PP vlakna )

Za potrebu ovog ispitivanja u jednoj mješavini korištena su polipropilenska vlakna (slika 5.5.1.) MULTIFILS u iznosu od 3,49 g, dužine 12 mm.

Pakirana su vrećicama od 600 g, a doziranje se vrši prema preporuci, 600-900 g/m<sup>3</sup> betona ili estriha.

Polipropilenska vlakna koriste se za poboljšanje svih bitnih svojstava betona, morta ili estriha i raspoređena su trodimenzionalno i jednoliko u cijeloj mješavini.

Korištenjem polipropilenskih vlakana smanjuje se nastajanje pukotina uslijed stezanja, povećavaju se tlačna i savojna čvrstoća te čvrstoća na cijepanje, povećavaju se otpornost na habanje i vodonepropustnost.

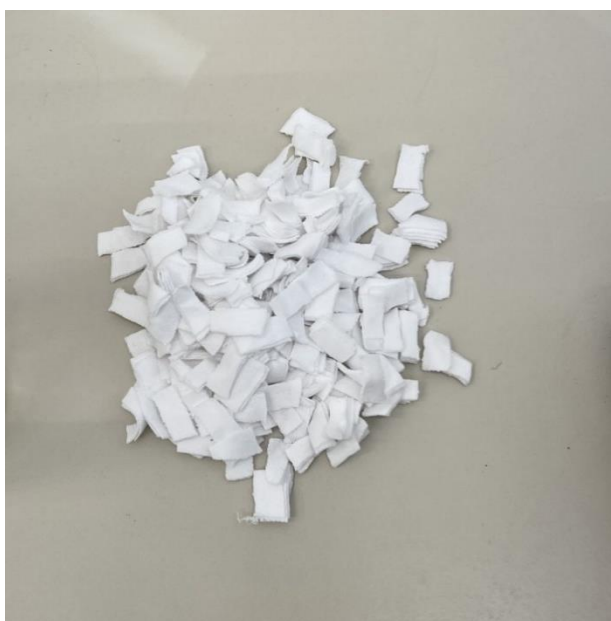
Uz sve to, polipropilenska vlakna povećavaju otpornost estriha/betona na cikluse smrzavanja i odmrzavanja. [26]



*Slika 5.5.1. Polipropilenska vlakna*

## 5.6. Pamučne tekstilne krpice

Za potrebu ovog ispitivanja u mješavini su korištene pamučno tkane tekstilne krpice koje su oblikovane iz industrijskih tekstilnih ostataka tvornice Galeb. Krpice su ručno rezane i oblikovane na način da su sve približno iste veličine, kako je vidljivo na slici 5.6.1. U mješavine su dodane u iznosu od 2,5%, 5% i 10% ukupnog volumena mješavine.



*Slika 5.6.1. Pamučne tekstilne krpice*

### **5.7. Sastav mješavina i priprema uzoraka**

Eksperimentalni dio temelji se na izradi 5 različitih vrsta mješavina estriha ovisno o dodatcima. Prva mješavina je etalon ili referentna mješavina, a druga etalon s dodatkom polipropilenskih vlakana. Preostale tri mješavine izrađene su od suhe mješavine cementnog estriha, vode i pamučnih tekstilnih krpica.

U Tablici 2 prikazane su količine materijala korištene za izradu uzoraka za potrebe ispitivanja te izmjerene količine zraka kod estriha u svježem stanju i gustoća istog.

OZNAKE UZORAKA	VODA [g]	SUHA MJEŠAVINA ESTRIHA [g]	OJAČANJE [g]
E-RM	152	1800	
E-RM-PP	154,4	1800	3,49
CTC-2.5-TK	152	1800	2,80
CTC-5-TK	148	1800	5,60
CTC-10-TK	148	1800	11,21

*Tablica 2 – sastavi mješavina i rezultati ispitivanja*

Svaka od navedenih mješavina napravljena je dvaput. Na prvom uzorku mješavine obavljeno je ispitivanje količine zraka u mješavini i njene gustoće, a od drugog uzorka izrađene su prizmice standardnih dimenzija za ispitivanje čvrstoće materijala.

Za početak, potrebno je izvagati određenu količinu suhe mješavine cementnog estriha (slika 5.7.1.), vode te mogućih dodataka koji su u ovom slučaju bili polipropilenska vlakna i tekstilne krpice.



*Slika 5.7.1. Suha mješavina cementnog estriha - mjerenje količine*

Pri izradi mješavina s tekstilnim krpicama, nakon što je izmjerena točna količina potrebnih krpica, krpice su prebačene u posudu u koju je dodana otopina Beton 1 za povećanje prionjivosti koja je razrijeđena s vodom u omjeru 1:1.

Krpice su u potpunosti potopljene (slika 5.7.2.), te se zatim uklonio višak vodene otopine s površina krpica do one razine da se više vodena otopina ne može iscijediti iz njih.



*Slika 5.7.2. Tekstilne krpice u vodenoj otopini Betona 1*

Zatim se svi navedeni sastojci stavljaju u posudu prikladnu za miješanje (slika 5.7.3.) te slijedi miješanje ručnom miješalicom za mortove (slika 5.7.4.) dok se ne dobije potpuna homogenost smjese.



*Slika 5.7.3. Sastojci spremni za miješanje*



*Slika 5.7.4. Ručna miješalica za mortove [27]*

Kod izrade referentne mješavine s polipropilenskim vlaknima dodano je malo više vode u odnosu na referentnu mješavinu bez vlakanaca, točnije 2,4 g, da bi se dobila željena konzistenciju kuglice morta.

Pri izradi mješavina sa tekstilnim krpicama, kod prve je mješavine uočeno da bi bilo dobro malo smanjiti količinu vodu zbog postizanja tražene konzistencije te je količina vode u slijedećim mješavinama reducirana s 152 g na 148 g.

Po završetku miješanja, formirana je kuglica uzroka za provjeru konzistencije.

Za izradu prve vrste mješavine, konzistencija je bila prihvatljiva, a već za izradu druge vrste, sa polipropilenskim vlaknima, bilo je potrebno dodati malo više vode, točnije 2,4 g da bi se kuglica uzorka bila kompaktna.

Kod izrade mješavina sa tekstilnim krpicama za prvu vrstu mješavine (CTC-2.5-TK) korištena su 152 g vode, a ta je količina reducirana sa 152 g na 148 g za naredne dvije vrste mješavine (CTC-5-TK i CTC-10-TK) zbog tražene konzistencije.

Na priloženim slikama (slika 5.7.5. i slika 5.7.6.) može se vidjeti razlika u konzistenciji uzoraka prije i nakon reduciranja količine vode. Mješavina sa reduciranom količinom vode granične je konzistencije.



*Slika 5.7.5. Uzorak CTC-2.5-TK*



*Slika 5.7.6. Uzorak CTC-10-TK*

Odabrana količina materijala je dovoljna za ugradnju u trodijelne kalupe za izradu standardnih prizmica (slika 5.7.8.) na kojima se vrši ispitivanje čvrstoće cementnog morta (40 x 40 x 160 mm).

Nakon izrade drugog uzorka za svaku mješavinu, cementni estrih ugrađen je u trodijelni kalup na vibrostolu (slika 5.7.7.). Nakon 24 sata čuvanja u vlažnoj komori, uzorci su izvađeni iz kalupa, stavljeni u vodu i tamo njegovani 28 dana do ispitivanja.

Za potrebe ispitivanja uzorci su poslani na Građevinski fakultet u Rijeci, kako bi se snimio dijagram opterećenje-pomak.



*Slika 5.7.7. Vibrostol [28]*



*Slika 5.7.8. Trodiyelni kalup [28]*



## 5.8. Rezultati ispitivanja

Prizmice su njegovane 28 dana nakon čega se očvrslili uzorci vade iz vode i ispituju. Prije početka samog ispitivanja uzorci se brišu krpom da bi se odstranila voda s površine.

Ispitivanje čvrstoće na savijanje izvršeno je pomoću okvira za ispitivanje savojne čvrstoće betonskih uzoraka uz komplet baznih i podložnih pločica. Sam okvir je kapaciteta 300 kN i karakterizira ga izrazito precizno mjerenje pomaka. Ovaj je uređaj korišten da bi se mogao snimati pomak donjeg dijela prizmice pomoću LVDT uređaja, slika 5.8.1.

Čvrstoća na tlak ispitana je u preši za ispitivanje čvrstoće cementa na polovicama ispitnih prizmica. Površina preko koje se prenosi opterećenje je 40x40 mm.

Svi uzorci ojačani tekstilnim krpicama nisu se prepолоvili nakon ispitivanja već su se ručno morala odvojiti na dva dijela. Razlog tome je povećana žilavost zbog dodatka krpica (slika 5.8.2. i slika 5.8.3.).



*Slika 5.8.1. Okvir za ispitivanje savojne čvrstoće [27]*



*Slika 5.8.2. Presjek uzorka CTC-5-TK*



*Slika 5.8.3. Uzorak CTC-5-TK nakon ispitivanja*

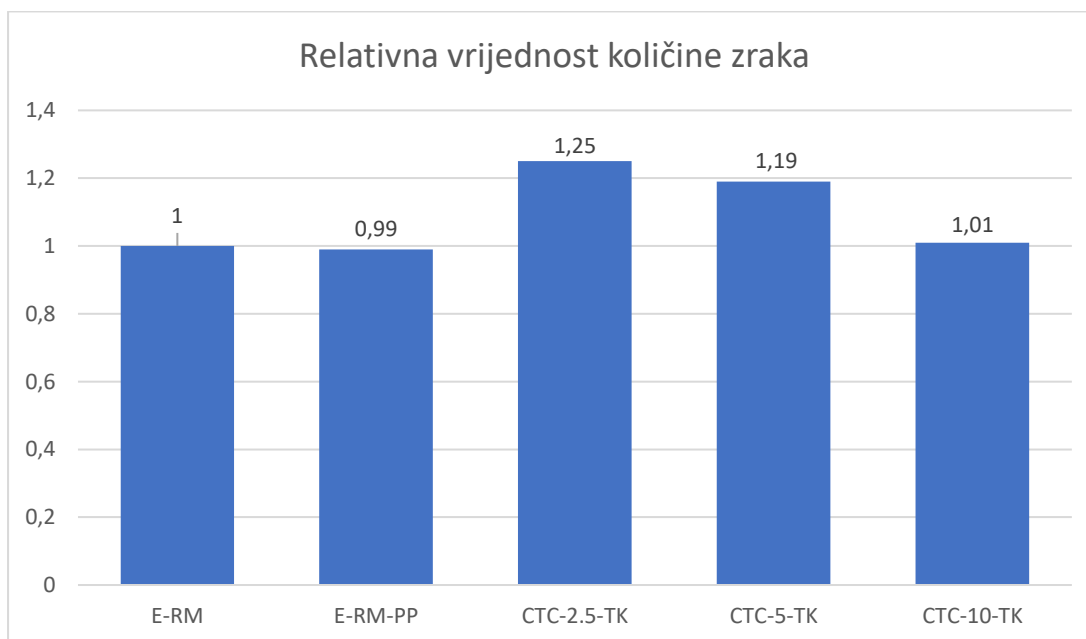
## ZRAK

U tablici 3 dani su rezultati ispitivanja količine zraka kod mješavine cementnog estriha u svježem stanju. Mjerenje količine zraka vršilo se prema normi HRN EN 1015-7:2000 Metode ispitivanja mortova za zide -- 7. dio: Određivanje udjela pora u svježemu mortu (EN 1015-7:1998).

ZRAK [%]				
E-RM	E-RM-PP	CTC-2.5-TK	CTC-5-TK	CTC-10-TK
8,5	8,4	10,6	10,1	8,6

Tablica 3 – udio zraka od ukupnog volumena uzorka

Na grafikonu 1 prikazane su relativne vrijednosti količine zraka u uzorcima estriha.



Grafikon 1 – relativne vrijednosti udjela zraka u uzorcima estriha

Iz priloženih podataka može se primijetiti da dodatak polipropilenskih vlakana u mješavinu etanola nije znatno utjecao na količinu zraka u uzorku.

Međutim, kod uzoraka s dodatkom tekstilnih krpica vidljive su značajnije promjene u iznosu količine zraka. Najmanje zraka sadrži mješavina etalona s polipropilenskim vlaknima, a najviše mješavina cementnog estriha s dodatkom tekstilnih krpica u količini 2.5%. U usporedbi s

referentnom mješavinom, uzorak CTC-2.5-TK sadrži za 25% veći volumen zraka, a mješavina CTC-5-TK 19 %.

Vidljive su i oscilacije među uzorcima s tekstilnim krpicama ovisno o količini samih krpica. Povećanjem njihove količine dolazi do smanjenja udjela zraka u uzorku. Nije jasno je li sam dodatak krpica ili natapanje krpica u otopinu uzrok povećanoj količini zraka.

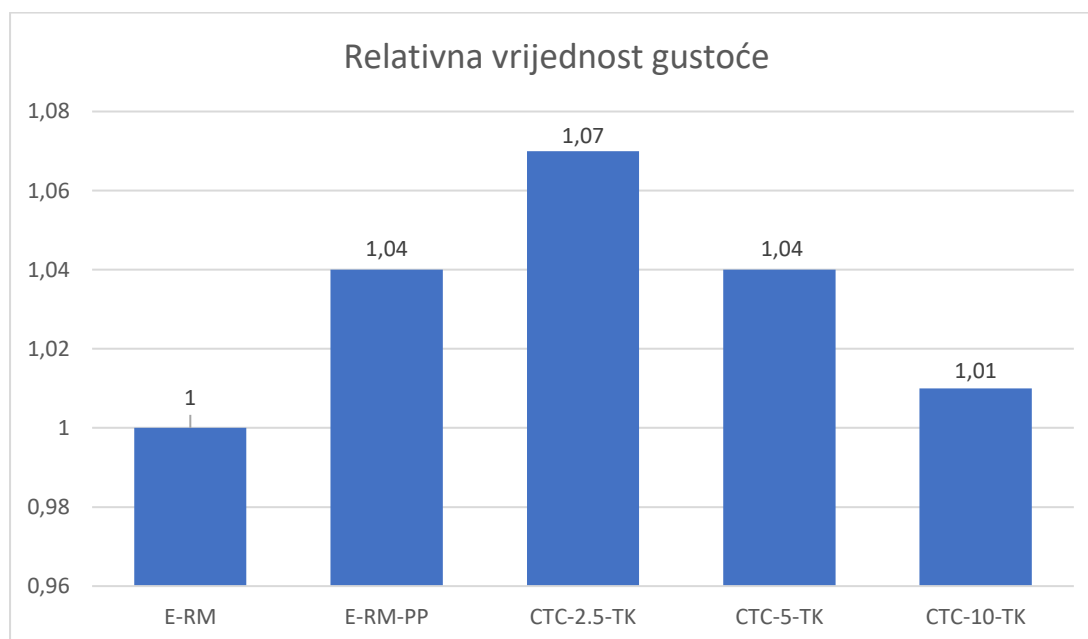
## GUSTOĆA

U tablici 4 dane su vrijednosti gustoće mješavine cementnog estriha u svježem stanju. Gustoća se odredila prema HRN EN 1015-6:2000/A1:2008 Metode ispitivanja mortova za zide -- 6. dio: Određivanje gustoće svježega morta (EN 1015-6:1998/A1:2006)

GUSTOĆA [kg/m <sup>3</sup> ]				
E-RM	E-RM-PP	CTC-2.5-TK	CTC-5-TK	CTC-10-TK
1932,67	2003,47	2076,13	2018,13	1949,33

Tablica 4 – gustoće mješavina cementnog estriha u svježem stanju

Na grafikonu 2 prikazane su relativne vrijednosti količine zraka u uzorcima estriha.



Grafikon 2 – relativne vrijednosti gustoće uzoraka cementnog estriha

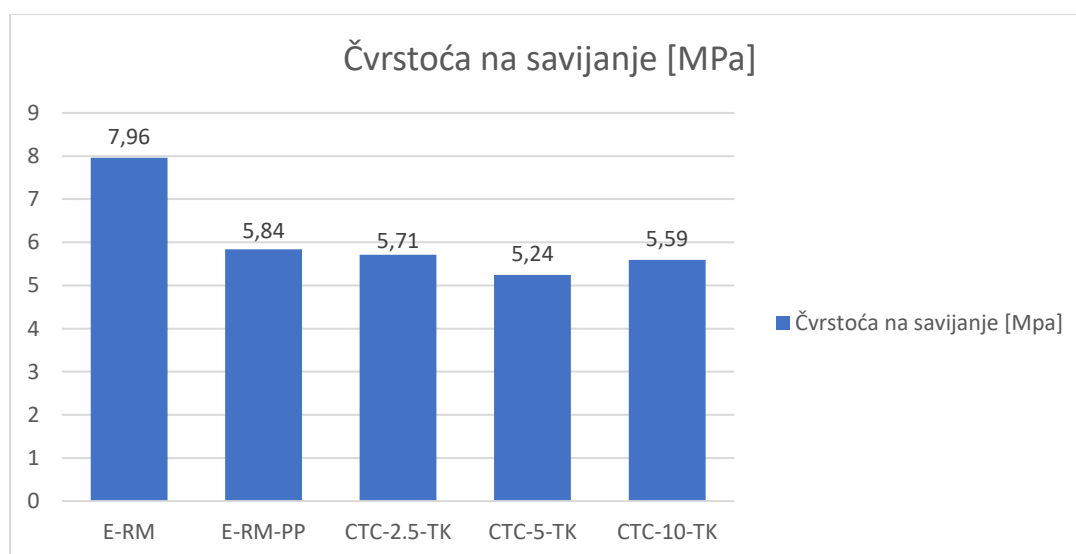
Iz priloženih podataka o vrijednostima gustoće vidljivo je da najmanju gustoću ima referentna mješavina. Dodatkom polipropilenskih vlakana referentnoj mješavini dolazi do povećanja gustoće. Također, dodatkom tekstilnih krpica cementnom estrihu postignute su veće vrijednosti gustoće. Međutim, s povećanjem količine tekstilnih krpica dolazi do opadanja gustoće estriha u svježem stanju. Promjena gustoće je u rasponu od 1 – 7 %.

## SAVOJNA ČVRSTOĆA

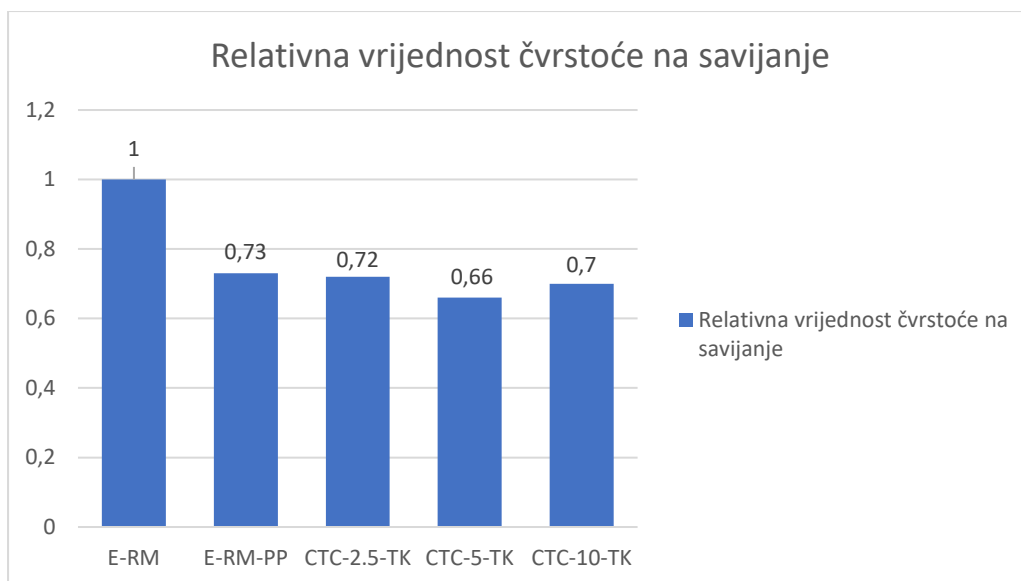
U tablici 5 prikazani su rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje izrađenih uzoraka prema HRN EN 1015-11:2019 Metode ispitivanja mortova za zide -- 11. dio: Određivanje čvrstoće pri savijanju i tlačne čvrstoće očvrstlog morta (EN 1015-11:2019).

ČVRSTOĆA NA SAVIJANJE [MPa]				
E-RM	E-RM-PP	CTC-2.5-TK	CTC-5-TK	CTC-10-TK
7,96	5,84	5,71	5,24	5,59

Tablica 5 – rezultati ispitivanja savojne čvrstoće



Grafikon 3 – rezultati ispitivanja savojne čvrstoće svih uzoraka



Grafikon 4 – relativne vrijednosti rezultata ispitivanja savojne čvrstoće svih uzoraka

Iz grafikona 3 jasno je da etalon, čija čvrstoća na savijanje iznosi 7,96 MPa ima veću savojnu čvrstoću od ostalih uzoraka. Najbliže etalonu nalazi se mješavina E-RM-PP s čvrstoćom na savijanje od 5,84 MPa, a najnižu vrijednost savojne čvrstoće ima CTC-5-TK koja iznosi 5,24 MPa. Iz dijagrama se može primijetiti da veći udio tekstilnih krpica ostvaruje niže čvrstoće. Razlog smanjenja čvrstoće na savijanje kod uzoraka s tekstilnim krpicama proizlazi iz više mogućih faktora.

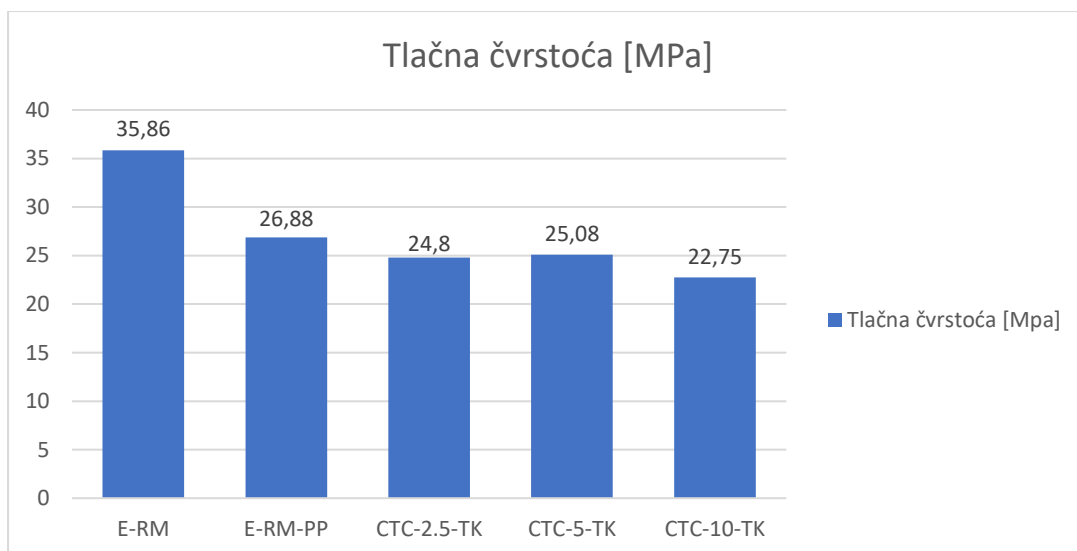
Faktori koji mogu utjecati na smanjenje savojne čvrstoće su slabija prionjivost između krpica i cementnog estriha, raspodjela vlakana zbog njihove količine i zbog lošije ugradbe morta što rezultira pojavom pora i šupljina. Prema Grafikonu 1 se vidi da je dodatak krpica utjecao na povećanu količinu zraka u estrihu, što se odrazilo na rezultate ispitivanja.

## TLAČNA ČVRSTOĆA

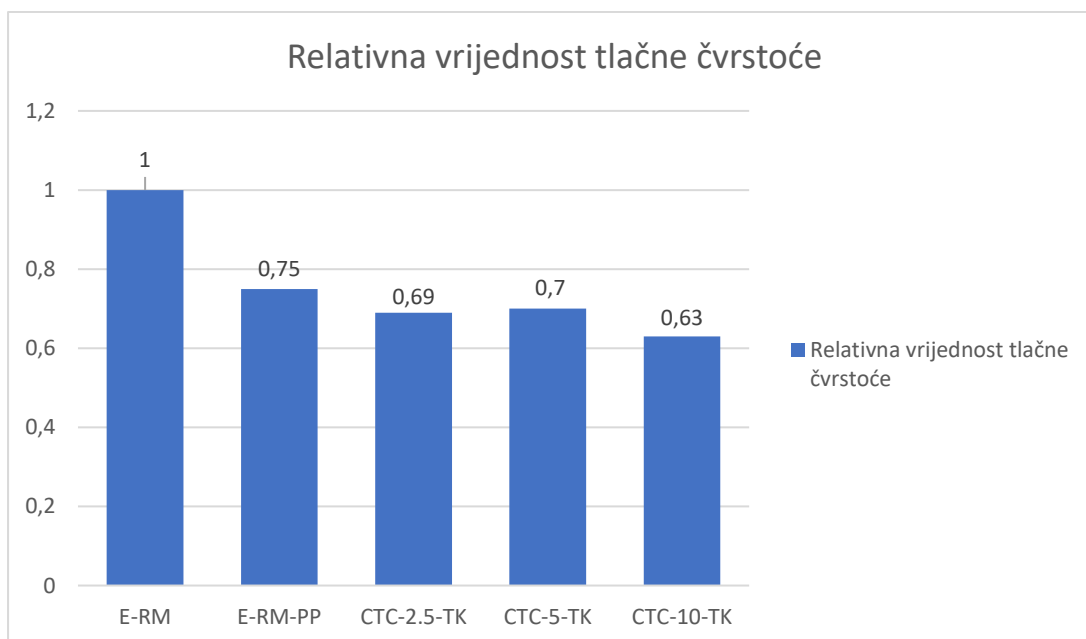
U tablici 6 prikazani su rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće izrađenih uzoraka.

TLAČNA ČVRSTOĆA [MPa]				
E-RM	E-RM-PP	CTC-2.5-TK	CTC-5-TK	CTC-10-TK
35,86	26,88	24,80	25,08	22,75

Tablica 6 – rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće



*Grafikon 5 – rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće svih uzoraka*



*Grafikon 6 – relativne vrijednosti rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće svih uzoraka*

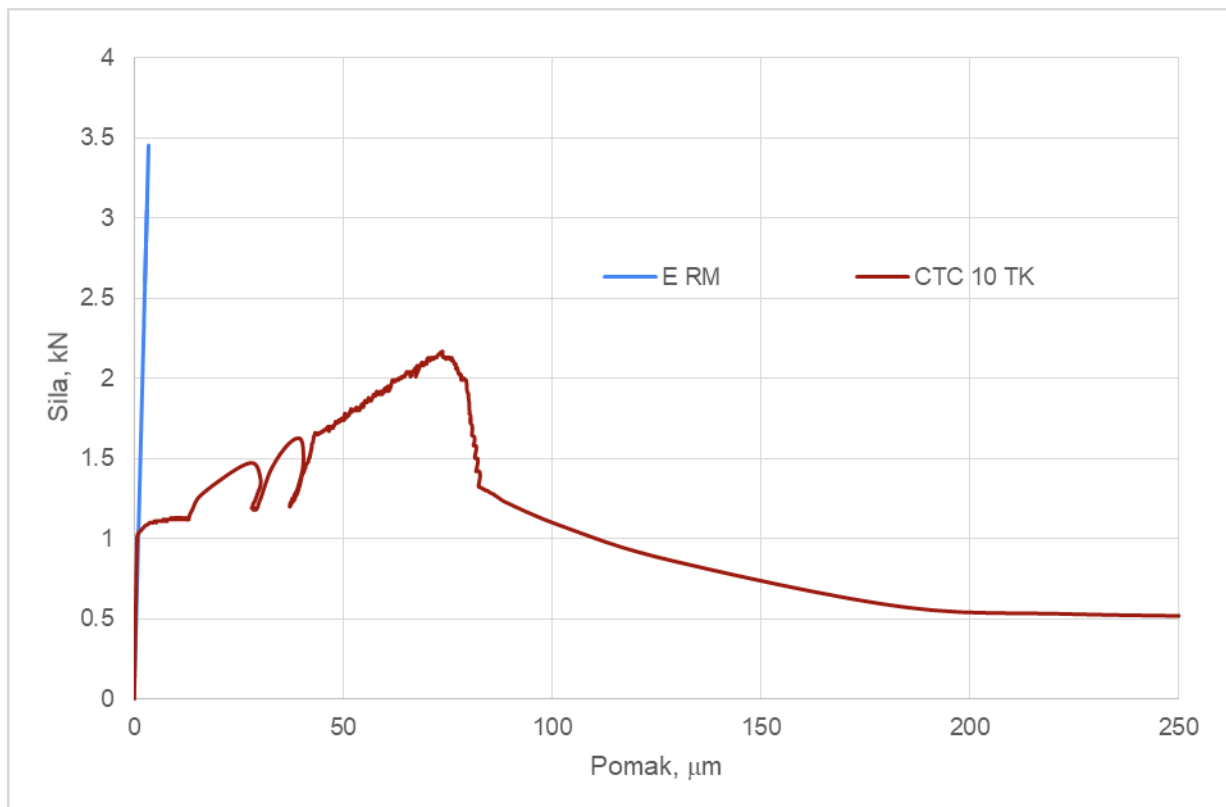
Iz grafikona 5 vidljivo je da etalon ima najveću čvrstoću na tlak u iznosu od 35,86 MPa. Uzorak etalona s polipropilenskim vlaknima ima za 25% manju čvrstoću od običnog etalona. Najmanju čvrstoću na savijanje ima uzorak s najvećim udjelom tekstilnih krpica, čak 37% manju od referentne mješavine.

Može se primijetiti kako udio vlakna utječe na dobivene tlačne čvrstoće. Što je udio tekstilnih krpica manji, to je dobivena tlačna čvrstoća veća.

To je i očekivano iz razloga što se mort s dodatkom vlakana teže zbija i ugrađuje, a poroznost takvog betona je povećana.

## DIJAGRAM SILA - POMAK

Na slici 5.8.1. prikazan je dijagram ovisnosti pomaka o djelovanju sile na ispitne prizmice.



Slika 5.8.1. – pomak zbog djelovanja sile mjereno u mikrometrima [27]

Iz priloženog grafikona može se uočiti da su prizmice referentne mješavine naglo pukle pri dosezanju maksimalnog iznosa sile od 3,5 kN.

S druge strane, prizmice od uzorka cementnog estriha s tekstilnim krpicama u iznosu od 10% nisu se raspolovile pri maksimalnom opterećenju već su ostale povezane, nije došlo do naglog loma. Maksimalna sila kojoj je bio izložen uzorak s tekstilnim krpicama iznosi 2,2 kN.



Ukoliko se usporede rezultati vidljivo je da je dodatak tekstilnih krpica u velikoj mjeri utjecao na povećanje žilavosti uzoraka. Uzorak s dodatkom tekstilnih krpica za razliku od etalona može podnijeti veliku deformaciju bez krtog loma. To pokazuje omjer površine ispod dijagrama za uzorak CTC 10 TK i uzorak E RM za pomak do 250  $\mu\text{m}$ .

## 6. ZAKLJUČAK

Beton je građevinski materijal koji se dobiva miješanjem cementa, agregata, vode i dodataka. Mikroarmirani beton dobiva se dodatkom vlakana prirodnog ili umjetnog postanka u osnovnu mješavinu betona. U usporedbi s običnim betonom, mikroarmirani se beton odlikuje većom vlačnom čvrstoćom, otpornosti na pucanje, otpornosti na habanje, otpornost na udar i dinamičko opterećenje. Dodatkom vlakana u betonu povećava se njegova čvrstoća na savijanje, duktilnost, žilavost i sposobnost apsorpcije energije.

Vlakna mogu biti prirodnog i umjetnog podrijetla. U tekstilnoj se industriji upotrebljava više od stotinu vrsta vlakana, koja se međusobno razlikuju po podrijetlu, kemijskom sastavu, građi i svojstvima, pa imaju i različito područje primjene. Tekstilna vlakna također mogu biti prirodnog i umjetnog podrijetla.

Problem zbrinjavanja tekstilnog otpada svakim danom postaje sve veći, a tome dodatno pridonosi sve veća upotreba materijala u tekstilnoj industriji koji se teško recikliraju.

Najveća mogućnost primjene tekstilnog otpada, pogotovo onog industrijskog podrijetla, postoji u građevinarstvu. Raznolikost primjene obuhvaća izradu podne izolacije, izolacije krovova, mješavina sa cementnom i sl. Unatoč tome sama primjena je trenutno relativno mala, a razlog tome se krije u povoljnim cijenama drugih vrsta vlakana te je potrebno detaljno ispitati ponašanje materijala ojačanog tekstilnim otpadom.

U ovom radu korištene su pamučne tekstilne krpice podrijetlom iz pogona tekstilne industrije i polipropilenska vlakna. Izrađeno je sveukupno 10 uzorka cementnog estriha, po 2 uzorka za svaku vrstu mješavine. Izvedene su mješavine etalona, etalona s polipropilenskim vlaknima te mješavine cementnog estriha s dodatkom tekstilnih krpica u različitim količinama (2.5%, 5% i 10%).

Usporedbom rezultata koje su postigli uzorci s etalomom, uzorci etalona s polipropilenskim vlaknima i tekstilnim krpicama postigli su niže rezultate savojne i tlačne čvrstoće.

Nakon etalona, najveću čvrstoću na savijanje u iznosu od 5,84 MPa i tlačnu čvrstoću u iznosu od 26,88 MPa postigao je uzorak E-RM-PP, dakle uzorak etalona s dodatkom polipropilenskih vlakana. Kod uzoraka s tekstilnim krpicama vidljiv je pad u iznosu čvrstoće na savijanje s povećanjem količinom krpica.

Od svih uzoraka, najslabiji iznos tlačne čvrstoće u vrijednosti od 22,75 MPa izmjeren je na uzorku CTC-10-TK, a to je uzorak s najvećom količinom tekstilnih krpica. Navedena vrijednost je čak 37% manja od tlačne čvrstoće etalona.

Rezultati ispitivanja pokazuju da se čvrstoća na tlak i na savijanje smanjuje s povećanjem količine dodataka tekstilnih krpica. U usporedbi s etalomom, mješavine sa tekstilnim krpicama sadrže veću količinu zraka, što je imalo utjecaja na rezultate čvrstoća. Dodatkom tekstilnih krpica količina uvučenog zraka znatno se povećala u odnosu na referentnu mješavinu. Uzrok povećanja potrebno je dodatno ispitati.

S obzirom na rezultate ispitivanja gustoće estriha vidljivo je da estrih s dodatkom tekstilnih krpica ima veću gustoću od etalona, a uz to s povećanjem količine tekstilnih krpica dolazi do smanjenja gustoće. Najveću gustoću ima mješavina CTC-2.5-TK, a najmanju etalon. Razlike izmjerenih gustoća su u rasponu od 1 do 7 %.

Također, Povećanjem udjela tekstilnih krpica smanjuje se čvrstoća estriha.

Iz rezultata ispitivanja na savojnu i tlačnu čvrstoću, te iz količine uvučenog zraka, očito je da dodatak otopine Beton 1 za povećanje prionjivosti tekstilnih krpica i cementnog estriha nije bio učinkovit. Sama prionjivost nije povećana, što je rezultiralo smanjenjem ispitanih čvrstoća. Promjenom vrste otopine za povećanje prionjivosti postoji mogućnost da se postignu željeni rezultati ispitivanja.

Unatoč smanjenju tlačne i savojne čvrstoće uzoraka s tekstilnim krpica u odnosu na etalon, dodatak krpica je ipak pozitivno utjecao na određena svojstva cementog estriha. Tekstilne krpice su znatno povećale duktilnost i žilavost uzoraka, spriječeno je naglo pucanje uzoraka pri ispitivanju čvrstoće.

## 7. LITERATURA

- [1] [beton | Hrvatska enciklopedija](#)
- [2] Juradin, S. - Kompoziti – građevinski materijali 2, <http://gradst.unist.hr/ustroj-fakulteta/katedre-i-laboratorij-fgag/gra%C4%91evinski-materijali/diplomski-sveucilisni-studij-gra%C4%91evinarstvo/gra%C4%91evinski-materijali-ii>
- [3] <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20201208STO93327/utjecaj-proizvodnje-tekstila-i-tekstilnog-otpada-na-okolis>
- [4] Završni rad – Josipa Vuletić, Usporedba cementnih mortova ojačanih vlaknima brniste dobivenih morskom obradom i mortova ojačanih staklenim i PP vlaknima; 9.9.2021.
- [5] [https://www.grad.unizg.hr/download/repository/05\\_PBT\\_Mikroarmirani\\_beton\\_MS.pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/05_PBT_Mikroarmirani_beton_MS.pdf)
- [6] P. Krstulović : Svojstva i tehnologija betona, Split, 1998.
- [7] Juradin, S. – Specijalni betoni – građevinski materijali 2, <http://gradst.unist.hr/ustroj-fakulteta/katedre-i-laboratorij-fgag/gra%C4%91evinski-materijali/diplomski-sveucilisni-studij-gra%C4%91evinarstvo/gra%C4%91evinski-materijali-ii>
- [8] <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/vlakna.pdf>
- [9] Biljna vlakna – *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021.
- [10] <https://www.svijetmetraze.hr/blog-post/sve-o-materijalu-prirodna-vlakna>
- [11] Vlakna, tekstilna – Hrvatska enciklopedija
- [12] <https://www.kako.hr/uradi-sam/kako-se-pred-tekstilna-vlakna-kako-se-izraduju-tkanine>
- [13] <https://bagatin-webshop.com/proizvod/resa-154130/>
- [14] <https://tera-umag.hr/polipropilenska-vlakna/>
- [15] <https://faktograf.hr/2021/09/24/europa-ima-veliki-problem-s-tekstilnim-otpadom/>
- [16] <https://www.tehnoeko.com.hr/8637/Recikliranje-tekstilnog-otpada>
- [17] Foto: I:CO/ I:Collect GmbH. | "Nezavisne" u njemačkom carstvu za tekstilni otpad: Recikliraju i prašinu
- [18] <https://hrcak.srce.hr/file/210318>
- [19] <https://dnevnik.hr/vijesti/hrvatska/tekstilna-industrija-godisnje-proizvodi-92-milijuna-tona-otpada---682889.html>
- [20] Photo: Ivica Galovic/PIXSELL
- [21] <https://www.oriontrade.hr/geotekstil/>
- [22] R. Selvaraj, R. Priyanka :Study on recycled easte cloth in concrete , International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 4 Issue 09, September-2015,

<https://www.ijert.org/research/study-on-recycled-waste-cloth-in-concrete-IJERTV4IS090437.pdf>

[23] baumit.com – Baumit Solido 225, cementni estrih

[24] [Koliko je važna voda u građevinarstvu? \(proluft.hr\)](#)

[25] <https://kemoplastika.hr/wp-content/uploads/2016/02/Beton-1-TI.pdf>

[26] KEM-GRAD – VF-20- MULTIFILS – polipropilenska vlakna dužine 12 mm

[27] <https://www.jeftinije.hr/Proizvod/16061877/graditeljstvo/pribor-za-bojanje/ostali-pribor-za-bojanje/elektricna-rucna-mijesalica-za-beton-dvostruke-brzine-1400-w>

[28] Laboratorij za materijale – Rijeka, <https://gradri.uniri.hr/laboratoriji/laboratorij-za-materijale/>

[29] Bartulović, B.; Juradin, S.; Žižić, D.; Galić, M. Influence of Cotton Knitted Fabric Waste Addition on Concrete Properties, Buildings, 2022, 12 (8), 1121; <https://doi.org/10.3390/buildings12081121>