

Utjecaj vrste i količine vlakana na mehaničke karakteristike cementnog morta

Vladić, Rina

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:595547>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-06**

Repository / Repozitorij:



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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Rina Vladić

Split, 2021

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

**Utjecaj vrste i količine vlakana na mehaničke
karakteristike cementnog morta**

Završni rad

Split, 2021

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Rina Vladić

MATIČNI BROJ (JMBAG): 4555

KATEDRA: **Katedra za građevinske materijale**

PREDMET: Građevinski materijali I

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Utjecaj vrste i količine vlakana na mehaničke karakteristike cementnog morta

Opis zadatka: Potrebno je proučiti svojstva mikroarmiranih betona i vrste vlakana. U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je izraditi uzorke morta. Referentna mješavina je standardni cementni mort, a ostali mortovi su ojačani vlaknima brnistre dobivenih morskom maceracijom kroz period od 32 i 55 dana, te staklenim i polipropilenskim vlaknima. Vlakna se dodaju u količini od 0.5 % i 1.0 % ukupnog volumena. Na 28-dnevnim uzorcima potrebno je odrediti čvrstoću na savijanje i pritisak, te ih međusobno usporediti. Uzorci ojačani brnistrom također se uspoređuju i s uzorcima iz ranijih ispitivanja.

U Splitu, 22.03.2021.

Voditelj Završnog rada:

Prof.dr.sc. Sandra Juradin

Utjecaj vrste i količine vlakana na mehaničke karakteristike cementnog morta

Sažetak:

Trošenje neobnovljivih resursa i ispuštanje velikih količina ugljikovog dioksida (CO_2) dovelo je do potrebe pronalaženja ekološki i ekonomski prihvatljivih materijala. Danas se u svijetu pokušavaju pronaći efikasna rješenja kao zamjena za sintetička vlakna. Korištenje celuloznih vlakana u kompozitima pokazalo je svoje prednosti. U radu su izrađeni uzorci morta ojačani vlaknima brnistre tretiranih morskom vodom, uzorci su ispitani na savojnu i tlačnu čvrstoću te su dobiveni rezultati uspoređeni sa uzorcima sa drugim vlaknima.

Ključne riječi:

mort, celulozna vlakna, brnistra, morska voda, čvrstoća

Influence of fiber type and quantity on mechanical characteristics of cement mortar

Abstract:

Consumption of non-renewable resources and the release of large amounts of carbon dioxide (CO_2) has led to the need to find environmentally and economically acceptable materials. Today the world is trying to find effective solutions as a replacement for synthetic fibers. The use of cellulose fibers in composites has shown its advantages. In this paper, mortar samples with Spanish broom fibers treated with sea water were made, the samples were tested for flexural and compressive strength, and obtained results were compared with samples with other fibers.

Keywords:

mortar, cellulose fibers, Spanish broom, sea water, strength

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. MIKROARMIRANI BETON.....	3
2.1 OPĆENITO.....	3
2.2 VRSTE I SVOJSTVA VLAKANA ZA MIKROARMIRANJE.....	3
2.2 PREDNOSTI I NEDOSTACI MIKROARMIRANOG BETONA	5
2.3 PRIMJENA MIKROARMIRANOG BETONA	5
3. PRIRODNA VLAKNA ZA MIKROARMIRANJE	8
3.1 PODJELA PRIRODNIH VLAKANA	8
3.1.1 KEMIJSKI SASTAV BILJNIH PRIRODNIH VLAKANA.....	9
3.1.2 PREDNOSTI CELULOZNIH VLAKANA.....	10
3.1.2 NEDOSTACI CELULOZNIH VLAKANA	11
4. OBRADA PRIRODNIH VLAKANA.....	11
4.1 BIOLOŠKA OBRADA	11
4.1.1 OBRADA SLANOM VODOM	11
4.1.2 OBRADA MORSKOM VODOM.....	14
4.2 KEMIJSKA OBRADA.....	17
4.2.1 OBRADA SILANOM (SiH_4).....	17
4.2.2 ALKALIJSKA OBRADA (NaOH).....	17
4.2.3 ALKALIJSKA OBRADA (NaOH) KOMBINIRANA SA NATRIJEVIM SULFITOM (Na_2SO_3).....	18
5. BRNISTRA	18
5.1 KARAKTERISTIKE BRNISTRE	18
5.2 UPOTREBA BRNISTRE.....	19
5.3 SVOJSTVA BRNISTRE.....	20
5.4 PROVEDENA ISTRAŽIVANJA	20
5.4.1 ISTRAŽIVANJE 1: MACERACIJA MORSKOM VODOM I MACERACIJA U 5%- TNOJ KONCENTRACIJI NATRIJEVOG HIDROKSIDA.....	21
5.4.2 ISTRAŽIVANJE 1: REZULTATI I RASPRAVA.....	21
5.4.3 ISTRAŽIVANJE 1: ZAKLJUČAK.....	24
6. EKSPERIMENTALNI DIO	25
6.1 MATERIJALI.....	26
6.1.1 VLAKNA.....	26
6.1.2 CEMENT	28
6.1.3 PIJESAK	29
6.1.4 VODA.....	29

6.2 IZRADA MORTA	30
6.3 ISPITIVANJE UZORAKA	32
6.4 USPOREDBA REZULTATA UZORAKA SA REZULTATIMA PRIJAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	36
7. ZAKLJUČAK.....	38
8. LITERATURA:	40

1. UVOD

Beton je građevinski materijal koji se uvelike koristi u građevinarstvu, a svoj procvat je doživio u 19. stoljeću kada su znanstvenici poput Moniera i Lambota počeli sa izradom betonskih konstrukcija ojačanih sa čeličnom žicom i time ostvarili temelje za razvoj armiranog betona kakvog danas poznajemo.

Beton koji sam po sebi ima izrazito veliku tlačnu čvrstoću, ali malu vlačnu čvrstoću, dodavanjem armature (čelika) ostvaruje i veliku vlačnu čvrstoću i time postaje jedan od korištenijih materijala u građevinarstvu.

No, to nije prvi susret sa betonom u povijesti još 300 godina prije nove ere stari Rimljani su koristili gašeno vapno kao vezivo te su mu kasnije počeli dodavati mljevenu opeku i pucolan (vulkanski pepeo). [1]

Kompozit se dobije kombiniranjem minimalno dva različita materijala kako bi se dobio novi materijal sa poboljšanim kemijskim, mehaničkim i fizikalnim svojstvima. Beton je kompozit veziva (cementa), vode i agregata (šljunak, pijesak, drobljenac), a mogu mu se i dodati razni aditivi za postizanje određenih posebnih svojstava.

Dodavanjem vlakana u beton ojačava se kompozit tako da se odgađa širenje mikropukotina prenošenjem naprezanja s mjesta pukotine na susjedne presjeke. Vlakna koja se mogu dodati se razlikuju svojim oblikom, promjerom i duljinom, a mogu biti čelična, prirodna i sintetična. Prirodna vlakna još dijelimo i na vlakna životinjskog, biljnog i mineralnog porijekla, a sintetična na organska i anorganska.

Danas se inzistira na upotrebi ekološki prihvatljivih materijala i održivoj gradnji zbog prevelikog trošenja neobnovljivih izvora sirovina i ispuštanja znatne emisije ugljičnog dioksida. Zamjenom sintetičnih vlakana prirodnima uvelike se mijenja i proizvodni proces istih. Prirodna vlakna je moguće proizvesti temeljem tradicionalnih znanja i ljudskim radom, dok se proizvodnja sintetičnih vlakana oslanja na proizvodnju u tvornici uz upotrebu skupih strojeva i velika ulaganja.

Celulozna vlakna poput lana, konoplje, jute, palme, banane, ramije, henkena, pamuka, sisala, kenafa i ostalih imaju prednost u odnosu na sintetična i čelična vlakna jer su biorazgradiva, lokalno dostupna, obnovljiva, jeftina, male gustoće, sigurnija i lakša za

rukovanje, a kompozitu daju zahtijevana poboljšana mehanička svojstva u rangu sintetičnih vlakana. [2]

2. MIKROARMIRANI BETON

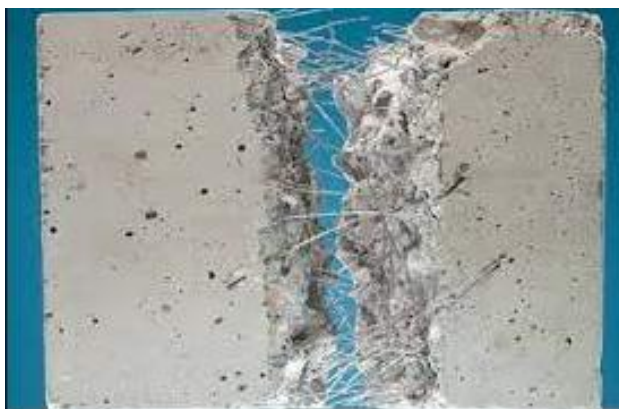
2.1 OPĆENITO

Ojačati beton moguće je dodavanjem diskontinuiranih vlakana u smjesu za obični beton i tako dobiveni produkt nazivamo mikroarmirani beton (Slika 1). [3] Mikroarmirani beton razlikujemo od običnog betona po većem udjelu cementa, sitnog agregata i manjeg maksimalnog zrna agregata. [4]

Diskontinuirana vlakna imaju veliku vlačnu čvrstoću i time omogućuju prijenos naprezanja od mjesta pukotine u betonu do susjednog poprečnog presjeka te time odgađaju nastanak i širenje pukotine.

Također vlakna povećavaju žilavost, duktilnost, savojnu čvrstoću, udarnu čvrstoću i čvrstoću na umor. [2]

Mikroarmirati se može čeličnim, staklenim, polimernim i prirodnim vlaknima, a posebno je bitno da su vlakna jednoliko raspoređena u smjesi betona kako bi se ostvarila poželjna svojstva koja daju betonu. [5]



Slika 1. Mikroarmirani beton[3]

2.2 VRSTE I SVOJSTVA VLAKANA ZA MIKROARMIRANJE

Vlakna su kratki elementi čija je duljina višestruko veća od promjera. Podskupina sintetičnih vlakana su organska i anorganska, dok prirodna vlakna mogu biti životinjskog, biljnog i mineralnog porijekla.

Za mikroarmiranje se koriste različite vrste vlakana koja imaju svaki svoja mehanička, fizikalna i kemijska svojstva (Tablica 1). [6]

Tablica 1. Svojstva vlakana za mikroarmiranje[6]

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

Jedno od glavnih svojstava vlakana za mikroarmiranje je koeficijent oblika vlakna, a to je omjer duljine i promjera vlakna. [6]

Svojstva kao što su duljina, promjer i oblik uvjetuju određena svojstva betona. Primjerice tanka i kratka vlakna će imati svoj značaj u stadiju očvršćivanja betona i tada će spriječiti pojavu pukotina, ali neće imati utjecaj nakon što beton očvrstne. Kraća i deblja vlakna se bolje raspoređuju u betonskoj smjesi, dok duža vlakna imaju bolju sposobnost sidrenja. [3]

Betonska smjesa za ovakav beton sadrži veći udio cementa i pijeska, a maksimalno zrno agregata je ograničeno duljinom vlakna koje mora biti 2,5 do 3 puta dulje od maksimalnog zrna agregata.

Vlakna se u betonsku smjesu dodaju u dozi od 0,2 do 2 % volumena smjese jer bi veća količina otežala miješanje i ugradnju betona. [2]

Poboljšanje kompozita betona obogaćenog vlaknima ovisi o:

- Vrsti i količini vlakana
- Dimenzijama i obliku vlakana
- Kvaliteti betonske matrice
- Prionjivosti betonske matrice i vlakana [6]

2.2 PREDNOSTI I NEDOSTACI MIKROARMIRANOG BETONA

Jedna od glavnih prednosti mikroarmiranog betona je odgoda širenja mikropukotina tako da vlakna prenose naprezanja sa mjesta pukotine na susjedni presjek koji još nije raspuknut. Taj prijenos naprezanja događa se na kontaktu betonske matrice i vlakana posmičnim silama, a kako bi to bilo moguće vlakna moraju biti kvalitetno sidrena u betonskoj matrici. [6]

Ostale prednosti mikroarmiranog betona su povećana vlačna čvrstoća, savojna čvrstoća te žilavost zbog koje su moguće veće deformacije nakon dostizanja vlačne čvrstoće betona, otpornost na udar, čvrstoća na umor i sposobnost apsorpcije energije.

Nedostatak betona s vlaknima je potreba za pažljivim miješanjem vlakana s betonskom matricom koje se ne može izvoditi strojno već ručno kako ne bi došlo do skupljanja vlakana na jedno mjesto i segregacije betona. Ovako dobiveni mikroarmirani beton teže je zbijati pa je sklon većoj poroznosti od običnog betona, što vodi i do manje tlačne čvrstoće. [5,6]

2.3 PRIMJENA MIKROARMIRANOG BETONA

Vlaknima obogaćeni betoni imaju veliku primjenu kod tankostijenih elemenata poput podova ili cijevi koje je nemoguće armirati na uobičajen način, kod dinamički opterećenih elemenata, također na prometnim površinama sa teškim uvjetima eksploatacije, kod konstrukcija koje su izložene visokim temperaturama i ekstremnim promjenama temperature, za sanaciju armiranobetonskih konstrukcija (slika 2), izvedbu predgotovljenih elemenata i u izgradnji tunela (slika 3). [3]



Slika 2. Primjena mikroarmiranog betona za sanaciju armiranobetonskih konstrukcija [6]

Mikroarmirani mlazni beton ima prednost u odnosu na mlazni beton armiran armaturom jer se može izvoditi u tanjem sloju što znači manji utrošak materijala i također nema potrebe za armaturom što znatno skрати vrijeme izvedbe. [6]



Slika 3. Primjena mikroarmiranog betona u izgradnji tunela [6]

Svojstva mikroarmiranog betona sa čeličnim vlaknima:

- Sprječavanje nastanka i širenja pukotina
- Poboľšana žilavost
- Poboľšana duktilnost
- Otpornost na udar i čvrstoća na umor
- Mogućnost apsorpcije energije [3]

Primjena mikroarmiranog betona sa čeličnim vlaknima:

- Industrijski podovi
- Aerodromi
- Kolničke konstrukcije
- Tuneli
- Ploče mostova
- Pomorske građevine
- Bazeni
- Rezervoari
- Sanacije oštećenih ab konstrukcija
- Predgotovljeni elementi poput: krovnih nosača, željezničkih pragova, tunelskih segmenata, fasadnih panela, betonskih cijevi i cestovnih elemenata [6]

Svojstva mikroarmiranog betona sa polipropilenskim vlaknima:

- Poboļšana Źilavost
- Povećana otpornost na utjecaj požara
- Sprječavanje pojave pukotina u svježem stanju betona
- Otpornost na udar

Primjena mikroarmiranog betona sa polipropilrnskim vlaknima:

- Tuneli
- Estrih za podove
- Mort
- Bazeni
- Predgotovljeni betonski elementi
- Elementi koji zahtijevanju visoku otpornost na visoke temperature i temperaturne šokove (požar) [6]

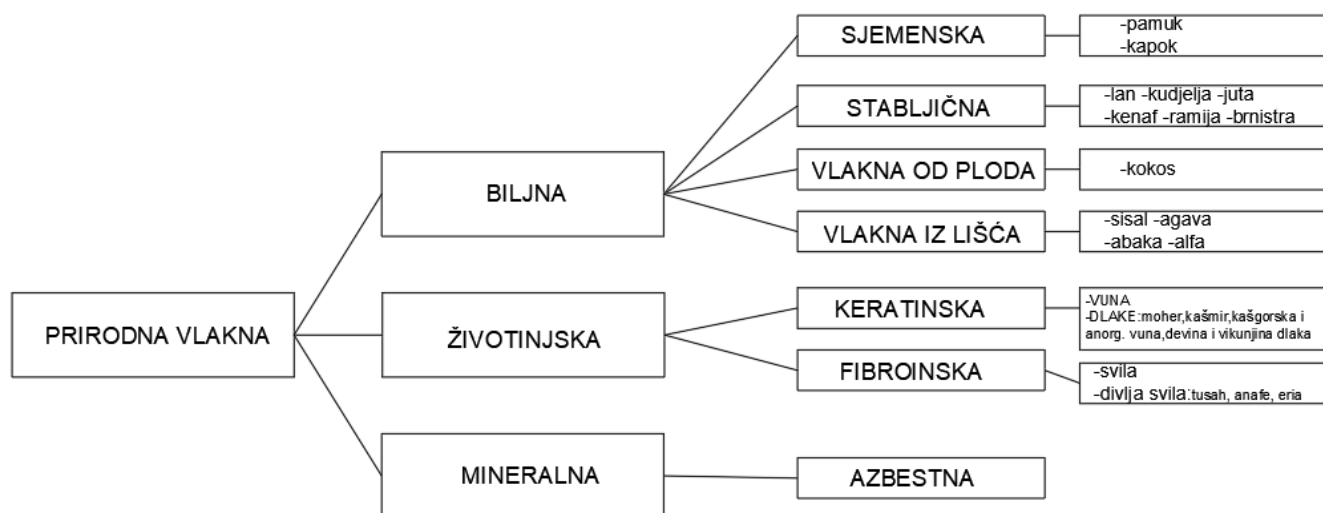
3. PRIRODNA VLAKNA ZA MIKROARMIRANJE

Prirodna vlakna su skup stanica čija je dužina višestruko veća od promjera, a nastala su prirodnim procesima biljnog i životinjskog svijeta (živa priroda) i mineralnim procesima (neživa priroda). Upravo zbog toga što nastaju prirodnim procesima prirodna vlakna mogu biti životinjska, biljna i mineralna, a mogu se koristiti izravno iz prirode ili nakon kemijsko-fizikalnih zahvata. [7]

U današnje vrijeme sve je veća potražnja i uporaba ekološki osviještenih materijala poput prirodnih vlakana zbog prevelikog trošenja neobnovljivih izvora i pretjeranog ispuštanja ugljičnog dioksida u atmosferu.

Prirodna vlakna možemo smatrati ekološki prihvatljivim materijalima zbog svoje biorazgradivosti, rasprostranjenosti na svim područjima, potrebe za malo energije za njihovu obradu, lakši i sigurniji način obrade i rukovanja, male gustoće, dobrih akustičnih i izolacijskih svojstava i otpornosti na abraziju, a uz sve to imaju iznimno visoku vlačnu čvrstoću i nizak modul elastičnosti. [2]

3.1 PODJELA PRIRODNIH VLAKANA



Slika 4. Podjela prirodnih vlakana[8]

Životinjska vlakna su dlake nekih životinja (primjerice: ovce, koze, deve, alapake, kunića) ili su proizvod svilenih prelaca u fazi začahurivanja i stvaranja kukuljice (najpoznatiji je dudov svilac koji proizvodi svilu). Takva vlakna su bjelančevinastog sastava.

Biljna vlakna mogu izrastati iz sjemenki (pamuk, akon, kapok), mogu biti dobivena iz ploda (kokos) ili lišća (agava), te mogu biti dio kore stabljike (juta, lan, kudjelja, ramija). Takva vlakna su celulozna.

Mineralna vlakna su vlakna silikatnog minerala krizotila i primjer takvih vlakana je azbest. [9]

3.1.1 KEMIJSKI SASTAV BILJNIH PRIRODNIH VLAKANA

Biljna ili celulozna vlakna nastaju fotosintezom kada biljka uzima ugljični dioksid iz zraka i ispušta kisik.

Celulozna vlakna se sastoje najvećim dijelom od celuloze i s udjelom hemiceluloze i lignina. Različita vlakna imaju različit postotak svake komponente, što je prikazano u tablici 2. Svojstva vlakana ovise o postotku celuloze, hemiceluloze i lignina tj. o kemijskom sastavu celuloznih vlakana. [7]

Tablica 2. Kemijski sastav celuloznih vlakana [7]

Vlakna	Celuloza [%]	Hemiceluloza [%]	Lignin [%]
Abaka (Abaca)	56.0-63.0	20.0-25.0	7.0-13.0
Lucerna (Alfa)	45.4	38.5	14.9
Bagasa (Bagasse)	32.0-55.2	16.8	19.0-25.3
Bambus (Bamboo)	26.0-65.0	30.0	5.0-31.0
Banana	63.0-67.6	10.0-19.0	5.0
Kokosovo vlakno (Coir)	32.0-43.8	0.15-20	40.0-45.0
Pamuk (Cotton)	82.7-90.0	5.7	<2.0
Ananas (Curaua)	70.7-73.6	9.9	7.5-11.1
Lan (Flex)	62.0-72.0	18.6-20.6	2.0-5.0
Konoplje (Hemp)	68.0-74.4	15.0-22.4	3.7-10.0
Agava (Heneque)	60.0-77.6	4.0-28.0	8.0-13.1
Juta (Jute)	59.0-71.5	13.6-20.4	11.8-13.0
Kenaf	31.0-72.0	20.3-21.5	8.0-19.0
Ramija (Ramie)	68.6-85.0	13.0-16.7	0.5-0.7
Sisal	60.0-78.0	10.0-14.2	8.0-14.0

Celulozna vlakna su poznata po tome da ne zahtjevaju veliku obradu prije upotrebe pa se praktički koriste direktno ubrane sa biljke obrađene samo onoliko koliko je potrebno za čišćenje vlakana prije upotrebe. Branjem ili odvajanjem se odbacuju dijelovi koji nisu potrebni za krajnji proizvod.

Celuloza je polimer građen od molekula glukoze koje se vezuju za svoje krajeve u lance od po nekoliko stotina do 10 000 jedinica glukoze. Najjača je i najkruća tvar u biljnim vlaknima koja im daje čvrstoću i žilavost. Celuloza zbog svoje velike količine hidroksilinih skupina uzrokuje da celulozna vlakna upijaju veliku količinu vode i slabije su otporna na vlagu pa im se zbog toga pogoršavaju mehanička svojstva i vlakna i matrica imaju lošu kontaktnu zonu. [8]

Hemiceluloza je heterogeni polisaharid jakim vodikovim vezama vezana za celulozu, higroskopna je i topiva u vodi, a na visokim temperaturama i razgradiva. Hemiceluloza predstavlja vezu između celuloze i lignina.

Lignin je heterogeni biopolimer koji se ponaša kao ljepilo unutar vlakna te povezuje celulozna vlakna u čvrstu strukturu. Lignin omogućava da biljke rastu u visinu i on najmanje upija vodu, a prevelike količine lignina nepovoljno utječu na vlačnu čvrstoću i modul elastičnosti. [2]

3.1.2 PREDNOSTI CELULOZNIH VLAKANA

- Niska gustoća
- Lokalno dostupna
- Ekonomična
- Biorazgradiva
- Sigurnija za rukovanje i obradu
- Obnovljivi izvori
- Nisu abrazivna
- Nisu vodiči
- Smanjuju plastično skupljanje
- Povećavaju zvučnu i toplinsku izolaciju
- Prigušuju vibracije u cementnom kompozitu [2]

3.1.2 NEDOSTACI CELULOZNIH VLAKANA

- Higroskopnost
- Mala otpornost na vlagu
- Trajnost vlakana
- Ograničeno doziranje
- Odstupanje kvalitete
- Niska temperatura prerade
- Loša kontaktna zona matrice i vlakana zbog upijanja vode [2]

4. OBRADA PRIRODNIH VLAKANA

Prirodna vlakna imaju izraženo svojstvo higroskopnosti i slabije su otporna na vlagu što može utjecati na lošiju kontaktnu zonu s matricom. Loša kontaktna zona s matricom može utjecati na mehanička svojstva kompozita, a to se može izbjeći obradom prirodnih vlakana na biološki, kemijski, mehanički i fizikalni način. Obradom se postiže da se vlakna bolje odvajaju, sve nečistoće i nepoželjni dijelovi se otklanjaju, smanjuje se higroskopnost i površina vlakana je hrapavija što poboljšava kontaktnu zonu i daje bolji konačni kompozit. [10]

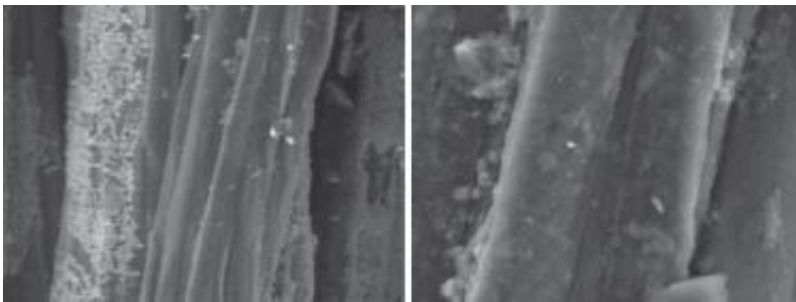
4.1 BIOLOŠKA OBRADA

4.1.1 OBRADA SLANOM VODOM

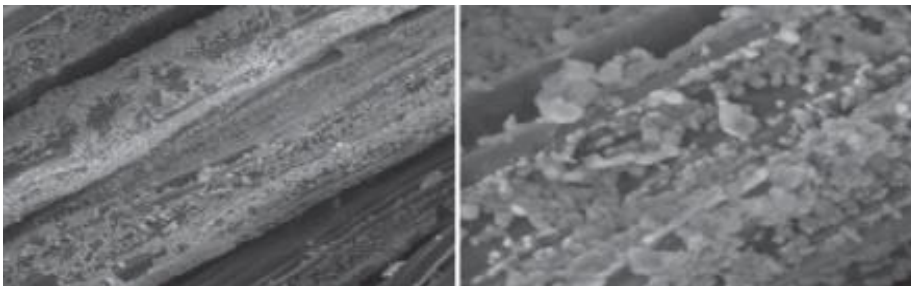
Malobrojna su istraživanja koja promatraju kako različita obrada prirodnih vlakana utječe na njihova mehanička svojstva posebno čvrstoću. Istraživači Yousif B.F., Orupabo C. i Azwa Z.N za svoje istraživanje koristili su kenafova vlakna koja su tretirali vodom, slanom vodom, dieselom i motornim uljem. Najprije su jedan dio vlakana pročistili od površinskih nečistoća i prašine potapanjem u običnu vodu na 24 sata, a zatim su se ista ta vlakna sušila 24 sata na temperaturi od 32°C. Drugi dio vlakana je nakon potapanja u vodu tretiran također 24 sata u 6%-tnoj otopini NaOH i kasnije najmanje 5 puta ispran vodom te 24 sata sušen na temperaturi 32°C. Naposljetku dio tretiranih i netretiranih vlakana se čuvao 75 dana u običnoj vodi, slanoj vodi, dieselu i motornom ulju. Vlakna su se nakon vađenja iz

navedenih otopina sušila 24 sata na 32°C i nakon toga su rezana na duljinu od 70mm u uzorcima težine 0,02g, 0,03g, 0,04g i 0,05g. Svim uzorcima je ispitana vlačna čvrstoća i uspoređena sa uzorcima koji nisu bili tretirani 75 dana u otopinama vode, slane vode, diesela i motornog ulja.

Na slikama su prikazane površine vlakana dobivene SEM mikroskopom iz kojih vidimo da vlakna tretirana u NaOH-u stvaraju praznine koje pozitivno utječu na vezu matrice i vlakna, a time poboljšavaju i čvrstoću kompozita (slika 4). Na vlaknima postoji zaštitni sloj koji smanjuje upijanje soli pa je sa slika 4 i 5 vidljivo taloženje soli na površini vlakana. [11]

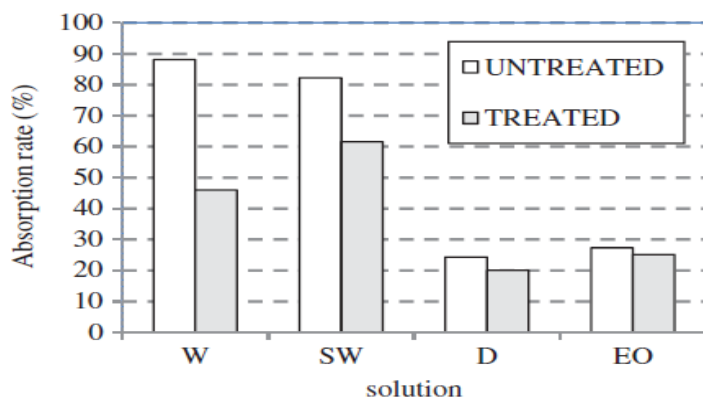


Slika 4. Tretirana vlakna 75 dana čuvana u slanoj vodi[11]



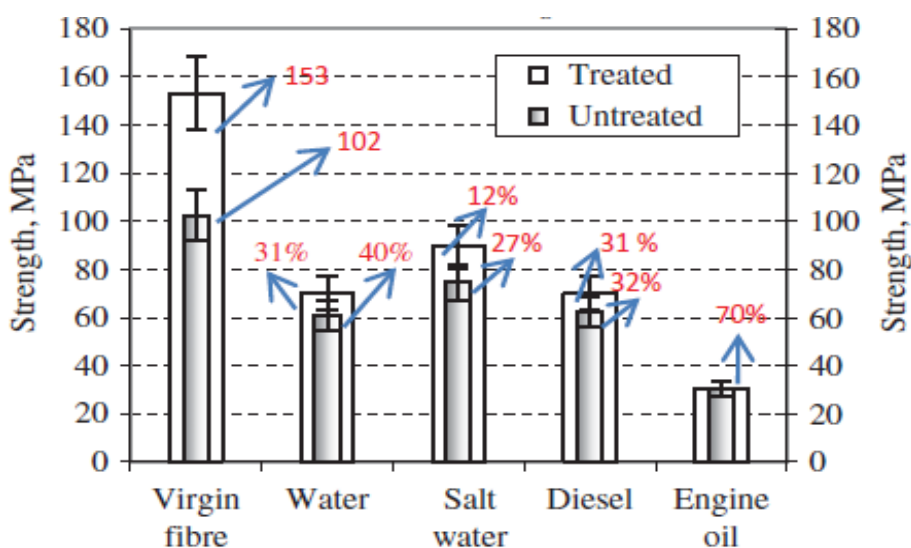
Slika 5. Netretirana vlakna čuvana 75 dana u slanoj vodi[11]

Netretirana vlakna na svojoj površini imaju vosak i tkiva koja omogućavaju veće upijanje otopine, dok tretirana vlakna u NaOH-u stvaraju praznine koje smanjuju mogućnost apsorpcije otopine što vidimo iz slike dijagrama postotka apsorpcije (slika 6). [11]



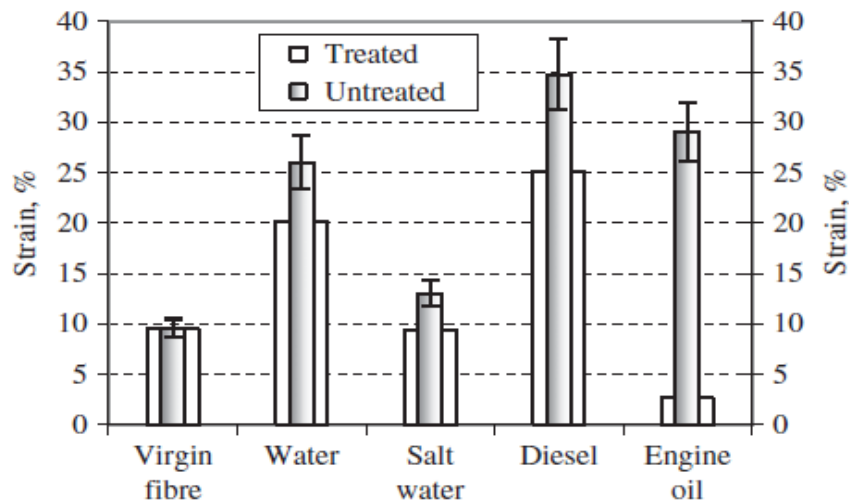
Slika 6. Dijagram apsorpcije otopine kod vlakana[11]

Drugi dijagram (slika 7) prikazuje kako se vlačna čvrstoća smanjila vlaknima čuvanim 75 dana u otopinama za razliku od vlakana koja nisu čuvana u otopinama. Najveće smanjenje su postigla vlakna čuvana u otopini motornog ulja, a najmanje smanjenje vlačne čvrstoće vlakna tretirana u otopini slane vode. Netretirana vlakna čuvana u slanoj vodi su smanjila svoju vlačnu čvrstoću za 27%, a tretirana 12%. [11]

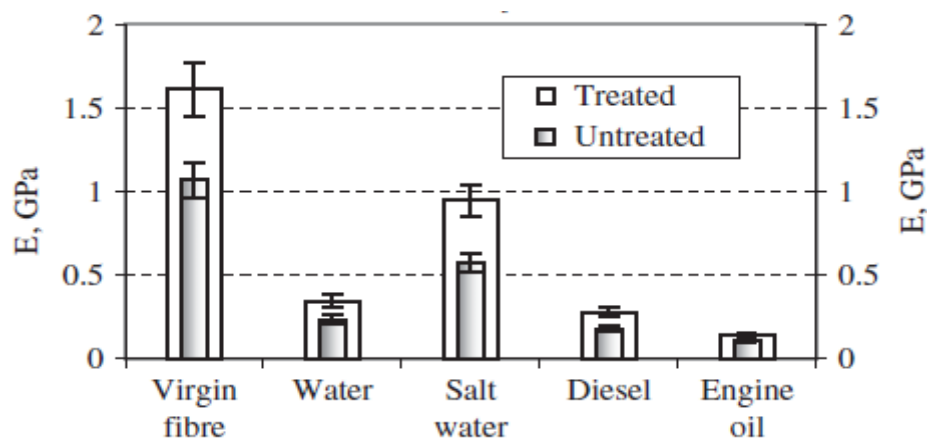


Slika 7. Dijagram vlačne čvrstoće vlakana[11]

Također je došlo do promjene u naprezanju i modulu elastičnosti koji se najviše smanjio kod vlakana tretiranih motornim uljem, a najmanje kod tretmana slanom vodom (slika 8 i 9). Modul elastičnosti kod tretmana slanom vodom smanjio se 48,2% za netretirana vlakna i 13,74% za tretirana vlakna. [11]



Slika 8. Prikaz naprezanja vlakana [11]



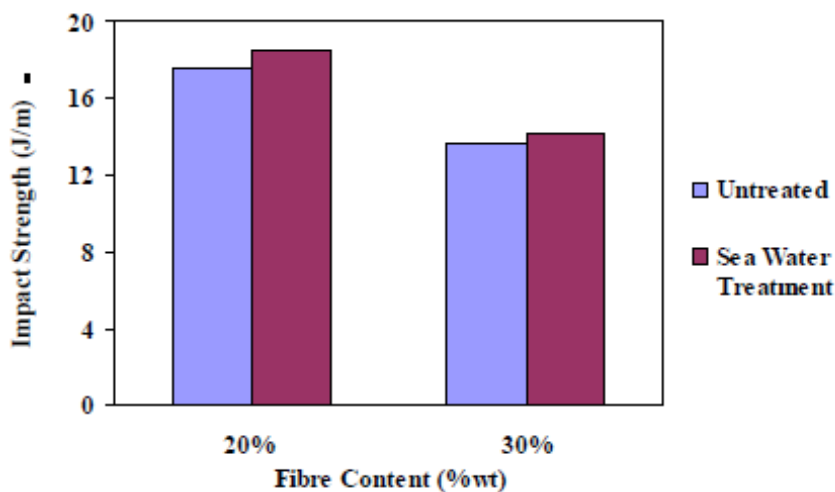
Slika 9. Prikaz modula elastičnosti vlakana [11]

Dobiveni rezultati dovode do zaključka da je tretman u slanoj vodi najekonomičnije, ekonomski najprihvatljivije i najbolje rješenje u vidu postizanja najpovoljnijih mehaničkih rezultata. [11]

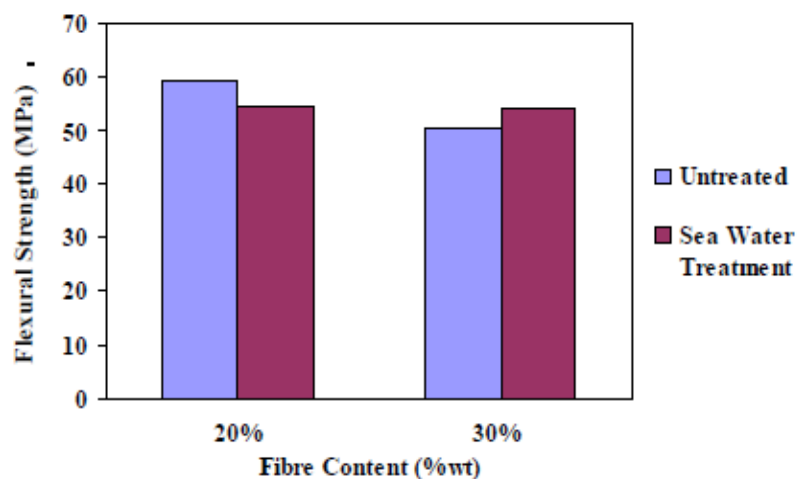
4.1.2 OBRADA MORSKOM VODOM

Istraživači Ishak M.R., Leman Z., Sapuan S.M., Salleh M.Y. i Misri S. u svom radu su proučavali utjecaj morske vode na vlaknima šećerne palme. Vlakna su se 30 dana natapala u morskoj vodi, iza čega su 3 dana ostavljena da se suše na sobnoj temperaturi. Ispitivanja udarne i savojne čvrstoće su se provodila na uzorcima kompozita ojačanim tretiranim i netretiranim vlaknima u udjelu od 20% i 30%.

Rezultati su pokazali kako je kompozit ojačan vlaknima tretiranim morskom vodom veće udarne čvrstoće od kompozita ojačanog netretiranim vlaknima, i vidljivo je da udio od 20% vlakana u kompozitu daje bolje rezultate (slika 10). Također uzorci sa tretiranim vlaknima ispitani na savojnu čvrstoću dali su bolje rezultate od uzoraka s netretiranim vlaknima (slika 11). [12]

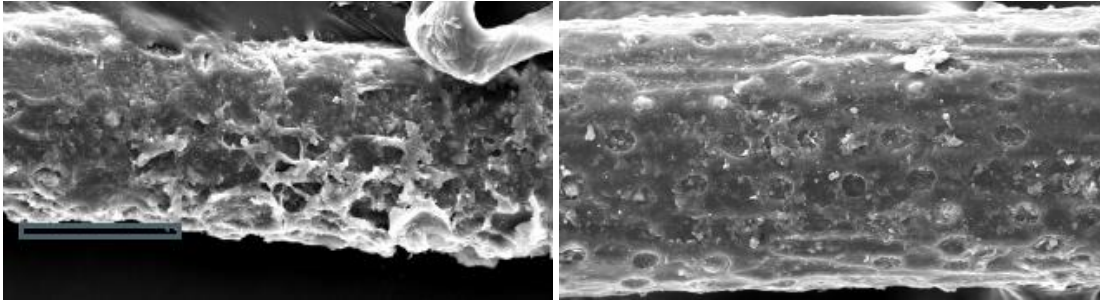


Slika 10. Dijagram udarne čvrstoće[12]



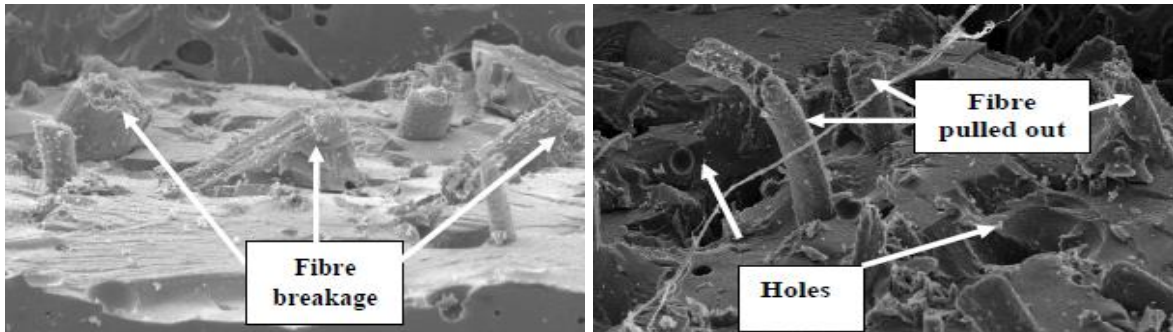
Slika 11. Dijagram savojne čvrstoće[12]

SEM mikroskopom je prikazana površina vlakana netretiranih i tretiranih morskom vodom (slika 12) iz koje se vidi da je kod tretiranih vlakana površina zaglađenija jer je otklonjen vanjski sloj koji sprječava dobru adheziju između matrice i vlakana pa takva vlakna bolje prijanjaju uz matricu i to utječe na veću čvrstoću kompozita. [12]



Slika 12. Netretirano vlakno i tretirano vlakno morskom vodom[12]

Dobiveni rezultati dovode do zaključka da tretman palminih vlakana morskom vodom u vremenu od 30 dana pozitivno utječe na vlakna i time i konačni kompozit. Obradom vlakana na taj način skida se vanjski sloj hemiceluloze i pektine zbog čega su vlakna glađa i bolje prijanjaju uz matricu. Uzorci kompozita ojačanog tretiranim vlaknima dali su bolje rezultate udarne i savojne čvrstoće, osim za slučaj savojne čvrstoće kompozita sa udjelom 20% vlakana. Nakon ispitivanja savojne čvrstoće na uzorku s netretiranim vlaknima zbog lošije adhezije vidljive su šupljine nastale zbog čupanja vlakana dok kod tretiranih vlakana nije došlo do toga zbog bolje adhezije vlakna i matrice pa su se vlakna nakon ispitivanja slomila, ali ostala na mjestu (slika 13). [12]



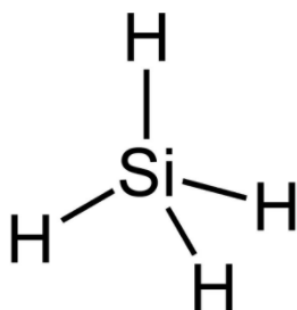
Slika 13. Kompozit s tretiranim vlaknima(lijevo) i netretiranim vlaknima (desno) [12]

Zaključak je da tretman morskom vodom zbog svoje lokalne i ekonomske pristupačnosti te ekološke prihvatljivosti predstavlja dobru metodu tretiranja vlakana. [12]

4.2 KEMIJSKA OBRADA

4.2.1 OBRADA SILANOM (SiH_4)

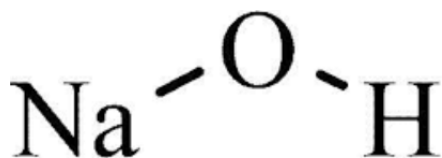
Silan je anorganski spoj koji reducira broj celuloznih hidroksilnih skupina na kontaktu matrice i vlakana, a najčešće se koristi za sintetička vlakna (slika 14). U dodiru s vlagom dolazi do formiranja silanola koji reagira sa hidroksilnim skupinama stvarajući stabilne kovalentne veze na staničnoj stijenci. Formirani zaštitni film na vlaknima zadržava kapljice vlage i sprječava dublji prodor u unutrašnjost te su time vlakna zaštićena od bubrenja što poboljšava adheziju vlakana i matrice. Rezultati nekih istraživanja su pokazali da tretman silanom povećava termičku stabilnost i vlačnu čvrstoću vlakana. [8]



Slika 14. Molekulska formula silana

4.2.2 ALKALIJSKA OBRADA (NaOH)

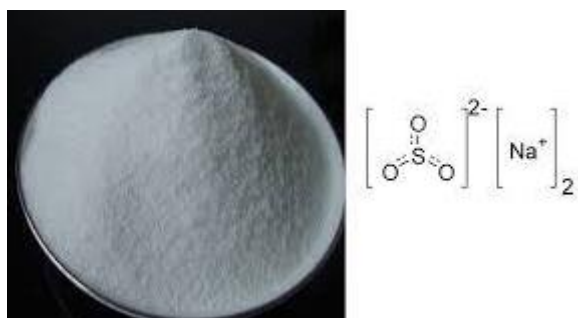
Vlakna prije obrade su glatke površine koja ne izaziva dovoljno trenje između matrice i vlakana pa to rezultira kompozitom manje čvrstoće. Postupak alkalijske obrade je kemijski postupak u kojem se vlakna potapaju u otopinu natrijevog hidroksida (NaOH) (slika 15) pri određenoj temperaturi u određenom vremenu nakon čega se vlakna ispiru vodom i suše na sobnoj temperaturi. Na taj način se otklanja sloj vlakana osjetljiv na alkalije, a to je dio koji sadrži hemicelulozu, lignin, vosak, ulje i sl. Uklanjanjem tog sloja površina vlakana postaje hrapavija i očišćena od površinskih nečistoća pa vlakna bolje prijanjaju uz matricu i time se poboljšavaju svojstva samog kompozita. Budući da je to kemijski proces koji uklanja dijelove poput lignina, hemiceluloze i ostalih površinskih tvorevina time se utječe na samu gustoću, promjer i boju vlakna. Veći postotak natrijevog hidroksida daje vlakna manje gustoće jer abrazivnije djeluje na vlakno tj. Uklanja veći udio materijala s površine. [10]



Slika 15. Molekulska formula natrijevog hidroksida

4.2.3 ALKALIJSKA OBRADA (NaOH) KOMBINIRANA SA NATRIJEVIM SULFITOM (Na_2SO_3)

Obrada vlakana kombinacijom natrijevog hidroksida (NaOH) i natrijevog sulfita (Na_2SO_3) (slika 16) ima pozitivan utjecaj samo ako je natrijev sulfit u manjim količinama jer veća koncentracija dovodi do degradacije vlakna. Sulfatne grupe (SO_3^{2-}) omekšavaju lignin što se zove sulfonacija lignina i time se lakše otklanja isti sa površine vlakna i lakše se odvaja vlakno od snopa. [13]



Slika 16. Natrijev sulfit (Na_2SO_3) [13]

5. BRNISTRA

5.1 KARAKTERISTIKE BRNISTRE

Brnistra ili žuka (slika 17) je biljka iz porodice mahunarki grmolikog oblika, a njezini jarko žuti cvjetovi su prvi vjesnici proljeća u mediteranskom podneblju. Latinski naziv brnistre *Spartium junceum* govori nam o njenoj prvobitnoj namjeni za konope, mreže itd. Riječ *spartium* potječe od grčke riječi *sparthos* što znači užad, pleter, metla ili *spartion* što je konop. Brnistra je biljka toplih krajeva pa je karakteristična za područja od Kanarskih otoka, sjeverne Afrike, preko Portugala, Španjolske, Francuske, Italije, Hrvatske, sve do Albanije i Grčke. [14] Iznimno je izdržljiva biljka koja brzo klija i dobro podnosi gradska onečišćenja i pad temperature sve do -20°C , a otporna je na buru i sušu zbog čega i je

najrasprostranjenija na našim područjima. Korijen brnistre je iznimno jak, rasprostranjen i dobro razvijen pa štiti zemlju od erozije i obogaćuje tlo dušikom. Grane su šuplje, jako čvrste, izgleda poput šibe od žutozelene boje do svijetlozelene ovisno o starosti grane. [15]



Slika 17. Brnistra ili žuka (*Spartium junceum*)

5.2 UPOTREBA BRNISTRE

Za razliku od Novog Zelanda i SAD-a gdje se brnistra tretira kao korov kroz povijest na našim obalnim područjima brnistra se najviše koristila kao tekstilna biljka za izradu odjeće i obuće, za izradu mreža, košara i jedara te za izradu grubog platna za pokrivače i vreće. Zbog svoje rasprostranjenosti jedno vrijeme je bila i krmna kultura za ovce i koze, a brala se i za izradu metli kojima su se mele okućnice, gradske ulice i štale. Cvjetovi brnistre su se koristili kao punila za jastuke i madrace, a narodni travari su ih koristili za izradu diuretika i kardiotonika, što danas nije sigurno za korištenje. Zbog svoje jarke žute boje cvjetovi su korišteni za bojanje tkanina i izradu slikarske boje, a intenzivan miris je rezultirao upotrebom za eterična ulja i parfeme. Danas se brnistra uvelike koristi kao dekorativna biljka i živica kod uređenja vrtova, parkova i okućnica. [16]

5.3 SVOJSTVA BRNISTRE

Iz tablice 3 vidimo da brnistra ima najmanju specifičnu masu u odnosu na ostala prirodna vlakna, dok joj je vrijednost vlačne čvrstoće približno ista kao i ostalim prirodnim vlaknima.

Tablica 3. Svojstva prirodnih vlakana[2]

Vrsta vlakana	Specifična masa	Vlačna čvrstoća [MPa]
Brnistra	0.95-1.05	400-750
Lan	1.40-1.52	500-900
Konoplje	1.42-1.54	310-750
Pamuk	1.5-1.6	300-700
Juta	1.44-1.53	320-800
Kenaf	1.4	223-930
Ramija	1.0-1.55	400-1000
Sisal	1.33-1.50	363-700

Grane brnistre sastoje se od dva sloja: vanjskog i unutrašnjeg. Vanjski sloj sadrži dvije vrste žilavih vlaknastih stanica koje su povezane pektinskim lamelama u snopiće koji su vezani ligninom uzduž grančice, a unutarnji dio je krut i drvenast s poroznom sredinom. Izbojci brnistre su jako žilavi i sadrže značajan udio celuloze koja uvelike doprinosi vlačnoj čvrstoći vlakana. [15]

Vlakna brnistre uglavnom su korištena kao tekstilna sirovina, a danas imamo istraživanja koja proučavaju upotrebu vlakana brnistre za ojačanje kompozita. Svojstva kompozita ovise o svojstvima samih vlakana koja ovise o načinu dobivanja istih različitim postupcima obrade. [2]

5.4 PROVEDENA ISTRAŽIVANJA

Autori Juradin S., Boko I., Netinger Grubeša I., Jozić D i Mrakovčić S. su proučavali utjecaj vlakana brnistre na ojačanje cementnog morta. Istraživanje je dovelo do zaključka da su vlakna brnistre pozitivno utjecala na mehanička svojstva cementnog morta i da je

morska maceracija ekonomski i ekološki prihvatljivija opcija obrade vlakana u odnosu na tretman natrijevim hidroksidom (NaOH). [17]

5.4.1 ISTRAŽIVANJE 1: MACERACIJA MORSKOM VODOM I MACERACIJA U 5%-TNOJ KONCENTRACIJI NATRIJEVOG HIDROKSIDA

U ovom istraživanju vlakna brnistre su obrađivana maceracijom u morskoj vodi i maceracijom u 5%-tnoj otopini natrijevog hidroksida.

Ispitivanje utjecaja vlakana na cementni kompozit ispitano je na 31 uzorku cementnog morta ojačanog vlaknima brnistre (tablica 4). Uzorci su rađeni standardnim postupkom EN 196-1:2016. [17]

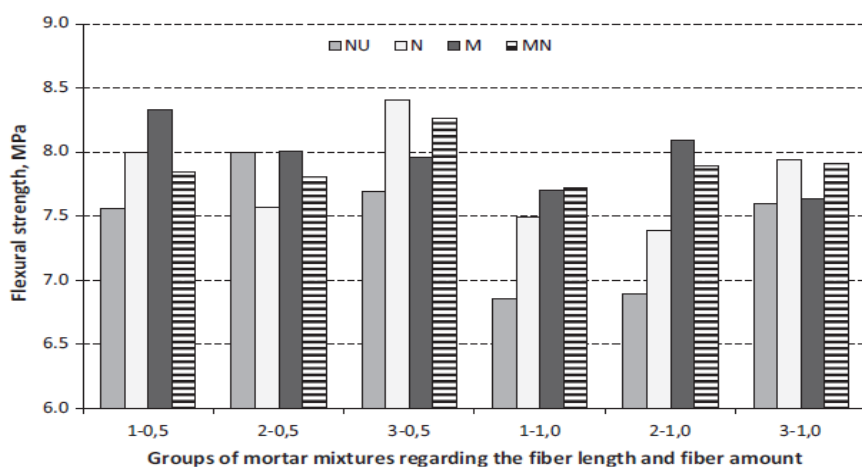
Tablica 4. Sastav svih uzoraka cementne mješavine[17]

Mixtures	Spanish Broom fiber separation methods	Fiber length (cm)	The amount of fibers (% by volume)	Cement (g)	Water (ml)	w/c	Standard quartz sand (g)
E	-	-	-	450	225	0.5	1350
NU1-0,5	Maceration of summer harvesting in 5% NaOH for period of 14 and 15 days	1	0,5				
NU1-1,0			1,0				
NU2-0,5		2	0,5				
NU2-1,0			1,0				
NU3-0,5		3	0,5				
NU3-1,0			1,0				
N1-0,5		Maceration of summer harvesting in 5% NaOH for period of 18 and 19 days	1	0,5			
N1-1,0			1,0				
N2-0,5	2		0,5				
N2-1,0			1,0				
N3-0,5		3	0,5				
N3-1,0			1,0				
M1-0,5		Maceration in sea water during 28 days	1	0,5			
M1-1,0			1,0				
M2-0,5	2		0,5				
M2-1,0			1,0				
M3-0,5		3	0,5				
M3-1,0			1,0				
MN1-0,5		Treatment with 5% NaOH during 7 days after 28 days of maceration in sea water	1	0,5			
MN1-1,0			1,0				
MN2-0,5	2		0,5				
MN2-1,0			1,0				
MN3-0,5		3	0,5				
MN3-1,0			1,0				
NSS1-0,5		Maceration of fall harvesting in 5% NaOH for period of one month	1	0,5			
NSS1-1,0			1,0				
NSS2-0,5	2		0,5				
NSS3-0,5			0,5				
NSS1-0,5	Maceration of fall harvesting in 5% NaOH for period of two month	1	0,5				
NSS1-1,0			1,0				

5.4.2 ISTRAŽIVANJE 1: REZULTATI I RASPRAVA

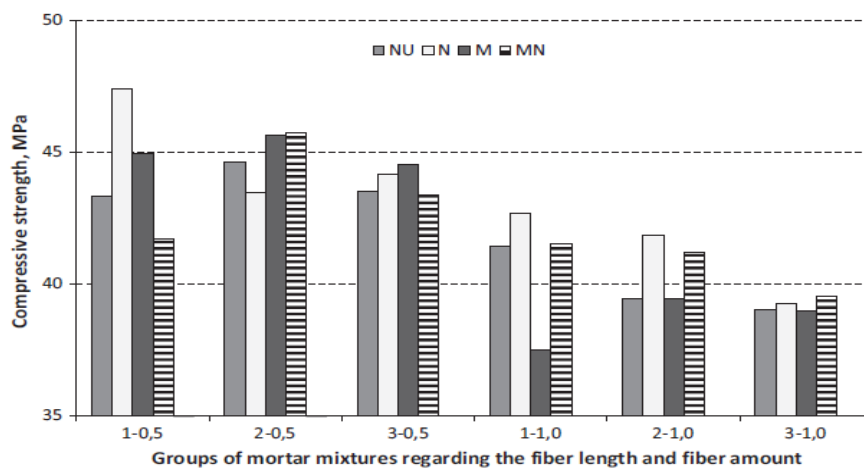
Ispitivanje utjecaja vlakana na mehaničke karakteristike cementnog morta se ispituje za sve mješavine na tri uzorka prizme dimenzija 40X40X160 mm nakon 28 dana.

Dijagram na slici 18. prikazuje savojnu čvrstoću uzoraka mješavina ovisno o udjelu vlakana i njihovoj duljini. [17]



Slika 18. Savojna čvrstoća različitih mješavina morta[17]

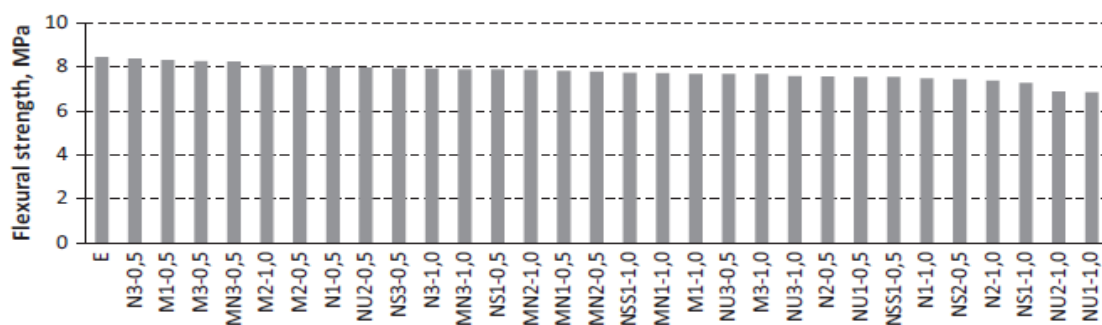
Ispitivanja su pokazala da tlačna čvrstoća ne ovisi o vrsti maceracije, već o duljini vlakana i njihovoj količini u uzorku. Slika 19. prikazuje dijagram tlačnih čvrstoća uzoraka iz kojeg vidimo da najbolju tlačnu čvrstoću postiže uzorak N s vlaknima duljine 10 mm u udjelu od 0.5% ukupnog volumena. Svi uzorci s vlaknima duljine 30 mm u količini od 1.0% ukupnog volumena dali su približne rezultate. [17]



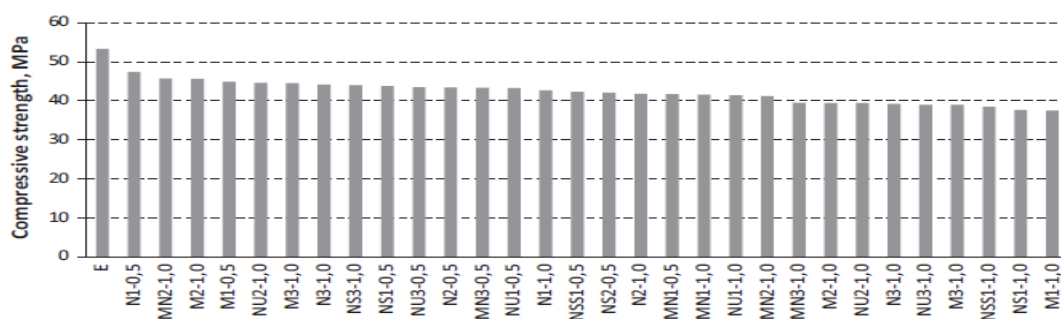
Slika 19. Tlačna čvrstoća različitih mješavina morta[17]

Usporedbom svih dobivenih uzoraka cementnog morta ojačanog vlaknima s etalonom vidimo da nijedan uzorak ne prelazi savojnu i tlačnu čvrstoću etalona i to je prikazano slikama 20. i 21.

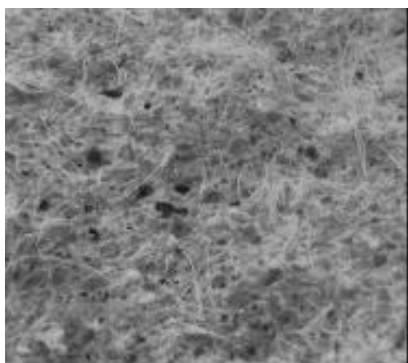
Uzorci sa duljim vlaknima imaju problem u raspodjeli istih jednoliko u kompozitu i zbog toga imaju više pora i šupljina (slika 22) što smanjuje tlačnu čvrstoću. [17]



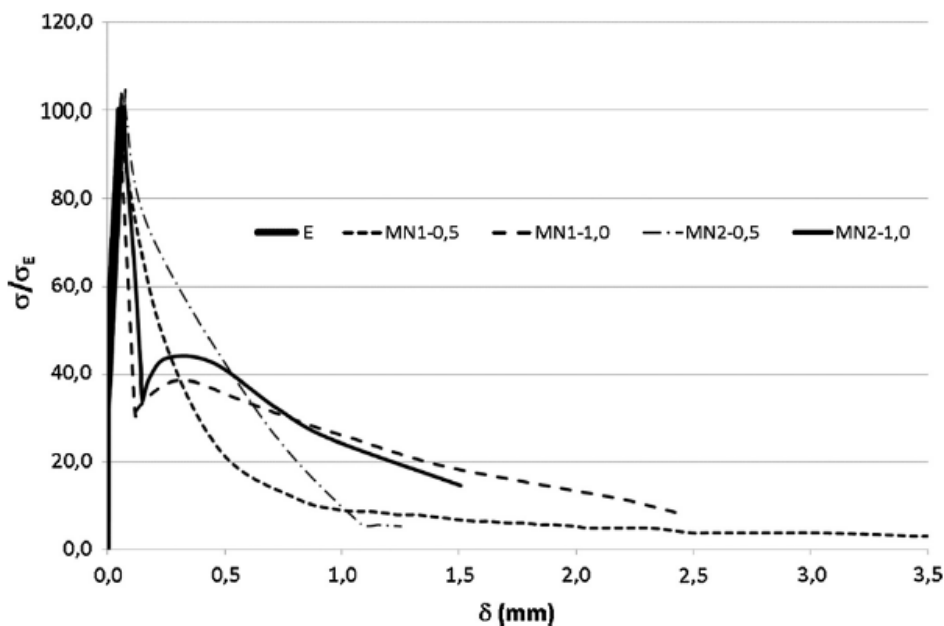
Slika 20. Savojna čvrstoća različitih mješavina morta u usporedbi s etalonom [17]



Slika 21. Tlačna čvrstoća različitih mješavina morta u usporedbi s etalonom [17]



Slika 22. Pore i šupljine na uzorku N3-1.0% [17]



Slika 23. σ/σ_E - δ dijagram[17]

Napravljen je i σ/σ_E - δ dijagram za jednu grupu uzoraka i ovim dijagramom (slika 23) prikazana je glavna bit mikroarmiranja, a to je da uzorci ojačani vlaknima mogu podnijeti opterećenje puno duže prije nego dođe do sloma od uzorka etalona. [17]

5.4.3 ISTRAŽIVANJE 1: ZAKLJUČAK

Morska maceracija se pokazala kao ekološki prihvatljivija i ekonomski isplativija opcija od ostalih kemijskih obrada jer su vlakna obrađena na taj način postigla zadovoljavajuće rezultate.

Vrijeme potapanja vlakana i starost brnistre utječe na rezultate jer su uzorci koji su stali potopljani 15 dana u 5%-tnoj otopini NaOH-a dali lošije rezultate od uzoraka koji su bili potopljani nekoliko dana duže.

Uzorci koji su nakon maceracije bili potopljani u 5%-tnu koncentraciju NaOH-a dali su veću tlačnu čvrstoću u slučaju veće količine vlakana u uzorku.

Jesenska berba se pokazala lošija od ljetne berbe jer su se vlakna teško odvajala i sami rezultati su dali najlošija mehanička svojstva.

Najbolju savojnu čvrstoću su postigli uzorci s vlaknima duljine 30 mm, ali njima pada tlačna čvrstoća.

Uzorci stari 56 dana su dali bolje rezultate savojne i tlačne čvrstoće od etalona, dok je za uzorke stare 28 dana etalon postigao bolje rezultate.

Najbolji rezultati su postignuti na uzorcima sa vlaknima dobivenih ljetnom berbom maceriranih 28 dana u morskoj vodi i 19 dana u 5%-tnoj otopini NaOH-a. [17]

6. EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni dio ima za cilj usporedbu rezultata mehaničkih svojstava na uzorcima cementnog morta s brnistrom, polipropilenskim i staklenim vlaknima. Brnistra je ubrana 2020. godine i obrađena je morskom maceracijom 32 i 55 dana. Za ovo ispitivanje koristila su se vlakna macerirana 32 dana i uspoređivala sa ostalim uzorcima cementnog morta. Uzorci cementnog morta se razlikuju po vrsti vlakana kojim su ojačani, količini vlakana i duljini vlakana. Ispitivanje se izvodilo na 8 mješavina morta od čega je jedna referentna mješavina morta bez vlakana, a ostale mješavine su sa vlaknima različitih vrsta, količina i duljina. Ispitivanja su se vršila po određenim normama.

Oznake uzoraka cementnog morta su:

E – etalon, standardna mješavina morta prema EN-196

PP-0.5 – mort istog sastava kao uzorak E uz dodana polipropilenska vlakna duljine 12 mm u količini od 0.5% od ukupnog volumena

PP-1.0 – mort istog sastava kao uzorak E uz dodana polipropilenska vlakna duljine 12 mm u količini od 1.0% od ukupnog volumena

ST-0.5 – mort istog sastava kao uzorak E uz dodana staklena vlakna duljine 6 mm u količini od 0.5% od ukupnog volumena

M32-0.5 – mort istog sastava kao uzorak E uz dodana vlakna brnistre macerirana 32 dana, duljine 10 mm u količini od 0.5% od ukupnog volumena

M32-1.0 – mort istog sastava kao uzorak E uz dodana vlakna brnistre macerirana 32 dana, duljine 10 mm u količini od 1.0% od ukupnog volumena

M55-0.5 – mort istog sastava kao uzorak E uz dodana vlakna brnistre macerirana 55 dana, duljine 10 mm u količini od 0.5% od ukupnog volumena

M55-1.0 – mort istog sastava kao uzorak E uz dodana vlakna brnistre macerirana 55 dana, duljine 10 mm u količini od 1.0% od ukupnog volumena.

Količina polipropilenskih vlakana od 0.5% od ukupnog volumena iznosi 4.32 g, a od 1.0% od ukupnog volumena 8,64 g. Staklena vlakna su dodana u količini od 12 g što je 0.5% od ukupnog volumena. Količina vlakana brnistre od 0.5% i 1.0% od ukupnog volumena iznosi 4.8 g i 9.6 g vlakana.

Dalje u tekstu je objašnjen postupak izrade mješavina morta, uzoraka, ispitivanja uzoraka te usporedba rezultata i opisani su materijali korišteni za postupak.

6.1 MATERIJALI

Materijali korišteni za izradu uzoraka su materijali potrebni za izradu standardne mješavine morta prema EN-196, a to su cement CEM I 42.5R, standardni pijesak CEN, voda i različita vlakna u različitim količinama za pojedine mješavine.

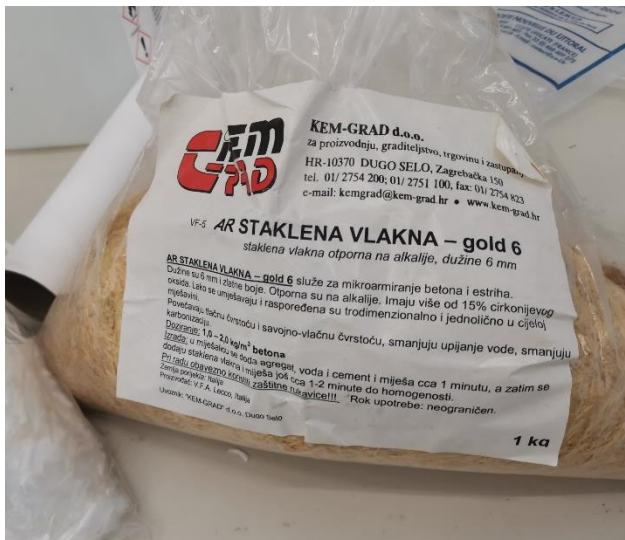
6.1.1 VLAKNA

Brnistra se bere i nakon toga njeni izbojci se režu na određenu duljinu te u snopovima potapaju u more. Maceracija tj. potapanje u more traje 32 ili 55 dana ovisno o uzorku vlakana. Cilj potapanja u more je lakše odvajanje vlakana od drvenaste stabljike i dobivanje vlakana boljih mehaničkih svojstava. Nakon maceracije izbojci se vade iz mora te se vlakna odvajaju od drvenaste stabljike i potom ispiru u vodu i ostave da se suše na sobnoj temperaturi. Za ispitivanje vlakna su rezana na 10 mm (slika 26).



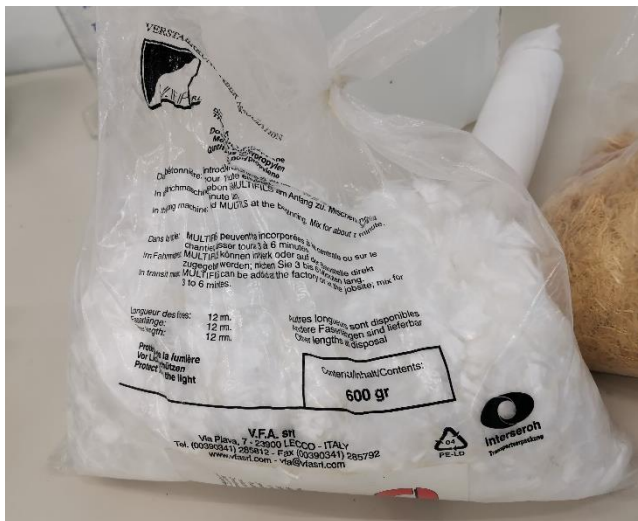
Slika 26. Vlakna brnistre

Staklena vlakna su umjetna vlakna dobivena iz rastaljenog stakla izvlačenjem niti i namatanjem na valjak ili centrifugalnim postupkom uz puhanje stlačenim zrakom. U ispitivanju su korištena vlakna duljine 6 mm (slika 27).



Slika 27. Staklena vlakna duljine 6 mm

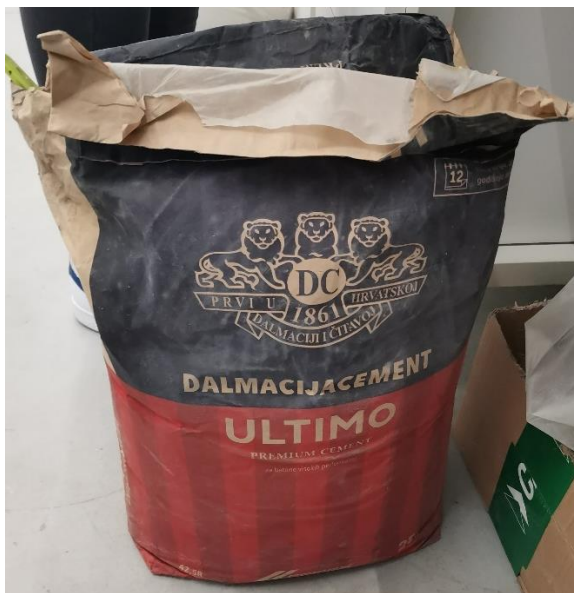
Polipropilenska vlakna su umjetna vlakna u ovom ispitivanju duljine 12 mm (slika 28).



Slika 28. Polipropilenska vlakna duljine 12 mm

6.1.2 CEMENT

U ispitivanju je korišten cement CEM I 42.5R (slika 29), portlandski cement s udjelom 95% - 100% klinkera. Koristi se za opću i specijalnu upotrebu za izradu morta, betona, estriha i žbuke. Za dobru obradivost nije potrebna velika količina vode, u kratkom vremenskom roku postiže iznimno visoku čvrstoću i period vezivanja mu je kratak. [18]



Slika 29. CEM I 42.5R

6.1.3 PIJESAK

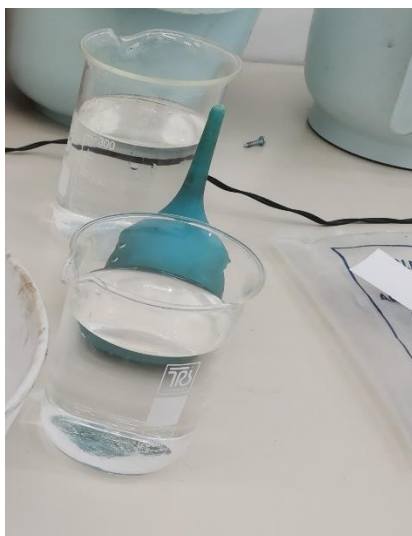
U ispitivanju je korišten standardni pijesak za izradu morta CEN, EN 196 – 1 (slika 30). To je tvornički pijesak koji se pakira u posebnim uvjetima koji garantiraju njegovu kvalitetu. Paket sadrži 1350 g \pm 5 g čistog pijeska uglavnom izometrijskog i zaobljenog oblika. [19]



Slika 30. CEN, EN 196 – 1

6.1.4 VODA

Korištena je čista voda iz slavine (slika 31) koja može sadržavati sitne tvari najčešće iz kanalizacije, industrijskih ispusta ili terena odakle voda istječe i te tvari štetno utječu na mort.[20]



Slika 31. Voda

6.2 IZRADA MORTA

Izrađeno je 8 uzoraka prizmica morta ojačanih vlaknima brniste, staklenim i polipropilenskim vlaknima. Korišten je cement CEM I 42.5R, standardni pijesak CEN, EN 196 – 1 i voda. Omjer sastojaka za dobiti uzorak od 3 prizmice je 450 g cementa, 225 g vode i 1350 g standardnog pijeska (slika 32).



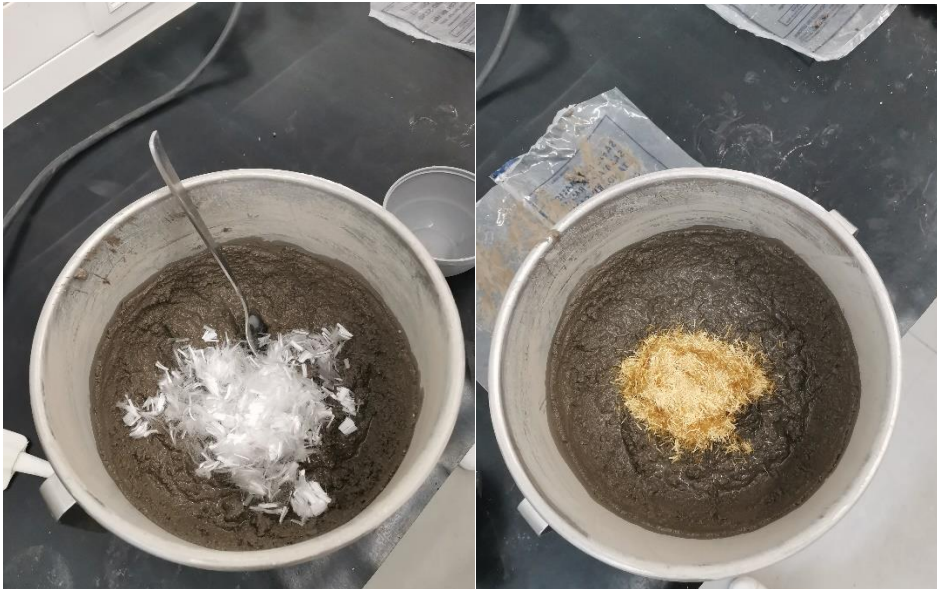
Slika 32. 450 g cementa i 225 g vode za miješanje

Etalon je dobiven miješanjem cementa i vode u standardnoj laboratorijskoj miješalici 30 s (slika 33). Miješanje se nastavlja i postepeno se dodaje pijesak sljedećih 30 s, potom se smjesa brže miješa 30 s, nakon čega slijedi pauza od 90 s i zadnje brzo miješanje od 60 s koje ima cilj što bolje homogenizacije smjese. Ovako dobivena smjesa se vadi iz miješalice i ugrađuje na trodijelni kalup koji stoji na vibracijskom stolu. Oznaka ovog uzorka je E.



Slika 33. Laboratorijska miješalica

Ostali uzorci su dobiveni na način da se cement i voda miješaju u miješalici 30 s, potom se uz miješanje od 30 s postepeno dodaje pijesak i smjesa se još miješa 30 s, nakon čega se posuda sa smjesom vadi iz miješalice. U ovakvu smjesu se dodaju vlakna koja se ručno miješaju kako bi se što ravnomjernije raspodijelila po smjesi (slika 34). Oznake dobivenih uzoraka su PP-0.5, PP-1.0, ST-0.5, M32-0.5, M32-1.0, M55-0.5 i M55-1.0.



Slika 34. Dodavanje vlakana u mort

Uzorci ojačani vlaknima se također ugrađuju u trodijelni kalup i vibriraju na vibracijskom stolu (slika 35).



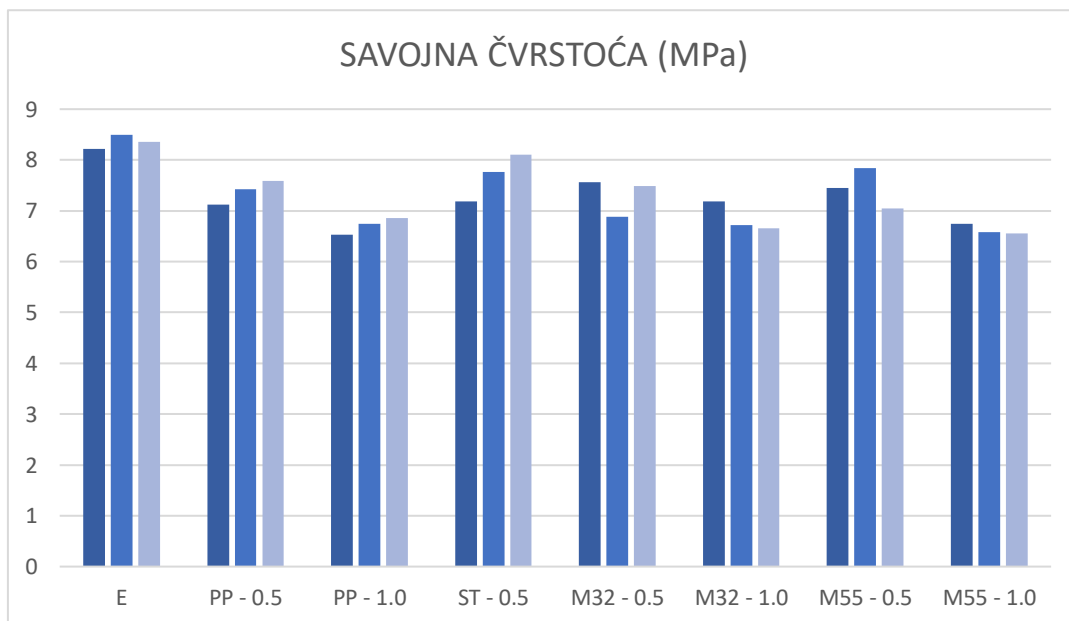
Slika 35. Trodijelni kalup i vibracijski stol

6.3 ISPITIVANJE UZORAKA

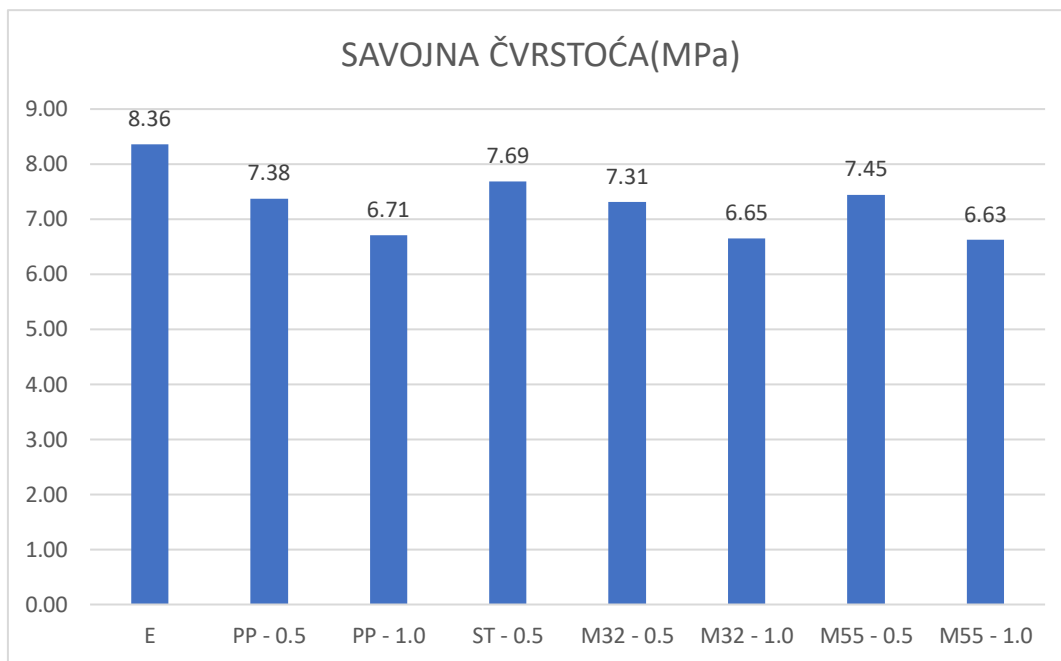
Uzorci morta se ispituju nakon 28 dana od izrade i njege u vodi. Ispitivanje na savijanje i tlačnu čvrstoću se izvodi u hidrauličkoj preši (slika 36). Rezultati su prikazani na dijagramima pojedinačno i dobivene srednje vrijednosti od svakog uzorka (slika 37,38 i 40,41).



Slika 36. Hidraulička preša



Slika 37. Pojedinačne vrijednosti rezultata savojne čvrstoće uzoraka

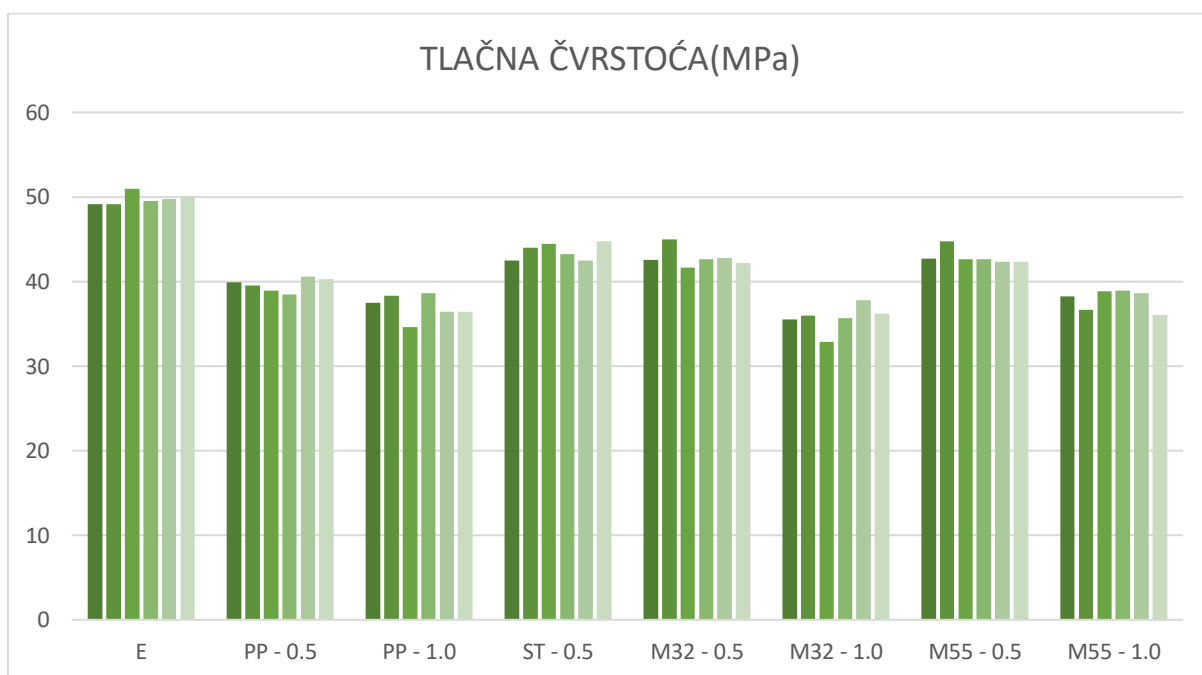


Slika 38. Srednje vrijednosti rezultata savojne čvrstoće uzoraka

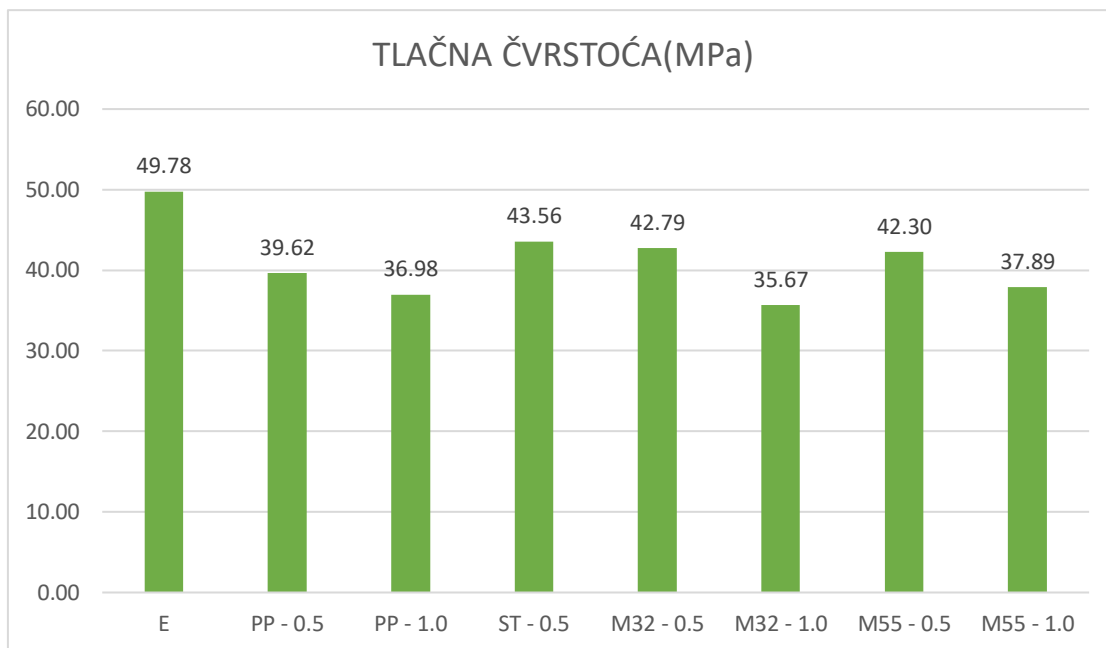
Na dijagramu savojne čvrstoće (slika 38) uočavamo da je najvišu savojnu čvrstoću postigao etalon koja iznosi 8,36 MPa, a svi uzorci koji su ojačani vlaknima su postigli manje vrijednosti. Najlošiji rezultat je postigao uzorak M32 – 1.0 i iznosi 6,65 MPa, a najbližu vrijedost etalonu je postigao uzorak ST – 0.5 od 7,69 MPa. Lošiji rezultat uzorka M32 – 1.0 može biti loša raspodjela vlakana u mortu i lošija ugradba morta pa to uzrokuje pore i šupljine zbog čega uzorak ima manju savojnu čvrstoću (slika 39). Prema slici 38. vidljivo je da uzorci M55-1.0 i PP – 1.0 ima istu vrijednost kao i uzorak M32 – 1.0. Isto tako je vidljivo da su rezultati slični za M i PP uzorke za jednaku količinu vlakana u uzorku. Uzorak ST ima najkraća vlakna, pa je možda i to doprinijelo nešto boljem rezultatu. Uzorci ojačani vlaknima se pri slomu ne odvajaju lako sami već ih je potrebno ručno odvojiti zbog vlakana koja povećavaju žilavost.



Slika 39. Presjek uzorka M32 – 1.0



Slika 40. Pojedinačne vrijednosti rezultata tlačne čvrstoće uzoraka



Slika 41. Srednje vrijednosti rezultata tlačne čvrstoće uzoraka

Iz dijagrama tlačne čvrstoće (slika 41) jasno je da etalon postiže najveću tlačnu čvrstoću koja iznosi 49,78 MPa. Najbližu vrijednost etalonu postiže uzorak ST – 0.5 i ona iznosi 43,56 MPa, a najnižu vrijednost postiže ponovo uzorak M32 – 1.0 u iznosu od 35,67 MPa. Sa dijagrama je vidljivo da općenito uzorci sa većim udjelom vlakana od 1.0% ukupnog volumena postižu znatno lošije rezultate od istih uzoraka sa 0.5% vlakana od ukupnog volumena, a to se događa zbog toga što se veća količina vlakana teže jednolike rasporede i to izaziva lošu kontaktnu zonu matrice i vlakana i samim time i manju tlačnu čvrstoću.

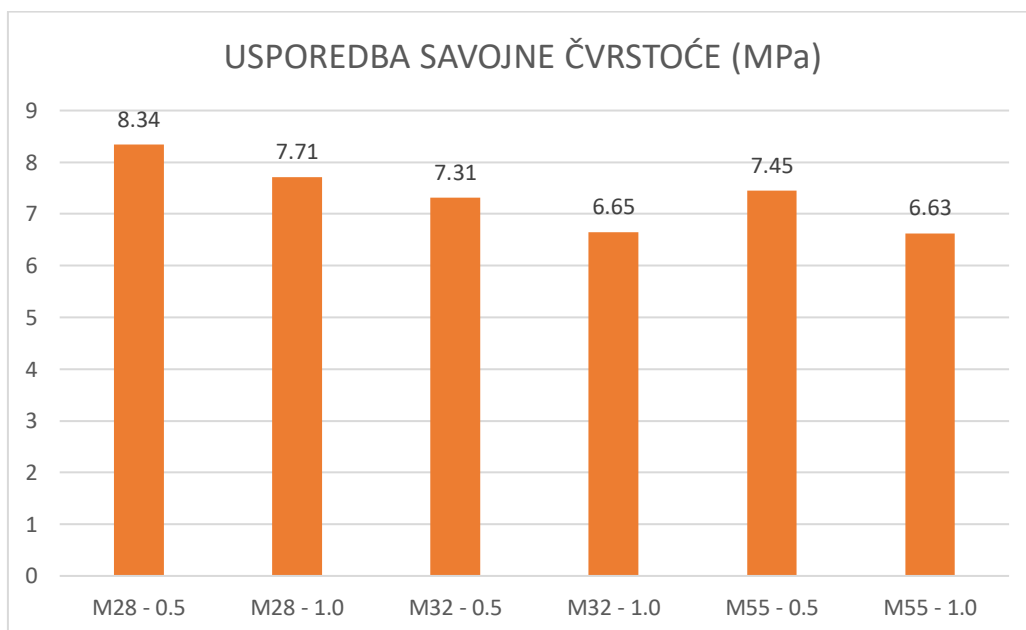
Usporedbom rezultata s obzirom na vrijeme morske maceracije najbolji rezultat je postigao uzorak obrađivan 55 dana u morskoj vodi M55 – 0.5 i iznosi 7,45 MPa, a najlošiji rezultat je postigao uzorak obrađivan 32 dana M32 – 1.0 u iznosu od 6,65 MPa (slika 38).

Dijagram (slika 41) usporedbe tlačnih čvrstoća uzoraka pokazuje da je najbolji rezultat postigao uzorak maceriran 32 dana u morskoj vodi M32 – 0.5 u iznosu 42,79 MPa, a najlošiji M32 – 1.0 iznosa 35,67 MPa. Prema slikama, vidi se da broj dana čuvanja brniste u moru ne utječe na dobivene rezultate.

6.4 USPOREDBA REZULTATA UZORAKA SA REZULTATIMA PRIJAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

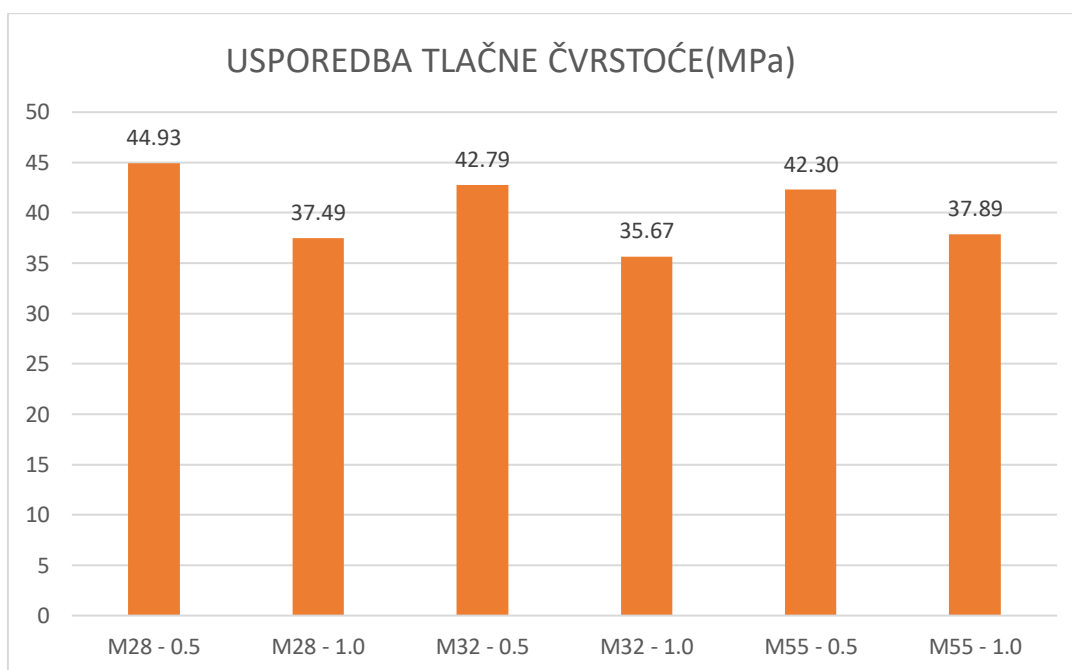
Dijagram (slika 42 i 43) prikazuju usporedbu rezultata dobivenih ovim istraživanjem sa rezultatima dobivenim istraživanjem morta sa vlaknima brnistre iz berbe 2017-te godine koji su obrađeni 28 dana morskou maceracijom.

Najbolji rezultat savojne čvrstoće je postigao uzorak M28 – 0.5 iznosa 8,34 MPa, a najlošiji rezultat je dao uzorak M32 – 1.0 iznosa 6,65 MPa. Sa dijagrama je vidljivo da su svi rezultati istraživanja niži od rezultata cementnog morta sa izbojcima koji su tretirani 28 dana. Razlog tome može biti godina berbe biljke i uvjeti rasta biljke što utječe na kvalitetu vlakna ili broj dana tretiranja izbojaka u morskou vodi. Ovim ispitivanjem je utvrđeno da je povoljnije tretirati izbojke 28 dana, a ne 32 i 55 dana, ali bi za ovakav zaključak trebalo uključiti i dodatna ispitivanja.



Slika 42. Usporedba savojne čvrstoće sa prijašnjim ispitivanjem

Iz dijagrama (slika 43) vidljivo je da najbolju tlačnu čvrstoću postiže uzorak tretiran 28 dana u morskoj vodi M28 – 0.5 i iznosi 44,93 MPa, a najlošiji rezultat opet daje uzorak tretiran 32 dana u morskoj vodi M32 – 1.0 u iznosu 35,67 MPa. Tlačne čvrstoće uzoraka sa udjelom vlakana 0.5% od ukupnog volumena daju približno iste rezultate bez obzira na vrijeme morske maceracije. Također uzorci sa udjelom vlakana 1.0% od ukupnog volumena imaju približno iste vrijednosti tlačne čvrstoće pa zaključujemo da za tlačnu čvrstoću nije bitno vrijeme obrade vlakana u morskoj vodi već sama količina vlakana u uzorku, kao i kvaliteta ugradnje uzoraka.



Slika 43. Usporedba tlačne čvrstoće sa prijašnjim ispitivanjem

7. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme sve je veća upotreba prirodnih vlakana u odnosu na umjetna zbog ekoloških i ekonomskih razloga. Za ovo ispitivanje korištena su vlakna brnistre u usporedbi sa polipropilenskim i staklenim vlaknima.

Brnistra je mediteranska biljka široko rasprostranjena na našim područjima koja dobro podnosi gradska onečišćenja, sušu, buru i niske temperature. U prošlosti je korištena za izradu pokrivača, torbi, jedara, užadi, cipela, parfema i eteričnih ulja, dok se u današnje vrijeme najviše koristi u tekstilnoj industriji ipak lagano probija svoj put u kompozitne materijale za građevinarstvo.

Vlakna brnistre za ovaj rad su tretirana morskim tretmanom 32 i 55 dana i dodavana su u cementni mort u količini od 0.5% i 1.0 % od ukupnog volumena.

Uzorci s vlaknima dali su niže rezultate savojne i tlačne čvrstoće od uzorka etalona. Najbliži rezultat savojne i tlačne čvrstoće je postigao uzorak sa staklenim vlaknima u količini 0.5% od ukupnog volumena, a najniži rezultat je postigao uzorak sa vlaknima brnistre maceriranim 32 dana u količini od 1.0% od ukupnog volumena. Sličnu vrijednost imaju i uzorci sa PP vlaknima i vlaknima tretiranim 55 dana u moru. Uzorci sa udjelom vlakana od 1.0% su postizali lošije rezultate jer se vlakna kada ih ima više ne mogu dobro rasporediti po smjesi i time sprječavaju stvaranje kontaktne zone između matrice i vlakana. Za vrijeme ispitivanja uočeno je da uzorci sa vlaknima nakon ispitivanja savijanja ne pucaju sami na dva dijela kao etalon nego ih u većini slučajeva treba ručno odvojiti što pokazuje da su takvi uzorci žilaviji.

Usporedbom rezultata koje su postigli uzorci sa vlaknima brnistre ovisno o vremenskom periodu obrade vidimo da najbolje rezultate za savojnu čvrstoću postižu uzorci sa vlaknima u količini 0.5% od ukupnog volumena macerirani 55 dana u morskoj vodi, dok za tlačnu čvrstoću najbolji rezultat postižu uzorci sa vlaknima u količini od 0.5% od ukupnog volumena obrađivani 32 dana u morskoj vodi.

Usporedbom rezultata dobivenih ovim istraživanjem na uzorcima tretiranim 32 i 55 dana u morskoj vodi sa rezultatima prijašnjeg istraživanja na uzorcima tretiranim 28 dana u morskoj vodi uočavamo da je za savojnu čvrstoću najpovoljnija obrada vlakana od 28 dana, dok kod tlačne čvrstoće vrijeme obrade ne utječe na rezultate nego količina vlakana. Uzorci s većom količinom vlakana u smjesi cementnog morta daju manju tlačnu čvrstoću

jer se vlakna ne mogu jednoliko rasporediti što loše utječe na kontaktnu zonu između matrice i vlakana.

Dobiveni rezultati ovise o mnogim faktorima kao što su sama berba brnistre, njega izbojaka, vrijeme potapanja u morskoj vodi, ispiranje vodom nakon potapanja u morskoj vodi, duljini rezanja vlakana i samoj količini vlakana u smjesi morta te raspodjeli vlakana u smjesi cementnog morta. Budući da je morska maceracija ekološki i ekonomski prihvatljiv postupak obrade vlakana, lokalno pristupačan i sigurniji postupak od kemijskih postupaka rezultati dobiveni ispitivanjem opravdavaju njegovu sve širu primjenu za obradu vlakana.

8. LITERATURA:

1. Harapin A., Radnić J., Grgić N., Smilović Zulim M., Sunara M., Buzov A.: Osnove betonskih konstrukcija
2. Juradin S., Boko I.: Mogućnost ojačanja cementnog kompozita vlaknima brnistre
3. GFOS: Predavanje-Betoni- posebnih- namjena-3.pdf Mikroarmirani beton, 2017./18.
4. <https://theconstructor.org/concrete/fiber-reinforced-concrete/150/>
5. <https://unionquarries.com/fiber-reinforced-concrete-advantages-disadvantages/>
6. https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/05_PBT_Mikroarmirani_beton_MS.pdf
7. https://hr2.wiki/wiki/Cellulose_fiber
8. Ribarović E.:Diplomski rad;Utjecaj trajanja morske maceracije na kvalitetu vlakana brnistre
9. <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=65055>
10. Campilho R.D.S.G.: Natural fibers composites, 2016, by Taylor and Francis Group,LLC
11. Yousif B.F.,Orupabo C.,Azwa Z.N.: Characteristics of kenaf fibers immersed in different solutions, Journal of Natural Fibers, 9:207–218, 2012 , DOI: 10.1080/15440478.2012.733149
12. Ishak M.R., Leman Z., Sapuan S.M., Salleh M.Y., Misri S.: The effect of sea water treatment on the impact and flexural strength of sugar palm fiber reinforced epoxy composites, International Journal of Mechanical and Materials Engineering · December 2009
13. <https://hr.thpanorama.com/articles/qumica/sulfito-de-sodio-na2so3-estructura-propiedades-usos.html>
14. <https://www.agroklub.com/hortikultura/brnistra-mahunarka-od-koje-su-se-radili-konopi/26931/>
15. <https://www.plantea.com.hr/brnistra/>
16. Pamuković A., Dorbić B. i Radeljak M.: Istraživanje mogućnosti primjene brnistre i njenih proizvoda na području srednje Dalmacije
17. Juradin S., Boko I., Netinger Grubeša I., Jozić D, Mrakovčić S.: Influence of harvesting time and maceration method of Spanish Broom(*Spartium junceum* L.) fibers on

mechanical properties reinforced cement mortar, Construction and building materials 225 (2019.) 243-255

18. <https://www.cemex.hr/dalmacijacement-ultimo>

19. <https://www.standard-sand.com/en/standard-sand-cen-en-196-1-2/>

20. Juradin S.: Predavanje – Voda - Građevinski materijali I