

Svojstva samozbijajućeg betona armiranog sintetičkim vlaknima

Rukavina, Barbara

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:015872>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Barbara Rukavina

Svojstva samozbijajućeg betona armiranog sintetičkim vlaknima

Završni rad

Rijeka, 2021.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET
Preddiplomski sveučilišni studij
Građevinarstvo
Inženjerski materijali

Barbara Rukavina
JMBAG: 0114029403

Svojstva samozbijajućeg betona armiranog sintetičkim vlaknima

Završni rad

Rijeka, rujan 2021.

Naziv studija: Preddiplomski sveučilišni studij Građevinarstvo

Znanstveno područje/područja: Tehničke znanosti

Znanstveno polje/polja: Temeljne tehničke znanosti

Znanstvena grana/grane: Materijali

Tema završnog rada

Svojstva samozbijajućeg betona armiranog sintetičkim vlaknima

Properties of synthetic fiber reinforced self-compacting concrete

Kandidat: **BARBARA RUKAVINA**

Kolegij: **Inženjerski materijali**

Završni rad broj: **21-P-49**

Zadatak:

Teorijski dio:

- sintetička vlakna (razvoj, podjela, svojstva, primjena, pozitivna i negativna svojstva)
- samozbijajući beton
- sastav, miješanje i ugradnja sintetičkih vlakna u svježi beton
- svojstva svježeg samozbijajućeg betona: ispitivanje rasprostiranja slijeganjem (EN 12350-8)
- svojstva očvrstlog betona: tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća savijanjem, žilavost, duktilnost
- primjena betona armiranog sintetičkim vlaknima (pronaći primjere iz prakse i opisati)

Eksperimentalni dio:

- izraditi vlastite mješavine svježeg samozbijajućeg betona (referentnu mješavinu bez vlakana, mješavinu sa mikrosintetičkim vlaknima duljine 18 mm i mješavinu sa makrosintetičkim vlaknima duljine 50 mm)
- ispitati tlačnu čvrstoću na 28 d starosti na uzorcima oblika kocke brida 150 mm
- ispitati vlačnu čvrstoću savijanjem na uzorcima prizmi dimenzija $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}^3$ (opterećenje nanjeti s dvije koncentrirane sile) na 28 d starosti
- usporedba rezultata ispitivanja

Zaključak

Tema rada je uručena:

veljača 2021.

Mentor:

Doc. dr. sc. Natalija Bede

IZJAVA

Završni rad sam izradila samostalno, u suradnji s mentoricom Natalijom Bede, doc. dr. sc. i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.



Barbara Rukavina

U Rijeci, 21. rujna 2021.

IZJAVA

Završni rad nastao je kao rezultat rada u okviru projekta

Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci

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

U Rijeci, veljača 2021

Mentor:

Doc. dr. sc. Natalija Bede

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc.dr.sc. Nataliji Bede na pomoći tijekom izrade i pisanja ovog završnog rada te laborantu Dini Juriševiću na pomoći prilikom provedbe ispitivanja u laboratoriju. Zahvaljujem se mojim roditeljima na neizmjerljivoj podršci i mojoj cijeloj obitelji, a posebice mom dečku koji me bodrio u svemu tijekom cijelog studija.

Barbara

SAŽETAK

Samoslijegajući, odnosno samozbijajući beton s dodatkom vlakana relativno je nova vrsta betona. Pod pojmom samozbijajući beton podrazumijeva se ugrađivanje i zbijanje pod vlastitom težinom bez dodatnih vibracija, osiguravajući pritom potpuno ispunjenje oplata/kalupa. Da bi beton bio samozbijajući, svježa smjesa u isto vrijeme mora imati svojstva visoke fluidnosti i dobre kohezivnosti. Sintetička vlakna poboljšavanju trajnosna, a ponekad i mehanička svojstva betona te zamjenjuju klasičnu armaturu u potpunosti ili djelomično. Na taj način vlakna pozitivno utječu i na tlačna opterećenja poboljšavajući čvrstoću na tlak, a poseban utjecaj imaju na savojnu čvrstoću betona pri čemu beton postaje otporniji na vlačna opterećenja, a lom više nije kruti nego duktilan.

U ovom radu provedeno je eksperimentalno ispitivanje čvrstoće na tlak i savijanje uzoraka samozbijajućeg betona bez i sa sintetičkim vlaknima. Na temelju rezultata ispitivanja zaključeno je kako prisustvo vlakana nije značajno utjecalo na poboljšanje svojstava samozbijajućeg betona.

Ključne riječi: samozbijajući beton, mikrosintetička vlakna, makrosintetička vlakna, tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća na savijanje

ABSTRACT

Self-compacting concrete with the addition of fibers is a relatively new type of concrete. The term self-compacting concrete means installation and compaction under its own weight without additional vibration, ensuring complete filling of the mold. For concrete to be self-compacting, the fresh mix must have high fluidity and good cohesive properties at the same time. Synthetic fibers improve durability properties, and sometimes the mechanical properties of concrete replacing the ordinary reinforcement entirely or partially. In this way, the fibers positively effect on compressive loads improving the compressive strength. Additionally, the fibers have a special effect on the flexural strength of concrete, where the concrete becomes more resistant to tensile load, and fracture is no longer brittle but ductile.

In this work, experimental investigation of compressive and flexural strength on concrete samples without and with addition of microsynthetic and macrosynthetic fibers was conducted. Based on the test results, it was concluded that the presence of fibers did not significantly affect the improvement of the mechanical properties of self-compacting concrete.

Keywords: self-compacting concrete, microsynthetic fibers, macrosynthetic fibers, compressive strength, tensile bending strength.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. SAMOZBIJAJUĆI BETON	2
2.1. Sastav samozbijajućeg betona	2
2.2. Svojstva svježeg i očvrstlog samozbijajućeg betona	3
2.3. Metode ispitivanja samozbijajućeg betona	4
3. SINTETIČKA VLAKNA	6
3.1. Mikrosintetička vlakna	7
3.2. Makrosintetička vlakna.....	8
3.3. Samozbijajući beton sa sintetičkim vlaknima	9
3.4. Primjena samozbijajućeg betona sa sintetičkim vlaknima.....	10
4. EKSPERIMENTALNI DIO	11
4.1. Izrada mješavina i ispitni uzorci	11
4.1.1. <i>Probne mješavine</i>	11
4.1.2. <i>Ispitne mješavine</i>	13
4.2. Ispitivanje svježeg betona.....	19
4.2.1. <i>Ispitivanje gustoće svježeg betona</i>	19
4.2.2. <i>Ispitivanje rasprostiranja slijeganjem svježeg betona</i>	20
4.3. Ispitivanje očvrstnalog betona.....	23
4.3.1. <i>Ispitivanje gustoće očvrstnalog betona</i>	23
4.3.2. <i>Ispitivanje vlačne čvrstoće na savijanje na uzorcima prizmi dimenzija 100 x 100 x 400 [mm]</i>	25
4.3.3. <i>Ispitivanje čvrstoće na savijanje na na uzorcima prizmi dimenzija 40 x 40 x 100 [mm]</i> 31	
4.3.4. <i>Ispitivanje tlačne čvrstoće na uzorcima kocki brida 150 mm</i>	34
4.3.5. <i>Ispitivanje tlačne čvrstoće na uzorcima kocki brida 40 mm</i>	36
4.4. Analiza rezultata.....	39
5. ZAKLJUČAK	43
6. LITERATURA.....	44

POPIS TABLICA

Tablica 1: Receptura referentne mješavine.....	14
Tablica 2: Receptura mješavine s dodatkom PP vlakana duljina 18 i 50 mm	15
Tablica 3: Receptura mješavine s dodatkom PP vlakana duljina 18 i 40 mm	17
Tablica 4: Gustoća svježeg betona za ispitne mješavine	19
Tablica 5: Rezultati dobiveni ispitivanjem rasprostiranja slijeganjem za REF mješavinu te ispitivanjem rasprostiranjem za mješavine SV50 i SV40	22
Tablica 6: Gustoća uzoraka referentne mješavine.....	23
Tablica 7: Gustoća uzoraka SV50 mješavine	24
Tablica 8: Gustoća uzoraka SV40 mješavine	24
Tablica 9: Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem, referentna mješavina.....	27
Tablica 10: Prikaz mjesta nastanka pukotina (odmak od središta) uzoraka referentne mješavine	27
Tablica 11: Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem, SV50 mješavina.....	28
Tablica 12: Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem, SV40 mješavina.....	30
Tablica 13: Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem, referentna mješavina (male prizme)	32
Tablica 14: Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem, SV50 mješavina (male prizme)...	33
Tablica 15: Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem, SV40 mješavina (male prizme)...	33
Tablica 16: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće na uzorcima referentne mješavine.....	34
Tablica 17: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće na uzorcima SV50 mješavine.....	35
Tablica 18: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće na uzorcima SV40 mješavine.....	36
Tablica 19: Rezultati ispitivanja čvrstoće na tlak, prizmice REF mješavine.....	37
Tablica 20: Rezultati ispitivanja čvrstoće na tlak, prizmice SV50 mješavine.....	38
Tablica 21: Rezultati ispitivanja čvrstoće na tlak, prizmice SV40 mješavine.....	38
Tablica 22: Usporedba srednjih vrijednosti čvrstoća na tlak za svaku mješavinu	40
Tablica 23: Usporedba srednjih vrijednosti čvrstoća na savijanje za svaku mješavinu	42

POPIS SLIKA

Slika 1: Primjer mikrosintetičkog vlakna tip Standard [10].....	8
Slika 2: Makrosintetička vlakna: a) CONCRIX M507; b) CONCRIX ES; c) DIAMOND; d) STRUX 90/40 [10] [13].....	9
Slika 3: Izrada betonske ploče lijevanjem samozbijajućeg betona [14]	10
Slika 4: Problem izdvajanja vode u probnoj mješavini	12
Slika 5: Problem izdvajanja cementne paste	12
Slika 6: Prikaz suhih sastojaka smjese	14
Slika 7: Svježa referentna mješavina u miješalici.....	15
Slika 8: Mikrosintetička vlakna duljine 18 mm i makrosintetička vlakna duljine 50 mm	16
Slika 9: a) Prikaz suhih sastojaka s dodatkom sintetičkih vlakana duljina 18 i 50 mm; b) Svježa gotova smjesa SV50	17
Slika 10: Mikrosintetička vlakna duljine 18 mm i makrosintetička vlakna duljine 40 mm	18
Slika 11: a) Prikaz suhih sastojaka s dodatkom sintetičkih vlakana duljina 18 i 40 mm; b) Svježa gotova smjesa SV40	18
Slika 12: Napunjeni kalupi oblika kocke.....	19
Slika 13: Rezultat ispitivanja rasprostiranja slijeganjem na potresnom stoliću	20
Slika 14: Rezultat ispitivanja rasprostiranja slijeganjem na velikoj ploči.....	20
Slika 15: Rezultat ispitivanja rasprostiranja slijeganjem za samozbijajući beton, mješavina SV50	21
Slika 16: Ispitivanje rasprostiranjem za normalni beton, mješavina SV50	21
Slika 17: Rezultat ispitivanja rasprostiranjem za normalni beton nakon potresanja ploče, mješavina SV50.....	21
Slika 18: Ispitivanje vlačne čvrstoće betona savijanjem s kontrolom pomaka	25
Slika 19: Ispitivanje vlačne čvrstoće betona savijanjem, referentna mješavina (krti slom)	26
Slika 20: Ispitivanje vlačne čvrstoće betona savijanjem, mješavina s dodatkom sintetičkih vlakana (pojava prve pukotine).....	26
Slika 21: Dijagram pomak - sila, referentna mješavina	27
Slika 22: Uzorci referentne mješavine ispitani na savijanje i položaj nastanka pukotina	28
Slika 23: Dijagram pomak - sila, SV50 mješavina.....	29
Slika 24: Uzorci SV50 mješavine ispitani na savijanje i položaj nastanka pukotina	29
Slika 25: Dijagram pomak - sila, SV40 mješavina.....	30
Slika 26: Uzorci SV40 mješavine ispitani na savijanje i položaj nastanka pukotina	31
Slika 27: Ispitivanje vlačne čvrstoće betona savijanjem, male prizme.....	32
Slika 28: Uzorci malih prizmi ispitani na vlak savijanjem.....	33
Slika 29: Uređaj za ispitivanje tlačne čvrstoće betona.....	34
Slika 30: Tipični oblik sloma uzorka kocke referentne mješavine ispitanog na tlak	35
Slika 31: Tipični oblik sloma uzorka kocke s dodatkom PP vlakana 18 mm i 50 mm (SV50) ispitan na tlak.....	35
Slika 32: Tipični oblik sloma uzorka kocke s dodatkom PP vlakana 18 mm i 40 mm (SV40) ispitan na tlak.....	36
Slika 33: Ispitivanje vlačne čvrstoće betona na tlak, male prizme	37
Slika 34: a) Tipični oblik sloma uzorka REF mješavine; b) Tipični oblik sloma uzorka SV50 mješavine.....	39
Slika 35: Srednje vrijednosti gustoća očvrstnutih betonskih uzoraka svake mješavine	40
Slika 36: Dijagrami s prikazom krto (REF-1) i duktilnih slomova (SV50-4 i SV40-2)	41

1. UVOD

Beton je najpoznatiji materijal današnjeg doba, a u građevinarstvu je dobro poznat kao najčešće korišten materijal u izgradnji. Sukladno tome, konstantno se radilo na poboljšanju i unaprjeđenju njegovih svojstava, pa su tako vlakna jedna od inovacija u građevinarstvu.

Samozbijajući beton novija je vrsta betona koji tečenjem pod utjecajem vlastite težine u potpunosti popunjava presjek konstruktivnog elementa bez upotrebe vibracijskih uređaja. Razvijen je u Japanu krajem 80-ih godina prošlog stoljeća u svrhu otklona problema kao što su pomanjkanje kvalitetne radne snage i propadanje betonskih konstrukcija u agresivnoj okolini (npr. od korozije armature u betonu). Tijekom razvoja ovog betona uočeno je mnoštvo prednosti koje on nudi o čemu će biti govora u ovom radu, no obzirom da je riječ o relativno novoj vrsti još uvijek je sama izvedba s rezultirajućim dobrim svojstvima nešto teža. Svojstva samozbijajućeg betona nastoje se dodatno poboljšati ugradnjom različitih vrsta vlakana kao zamjena za klasičnu armaturu.

Korištenje vlakana sve je popularnije te se vlakna sve češće upotrebljavaju za izradu raznih konstruktivnih elemenata i zamjenjuju klasičnu armaturu. Vlakna su uvelike pomogla u izgradnji i dovela do poboljšanja određenih svojstava betona međutim, utječu li vlakna zaista samo pozitivno ili imaju i negativne strane? U ovom radu cilj je bio provesti istraživanje na svježim i očvrslim smjesama samozbijajućeg betona te je ispitivanjem utvrđeno kako sintetička vlakna u samozbijajućem betonu nisu pokazala najbolja svojstva čvrstoće na tlak i savijanje.

2. SAMOZBIJAJUĆI BETON

Samoslijegajući, odnosno samozbijajući beton s dodatkom vlakana umjesto klasične armature relativno je nova vrsta betona. Originalno je razvijen u Japanu krajem 80-ih godina prošlog stoljeća. On podrazumijeva ugrađivanje i zbijanje pod vlastitom težinom bez dodatnih vibracija ili pojave segregacija, osiguravajući pritom potpuno ispunjenje oplate. Upravo iz toga razloga, samozbijajući beton predstavlja izazov za građevinsku industriju. Da bi beton bio samozbijajući, svježa smjesa u isto vrijeme mora imati svojstva visoke fluidnosti i dobre kohezivnosti [1] [5].

Prednosti samozbijajućeg betona su:

- Smanjenje troškova opreme i radne snage
- Poboljšanje obradivosti
- Jednostavno ugrađivanje
- Ekonomičnost i učinkovitost
- Smanjenje buke na gradilištu

Nedostaci samozbijajućeg betona su:

- Procurivanje betona kroz oplatne spojeve - oplate trebaju biti kvalitetne i dobro zabrtvljene
- Skuplji je od običnog betona zbog zahtjevnije tehnologije izvedbe i kontrole kvalitete [1]

2.1. Sastav samozbijajućeg betona

Sastavni materijali moraju zadovoljiti opće norme za obični beton, a one su:

- Najveće zrno agregata ne bi smjelo biti veće od 16 mm
- Količina čestica manja od 0,15 mm ubraja se u ukupnu količinu praškastih komponenti
- Smjesu samozbijajućeg betona čine voda, cement, agregat, filer, superplastifikator i po potrebi drugi kemijski i mineralni dodaci

Nužni kemijski dodaci su superplastifikatori i stabilizatori mješavine, odnosno regulatori viskoznosti koji poboljšavaju viskoznost i smanjuju osjetljivost na varijacije u vlažnosti agregata. Pri spravljanju smjese potrebno je voditi računa o doziranju dodataka kao i o njihovoj kompatibilnosti. Ukoliko kemijski dodaci nisu kompatibilni, može doći do bržeg gubitka obradivosti, produženja vremenskog vezanja ili nepostizanja željenih svojstava [1].

2.2. Svojstva svježeg i očvrsllog samozbijajućeg betona

Najznačajnija svojstva samozbijajućeg betona u svježem stanju su:

- sposobnost tečenja pod utjecajem vlastite težine uz popunjavanje kalupa/oplata
- sposobnost prolaza između gusto postavljene armature
- otpornost segregaciji i zadržavanje homogenosti bez odvajanja agregata od smjese ili vode od krutih tvari [1]

Obradivost ovog betona uvelike ovisi o doziranju superplastifikatora i vode.

Najznačajnija svojstva samozbijajućeg betona u očvrslulom stanju mogu se sažeti u mehanička i trajnosna svojstva. Samozbijajući beton ima veću tlačnu čvrstoću od običnog betona s istom količinom cementa i vodocementnim v/c omjerom zbog povećane količine gusto pakiranih čestica čime je poboljšana struktura, dok je vlačna čvrstoća samozbijajućeg betona ista kao kod običnog betona, stoga se koriste različite vrste vlakana kojima je moguće poboljšati obje čvrstoće. Obzirom da vlakna preuzimaju vlačna opterećenja, time se poboljšava svojstvo duktilnosti [3].

Svojstva betona armiranog vlaknima ovise i o omjeru duljine vlakana i njegovog promjena (omjer L/D). Veći omjer poboljšava svojstva očvrslulog betona, dok pak negativno utječe na obradivost svježeg betona [2].

Trajnosna svojstva odnose se na manju propusnost od običnog betona [1].

2.3. Metode ispitivanja samozbijajućeg betona

ISPITIVANJE SVJEŽEG BETONA:

Zbog prethodno opisanih utjecaja, vrlo je čest problem doziranja i pripreme same recepture za ovu vrstu betona. Kako bi se ispitala svojstva svježeg betona provode se sljedeća ispitivanja [5]:

- Ispitivanje gustoće (HRN EN 12350-6)
- Sadržaj pora - Tlačne metode (HRN EN 12350-7)
- Ispitivanje rasprostiranja slijeganjem (HRN EN 12350-8)
- Ispitivanje V – lijevkom (HRN EN 12350-9)
- Ispitivanje L – posudom (HRN EN 12350-10)

- Gustoću betona je vrlo lako dobiti iz poznatih podataka o masi i volumenu. Svježi beton se ulije u krutu i vodonepropusnu posudu poznatog volumena i mase te se izvaže. Gustoća se dobije pomoću izraza $D = \frac{m_2 - m_1}{V}$, pri čemu su:

D – gustoća svježeg betona [kg/m³]

m₂ – masa posude u potpunosti ispunjene zbijenim svježim betonom [kg]

m₁ – masa prazne posude [kg]

V – volumen posude [m³] [7]

- Rasprostiranje slijeganjem koristi se za procjenu tečenja i konzistencije svježe smjese samozbijajućeg betona, a vrijeme t₅₀₀ je mjera brzine tečenja i pokazatelj relativne viskoznosti samog betona, odnosno vrijeme od trenutka odizanja stošca od smjese do trenutka kada se smjesa dotakne kružnicu promjera 500 mm pri tečenju. Ispitivanje se provodi na način da se na ploču postavi kalup koji se potom puni do vrha smjesom betona bez mehaničkog zbijanja. Betonska smjesa popunjava sve praznine i zauzima oblik kalupa. Višak betona se odstrani, a višak betona se obriše s ploče. Nakon toga, kalup se podiže u jednom potezu te se počinje mjeriti vrijeme odmah nakon što kalup više ne dotiče smjesu, a mjerenje se provodi sve dok smjesa ne dotakne krug promjera 500 mm. Zatim, mjeri se najveći promjer

širenja betona d_1 te na njega okomiti promjer d_2 . Ukoliko uzastopna ispitivanja pokažu razliku d_1 i d_2 veću od 50 mm, beton nema potrebnu protočnost te ovaj postupak ispitivanja nije prikladan [6]. Vrijednost rasprostiranja slijeganjem dobivamo pomoću izraza $SF = \frac{d_1+d_2}{2}$, pri čemu su:

SF – rasprostiranje slijeganjem [mm]

d_1 – najveći promjer [mm]

d_2 – promjer koji je okomit na d_1 [mm]

ISPITIVANJE OČVRSNULE SMJESE:

Ispitivanje svojstava očvrstnuloog betona provodi se:

- Ispitivanjem tlačne čvrstoće betona (HRN EN 12390-3:2009)
 - Ispitivanjem vlačne čvrstoće savijanjem (HRN EN 12390-5)
- Tlačna čvrstoća ispituje se na standardnim uzorcima oblika kocke dimenzija 150 x 150 x 150 [mm] starosti 28 dana korištenjem uređaja pod nazivom preša prema normi HRN EN 12390-4. Kocka se pozicionira na sredinu ploče u preši kako bi se opterećenje prenosilo ravnomjerno: okomito i centrirano. Uzorak se opterećuje kontinuiranim opterećenjem od $0,6 \pm 0,2$ MPa/s. Nakon toga na uzorak se nanosi opterećenje bez udara te se kontinuirano povećava za $\pm 10\%$ do sloma uzorka [8].

Vrijednost tlačne čvrstoće izračunava se korištenjem izraza $f_c = \frac{F}{A_c}$, pri čemu su:

f_c – tlačna čvrstoća [N/mm²]

F – najveće opterećenja pri slomu [N]

A_c – površina na koju sila djeluje [mm²]

- Ispitivanje savojne čvrstoće najčešće se provodi na prizmama dimenzija 100 x 100 x 400 [mm] pomoću uređaja za savijanje. S obzirom na mjesto nanošenja opterećenja, razlikujemo dvije metode ispitivanja po hrvatskim normama. Prva se odnosi na opterećenje jednom koncentriranom silom na sredini raspona uzorka, a druga na opterećenje s dvije koncentrirane sile na trećinama raspona uzorka. U

ovom radu korištena je druga metoda, odnosno opterećenje je nanošeno kontrolom pomaka pomoću dvije koncentrirane sile na trećinama raspona. Pomak je moguće kontrolirati pomoću LVDT uređaja postavljenih na sredini uzorka sa njegove prednje i stražnje strane. LVDT uređaji postavljaju se na zalijepljeni lim u sredini raspona, a sam uzorak se postavlja na oslonce preše čiji razmak iznosi 300 mm. Uzorak se postavlja okomito na smjer lijevanja betona te se ispitivanje provodi do trenutka sloma. Izraz pomoću kojeg se izračunava vlačna čvrstoća na savijanje opterećenjem u trećinama raspona je $\sigma = \frac{F_{max} \cdot L}{B \cdot H^2}$, pri čemu su:

σ – vlačna čvrstoća na savijanje [N/mm²]

F_{max} – maksimalna sila koja je dosegnuta u uzorku [N]

L – raspon, tj. razmak oslonaca [mm]

B – širina poprečnog presjeka prizme [mm]

H – visina poprečnog presjeka prizme [mm]

3. SINTETIČKA VLAKNA

Sintetička vlakna su umjetna vlakna napravljena od jedne ili više vrsta sintetike. Sintetička vlakna mogu biti od polipropilena, poliolefina, polietilena, poliestera, akrila, najlona i mnogih drugih materijala [9].

U današnje vrijeme postoji sve veća potreba za većom brzinom izvedbe radova i uštedom vremena. Primjenom sintetičkih vlakana pri izvedbi betona moguće je u potpunosti zamijeniti klasičnu armaturu, a s obzirom da se vlakna ravnomjernije raspoređuju i stvaraju pravilnu trodimenzionalnu matricu u betonskoj smjesi od klasične armature, beton s dodatkom vlakana najčešće će imati i bolja svojstva u odnosu na klasično armirani beton (čvrstoću, otpornost, dugotrajnost). Brže izvođenje radova, ušteda vremena i troškova radne snage te razvoj i napredak industrije samo su neke od prednosti korištenja ovih vlakana u betonskim smjesama [10].

Polipropilen (PP) je uobičajena vrsta sintetičkih vlakana zbog kemijske stabilnosti u lužnatom betonu, dostupnosti i niske cijene. Karakteristike i ponašanje PP u različitim betonskim mješavinama istraživane su godinama (Singh, 2004.; Pakravan, 2010.; Alhozaimy, 1996.; Toutanji, 1998.). Za razliku od čeličnih vlakana, PP vlakna imaju

relativno niske vlačne čvrstoće i modul elastičnosti. Iako su razvijene nove vrste PP vlakana velike čvrstoće s mnogo većom čvrstoćom i modulom elastičnosti u usporedbi s tradicionalnim PP vlaknima, one još uvijek imaju relativno niže vrijednosti u usporedbi s drugim vlaknima visoke čvrstoće. Unatoč nedostatku čvrstoće PP -a, to je visoko duktilno vlakno i stoga može povećati žilavost i otpornost betona na udarce, osobito pri visokim naprezanjima [9].

S obzirom na dimenzije (duljinu), sintetička vlakna dijele se na mikrosintetička i makrosintetička vlakna.

3.1. Mikrosintetička vlakna

Mikrosintetička vlakna su sintetička vlakna malog promjera, ali velikog omjera duljina/promjer koja su najčešće manja od 18 mm. Važna karakteristika ovih vlakana je povećanje vlačne otpornosti betona i omogućavanje optimalne završne obrade. Pozitivna svojstva betona s ugrađenim mikrovlaknima su otpornosti na habanje i sposobnosti sprječavanja nastajanja mikropukotina, što doprinosi kvaliteti i dugotrajnosti takvog betona. Ostale pozitivne strane mikrosintetičkih vlakana su ojačanje prilikom plastičnog skupljanja, smanjenje vjerojatnosti skupljanja i pucanja u ranoj fazi, povećanje otpornosti na udar i povećanje trajnosti gotovog proizvoda. Također, ova vlakna mogu spriječiti sedimentaciju i stvoriti visoku razinu otpornosti betonskih konstrukcija koje su izložene agresivnoj vodi. Negativna pojava koju uzrokuju ova vlakna je povećanje krutosti betona [10].

Najčešća primjena ovih vlakana u graditeljstvu odvija se u izradi betonske ploče te kod izrade glazure. Jedna od najpoznatijih vrsta mikrosintetičkih vlakana je fibrilirano vlakno Standard proizvođača Contec Fiber duljine 19 mm (Slika 1.). Doziranje ove vrste vlakana preporučena je na 1 kg po m³ [10].



Slika 1: *Primjer mikrosintetičkog vlakna tip Standard [10]*

3.2. Makrosintetička vlakna

Makrosintetička vlakna su sintetička vlakna kojima je duljina veća od 18 mm, a promjer veći od 0,1 mm [9]. Njih nazivamo vlaknima budućnosti. Ona imaju sva potrebna svojstva klasične armature te ne samo da mogu zamijeniti klasičnu armaturu, već zamjenjuju i primjenu čeličnih vlakana. Imaju specifični valoviti oblik koji se čvrsto utisne u betonsku smjesu te time povećavaju čvrstoću betona, posebice čvrstoću na savijanje. Osim što utječu na čvrstoću, makrosintetička vlakna imaju još pozitivnih strana – osiguravaju i sigurnost od pojave korozije koja je uobičajena kod čeličnih vlakana ili klasične armature, pojačavaju otpornost na udarce i otpornost na utjecaj agresivne vode te sprječavaju sedimentaciju [10].

Ova vlakna najčešće se koriste za betonske zidove i ploče te industrijske podove, ili nešto rjeđe pri izvođenju betonskih pilota, vanjskih tribina, za popravak betona i slične namjene te za prskani beton u tunelima i montažne konstrukcije. U ovoj skupini vlakana moguće je izdvojiti nekoliko primjera vlakana, npr. CONCRIX M507 duljine 50 mm i CONCRIX ES duljine 50 mm te DIAMOND duljine 38 mm ili STRUX 90/40 duljine 40 mm koji služe kao strukturno ojačanje betona, redom prikazani na Slici 2. Preporučeno doziranje ovih vlakana je minimalno 2 kg/m³ [10] [12].



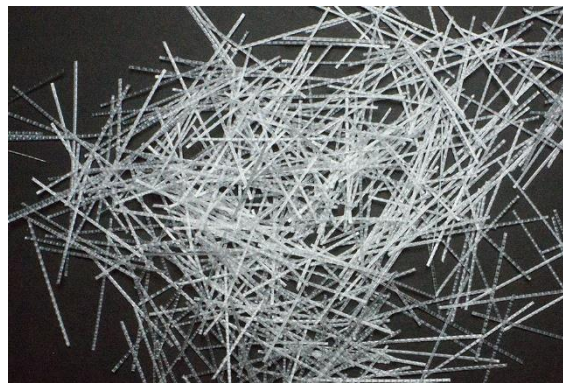
a)



b)



c)



d)

Slika 2: Makrosintetička vlakna: a) CONCRIX M507; b) CONCRIX ES; c) DIAMOND; d) STRUX 90/40 [10] [13]

3.3. Samozbijajući beton sa sintetičkim vlaknima

Iako bi u pravilu vlakna trebala poboljšati osnovna mehanička svojstva kao što su čvrstoća na tlak i vlak, prema dosadašnjim ispitivanjima danim u [11] i [4] rezultati su pokazali kako sintetička vlakna značajno utječu na svojstva očvrsnulog betona i to do nekoliko posto, ali ne samo u pozitivnom smislu već i u negativnom. U usporedbi s čeličnim vlaknima koja su tlačnu čvrstoću povećala do 25%, a vlačnu čvrstoću čak do 40%, sintetička vlakna pokazala su slabije rezultate. U očvrsnulom stanju sintetička vlakna nisu povećala čvrstoću, ali su smanjila mikropukotine i širenje istih. Zaključak je kako duljina vlakana, geometrija i doziranje imaju vrlo veliki značaj.

3.4. Primjena samozbijajućeg betona sa sintetičkim vlaknima

Primjena ove vrste betona je svakim danom sve veća, a primarno se samozbijajući beton ojačan sintetičkim vlaknima primjenjuje kod izrade betonskih ploča, pilota, kod izrada glazura, a u novije vrijeme i za prskani beton u tunelima [10]. Slika 3. prikazuje izradu betonske ploče.



Slika 3: Izrada betonske ploče lijevanjem samozbijajućeg betona [14]

4. EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni dio rada započeo je u Laboratoriju za materijale Građevinskog fakulteta u Rijeci 30. travnja 2021. spravljanjem probnih mješavina. Dana 17. svibnja dobivena je referentna mješavina, a 20. svibnja dobivene su preostale dvije mješavine s dodatkom sintetičkih vlakana. Ispitivanje je provedeno nakon 28 dana starosti betona, u periodu od 15. do 17. lipnja 2021. godine. Cilj ovog ispitivanja bio je odrediti svojstva samozbijajućeg betona armiranog sintetičkim vlaknima i usporediti dobivene rezultate s naglaskom na tlačnu čvrstoću i vlačnu čvrstoću na savijanje.

U ovom ispitivanju korištena je kombinacija dviju vrsta sintetičkih vlakana, mikrosintetička polipropilenska vlakna duljine 18 mm i makrosintetička polipropilenska vlakna duljina 50 i 40 mm. U nastavku su opisani korišteni materijali, dobiveni uzorci i rezultati ispitivanja.

4.1. Izrada mješavina i ispitni uzorci

4.1.1. Probne mješavine

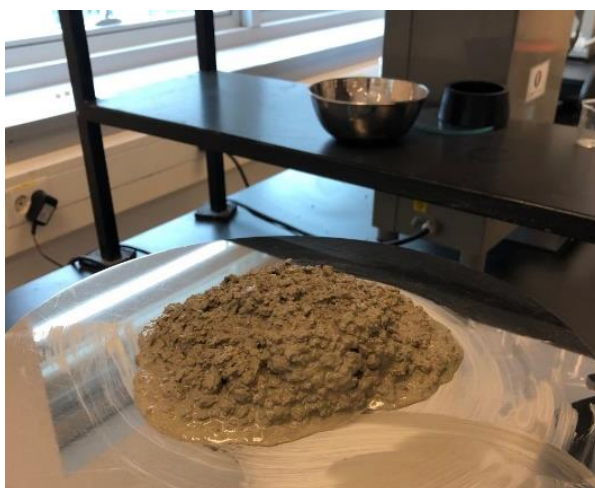
Prije izrade pravih mješavina bilo je potrebno dobiti zadovoljavajuću recepturu za referentnu mješavinu samozbijajućeg betona.

Prva probna mješavina spravljena je tako da su u miješalicu stavljeni suhi sastojci – sitni agregat, krupni agregat maksimalnog zrna veličine 16 mm, te cement Holcim Lumen 42,5 R nakon čega su miješani 1 minutu. Navedeni sastojci su od proizvođača Holcim (Hrvatska) d.o.o. Zatim se dodalo 80% vode i miješanje je nastavljeno sljedeće 2 minute, a potom se mješavina ostavila da miruje 3 minute. Nakon toga, dodano je 10% vode prethodno pomiješane sa superplastifikatorom tip Dynamon SF16 i miješanje se nastavilo u trajanju od 1 minute, a potom je dodano 10% vode sa regulatorom viskoznosti Master Matrix i miješano također 1 minutu. Iako je pri ispitivanju slijeganja brzina bila umjereno brza i smjesa se činila dovoljno žitka, javio se problem – izdvajanje vode (prikazano na Slici 4).



Slika 4: *Problem izdvajanja vode u probnoj mješavini*

Nakon što je receptura korigirana dodavanjem većeg udjela sitnog agregata te smanjenjem v/c omjera, dobivena mješavina je izgubila svojstvo fluidnosti te je došlo do izdvajanja cementne paste, kako je prikazano na Slici 5. Iako izdvajanje vode više nije bilo prisutno, smjesa nije imala svojstva samozbijajućeg betona pri čemu je ispitano vrijeme rasprostiranja slijeganjem bilo izuzetno sporo.



Slika 5: *Problem izdvajanja cementne paste*

Obzirom na utjecaj svih segmenata pri izradi samozbijajućeg betona, bilo je potrebno detaljnije pristupiti izradi recepture pri čemu se mjerila vlažnost agregata i cementa kako bi se smanjio utjecaj vode na bilo koji način, kako ne bi nepovoljno utjecala na smjesu te je smanjen vodo-cementni v/c omjer. Nakon nekoliko pokušaja dobivena je odgovarajuća receptura samozbijajućeg betona (nazvana referentna mješavina).

4.1.2. Ispitne mješavine

Detaljan opis mješavine od kojih su spravljani ispitni uzorci nalaze se u nastavku ovog poglavlja. Ukupno su spravljene tri mješavine samozbijajućeg betona: jedna referentna mješavina oznake REF (bez vlakana) te dvije mješavine samozbijajućeg betona s kombinacijom makrosintetičkih i mikrosintetičkih vlakana u ukupnom iznosu od 0,2% volumena. Jedna mješavina spravljena je s dodatkom 0,1% mikrosintetičkih vlakana duljine 18 mm i 0,1% makrosintetičkih vlakana duljine 50 mm oznake SV50, a druga mješavina s dodatkom 0,1% mikrosintetičkih vlakana duljine 18 mm i 0,1% makrosintetičkih vlakana duljine 40 mm oznake SV40.

REFERENTNA MJEŠAVINA

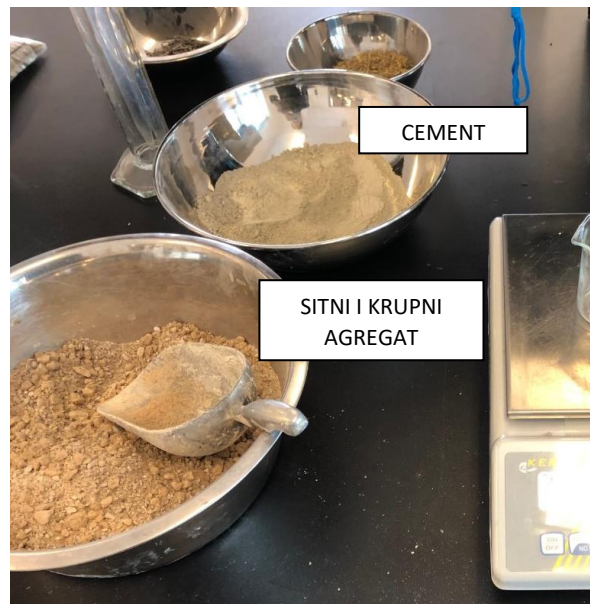
Za spravljanje referentne mješavine (REF) i izradu uzoraka korišteni su sljedeći sastojci:

- Cement Holcim Lumen 42,5 R, gustoće 2,96 g/cm³
- Pijesak Holcim frakcije 0 – 4 mm, gustoće 2,74 g/cm³
- Pijesak Holcim frakcije 4 – 8 mm, gustoće 2,74 g/cm³
- Voda iz gradskog vodovoda Rijeka
- Superplastifikator Dynamon SF16 MAPEI (1,8% mc), gustoće 1,04 g/cm³
- Regulator viskoznosti MATER MATRIX SDC150 (0,75% mc), gustoće 1,01 g/cm³

U Tablici 1. prikazane su količine sastojaka za izradu 0,034 L betonske smjese, s v/c omjerom 0,36. Ukupno je napravljeno 11 uzoraka: 4 prizme dimenzija 100 x 100 x 400 [mm], 4 kocke brida 150 [mm] i 3 prizmice dimenzija 40 x 40 x 160 [mm].

Tablica 1: Receptura referentne mješavine

SASTOJAK	MASA (kg)	GUSTOĆA (g/cm ³)
cement Holcim Lumen 42,5 R	17	2,96
pijesak Holcim 0 - 4 (W=1,5%), 43%	24,61	2,74
pijesak Holcim 0 - 4 (W=0,9%), 22%	12,52	2,74
agregat Holcim 4 - 8 (W=0,2%), 35%	19,85	2,74
voda sobne temperature 20±2°C	6,32	1
Dynamon SF16 MAPEI (1,8% mc)	0,306	1,04
regulator v. Mater Matrix SDC150 (0,75%)	0,127	1,01



Slika 6: Prikaz suhih sastojaka smjese

Referentna mješavina spravljena je po uzoru na probnu mješavinu s istim redoslijedom miješanja. Nakon miješanja suhih sastojaka prikazanih na Slici 6. dodano je 80% vode, a potom i ostatak vode sa superplastifikatorom i regulatorom viskoznosti. Na Slici 7. je moguće uočiti kako su svi sastojci dobro povezani, izdvajanje vode nije prisutno, a smjesa je homogena.



Slika 7: Svježa referentna mješavina u miješalici

MJEŠAVINA S DODATKOM 0,1% MIKROSINTETIČKIH VLAKANA DULJINE 18 mm i 0,1% MAKROSINTETIČKIH VLAKANA DULJINE 50 mm

Za spravljanje mješavine s dodatkom vlakana (mješavina pod nazivom SV50) i izradu uzoraka potrebni su isti sastojci kao za referentnu mješavinu uz dodatak vlakana:

- Mikrosintetička polipropilenska vlakna CONTEC FIBER Standard duljine 18 mm, gustoće 0,91 g/cm³
- Makrosintetička polipropilenska vlakna CONTEC FIBER Concrix ES duljine 50 mm, gustoće 0,91 g/cm³

U Tablici 2. prikazane su količine sastojaka za izradu 0,034 L betonske smjese, s v/c omjerom 0,36 kojom je ukupno napravljeno 12 uzoraka: 4 prizme dimenzija 100 x 100 x 400 [mm], 5 kocki brida 150 [mm] i 3 prizmice dimenzija 40 x 40 x 160 [mm].

Tablica 2: *Receptura mješavine s dodatkom PP vlakana duljina 18 i 50 mm*

SASTOJAK	MASA (kg)	GUSTOĆA (g/cm ³)
cement Holcim Lumen 42,5 R	17	2,96
pijesak Holcim 0 - 4 (W=1,6%), 43%	24,63	2,74
pijesak Holcim 0 - 4 (W=1%), 22%	12,53	2,74
agregat Holcim 4 - 8 (W=1%), 35%	20,01	2,74
voda sobne temperature 20±2°C	6,12	1
mikrosintetička PP vlakna 18 mm	0,03	0,91
makrosintetička PP vlakna 50 mm	0,03	0,91
superplastifikator Dynamon SF16 MAPEI (1,8% mc)	0,306	1,04
regulator v. Mater Matrix SDC150 (0,75%)	0,127	1,01

Slika 8. prikazuje korištenu kombinaciju vlakana.

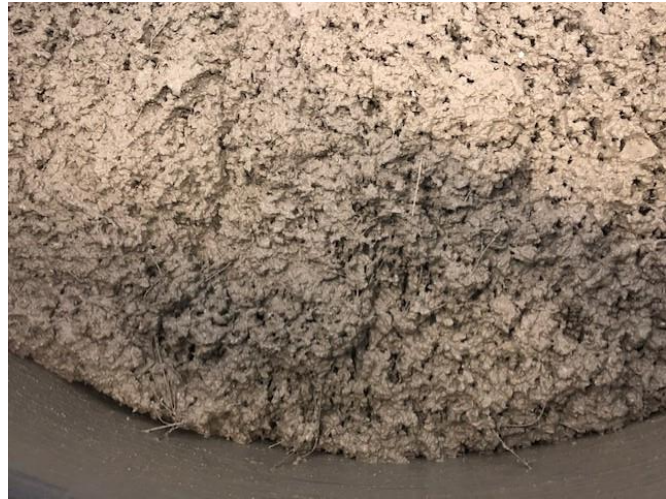


Slika 8: Mikrosintetička vlakna duljine 18 mm i makrosintetička vlakna duljine 50 mm

Ova mješavina spravljena je početnim miješanjem svih suhih sastojaka - cementa, krupnog i sitnog agregata i sintetičkih vlakana, kako je prikazao na Slici 9. a). Nakon jednominutnog miješanja dodano je 80% vode. Zatim je miješanje pokrenuto na još 2 minute, a nakon zaustavljanja mješavina je dostavljena da miruje 3 minute. Nakon toga, dodalo se 10% vode prethodno pomiješanih sa superplastifikatorom SIKA VC GOLD i miješalo se 1 minutu, a potom je dodano 10% vode sa regulatorom viskoznosti Master Matrix i miješalo također 1 minutu, kao što je to bio slučaj i kod prethodnih mješavina. Kada je miješanje završilo uočena je razlika u izgledu smjese. Ona je dodatkom sintetičkih vlakana izgubila određena svojstva potrebna za samozbijanje, postala je kruta i manje fluidna (Slika 9.b)).



a)



b)

Slika 9: a) Prikaz suhih sastojaka s dodatkom sintetičkih vlakana duljina 18 i 50 mm; b) Svježa gotova smjesa SV50

MJEŠAVINA S DODATKOM 0,1% MIKROSINTETIČKIH VLAKANA DULJINE 18 mm i 0,1% MAKROSINTETIČKIH VLAKANA DULJINE 40 mm

Za spravljanje mješavine s dodatkom vlakana (mješavina pod nazivom SV40) i izradu uzoraka potrebni su isti sastojci kao za referentnu mješavinu uz dodatak vlakana:

- Mikrosintetička polipropilenska vlakna CONTEC FIBER Standard duljine 18 mm, gustoće 0,91 g/cm³
- Makrosintetička polipropilenska vlakna Strux 90/40 duljine 40 mm, gustoće 0,91 g/cm³

U Tablici 3. prikazane su količine sastojaka za izradu 0,034 L betonske smjese, s v/c omjerom 0,36 kojom je ukupno napravljeno 12 uzoraka: 4 prizme dimenzija 100 x 100 x 400 [mm], 4 kocke brida 150 mm i 3 prizmice dimenzija 40 x 40 x 160 [mm].

Tablica 3: Receptura mješavine s dodatkom PP vlakana duljina 18 i 40 mm

SASTOJAK	MASA (kg)	GUSTOĆA (g/cm ³)
cement Holcim Lumen 42,5 R	17	2,96
pijesak Holcim 0 - 4 (W=1,7%), 43%	24,66	2,74
pijesak Holcim 0 - 4 (W=1,8%), 22%	12,63	2,74
agregat Holcim 4 - 8 (W=0,7%), 35%	19,95	2,74
voda sobne temperature 20±2°C	6,06	1
mikrosintetička PP vlakna 18 mm	0,03	0,91
makrosintetička PP vlakna 40 mm	0,03	0,91

superplastifikator Dynamon SF16 MAPEI (1,8% mc)	0,306	1,04
regulator v. Mater Matrix SDC150 (0,75%)	0,127	1,01

Slika 10. prikazuje korištenu kombinaciju vlakana.



Slika 10: Mikrosintetička vlakna duljine 18 mm i makrosintetička vlakna duljine 40 mm

Ova mješavina spravljena je po uzoru na prošlu, a dobivena smjesa izgledom je podsjećala također na prethodnu. Na Slici 11. prikazani su rezultati miješanja.



a)



b)

Slika 11: a) Prikaz suhих sastojaka s dodatkom sintetičkih vlakana duljina 18 i 40 mm; b) Svježa gotova smjesa SV40

Kako bi se iskoristio sav materijal i preostala smjesa nakon punjenja uzoraka oblika prizmi, preostali dio korišten je za izradu malih prizmica dimenzija 40 x 40 x 160 [mm] prilikom izrade svih opisanih mješavina.

4.2. Ispitivanje svježeg betona

4.2.1. Ispitivanje gustoće svježeg betona

Ispitivanje gustoće svježe smjese betona provedeno je prema ranije navedenoj normi (HRN EN 12350-6). Mjerena je masa kalupa ispunjenog svježim betonom i volumen kalupa (Slika 12.), a rezultati su prikazani u Tablici 4.

Tablica 4: *Gustoća svježeg betona za ispitne mješavine*

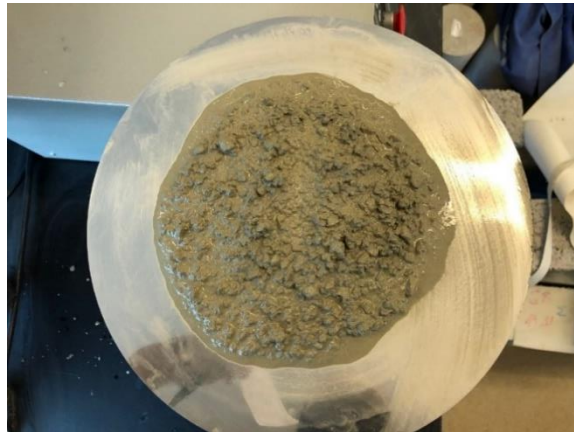
NAZIV UZORKA	MASA [kg]	VOLUMEN [m ³]	GUSTOĆA [kg/m ³]
REF	7,86	0,003375	2328,89
SV50	7,84	0,003375	2322,96
SV40	7,90	0,003375	2340,74



Slika 12: *Napunjeni kalupi oblika kocke*

4.2.2. Ispitivanje rasprostiranja slijeganjem svježeg betona

Ispitano je i rasprostiranje slijeganjem na potresnom stoliću i na velikoj ploči uz pomoć stošca za ispitivanje svježeg betona sukladno normi HRN EN 12350-8 za samozbijajući beton. Na slikama 13. i 14. prikazana je referentna mješavina, vidno ljepljiva, s vrlo jednostavnim prijanjanjem uz površinu i umjereno brzim rasprostiranjem. Ispitivanjem na potresnom stoliću dobiveni su jednaki promjeri d_1 i d_2 od 200 mm, dok su ispitivanjem na velikoj ploči izmjeren promjer D_1 608 mm i D_2 604 mm.



Slika 13: Rezultat ispitivanja rasprostiranja slijeganjem na potresnom stoliću



Slika 14: Rezultat ispitivanja rasprostiranja slijeganjem na velikoj ploči

Ispitivanja rasprostiranja slijeganjem svježih betonskih mješavina s dodatkom sintetičkih vlakana provedenih prema normi za samozbijajući beton nisu pokazala zadovoljavajuće i

očekivane rezultate. Smjese su ostale čvrsto stajati u nepravilnom obliku stošca, a potom se i urušile te nisu pokazale svojstva samozbijajućeg betona kao referentna mješavina, kako je prikazano na Slici 15. Dodatkom sintetičkih vlakana smjese su izgubile svojstvo samoslijegajućeg betona, a time je dokazano kako zaista i najmanje promjene u recepturi značajno utječu na ovu vrstu betona. Da bi se dobili valjani rezultati, provedeno je ispitivanje rasprostiranjem prema normi za normalni beton HRN EN 12350-5, prikazano na Slikama 16. i 17.



Slika 15: Rezultat ispitivanja rasprostiranja slijeganjem za samozbijajući beton, mješavina SV50



Slika 16: Ispitivanje rasprostiranjem za normalni beton, mješavina SV50



Slika 17: Rezultat ispitivanja rasprostiranjem za normalni beton nakon potresanja ploče, mješavina SV50

Vrijednosti rasprostiranja dobiveni sukladno normi HRN EN 12350-5 su promjeri D_1 i D_2 , koji su za mješavinu s dodatkom sintetičkih vlakana duljine 50 mm iznosili 400 mm i 390 mm, odnosno 440 mm i 420 mm za mješavinu s dodatkom sintetičkih vlakana duljine 40 mm. Ispitivanje je pokazalo kako su vrijednosti rasprostiranja za referentni samozbijajući beton bez vlakana (oznake REF) puno veće u usporedbi s rezultatima ostale dvije mješavine s vlaknima (oznake SV50 i SV40). U Tablici 5. prikazani su rezultati ispitivanja za sve tri mješavine.

Tablica 5: Rezultati dobiveni ispitivanjem rasprostiranja slijeganjem za REF mješavinu te ispitivanjem rasprostiranjem za mješavine SV50 i SV40

NAZIV UZORKA	D_1 [mm]	D_2 [mm]	t_{500} [s]	SF	KLASA
REF	608	604	13	610	SF1
SV50	400	390	-	400	-
SV40	440	420	-	430	-

4.3. Ispitivanje očvrsnulog betona

4.3.1. Ispitivanje gustoće očvrsnulog betona

Vaganjem i mjerenjem dimenzija očvrsnulih uzoraka dobivena je gustoća svih uzoraka kocki bridova 150 mm i prizmi dimenzija 100 x 100 x 400 [mm] i 40 x 40 x 160 [mm].

Gustoće svih uzoraka referentne, SV50 i SV40 mješavine s dobivenim srednjim gustoćama prikazane su u Tablicama 6., 7. i 8.

Tablica 6: *Gustoća uzoraka referentne mješavine*

KOCKE BRIDA 150 mm	NAZIV UZORKA	a [mm]	b [mm]	c [mm]	MASA [g]	VOLUMEN [cm ³]	GUSTOĆA [g/cm ³]	SREDNJA VRIJEDNOST GUSTOĆE
	REF-1	147,9	150,3	150,0	7855,30	3334,42	2,356	2,353
	REF-2	147,7	149,8	149,8	7782,30	3314,84	2,348	
	REF-3	149,7	149,8	149,7	7940,30	3365,58	2,359	
	REF-4	150,0	149,1	149,8	7870,70	3348,04	2,351	
PRIZME DIMENZIJA 100 X 100 X 400	NAZIV UZORKA	ŠIRINA b [mm]	VISINA h [mm]	DULJINA L [mm]	MASA [g]	VOLUMEN [cm ³]	GUSTOĆA [g/cm ³]	SREDNJA VRIJEDNOST GUSTOĆE
	REF-1	99,00	99,70	399,00	9354,00	3938,25	2,375	2,386
	REF-2	98,10	99,50	399,30	9318,50	3897,55	2,391	
	REF-3	99,30	99,80	399,80	9441,60	3962,07	2,383	
	REF-4	98,85	99,10	399,90	9380,30	3917,43	2,395	
PRIZME DIMENZIJA 40 X 40 X 160	NAZIV UZORKA	ŠIRINA b [mm]	VISINA h [mm]	RASPON L [mm]	MASA [g]	VOLUMEN [cm ³]	GUSTOĆA [g/cm ³]	SREDNJA VRIJEDNOST GUSTOĆE
	REF-1	39,41	39,89	100,00	599,90	157,21	3,816	3,821
	REF-2	39,14	39,80	100,00	597,70	155,78	3,837	
	REF-3	40,24	39,81	100,00	610,60	160,20	3,812	

Tablica 7: Gustoća uzoraka SV50 mješavine

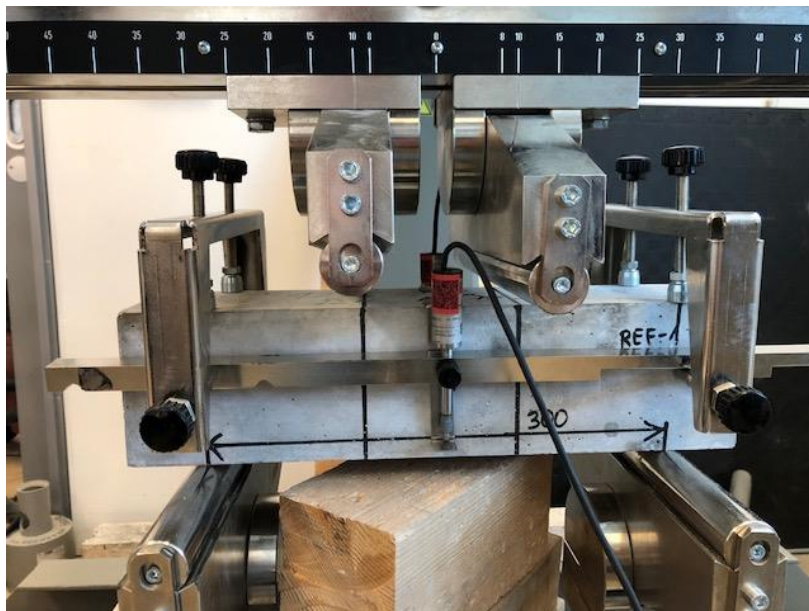
KOCKE BRIDA 150 mm	NAZIV UZORKA	a [mm]	b [mm]	c [mm]	MASA [g]	VOLUMEN [cm ³]	GUSTOĆA [g/cm ³]	SREDNJA VRIJEDNOST GUSTOĆE
	SV50-1	149,75	149,45	150,10	7765,90	3359,26	2,312	2,325
	SV50-2	152,21	150,60	149,80	7920,90	3433,84	2,307	
	SV50-3	149,70	150,90	149,80	7862,50	3383,94	2,323	
	SV50-4	149,70	151,10	149,80	7994,30	3388,43	2,359	
	SV50-5	149,34	150,80	149,40	7819,40	3364,56	2,324	
PRIZME DIMENZIJA 100 X 100 X 400	NAZIV UZORKA	ŠIRINA b [mm]	VISINA h [mm]	DULJINA L [mm]	MASA [g]	VOLUMEN [cm ³]	GUSTOĆA [g/cm ³]	SREDNJA VRIJEDNOST GUSTOĆE
	SV50-1	98,90	100,00	399,90	9320	3955,01	2,357	2,352
	SV50-2	99,80	100,10	400,60	9555	4001,99	2,388	
	SV50-3	99,50	100,10	399,80	9330	3981,99	2,343	
	SV50-4	101,40	99,70	399,80	9380	4041,81	2,321	
PRIZME DIMENZIJA 40 X 40 X 160	NAZIV UZORKA	ŠIRINA b [mm]	VISINA h [mm]	RASPON L [mm]	MASA [g]	VOLUMEN [cm ³]	GUSTOĆA [g/cm ³]	SREDNJA VRIJEDNOST GUSTOĆE
	SV50-1	40,90	39,80	100,00	602,30	162,78	3,700	3,677
	SV50-2	40,70	39,80	100,00	594,40	161,99	3,669	
	SV50-3	41,25	39,80	100,00	601,20	164,18	3,662	

Tablica 8: Gustoća uzoraka SV40 mješavine

KOCKE BRIDA 150 mm	NAZIV UZORKA	a [mm]	b [mm]	c [mm]	MASA [g]	VOLUMEN [cm ³]	GUSTOĆA [g/cm ³]	SREDNJA VRIJEDNOST GUSTOĆE
	SV40-1	149,50	148,50	149,70	7722,40	3323,45	2,324	2,322
	SV40-2	149,90	151,50	150,40	7889,40	3415,56	2,310	
	SV40-3	150,00	149,70	150,00	7854,20	3368,25	2,332	
	SV40-4	149,90	150,50	149,80	7845,80	3379,48	2,322	
PRIZME DIMENZIJA 100 X 100 X 400 mm	NAZIV UZORKA	ŠIRINA b [mm]	VISINA h [mm]	RASPON L [mm]	MASA [g]	VOLUMEN [cm ³]	GUSTOĆA [g/cm ³]	SREDNJA VRIJEDNOST GUSTOĆE
	SV40-1	97,20	99,80	399,80	9275	3878,28	2,392	2,336
	SV40-2	101,30	99,80	400,00	9475	4043,90	2,343	
	SV40-3	101,20	99,10	399,70	9195	4008,56	2,294	
	SV40-4	100,60	99,30	399,80	9245	3993,83	2,315	
PRIZME DIMENZIJA 40 X 40 X 100 mm	NAZIV UZORKA	ŠIRINA b [mm]	VISINA h [mm]	RASPON L [mm]	MASA [g]	VOLUMEN [cm ³]	GUSTOĆA [g/cm ³]	SREDNJA VRIJEDNOST GUSTOĆE
	SV40-1	41,34	39,90	100,00	608,10	164,95	3,687	3,652
	SV40-2	41,60	39,90	100,00	612,80	165,98	3,692	
	SV40-3	41,40	39,80	100,00	589,50	164,77	3,578	

4.3.2. Ispitivanje vlačne čvrstoće na savijanje na uzorcima prizmi dimenzija 100 x 100 x 400 [mm]

Ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem na uzorcima oblika prizme dimenzija 100 x 100 x 400 [mm] provedeno je prema normi HRN EN 12390-5 s kontrolom pomaka brzinom 0,1 $\mu\text{m/s}$ pomoću uređaja Controls maksimalnog kapaciteta 300 kN. Prije samog ispitivanja označena je sredina raspona prizme i u duljini od 100 mm da bi se lakše odredio položaj pukotine na prednjoj i stražnjoj strani te zalijepljen pomoćni lim s jedne i druge strane na sredini raspona na koje se postavljaju LVDT uređaji za praćenje pomaka. Uzorak je zatim postavljen na oslonce i provedeno je ispitivanje s dvije koncentrirane sile, kako je prikazano na Slici 18.

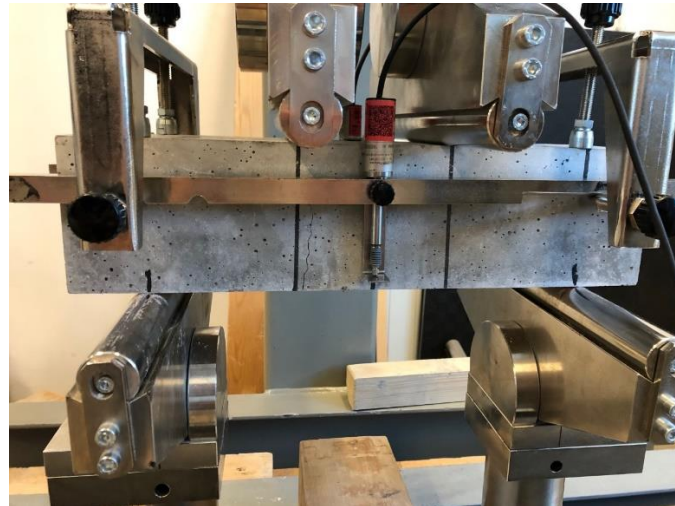


Slika 18: Ispitivanje vlačne čvrstoće betona savijanjem s kontrolom pomaka

Za betonske prizme referentne mješavine ispitivanje se provodilo do trenutka sloma uzorka (Slika 19.), a za betonske prizme s vlaknima ispitivanje se provodilo do trenutka kada je dijagram počeo padati nakon što je dosegnuta maksimalna sila, odnosno nakon pojave prve pukotine (Slika 20.). Razlog tome je svojstvo duktilnosti. Nakon što su zabilježeni svi potrebni parametri, povećana je brzina nanošenja opterećenja te je uzorak slomljen kako bi se bolje uočilo mjesto i izgled nastale pukotine.



Slika 19: Ispitivanje vlačne čvrstoće betona savijanjem, referentna mješavina (krti slom)



Slika 20: Ispitivanje vlačne čvrstoće betona savijanjem, mješavina s dodatkom sintetičkih vlakana (pojava prve pukotine)

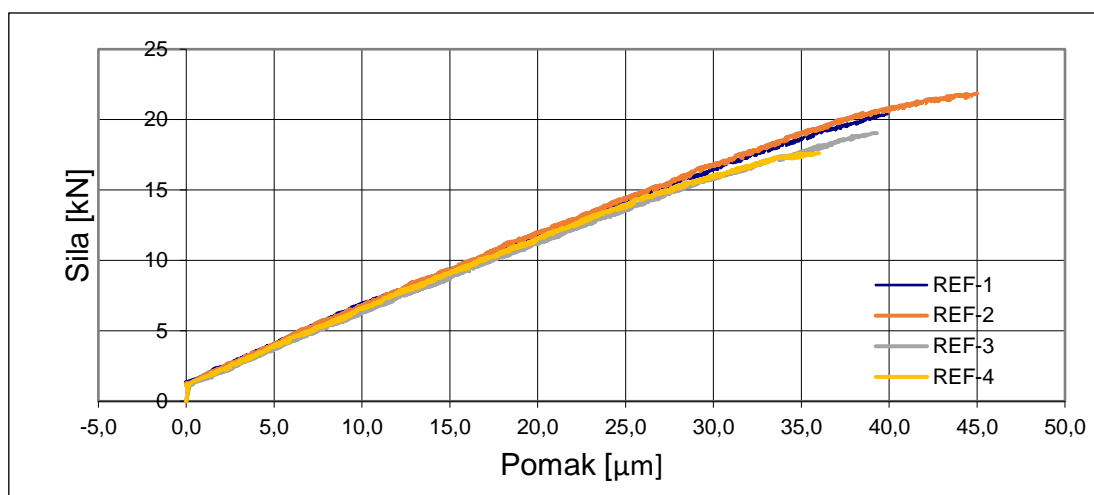
Nakon provedenog ispitivanja dobivene su vrijednosti: sile sloma za svaki uzorak, pomak pri maksimalnoj sili i izračunata vrijednost čvrstoće na savijanje. Čvrstoća na savijanje dobivena je iz već spomenutog izraza $\sigma = \frac{F_{max} \cdot L}{B \cdot H^2}$.

U Tablicama 9., 11. i 12. prikazani su rezultati ispitivanja uz pripadajuće dijagrame pomak – sila (Slike 21., 23. i 25.).

PRIZME REFERENTNE MJEŠAVINE

Tablica 9: Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem, referentna mješavina

NAZIV UZORKA	MAX SILA [kN]	ČVRSTOĆA [MPa]	BRZINA [$\mu\text{m/s}$]
REF-1	21,32	6,50	0,10
REF-2	21,86	6,75	0,10
REF-3	19,04	5,78	0,10
REF-4	17,61	5,44	0,10
Srednja vrijednost	19,96	6,12	-
MAX	21,86	6,75	-
MIN	17,61	5,44	-
Standardna devijacija	1,72	0,53	-

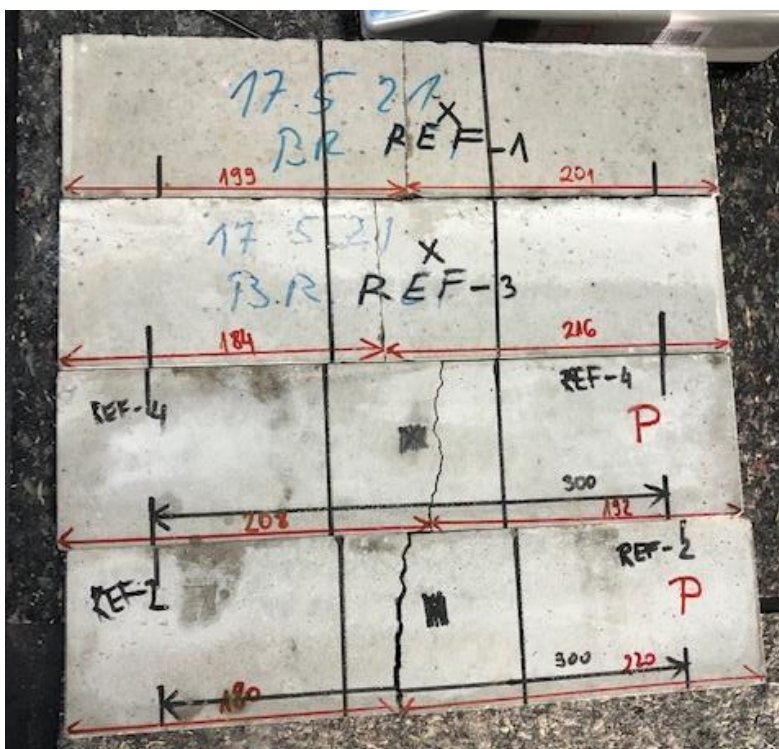


Slika 21: Dijagram pomak - sila, referentna mješavina

U Tablici 16. prikazani su položaji pukotina s obzirom na sredinu raspona koji se mogu uočiti i na Slici 22.

Tablica 10: Prikaz mjesta nastanka pukotina (odmak od središta) uzoraka referentne mješavine

REF	REF-1	REF-2	REF-3	REF-4
prednja strana [mm]	4	20	22	8
stražnja strana [mm]	1	10	16	18



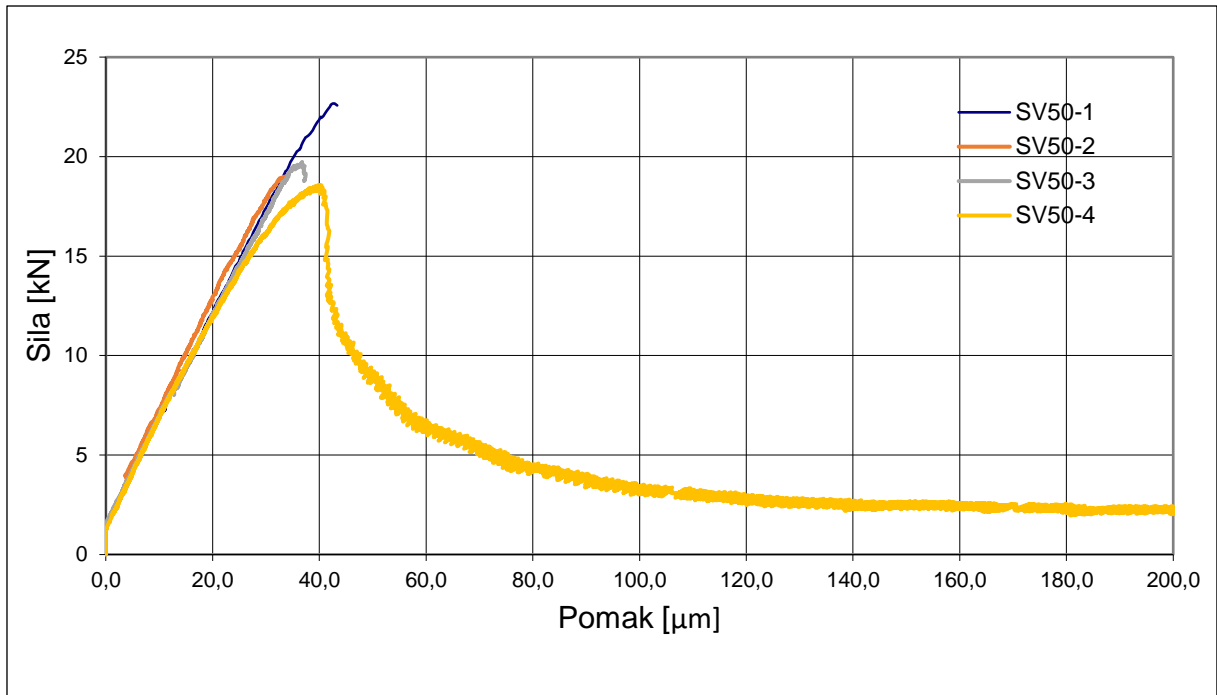
Slika 22: Uzorci referentne mješavine ispitani na savijanje i položaj nastanka pukotina

UZORCI MJEŠAVINE SV50 S DODATKOM SINTETIČKIH VLAKANA DULJINE 50 mm

Pri ispitivanju se kod prva 3 uzorka dogodio kruti slom, dok se u posljednjem uzorku (SV50-4) javio duktilniji slom. Pri krutom slomu bila je prisutna veća brzina, a količina vlakana je u ovim uzorcima bila smanjena. Obzirom da se vlakna nisu ravnomjerno uspjela rasporediti u prva 3 uzorka te da je u zadnjem uzorku SV50-4 bila najveća količina vlakana u zoni sloma, a uzorak je bio ispitivan brzinom od 0,1 $\mu\text{m/s}$, nakon nekog vremena smo uočili blagu pukotinu, no ni nakon dosezanja maksimalne sile slom nije uslijedio – što upućuje na svojstvo duktilnosti.

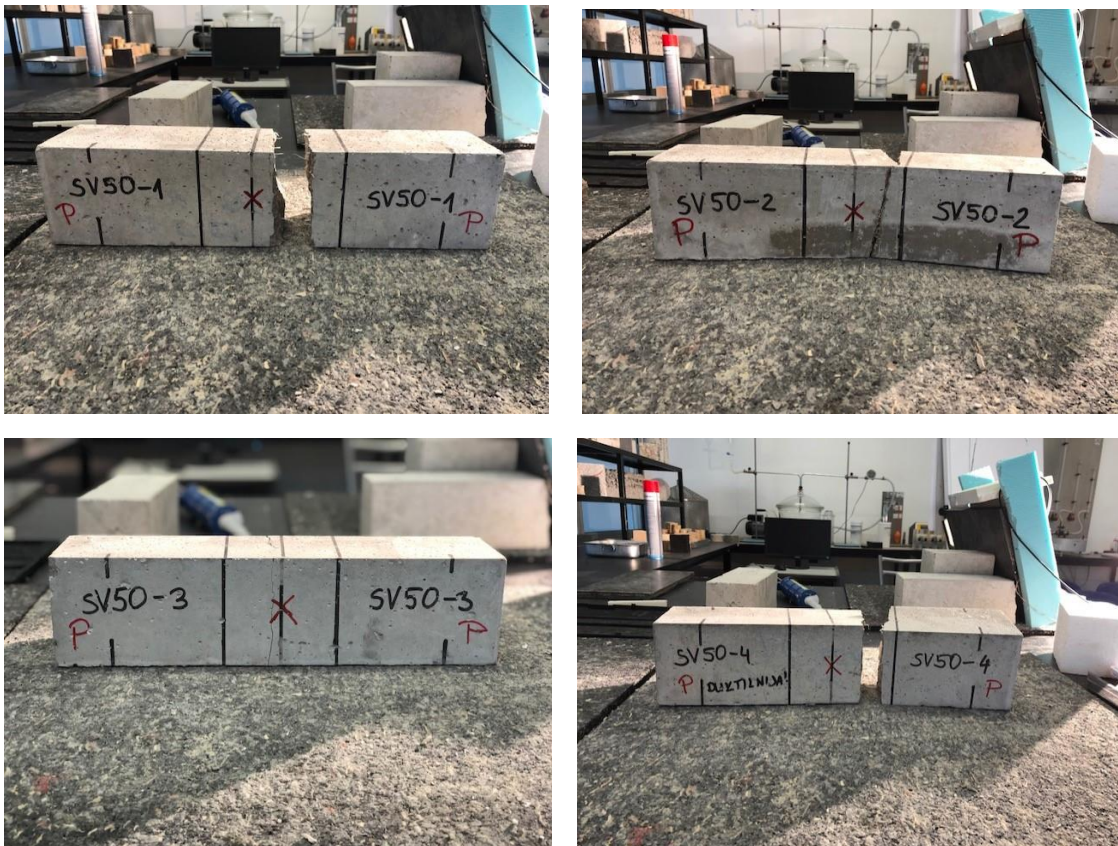
Tablica 11: Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem, SV50 mješavina

NAZIV UZORKA	MAX SILA [kN]	ČVRSTOĆA [MPa]	BRZINA [$\mu\text{m/s}$]
SV50-1	22,67	6,88	1,10
SV50-2	19,54	5,86	0,20
SV50-3	19,73	5,94	0,10
SV50-4	18,58	5,53	2,00
Srednja vrijednost	20,13	6,05	-
MAX	22,67	6,88	-
MIN	18,58	5,53	-
Standardna devijacija	1,53	0,50	-



Slika 23: Dijagram pomak - sila, SV50 mješavina

Slika 24. prikazuje položaj pukotine u odnosu na središte raspona.



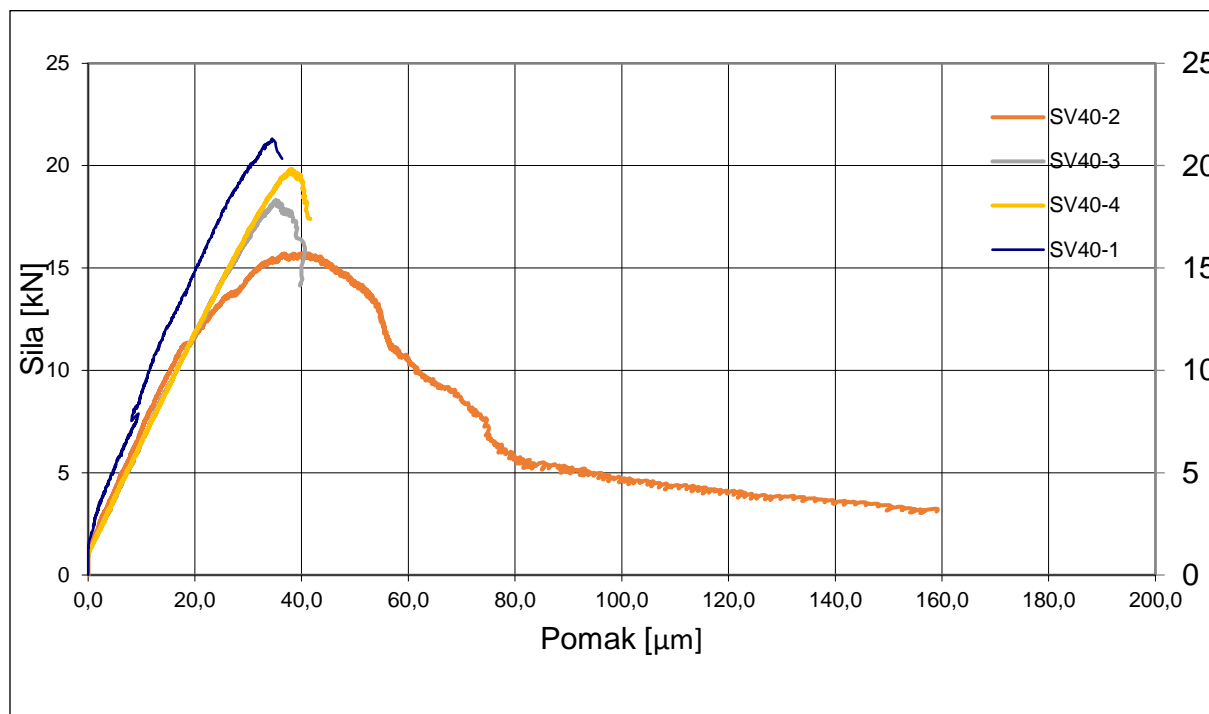
Slika 24: Uzorci SV50 mješavine ispitani na savijanje i položaj nastanka pukotina

UZORCI MJEŠAVINE SV40 S DODATKOM SINTETIČKIH VLAKANA DULJINE 40 mm

Pri ispitivanju se također kod 3 uzorka dogodio kruti slom, dok se u uzorku SV40-2 javio duktilniji slom. U uzorku SV40-2 je bila najveća količina vlakana, a uzorak je bio ispitan brzinom od 0,1 $\mu\text{m/s}$.

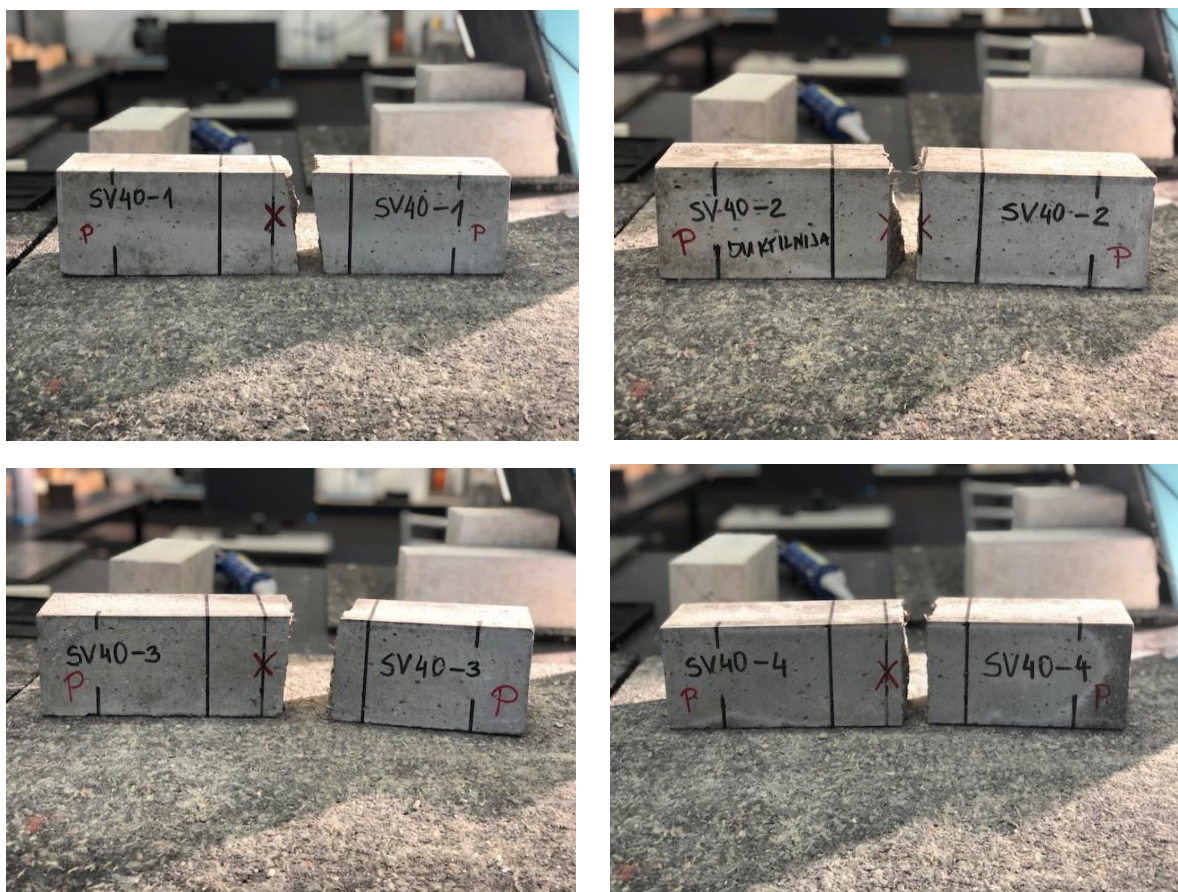
Tablica 12: Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem, SV40 mješavina

NAZIV UZORKA	MAX SILA [kN]	ČVRSTOĆA [MPa]	BRZINA [$\mu\text{m/s}$]
SV40-1	21,32	6,61	0,20
SV40-2	15,72	4,67	2,50
SV40-3	18,33	5,53	2,50
SV40-4	19,84	6,00	0,10
Srednja vrijednost	18,80	5,70	-
MAX	21,32	6,61	-
MIN	15,72	4,67	-
Standardna devijacija	2,07	0,71	-



Slika 25: Dijagram pomak - sila, SV40 mješavina

Slika 26. prikazuje položaj pukotine u odnosu na središte raspona.



Slika 26: Uzorci SV40 mješavine ispitani na savijanje i položaj nastanka pukotina

4.3.3. Ispitivanje čvrstoće na savijanje na uzorcima prizmi dimenzija 40 x 40 x 100 [mm]

Ispitivanje je provedeno prema normi HRN EN 196-1. Prizmice su ispitane na savijanje s kontrolom sile pri sili od 50 N/s. Ispitivanje je provedeno na sličan način kao kod velikih prizmi, no umjesto dva opterećenja korišteno je opterećenje samo jednom silom i to na sredini raspona, a oslonci su bili postavljeni na rasponu od 100 mm. Čvrstoća na savijanje dobivena je iz izraza $\sigma = \frac{1,5 \cdot F_{max} \cdot L}{B \cdot H^2}$.

Na Slici 27. prikazano je ispitivanje čvrstoće na savijanje.



Slika 27: Ispitivanje vlačne čvrstoće betona savijanjem, male prizme

U Tablicama 13., 14. i 15. prikazani su rezultati ispitivanja, a na Slici 28. prikazane su dobivene polovice prizmi koje su ispitane na tlak.

Tablica 13: Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem, referentna mješavina (male prizme)

NAZIV UZORKA	ŠIRINA b [mm]	VISINA h [mm]	RASPON L [mm]	MASA [g]	MAX SILA [kN]	ČVRSTOĆA [MPa]	VRIJEME [s]
REF-1	39,41	39,89	100,00	599,90	3,08	7,37	63,3
REF-2	39,14	39,80	100,00	597,70	3,41	8,25	69,8
REF-3	40,24	39,81	100,00	610,60	3,38	7,95	69,4
Srednja vrijednost	-	-	-	-	2,47	7,85	50,63
MAX	-	-	-	-	3,41	8,25	69,80
MIN	-	-	-	-	3,08	7,37	63,30

Tablica 14: Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem, SV50 mješavina (male prizme)

NAZIV UZORKA	ŠIRINA b [mm]	VISINA h [mm]	RASPON L [mm]	MASA [g]	MAX SILA [kN]	ČVRSTOĆA [MPa]	VRIJEME [s]
SV50-1	40,90	39,80	100,00	602,30	3,37	7,80	68,7
SV50-2	40,70	39,80	100,00	594,40	3,54	8,24	72,6
SV50-3	41,25	39,80	100,00	601,20	-	-	-
Srednja vrijednost	-	-	-	-	1,73	8,02	35,33
MAX	-	-	-	-	3,54	8,24	72,60
MIN	-	-	-	-	3,37	7,80	68,70

Tablica 15: Rezultati ispitivanja čvrstoće na vlak savijanjem, SV40 mješavina (male prizme)

NAZIV UZORKA	ŠIRINA b [mm]	VISINA h [mm]	RASPON L [mm]	MASA [g]	MAX SILA [kN]	ČVRSTOĆA [MPa]	VRIJEME [s]
SV40-1	41,34	39,90	100,00	608,10	3,01	6,87	61,6
SV40-2	41,60	39,90	100,00	612,80	3,18	7,21	65,2
SV40-3	41,40	39,80	100,00	589,50	3,10	7,09	63,9
Srednja vrijednost	-	-	-	-	2,32	7,06	47,68
MAX	-	-	-	-	3,18	7,21	65,20
MIN	-	-	-	-	3,01	6,87	61,60



Slika 28: Uzorci malih prizmi ispitani na vlak savijanjem

4.3.4. Ispitivanje tlačne čvrstoće na uzorcima kocki brida 150 mm

Ispitivanje tlačne čvrstoće na uzorcima oblika kocke dimenzija 150 x 150 x 150 [mm] provedeno je prema normi HRN EN 12390-3:2009 u uređaju Controls, kao što je prikazano na Slici 29.



Slika 29: Uređaj za ispitivanje tlačne čvrstoće betona

Prije samog ispitivanja potrebno je provesti provjeru ravnosti uzoraka prema normi HRN EN 12390-1, kako bi se opterećenje moglo nanijeti na ravnu površinu. Svi uzorci opterećeni su u preši stalnim opterećenjem od 0,6 MPa/s, a na Slikama 30., 31. i 32. su prikazani tipični oblici sloma uzoraka kocke. U Tablicama 16., 17. i 18. prikazani su rezultati ispitivanja.

Tablica 16: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće na uzorcima referentne mješavine

NAZIV UZORKA	POVRŠINA [mm ²]	MAX SILA [kN]	TLAČNA ČVRSTOĆA [MPa]	VRIJEME [s]
REF-1	22235,40	1646,20	76,04	126,40
REF-2	22129,90	1426,10	64,44	115,90
REF-3	22422,10	1605,40	71,50	122,70
REF-4	22357,50	1592,30	71,22	123,10
Srednja vrijednost	-	1567,50	70,80	122,025
MAX	-	1646,20	76,04	126,40
MIN	-	1426,10	64,44	115,90
Standardna devijacija	-	84,02	4,14	3,82



Slika 30: Tipični oblik sloma uzorka kocke referentne mješavine ispitanoj na tlak

Tablica 17: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće na uzorcima SV50 mješavine

NAZIV UZORKA	POVRŠINA [mm ²]	MAX SILA [kN]	TLAČNA ČVRSTOĆA [MPa]	VRIJEME [s]
SV50-1	22395,10	1483,00	66,22	116,00
SV50-2	22922,80	1511,60	65,94	115,90
SV50-3	22589,70	1460,50	64,65	114,70
SV50-4	22619,70	1465,90	64,81	112,30
SV50-5	22520,50	1375,10	61,06	108,20
Srednja vrijednost	-	1459,22	64,54	113,42
MAX	-	1511,60	66,22	116,00
MIN	-	1375,10	61,06	108,20
Standardna devijacija	-	51,07	2,06	3,28



Slika 31: Tipični oblik sloma uzorka kocke s dodatkom PP vlakana 18 mm i 50 mm (SV50) ispitanoj na tlak

Tablica 18: Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće na uzorcima SV40 mješavine

NAZIV UZORKA	POVRŠINA [mm ²]	MAX SILA [kN]	TLAČNA ČVRSTOĆA [MPa]	VRIJEME [s]
SV40-1	22200,80	1343,30	60,51	107,5
SV40-2	22709,80	1524,50	67,13	119,30
SV40-3	22455,00	1513,00	67,38	115,50
SV40-4	22559,90	1401,40	62,12	108,30
Srednja vrijednost	-	1445,55	64,29	112,65
MAX	-	1524,50	67,38	119,3
MIN	-	1343,30	60,51	107,5
Standardna devijacija	-	76,14	3,03	4,94



Slika 32: Tipični oblik sloma uzoraka kocke s dodatkom PP vlakana 18 mm i 40 mm (SV40) ispitani na tlak

4.3.5. Ispitivanje tlačne čvrstoće na uzorcima kocki brida 40 mm

Ispitivanje tlačne čvrstoće na uzorcima kocke brida 40 mm provedeno je na polovicama prizmi dimenzija 40 x 40 x 80 [mm] dobivenih nakon ispitivanja savijanjem sukladno normi HRN EN 196-1 u uređaju Controls, pri opterećenju 2400 N/s, kao što je prikazano na Slici 33.



Slika 33: Ispitivanje vlačne čvrstoće betona na tlak, male prizme

U Tablicama 19., 20. i 21. prikazani su rezultati ispitivanja.

Tablica 19: Rezultati ispitivanja čvrstoće na tlak, prizmice REF mješavine

NAZIV UZORKA	MAX SILA [kN]	ČVRSTOĆA NA TLAK [MPa]	VRIJEME [s]
REF-1.1	113,72	268,29	48,7
REF-1.2	108,10	67,62	46,5
REF-2.1	108,51	67,87	46,5
REF-2.2	106,24	66,45	45,5
REF-3.1	108,08	67,60	46,2
REF-3.2	104,53	65,38	44,8
Srednja vrijednost	108,20	100,54	46,37
MAX	113,72	268,29	48,70
MIN	104,53	65,38	44,80

Tablica 20: Rezultati ispitivanja čvrstoće na tlak, prizmice SV50 mješavine

NAZIV UZORKA	MAX SILA [kN]	ČVRSTOĆA NA TLAK [MPa]	VRIJEME [s]
SV50-1.1	119,12	73,18	50,9
SV50-1.2	118,66	72,90	50,9
SV50-2.1	109,62	67,67	46,9
SV50-2.2	69,59	42,96	30,2
SV50-3.1	107,39	65,41	46,2
SV50-3.2	105,19	64,07	45
Srednja vrijednost	104,93	64,37	45,02
MAX	119,12	73,18	50,90
MIN	69,59	42,96	30,20

Tablica 21: Rezultati ispitivanja čvrstoće na tlak, prizmice SV40 mješavine

NAZIV UZORKA	MAX SILA [kN]	ČVRSTOĆA NA TLAK [MPa]	VRIJEME [s]
SV40-1.1	118,72	71,97	50,8
SV40-1.2	116,80	70,81	50,1
SV40-2.1	112,91	68,03	48,1
SV40-2.2	116,69	70,30	49,9
SV40-3.1	116,69	70,82	50,1
SV40-3.2	114,59	69,54	49
Srednja vrijednost	116,07	70,25	49,67
MAX	118,72	71,97	50,80
MIN	112,91	68,03	48,10

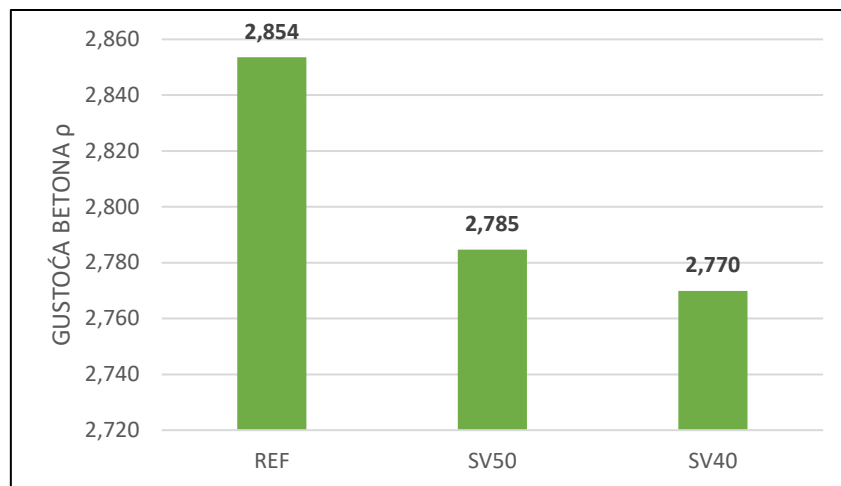
Slika 34. prikazuje tipični oblik sloma uzorka oblika kocke.



Slika 34: a) Tipični oblik sloma uzorka REF mješavine; b) Tipični oblik sloma uzorka SV50 mješavine

4.4. Analiza rezultata

- Prilikom ispitivanja svježeg betona, uočena su najveća odstupanja prilikom ispitivanja rasprostiranja slijeganjem. Uspoređujući referentnu mješavinu s ostale dvije mješavine u kojima su dodana vlakna, referentna mješavina je imala svojstva samozbijajućeg betona (sposobnost tečenja, popunjavanje kalupa - stošca bez dodatnog zbijanja), dok su mješavine SV50 i SV40 izgubile svojstva samozbijajućeg betona. Promjeri D_1 i D_2 značajno su veći kod samozbijajućeg betona u odnosu na mješavine s dodatkom sintetičkih vlakana.
- Uspoređujući gustoću očvršnutih smjesa, najveću srednju gustoću ima referentna mješavina bez dodatka vlakana, kako je prikazano na Slici 35. Razlog tome je stvaranje šupljina dodatkom sintetičkih vlakana u mješavine SV50 i SV40.



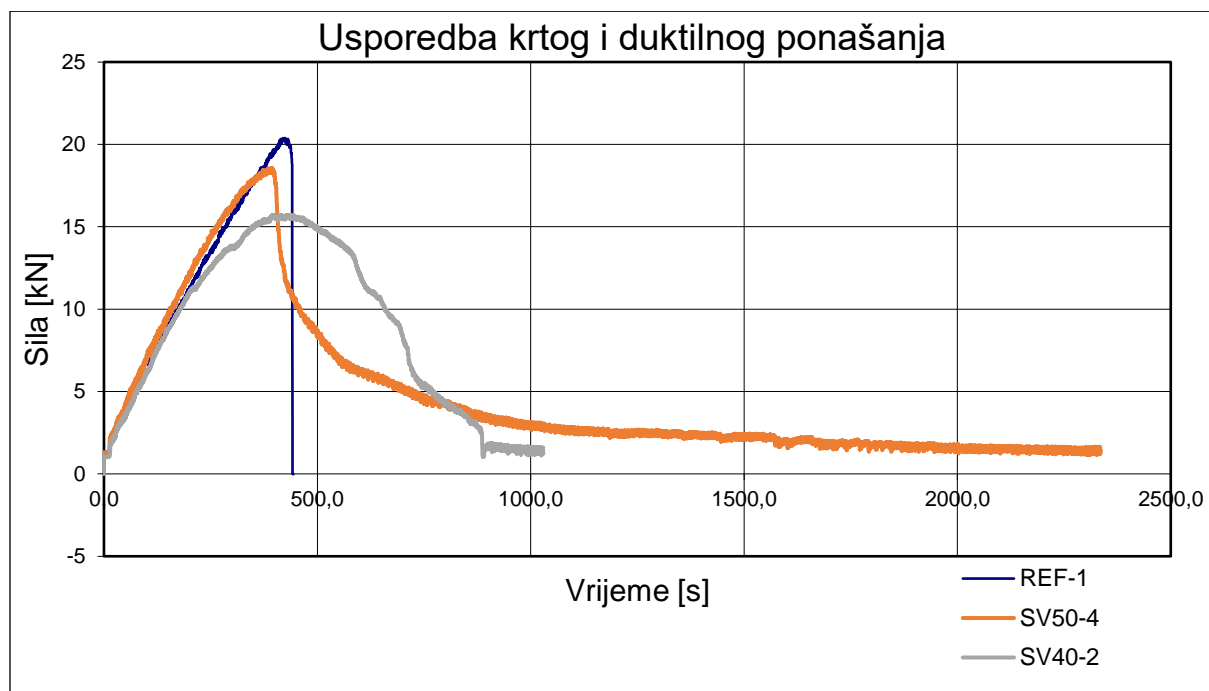
Slika 35: Srednje vrijednosti gustoća očvrstulih betonskih uzoraka svake mješavine

- Nakon 28 dana starosti, ispitane su i čvrstoće uzoraka na tlak i savijanje. Provedeno ispitivanje uzoraka na tlak pokazalo je kako su uzorci referentne mješavine bili izdržljiviji od uzoraka s vlaknima, kako je prikazano u Tablici 22. Razlike u maksimalnoj sili između referentne i vlaknima ojačane mješavine iznose oko 180 kN, pri čemu je i čvrstoća na tlak bila veća u uzorcima referentne mješavine od mješavine ojačane vlaknima. Razlog tome su šupljine i pore nastale zbog dodatka makrosintetičkih vlakana u mješavini. Iako mikrosintetička vlakna nastoje smanjiti nastajanje šupljina, u smjesi nije bila dovoljna količina kojima bi se to postiglo. Time se čvrstoća na tlak nije povećala već se smanjila.

Tablica 22: Usporedba srednjih vrijednosti čvrstoća na tlak za svaku mješavinu

MJEŠAVINA	UZORCI	SREDNJA VRIJEDNOST ČVRSTOĆE NA TLAK PO UZORKU
REF	Kocke brida 150 mm	70,80
	Kocke brida 40 mm	100,54
SV50	Kocke brida 150 mm	64,54
	Kocke brida 40 mm	64,37
SV40	Kocke brida 150 mm	64,29
	Kocke brida 40 mm	70,25

- Provedeno ispitivanja uzoraka na savijanje uz kontrolu pomaka pokazalo je kako su uzorci s vlaknima bili izdržljiviji te se slom nije pojavio iznenada, već je nastupila pojava prve pukotine, a slom se dogodio nakon duljeg vremenskog perioda. Neki uzorci nisu se slomili standardnom brzinom ispitivanja pa je ispitivanje prekinuto, povećana je brzina i uzorci su slomljeni kontrolom sile kako bi se provjerila raspodjela vlakana u presjeku. Ispitivanjem su sve referentne mješavine imale nagli, krsti slom, bez prethodnih naznaka za njime. Neki od uzoraka s vlaknima također su pokazali ista svojstva zbog male količine vlakana u zoni presjeka. Najbolje rezultate imali uzorci SV50-4 i SV40-2 koji su pokazali svojstvo duktilnosti. Promatranjem presjeka uzoraka uočeno je kako su u tim uzorcima vlakna bila bolje raspoređena te ih je količinski bilo više u zoni presjeka od 100 mm (zona sloma), nego što je to bio slučaj kod ostalih uzoraka. Iako su neki uzorci pokazali dobra svojstva, većina nije pokazala očekivane rezultate kao što je značajno povećanje čvrstoće na savijanje. Razlika u izgledu dijagrama krstog (REF-1) i duktilnog sloma (SV50-4) prikazana je na Slici 36.



Slika 36: Dijagrami s prikazom krstog (REF-1) i duktilnih slomova (SV50-4 i SV40-2)

Prema srednjim vrijednostima dobivenih ispitivanjem iz Tablice 23. zaključak slijedi kako u ovom slučaju sintetička vlakna nisu povoljno utjecala na povećanje čvrstoće na savijanje.

Tablica 23: *Usporedba srednjih vrijednosti čvrstoća na savijanje za svaku mješavinu*

MJEŠAVINA	UZORCI	SREDNJA VRIJEDNOST ČVRSTOĆE NA VLAK PO UZORKU
REF	Prizme 100x100x400	6,12
	Prizme 40x40x160	7,85
SV50	Prizme 100x100x400	6,05
	Prizme 40x40x160	8,02
SV40	Prizme 100x100x400	5,70
	Prizme 40x40x160	7,06

5. ZAKLJUČAK

Kod običnog samozbijajućeg betona bez dodatka vlakana na temelju oblika sloma uzoraka ispitanih na tlak i vlak savijanjem uočena je pojava krtog sloma uzoraka. Kod ispitivanja betona armiranog sintetičkim vlaknima na tlak nije došlo do krtog sloma zbog utjecaja vlakana međutim, vlakna su utjecala nepovoljno na vrijednosti tlačne čvrstoće svih ispitanih uzoraka. Poboljšana svojstva duktilnosti kod ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem pokazala su ukupno 2 uzorka od ispitanih 8 te se time može zaključiti kako dodavanjem 0,1% sintetičkih makro i mikro vlakana nije osigurano poboljšanje mehaničkih svojstava. Na temelju ovog istraživanja je zaključeno kako korištenje kombinacije mikrosintetičkih i makrosintetičkih vlakana u ukupnom postotku od 0,2% volumena ne osigurava poboljšanje vlačne čvrstoće samozbijajućeg betona te je potrebno upotrijebiti količinski više sintetičkih vlakana za poboljšanje i vlačne čvrstoće savijanjem.

6. LITERATURA

- [1] Arhiva Građevinskog fakulteta u Zagrebu, *Samozbijajući beton*
- [2] Niki Cauberg, Vinciane Dieryck, *Self-compacting fiber reinforced concrete*
- [3] *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use*, svibanj 2005.
- [4] Članak u „International Journal of Civil Engineering“, *Self Compacting Fibre Reinforced Concrete*, kolovoz 2016.
- [5] Vahid Redžić, *Projektovanje sastava samozbijajućeg betona*, Diplomski rad, Zenica, 2015.
- [6] *Ispitivanje svježeg betona – 8. dio: Samozbijajući beton – ispitivanje rasprostiranja slijeganjem HRN EN 12350-8*
- [7] *Ispitivanje svježeg betona – 6. dio: Gustoća HRN EN 12350-6*
- [8] *Ispitivanje očvrnuloga betona -- 3. dio: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka HRN EN 12390-3:2009/ISPR.1:2012*
- [9] Michael Dopko, *Fiber reinforced concrete: Tailoring composite properties with discrete fibers*, Master of Science, Iowa State University, 2018.
- [10] www.duly.hr
- [11] D.L. Shah and C.D. Modhere, *Parameter-Study on the Influence of Steel and Polyester Fibers in the SelfCompacting Concrete.*, Ph.D. Applied Mechanics Department, SVNIT – Surat, India
- [12] *STRUX 90/40 Synthetic Macro-fibers Synthetic Macro Fiber for reinforcement of concrete*, North America Customer Service: 1 877-4AD-MIX1 (1 877-423-6491)
- [13] www.forconstructionpros.com
- [14] www.webgradnja.hr

Izvjешće o provedenoj provjeri izvornosti studentskog rada (Prilog C)

Opći podatci o studentu:

Sastavnica	Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci
Studij	Preddiplomski sveučilišni studij Građevinarstvo
Vrsta studentskog rada	Završni rad
Ime i prezime studenta	BARBARA RUKAVINA
JMBAG	0114029403

Podatci o radu studenta:

Naslov rada	Svojstva samozbijajućeg betona armiranog sintetičkim vlaknima
Ime i prezime mentora	Doc. dr. sc. Natalija Bede
Datum zadavanja rada	Veljača 2021.
Datum predaje rada	21.9.2021.
Identifikacijski br. podneska	1653712269
Datum provjere rada	21.9.2021
Ime datoteke	Završni rad_-_Barbara_Rukavina_verzija_3
Veličina datoteke	7.4 M
Broj znakova	48865
Broj riječi	8549
Broj stranica	57

Podudarnost studentskog rada:

PODUDARNOST	
Ukupno	12
Izvori s interneta	1
Publikacije	1
Studentski radovi	5

Izjava mentora o izvornosti studentskog rada

Mišljenje mentora	
Datum izdavanja mišljenja	14.9.2021.
Rad zadovoljava uvjete izvornosti	<input checked="" type="checkbox"/> DA
Rad ne zadovoljava uvjete izvornosti	<input type="checkbox"/>
Obrazloženje mentora (po potrebi dodati zasebno)	

Datum

21.09.2021.

Potpis mentora

