

Mladi za napredek Maribora 2017

34. srečanje

**MEHANSKE RAZISKAVE VLAKEN INDUSTRIJSKE KONOPLJE**

Raziskovalno področje: Gradbeništvo, Arhitektura

Raziskovalna naloga

Avtor: LUKA GAŠPARIČ  
Mentor: GORAZD ŽIBERNA, ANDREJ IVANIČ  
Šola: II. GIMNAZIJA MARIBOR

Maribor, januar 2017

Mladi za napredek Maribora 2017

34. srečanje

**MEHANSKE RAZISKAVE VLAKEN INDUSTRIJSKE KONOPLJE**

Raziskovalno področje: Gradbeništvo, Arhitektura

Raziskovalna naloga

Maribor, januar 2017

# KAZALO

POVZETEK .....	3
1. KONOPLJA KOT GRADBENI MATERIAL .....	5
1.1 Uvod .....	5
1.2 Splošno o vlaknih konoplje .....	6
1.3 Proizvodnja in postopek pridobivanja konopljinih vlaken .....	8
1.4 Struktura konopljinih vlaken .....	9
1.5 Mehansko fizikalne lastnosti konopljinih vlaken .....	12
1.6 Gradbeni izdelki iz industrijske konoplje .....	12
1.6.1 Vlaknene in vezane plošče .....	12
1.6.2 Vlaknene plošče .....	13
1.6.3 Konopljina izolacija .....	13
1.6.4 Konopljin beton .....	14
2. EKSPERIMENTALNO DELO .....	18
2.1 Uvod .....	18
2.2 Uporabljeni materiali .....	18
2.2.1 Kremenov pesek .....	18
2.2.2 Cement .....	19
2.2.3 Voda .....	20
2.2.4 Konopljina vlakna .....	21
2.3 Priprava preizkusnih vzorcev .....	22
2.3.1 Vzorci za natezni preizkus .....	22
2.3.2 Vzorci za preizkus puljenja .....	23
2.4 Eksperimentalne metode .....	25
2.4.1 Natezni preizkus .....	25
2.4.2 Preizkus puljenja .....	27
3. REZULTATI IN RAZPRAVA .....	29
3.1 Natezni preizkus .....	29
3.2 Preizkus puljenja .....	30
4. ZAKLJUČEK .....	34
5. DRUŽBENA ODGOVORNOST .....	35
6. UPORABLJENA LITERATURA .....	36

## Kazalo slik:

Slika 1: Industrijska konoplja ( <i>Cannabis sativa</i> ).....	5
Slika 2: Indijska konoplja ( <i>Cannabis sativa</i> ).....	5
Slika 3: Konoplja, ki izhaja iz Rusije ( <i>Cannabis ruderalis</i> ) .....	6
Slika 4: Konopljina vlakna pod povečavo .....	9
Slika 5: Raznolikost uporabe konoplje.....	10
Slika 6: Žetev konoplje.....	10
Slika 7: Mehansko trenje konopljinih stebel v konopljarni na Vranskem .....	11
Slika 8: Uporaba konopljine izolacije.....	13
Slika 9: Beton pred vgradnjo .....	14
Slika 10: Sušen in sesekljan pezdir .....	14
Slika 11: Nosilni konopljini zidaki .....	15
Slika 12: Nosilni paneli z dodano glino .....	16
Slika 13: Vlakna konoplje pripravljena za preizkus.....	21
Slika 14: Ločevanje vlaken konoplje za preizkus .....	22
Slika 15: Priprava vzorcev dolžine 150 mm .....	23
Slika 16: Izdelani kalupi, pripravljene na vgrajevanje betona ter vlaken .....	24
Slika 17: Preizkušanci v kalupih pred in tik po vgraditvi.....	24
Slika 18: Razkalupljeni preizkušanci .....	25
Slika 19: Preizkuševalna naprava ZwickRoell Z010.....	26
Slika 20: Enostranski preizkus puljenja .....	27
Slika 21: Postavitev enostranskega preizkusa puljenja .....	28
Slika 22: Krivulje odvisnosti med natezno silo in pripadajočo deformacijo .....	29
Slika 23: Rezultati puljenja pri vseh dolžinah vpetja vlaken.....	31
Slika 24: Graf preizkusa puljenja pri dolžini vpetja 10 mm .....	31
Slika 25: Graf preizkusa puljenja pri dolžini vpetja 20 mm .....	32
Slika 26: Graf preizkusa puljenja pri dolžini vpetja 30 mm .....	32
Slika 27: Graf preizkusa puljenja pri dolžini vpetja 40 mm .....	33

## Kazalo preglednic:

Preglednica 1: Mineraloški podatki kremenovega peska (Kema Puconci).....	19
Preglednica 2: Tehnične lastnosti cementa.....	20
Preglednica 3: Prikaz razporeditve preizkušancev v razrede do dolžini.....	24
Preglednica 4: Tabelarični prikaz parametrov izvedenih nateznih testov.....	30
Preglednica 5: Vrednost sil izpuljenja pri starosti 14 dni.....	30

## POVZETEK

Ljudje s svojimi dejanji v veliki meri vplivamo na prihodnost našega planeta. Zavedati se moramo, da je zgolj od nas odvisno naše okolje in pripravljene moramo biti pravilno ravnati in vlagati, da s svojimi dejanji čim manj vplivamo na okolje. V razvitih državah so se že bistveno zavzeli za trajnostni razvoj, ukvarjajo se z iskanjem rešitev za visoko zmogljive gradnje z uporabo materialov predvsem naravnega izvora, kot so bambus, juta, slama, konoplja, lan. Te surovine so kot gradbene materiale uporabljali že v zgodnjih obdobjih človeške civilizacije. Sodobni razvoj pa temelji na izpopolnjevanju kvalitetne uporabe le teh.

V zadnjih letih so pod drobnogled mnogih raziskav vzeta naravna vlakna, ki bi lahko služila kot alternativa obstoječim predvsem sintetičnim vlaknom v gradbeni industriji. Ker imajo takšna naravna vlakna nizek vpliv na okolje, kakor v proizvodnji kot tudi v fazi odstranjevanja, predstavljajo pomemben trajnostni material v gradbeni stroki. Uporaba celuloznih vlaken kot armature v kompozitnih gradbenih materialih ponuja veliko prednosti pred sintetičnimi vlakni, kot so majhna gostota, primerljivo dobre mehansko fizikalne lastnosti in dobra biološka razgradljivost. Slabost naravnih vlaken pa je predvsem velika absorpcija vlage in degradacija materiala v alkalnih okoljih.

V raziskovalni nalogi je obravnavana predpostavka, da se lahko kot armatura v kompozitih s cementno matrico uporabljajo kontinuirana vlakna industrijske konoplje. Glavna parametra kvalitete vlaken sta njihova natezna trdnost in modul elastičnosti, katera smo v laboratoriju določili po standardiziranih postopkih. Mehansko fizikalne lastnosti kompozitov so v veliki meri odvisne od kvalitete vpetja vlaken v matrici. V ta namen smo konopljinna vlakna z različnimi dolžinami vpetja vgradili v preizkušance iz cementne malte, kvaliteto vpetja pa smo ocenili na podlagi rezultatov preizkusa puljenja vlaken iz matrice.

Raziskovali smo:

- sestavo, pridelavo in načine uporabe industrijske konoplje,
- gradbene izdelke iz industrijske konoplje,
- mehansko fizikalne lastnosti konopljinih vlaken in njihovo obnašanje v cementnih materialih.

Postavili smo naslednjo hipotezo:

1. Kot armatura v kompozitih s cementno matrico se lahko uporabljajo kontinuirana vlakna industrijske konoplje.
2. Uporaba celuloznih vlaken kot armature v kompozitnih gradbenih materialih ponuja veliko prednosti pred sintetičnimi vlakni.
3. Naravna vlakna služijo kot trajnostna alternativa uveljavljenim sintetičnim vlaknom v gradbeni industriji.

Na začetku raziskovalne naloge sem obdelal zgodovino pridelave in uporabe industrijske konoplje, sodobno proizvodnjo in postopek pridobivanja konopljinih vlaken ter gradbenih izdelkov iz industrijske konoplje, in šele, ko sem se seznanil s teorijo, sem prešel na eksperimentalni raziskovalni del. Teoretične rezultate raziskave sem pridobil s študijem virov na svetovnem spletu, z intervjuji, iz strokovnih poročil in ustnih virov, medtem ko sem rezultate mehanskih raziskav vlaken industrijske konoplje pridobil z eksperimentalnim delom v laboratoriju. Rezultati so primerljivi z izsledki iz obstoječe znanstvene literature, s tem je bila tudi potrjena postavljena hipoteza.

# 1. KONOPLJA KOT GRADBENI MATERIAL

## 1.1 Uvod

Na Slikah od 1 do 3 so prikazane najpogostejše in najbolj znane vrste konoplje.



**Slika 1:** Industrijska konoplja (*Cannabis sativa*)

(<http://danijelocpek.si/2015/04/21/industrijska-konoplja-ni-bav-bav/>)



**Slika 2:** Indijska konoplja (*Cannabis sativa*)

([http://www.diffen.com/difference/Cannabis\\_indica\\_vs\\_Cannabis\\_sativa](http://www.diffen.com/difference/Cannabis_indica_vs_Cannabis_sativa))



**Slika 3:** Konoplja, ki izhaja iz Rusije (*Cannabis ruderalis*)

(<http://herb.co/2016/08/18/cannabis-ruderalis/>)

Najstarejše najdišče konopljinih izdelkov oz. izdelkov, ki so vsebovali določene dele iz konoplje, izvira iz obdobja pred 12.000 leti na območju sedanje Kitajske. Vsebuje ostanke preprostih peščenih loncev, katerih površino so krasili vzorci konopljenih trakov, poleg njih pa so odkrili še kamnite tolkače, s katerimi so trli konopljo. V mlajšem najdišču iz obdobja okoli leta 4000 pr. n. š., ravno tako na Kitajskem, so našli dokaze o tkaninah iz konoplje in svile, v najdišču iz obdobja od leta 1400 do 1100 pr. n. š. pa so odkrili ostanke delavnic za tkanje konoplje, nekaj kosov ožgane konopljene tkanine in drugo. V grobiščih Čou pri Šincunu so odkrili več kot tisoč pogrebnih predmetov. Na popisu so se poleg zlata, žada, marmorja, svile, laka in drugih dragocenosti znašli tudi izdelki iz konoplje. V starodavni Kitajski so bili denimo vojaki zaščiteni z oklepi iz konoplje, streljali so z loki s konopljenimi tetivami, konopljo pa so nasadili okoli vsakega plemiškega gradu, da bi utrdili zemljišče. Vse od leta 1930 pa je bilo čutiti poskuse, da bi ljudem vcepili prepričanje, da konoplja ni nič drugega kot »hudičeva zel zakoreninjena v peklu«.

([https://en.wikipedia.org/wiki/Cannabis\\_%28drug%29 ...](https://en.wikipedia.org/wiki/Cannabis_%28drug%29...))

## **1.2 Splošno o vlaknih konoplje**

Vlakno konoplje je naravno vlakno. Naravna vlakna imajo pozitivne lastnosti, saj absorbirajo več ogljikovega dioksida, kot ga proizvedejo, ter so biološko popolnoma razgradljiva. In ti dve lastnosti predstavljata prednost pred uporabo sintetičnih vlaken. Za pridelavo tone surovine



porabi industrijska konoplja najmanj energije, če jo primerjamo z ostalimi neobnovljivimi umetnimi materiali. Sama razgradnja naravnih vlaken nima škodljivih vplivov na okolje, medtem imajo sintetični materiali v procesu deponiranja in recikliranja velike in tudi škodljive vplive na okolje.

Industrijska konoplja se prideluje zaradi pridobivanja vlaken, semen, moke ter olja. Spada med rastline iz družine imenovane *Cannabis sativa*. Zaradi podobne oblike listov se pogosto zamenjuje z marihuano, ki je vrsta konoplje, katera vsebuje psihoaktivne substance in se smatra kot prepovedana droga. Čeprav sta obe rastline iz vrst konoplje, industrijska konoplja praktično ne vsebuje delta 9 tetrahidrokanabinola, oziroma krajše, THC – substance, katera je psihoaktivna, saj je njen delež manjši kot 1 %.

Konoplja je vlaknasta rastlina, podobna lanu, juti in ramiji. Na zunanem delu peclja ima dolga tanka primarna vlakna. Konoplja lahko uspeva na najrazličnejših področjih, vendar raziskave kažejo, da je najbolj donosna na zemljiščih, kjer sicer dobro uspeva tudi koruza. Zemlja mora biti dobro vodo prepustna, bogata z dušikom in ne sme biti kisla. Konoplja se običajno poseje nekje med začetkom marca in koncem maja in zraste od dva do štiri metre visoko (<http://www.konopko.si/gradbenistvo>).

Kakovostna primarna vlakna se nahajajo okrog votlega, lesnega jedra peclja konoplje. Ta dolga vlakna rastejo po celotni dolžini stebela. Konopljina vlakna imajo podobne značilnosti kot druga ličnata vlakna pridobljena iz lanu, jute in ramije in imajo zelo dobro razmerje med dolžino in trdnostjo vlaken ter odpornost proti mikrobom in plesnijo.

Primarna vlakna so dolga v povprečju do 20 centimetrov. Ta vlakna so lahko stkana, spletena v tekstil in se uporabljajo za oblačila, notranjo opremo, talne obloge, itd. Zaradi njihovih antimikrobnih lastnosti in odpornosti proti plesni so zelo primerne za jadra, platnene strehe in talne obloge. Konopljina vlakna v kombinaciji z volno, bombažem in lanom predstavljajo še kvalitetnejši produkt s povečano vzdržljivostjo, vpojnostjo, zračnostjo, kar je še posebej primerno za tekstilno industrijo, oblačila iz takšnih materialov pa so še posebej vzdržljiva, udobna na dotik in za nošenje.

Vlakna jedra izhajajo iz trdnega, lesu podobnega votlega peclja. So dva krat bolj vpojna kot žagovina. Z lahkoto se mešajo z apnom, v kombinaciji s katerim dobimo močan, lahek beton ali omet izjemnih lastnosti. Visoka vsebnost celuloze pomeni, da se lahko uporabljajo za

izdelavo polimernih materialov. Potrebni je le devetdeset dni, da rastlina dozori, iz nje pa lahko proizvedemo do štirikrat več papirja na hektar v primerjavi z drevesi, katera rabijo tudi do dvajset let, da dozori.

### **1.3 Proizvodnja in postopek pridobivanja konopljinih vlaken**

Za uspešno in donosno gojenje konoplje je najboljša globoka, s humusom in hranili bogata zemlja. Na razvoj rastlin vpliva kislost zemlje, struktura zemlje in njene lastnosti. Konoplja je dobro odporna proti mrazu in lahko prenese do -5 stopinj Celzija. Semena lahko kalijo tudi pri 1-3 stopinje Celzija. Konopljne korenine so sposobne črpati vlago iz globljih plasti zemlje in rastlina za svojo rast potrebuje 14 krat manj vode kot jo potrebuje bombaž. Konoplja lahko na istem polju uspeva več let zapored. Za gojenje konoplje je najbolj ustrezna dobro vodo-prepustna ilovnata zemlja, s pH vrednostjo okrog 6.0. Seveda pa je občutljiva tudi na prevelike količine vode, saj jo lahko poškoduje in zatre v rasti. To velja predvsem za mlade rastline konoplje, za starejše pa je potrebna velika mera vlage, saj jo potrebuje med cvetenjem in zorenjem.

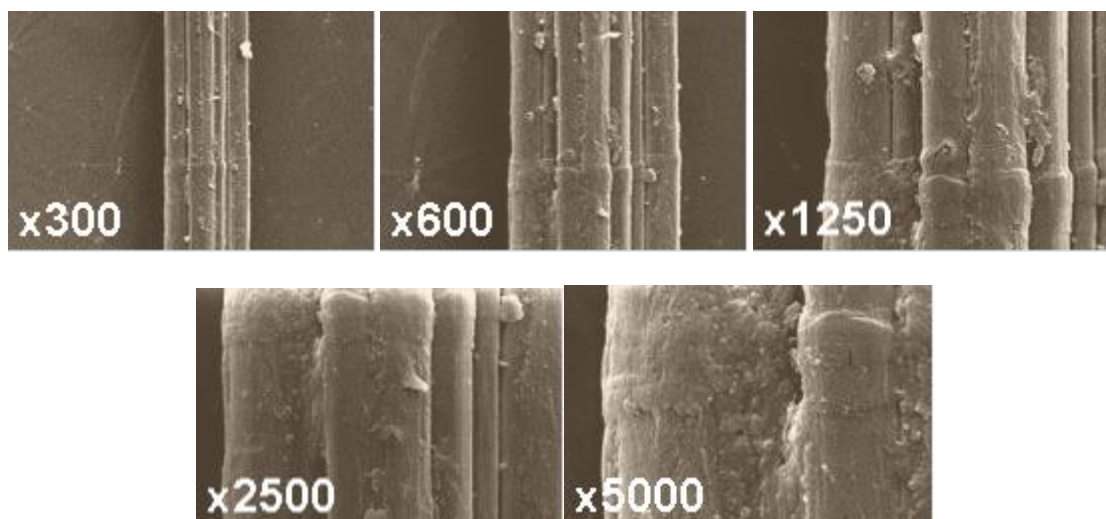
Približno 42 % biomase rastline se vrne na zemljo v obliki listov, korenin in odpadlih vrhov. Te vsebujejo več kot polovico potrebnih hranilnih snovi, ki se uporabljajo za pridelek in bodo pomagale nahraniti naslednji posevek. Če je konoplja posajena v dobro, vodo prepustno in rodovitno zemljo, bo pod optimalnimi pogoji temperature in vlažnosti hitro kalila in dosegla višino nekje do 30 cm v treh do štirih tednih od sajenja. V tej fazi bo zemlji pod sabo nudila 90 % sence, kar bo zaviralo rast plevela, ki brez sonca ne uspeva. Hitrorastoča, gosta konoplja tako ne bo ovirana s plevelom, saj ga preraste in mu ne dovoli nadaljnjega razvoja.

Konopljina vlakna se ločijo od ostalih delov rastline z različnimi postopki. Daljše kot je vlakno, boljša je končna nosilnost. Rastlino najprej mehansko spodrežejo tik nad zemljo, da dobijo največji izkoristek vlaken, katera potekajo od korenin do vrha rastline. Žetev konoplje poteka s pomočjo strojev (Slika 6), lahko pa tudi ročno in se izvaja v času, ko rastlina še ni popolno dozorela. Stebla, katera smo spodrezali oz. odsekali spodaj, se razvrstijo po debelini, dolžini in barvi in se nato zložijo v kopice, da dozori. Tak proces se imenuje sušenje. Ko se konoplja posuši do zadostne mere, se s smukanjem odstranijo posušeni plodovi, smukanje lahko poteka ročno, z ročnim smukalnikom ali pa s pomočjo smukalnih strojev. Če imamo

namen pridelek uporabiti za pridelavo vlaken, se mora nato s postopkom goditve odstraniti nevlaknate dele stebela (Kovač, 2016).

#### 1.4 Struktura konopljinih vlaken

Konoplja ima vretenasto korenino, ki oblikuje nekaj stranskih korenin. Pokončno, zelnato in odlakano steblo se lahko razveji ter glede na ekotip (južni, srednji, severni) doseže višino od 0.5 do 5 m. S starostjo se steblo odebeli, pri južnih ekotipih tja do 5 cm v premeru, in oleseni. Steblo sestavlja 5 do 20 členkov, ki so pri dnu kratki, proti sredini in vrhu pa vse daljši. Po obliki prereza je steblo spodaj okroglo, na sredini šesterokotno, zgoraj kvadratno in izpolnjeno. Na Sliki 4 vidimo konopljina vlakna pod povečavo.



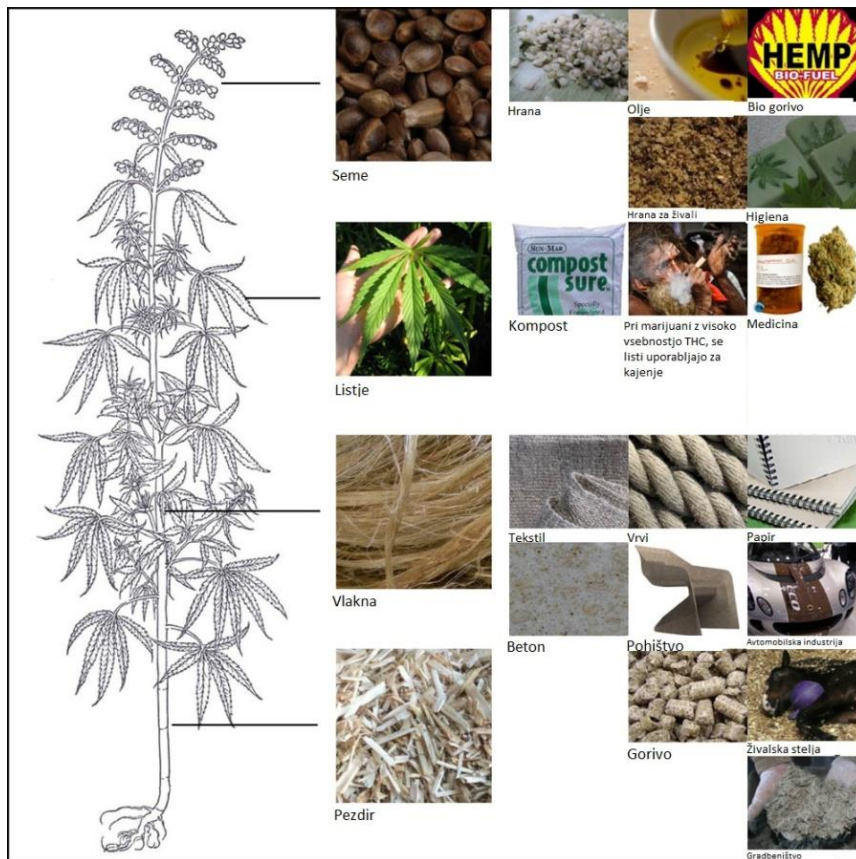
**Slika 4:** Konopljina vlakna pod povečavo (E. Velkavrh, 2010)

Višina, debelina in razvejitev stebela so odvisne od gostote setve (torej namena pridelave – za vlakna ali za seme). Večina sort ima liste sestavljene iz 7-9 lističev, za katere je značilno, da se večinoma nahajajo v sredini rastline. Konopljo lahko uporabljamo za različne produkte. Uporabljamo pa lahko seveda tudi različne komponente konoplje (Slika 5).

Po dolžini se vlakna delijo na:

- kratka (od 20 – 60 cm),
- srednje dolga (od 60 – 90 cm) in
- dolga vlakna (od 90- 150 cm).

Razmerje med dolžino stebila in premerom imenujemo vitkost konoplje.



Slika 5: Raznolikost uporabe konoplje (E. Velkavrh, 2010)



Slika 6: Žetev konoplje (<http://bonatura.si/produkt/K003.2>)

Poznamo več postopkov goditve (t.j. odstranjevanje nevlaknate dele stebela):

- Biološki način, pri katerem se ne dodaja kemikalij, saj se stebela razprostrejo po polju, da se godijo v rosi ali se pa namakajo v topli vodi. Pri tem pomagajo delo opraviti bakterije in glivice.
- Biološki način, kjer dodamo kemikalijo sodo bikarbono in sečnino.
- Biološki način, pri katerem namakamo z zrnatimi bacili *Saccharobutyricus immobilis* B, kar je kvaliteten vendar zelo drag postopek.
- Kemični način s pomočjo žveplove in dušikove kisline ter vodikovega klorida.  
(<http://www.bonatura.si/produkt/K003.2>)

Na kvaliteto goditve vpliva predvsem čas goditve. Da ne bi prišlo do ločevanja elementarnih vlaken, traja goditev nekje med tremi in sedmimi tedni, v tem času se od stebel ločijo le tehnična vlakna. Kemični postopki so praviloma hitrejši, vendar tudi dražji. Če že, se poslužujejo samo tistih, ki dajejo kvalitetnejša vlakna.

Sušenje slame se nato izvaja na prostem, v posebnih pečnicah ali v kanalskih oziroma predalčnih sušilnicah. Nato sledi trenje. Trenje je mehansko predelovanje godenih konopljinih stebel, pri čemer se zlomijo lesena jedra stebel. Z ročnim ali strojnim otepanjem se nato iz vlaken odstranijo odpadli koščki lesa, bolj znanega pod imenom pezdir. Nato se ločijo krajša vlakna od daljših. Sledi postopek česanja oziroma mikanja, s pomočjo katerega se odstranijo še preostali ostanki pezdirja in krajših vlaken. Končni produkt se imenuje tehnična vlakna in so pripravljena za tehnično predenje. Slika 7 prikazuje mehansko trenje konopljinih stebel.



**Slika 7:** Mehansko trenje konopljinih stebel v konopljarni na Vranskem (<http://www.hannah-biz.si/>)

## **1.5 Mehansko fizikalne lastnosti konopljinih vlaken**

Natezna trdnost konopljinih vlaken lahko dosega vrednosti, ki presegajo 800 MPa. Natezna deformacija znaša okoli 1.6 %, medtem ko se Youngov modul giblje med 30 - 70 GPa (Kovač, 2016).

Vzdržljivost ali trajnost naravnih vlaken predstavlja pereč problem pri uporabi takšnih vlaken v kompozitnih sistemih. Okoljski dejavniki lahko znatno vplivajo na spremembe fizikalnih in mehanskih lastnosti naravnih vlaken. Predvsem je problem v anorganskem okolju matrice. Ta lahko znatno poslabša lastnosti vlaken. V primeru cementnega okolja lahko na odpornost vlaken vplivajo različni dejavniki, kot so alkalni napadi, kemijske reakcije zaradi hidracije cementa in variacije volumna vlaken zaradi vpivanja vlage.

Da bi povečali fizikalno odpornost naravnih vlaken v anorganskih matrikah, je bilo predlaganih in raziskanih že več pristopov. Predlagani in testirani so bili tretmaji vlaken s sredstvi za blokiranje alkalnih napadov, kot je natrijev silikat, magnezijev sulfat, železove ali bakrove spojine in drugi. Vendar nobena od teh raziskav ni obrodila posebnih izboljšav na področju lastnosti naravnih vlaken. Toledo (2009) je v raziskavi predlagal uporabo mikrosilike, da bi zmanjšal degradacijo zaradi alkalnih napadov. Bilbo in Arsene (2008) sta naravna vlakna prevlekla s silanom, da bi zmanjšala zunanje napade in nato degradacijo mehanskih lastnosti. Pri konopljinih vlaknih je znano, da se na površju pojavijo hidroksilne skupine, katere zvišujejo hidrofilnost vlaken. Znanost že ima rešitev za ta problem in sicer se je za najprimernejši postopek, izmed vseh kemičnih procesov, kateri so bili testirani, izkazal postopek alkalizacije z natrijevim hidroksidom (Kovač, 2016).

V raziskovalni nalogi smo uporabili surova, neobdelana konopljjina vlakna, da bi dobili čisto sliko o obnašanju vlaken konoplje v cementnih kompozitih, brez kakršnihkoli dodatkov.

## **1.6 Gradbeni izdelki iz industrijske konoplje**

### **1.6.1 Vlaknene in vezane plošče**

Iz konopljjinega pezdirja (sredice stebela) in vlaken se izdelujejo vlaknene in vezane plošče. Kot vezivo je možno uporabiti celulozo iz istega materiala, posledično je produkt 100% ekološki, biorazgradljiv, odporen na insekte in vodoodporen. Za razliko od lesa konoplja v primeru požara ne gori v plamenih, ampak zgolj tli, kar preprečuje širjenje ognja.

### 1.6.2 Vlaknene plošče

Plošče odlikuje finejši in bolj kompakten zunanji sloj ter homogenejša površina, zaradi česar so še posebej primerne v pohištveni industriji za barvanje, lakiranje, furniranje s plemenitimi furnirji, lepljenje laminat-ultrapas plošč in tapiciranje. Uporabljajo se v gradbeništvu za pregrade, zaščito, podkonstrukcije, talne in stenske podloge, ipd.

### 1.6.3 Konopljna izolacija

Se izdeluje iz konopljinih vlaken in predstavlja ekološki nadomestek kamene in steklene volne, ki se uporablja za izolacijo streh in fasad. Toplotno izolativnost materiala dosegamo z zračnimi prostori, ki nastajajo med vlakni. Izolacija iz konoplje je glede toplotne in zvočne izolativnosti primerljiva s kameno volno (toplotna prevodnost 0,040 W/mK), za spoznanje lažja (manjša gostota) in bolj odporna na vlago, ki povečuje toplotno prevodnost materiala. Njena glavna prednost je iz ekološkega vidika – celoten proces izdelave izolacije iz konoplje ima negativen ogljični odtis – upoštevajoč energijo, ki je potrebna za vzgojo rastline in procesiranje, za razliko od npr. kamene volne, ki jo pridobivajo s taljenjem bazalta in diabaza pri 1600 °C. Prav tako je človeku prijaznejša, saj ne vsebuje nobenih umetnih sestavin ali dodatkov, ki bi lahko bili škodljivi (npr. draženje kože in dihal). Pri uporabi konopljne izolacije ne prihaja do nezaželenega posedanja in deformacij zaradi teže (<http://www.konopko.si/gradbenistvo>). Na Sliki 8 vidimo uporabo konopljne izolacije v gradbeništvu.



**Slika 8:** Uporaba konopljne izolacije (vir: <http://www.konopko.si/gradbenistvo>)

#### 1.6.4 Konopljin beton

Konopljin beton je ekološki material, ki ga sestavljajo: konopljin pezdir (sredica konopljinih stebel, ki jo sestavlja pretežno celuloza), apnena mešanica (sestavljena iz gašenega apna, naravnega hidravličnega apna NHL5 in cementa) ter voda. Konopljin beton se večinoma uporablja kot polnilo lesene skeletne konstrukcije, ki je enaka kot pri gradnji montažne hiše (<http://www.konopko.si/gradbenistvo>). Beton pred vgradnjo prikazuje Slika 9, Slika 10 pa prikazuje sušen in sesekljan pezdir.



**Slika 9:** Beton pred vgradnjo (<http://www.konopko.si/gradbenistvo>)



**Slika 10:** Sušen in sesekljan pezdir (<http://www.konopko.si/gradbenistvo>)

Konopljin beton je ekološki material, ki ga sestavljajo:

1. **Konopljin pezdir**(sredica konopljinih stebel, ki jo sestavlja pretežno celuloza), sušen, sesekljan na koščke velikosti do 5 cm (za omete in strojno brizganje se uporabljajo



bolj fina vlakna). Konopljin pezdir je sestavljen iz 37% celuloze, 16,5% hemiceluloze, 21,8% lignina, 5% pektina, 8,9% ekstraktov in 10,8% pepela, kremenca in tanina.

2. **Apnena mešanica**(sestavljena iz gašenega apna, naravnega hidravličnega apna NHL5 in cementa ter eventualno peska za izdelavo notranjih ometov). Gašeno apno  $\text{Ca(OH)}_2$  se pridobiva z dodajanjem vode žganemu apnu  $\text{CaO}$ . Apno po vgradnji ponovno karbonizira (veže  $\text{CO}_2$  iz ozračja) in se spreminja ponovno v apnenec  $\text{CaCO}_3$  ter s tem pridobiva na trdoti.

### 3. **Voda**

Če konopljinemu betonu dodamo večji procent cementa ali glin, dosežemo takšne tlačne trdnosti, da lahko material prevzame nosilno funkcijo objekta. V tem primeru se izdelujejo zidaki in prefabricirane nosilne plošče. Zaradi manjše vsebnosti konoplje je konstrukcija manj izolativna in tako bolj primerna za toplejša podnebja. Slika 11 prikazuje nosilne zidake iz konoplje, Slika 12 pa le-te z dodano glino.

([www.deloindom.si/vrt-zivali/konoplja-vse-prej-kot-le-droga](http://www.deloindom.si/vrt-zivali/konoplja-vse-prej-kot-le-droga))



**Slika 11:** Nosilni konopljini zidaki (z dodanim cementom in magnezijem)

(<http://www.konopko.si/gradbenistvo>)



**Slika12:** Nosilni paneli z dodano glino (<http://www.konopko.si/gradbenistvo>)

Konopljin beton se večinoma uporablja kot polnilo lesene skeletne konstrukcije, ki je enaka kot pri gradnji montažne hiše. V tem primeru je konopljin beton izolacijsko polnilo za stene, strehe in tla, ki ne nosi vertikalnih obremenitev zaradi premajhne tlačne trdnosti, je pa dovolj močan da prevzame horizontalne sile (npr. v primeru potresa), zato dodatna zaščita pred vetrom za konstrukcije ni potrebna (npr. z diagonalami).

Konopljin beton se lahko vgrajuje ročno – okoli stebričev se postavijo opaži, v katere se plast za plastjo narahlo nabija še vlažen material. Za tak pristop ni potrebno posebno orodje, niti pretirano predznanje, pomanjkljivost je le v tem, da je metoda precej zamudna.

V zadnjem času bolj razširjena metoda vgrajevanja konopljinca je s strojnim vbrizgavanjem, pri katerem je potrebna manj veziva, posledično je tudi stena bolj izolativna. Pri vbrizgavanju se sestavine mešajo med samim procesom, obstaja več variacij, običajno iz ene šobe prihaja vezivo (apnena zmes+voda) iz druge pa koščki konopljinca pezdirdja. Za stebri se postavi opaž po celotni višini zidu, nato se z vbrizgavanjem enostransko aplicira, po odstranitvi opaža se postopek ponovi še z druge strani, da stebri ostanejo znotraj konstrukcije.

Gradnja s konopljo ima vpliv tako na lokalno ekonomijo kot tudi na okolje:

- Večino vgrajenega materiala je moč lokalno pridelati (konoplja + les).
- Hiter in enostaven proces gradnje.
- Dolga življenjska doba objektov (na Japonskem stoji objekt iz konopljinca, ki je star že 300 let).

- Nizki stroški gradnje (najbolj v primeru uporabe lastnih – lokalnih surovin).
- Možna je reciklaža, saj je material naravnega izvora in je biorazgradljiv.
- Pozitivni učinki konopljinoga kolobarja na pridelovalnih površinah, ki so izčrpane in zastrupljene od intenzivne uporabe pesticidov in umetnih gnojil.

(<http://konopko.si/gradbenistvo> - članek: Avtor: Sani Okretič Resulbegović)

## **2. EKSPERIMENTALNO DELO**

### **2.1 Uvod**

Betoni, malte in cementi so končni izdelki, ki so proizvedeni na osnovi Portland cementa. Kljub številnim prednostim, ena izmed pglavitnih je seveda visoka tlačna trdnost, pa imajo nekatere pomanjkljivosti, katere je za uporabo v mnogih gradbenih aplikacijah nujno potrebno izboljšati. Poleg velike krhkosti in slabe žilavosti imajo majhno natezno trdnost. Za rešitev večine teh problemov pa lahko uporabimo utrjevalno fazo ali armaturo. Uporabimo lahko številne vrste vlaken, ki se razlikujejo po svojih mehansko fizikalnih ter kemijskih lastnostih in nam omogočijo dosego različnih ciljev in lastnosti končnega kompozitnega sistema. Znano je, da največji prenos napetosti iz matrice na vlakna dosežemo pri utrjevanju s kontinuiranimi vlakni. Tak način armiranja zato velja za najbolj učinkovitega (Ivanič, 2011).

Da bi kompozitni material služil svojemu namenu, ima pglavitno nalogo trdnost vpetja med matrico ter vlakni, ki je tudi ena izmed najpomembnejših lastnosti končnega kompozitnega sistema. Večja kot je trdnost vpetja vlaken v cementni matrici, boljše so mehanske lastnosti kompozita. V raziskovalni nalogi smo eksperimentalno ugotavljali lastnosti vpetja naravnih konopljinih vlaken brez predhodne kemijske obdelave, vgrajenih v cementi matrici. Do rezultatov smo prišli s pomočjo standardnega preizkusa puljenja vlaken na univerzalnem stroju za preizkušanje materialov Zwick-Roell.

Predhodno smo izvedli tudi natezni preizkus na vlaknih, ki je eden najvažnejših statičnih preizkusov na materialih. Z njim pridobimo vrsto osnovnih podatkov, ki so značilni za določeni material (natezno trdnost, mejo plastičnosti, mejo elastičnosti, modul elastičnosti, itd.) in so nujno potrebni za uspešno konstruiranje.

### **2.2 Uporabljeni materiali**

#### **2.2.1 Kremenov pesek**

Za izdelavo preizkušancev smo uporabili kremenov pesek kot agregat, ki v betonski mešanici praviloma zajema do 75 % prostornine. Uporabili smo kremenov pesek zrnivosti 0.063 – 1

mm. Kremenovi peski se pridobivajo iz nahajališč kremenca, ki so posebej izbrani in skrbno nadzorovani, pri pridobivanju pa se uporabljajo procesi za pranje in mokro ločevanje.

S pranjem, separiranjem in flotiranjem pridemo do različnih kvalitete peska. Kremenov pesek se uporablja v proizvodnji belega in obarvanega stekla, proizvodnji frit, vodnega stekla in zeolitov, keramični in gradbeni industriji, kemični industriji, industriji izolacijskega materiala, livarstvu in metalurgiji ter kmetijstvu. Preglednica 1 prikazuje mineraloške podatke uporabljenega kremenovega peska.

### **Preglednica 1:** Mineraloški podatki kremenovega peska

(<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti>)

Zrnavost	0.063-1 mm
Trdota po Mohsu	7
Žaroizguba	< 0.2%
Temperatura sintranja	nad 1500°C
Zmehčišče	nad 1720°C
Prostorninska masa (nasuta)	1320 kg/m <sup>3</sup>
Prostorninska masa zrn	2636 kg/m <sup>3</sup>
Vlaga	do 4%

### **2.2.2 Cement**

Cement je hidravlično vezivo, ki se po reakciji z vodo strdi in veže. Ob tem iz cementne paste nastane trd cementni kamen, ki prenaša visoke tlačne obremenitve in je zato zelo primeren gradbeni material. Najpomembnejši področji uporabe cementa sta proizvodnja malte in betona, kjer je cement uporabljen kot lepilo naravnih ali umetnih agregatov, ki skupaj ustvarijo močan gradbeni material.

Proizvodnja cementa se začne s pridobivanjem surovine v kamnolomu. Najpomembnejši osnovni surovini za proizvodnjo cementa sta apnenec in glina ali njuna naravna mešanica – lapor. Te surovine so zaradi svoje naravne sestave primerne za proizvodnjo cementa. Surovina se pridobiva z miniranjem, nato se drobi, suši ter v pravilnem razmerju zmeša ter fino zmelje, tako da nastane ustrezna surovinska mešanica.

Za pripravo betonske mešanice sem uporabil običajen cement trdnostnega razreda 42.5, katerega tehnične lastnosti prikazuje Preglednica 2.

**Preglednica 2:** Tehnične lastnosti cementa (vir:<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti>)

<b>Bistvena značilnost</b>	<b>Lastnost</b>	<b>Harmonizirana tehnična specifikacija</b>
Oznaka in sestava	CEM II/B-M (W-L) 42.5N	
Čas vezanja [min]	$\geq 60$	
Volumska obstojnost		
- La Chatelier [mm]	$\leq 10$	
-SO <sub>3</sub> [%]	$\leq 3.5$	SIST EN 197-1:2011
Tlačna trdnost		
- začetna [MPa]	$\geq 10.0$	
- končna [MPa]	$\geq 42.5$	
Vsebnost klorida [%]	$\leq 0,10$	

### 2.2.3 Voda

Pri preizkusu je bila obvezna komponenta tudi voda. Voda sodeluje v procesu hidratacije. Hidratacija je proces, pri katerem pride do vezave molekul vode na gradnike nekega topljenca, v tem primeru cementa.

Voda z svojo vsebnostjo ne sme vplivati :

- na potek hidratacije cementa,
- na čas začetka vezanja cementa,
- na končne mehanske lastnosti cementnega kompozita,
- na obstojnost betonskega materiala.

Voda ne sme vsebovati snovi, ki povzročijo korozijo, glinastih delcev, organskih delcev ali delcev oglja. Za nearmirane konstrukcije je sicer ob predpisanih omejitvah dovoljena tudi uporaba morske vode.

Zahteve za primernost vode pri izdelavi betonskih mešanic predpisuje standard SIST EN 1008:2003.

#### **2.2.4 Konopljna vlakna**

Vlakna industrijske konoplje, katera smo uporabili pri eksperimentalnem delu, smo pridobili pri konopljarni podjetja Hannabiz d.o.o.

Konopljna vlakna, ki smo jih dobili, so bila med sabo pomešana, prepletena, različnih dimenzij in debelin, torej popolnoma neobdelana, čista, naravna vlakna (slika 13 in slika 14). Za namene preizkusov sem najprej ločil posamezna vlakna od celotnega s kupa vlaken.



**Slika13:** Vlakna konoplje pripravljena za preizkus (lastni vir)



**Slika 14:** Ločevanje vlaken konoplje za preizkus (lastni vir)

Konopljina vlakna, ki sem jih dobil, so bila močno prepletena, zato sem najprej ločil posamezna vlakna od celotnega kupčka.

## **2.3 Priprava preizkusnih vzorcev**

### **2.3.1 Vzorci za natezni preizkus**

Pred raziskavo sem pregledal vse vzorce konopljinih vlaken. Izločil sem zdrava vlakna, brez vidnih napak. Vlakna sem narezal na dolžino 150 mm, vseh vzorcev sem imel 50 in skupaj so tehtali 0,61 g.

Med delom sem bil pazljiv, da nisem povzročil kakršnih koli poškodb na vlaknih, ki bi lahko vplivale na rezultat preizkusa. Slika 15 prikazuje pripravljene vzorce dolžine 150 mm.





**Slika15:** Priprava vzorcev dolžine 150 mm (lastni vir)

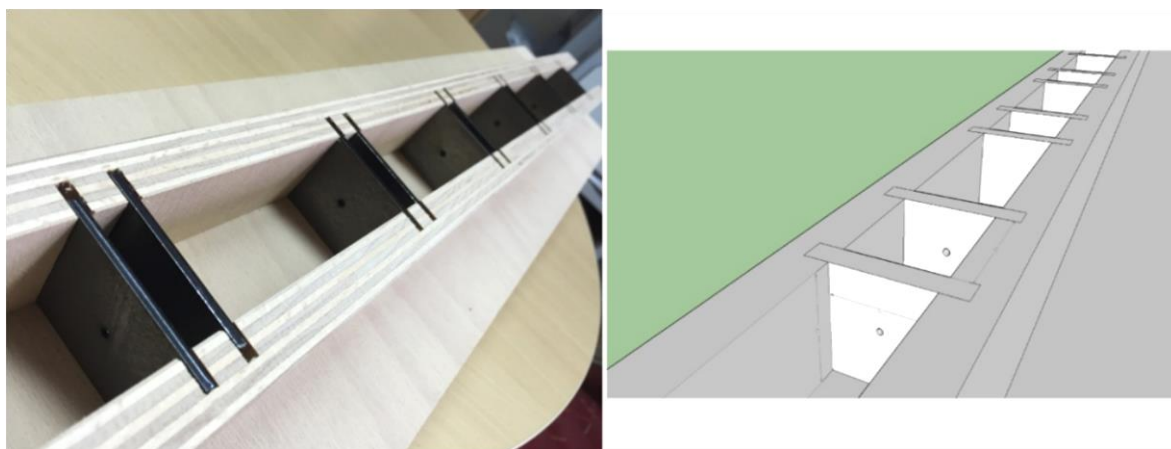
### **2.3.2 Vzorci za preizkus puljenja**

Za preizkus sem izbral vlakna industrijske konoplje popolnoma enake dolžine (150 mm), vsa so bila brez vidnih napak. Pri izdelavi cementnih preizkušancev z vgrajenim vlaknom sem uporabil kalupe, ki so prikazani na Sliki 16. Kalupi so bili pregrajeni s kovinskimi ploščicami. Ploščice so imele točno na sredini izrez v obliki kroga s premerom, podobnim premeru vlaken. To je omogočilo, da smo vlakna vgradili točno v sredino preizkušanca. Drobnozrnati beton je bil pripravljen z vodo-cementnim razmerjem  $W/C = 0.5$  ter z masnim razmerjem vezivo/agregat 1:1. Drugih dodatkov pri izdelavi betonske mešanice nismo uporabili. Betonsko mešanico smo zmešali v laboratorijskem mešalcu.

Izdelava preizkušancev je potekala tako, da smo najprej v vse kalupe vstavili, poravnali ter fiksirali vlakna industrijske konoplje v horizontalni smeri, natančno po sredini kalupa. Vsak model smo nato pazljivo do vrha napolnili z betonsko mešanico (Slika 17). Za vsako dolžino vpetja vlakna v betonsko matrico so bili nato izdelani trije preizkušanci, kar prikazuje Preglednica 3.

**Preglednica 3:** Prikaz razporeditve preizkušancev v razrede do dolžini

Razred	h (mm)	b (mm)	d (mm)	Št. preizkušancev
1	40	40	10	3
2	40	40	20	3
3	40	40	30	3
4	40	40	40	3



**Slika16:** Izdelani kalupi, pripravljeni na vgrajevanje betona ter vlaken (lastni vir)



**Slika17:** Preizkušanci v kalupih pred in tik po vgraditvi (lastni vir)

Preizkušanci so bili po vgraditvi 24 ur pokriti s folijo pri sobni temperaturi. Po 24 urah smo preizkušance odstranili iz kalupa, jih označili ter jih do preiskave hranili v klimatski komori pri konstantni temperaturi + 20 °C in relativni vlažnosti 98 % (Slika 18).

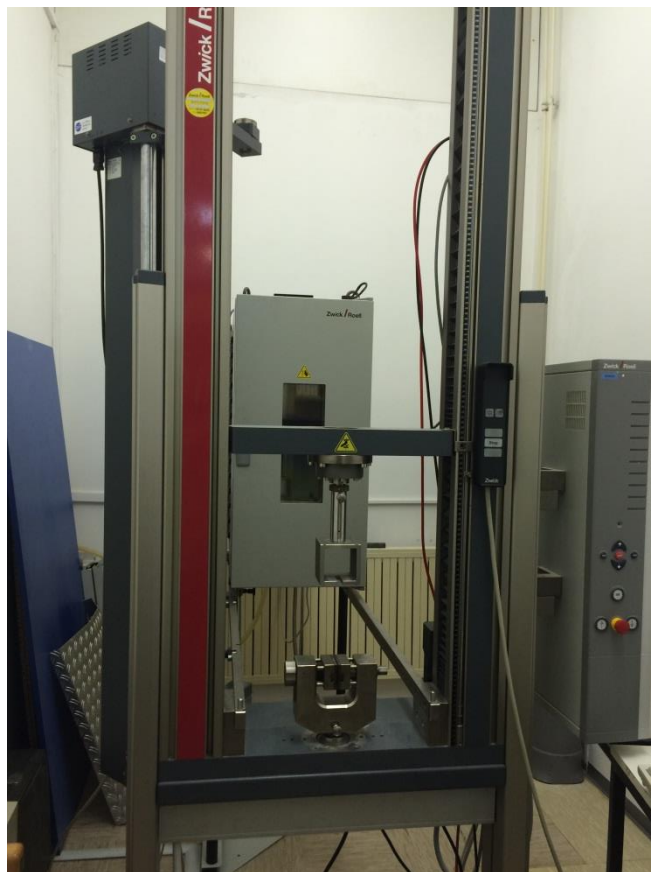


**Slika18:** Razkalupljeni preizkušanci (lastni vir)

## **2.4 Eksperimentalne metode**

### **2.4.1 Natezni preizkus**

V raziskovalni nalogi smo za izvedbo preizkusov uporabili univerzalno napravo za preizkušanje materialov ZwickRoell Z010 MaterialsTestingMachine s kapaciteto 10000 N, ki je prikazana na Sliki 19. Naprava je namenjena statičnemu ter dinamičnemu preizkušanju. Naprava je povezana z računalnikom in programsko opremo Zwick Test Xpert, katera z izjemno natančnostjo beleži vse zaznane podatke z naprave.



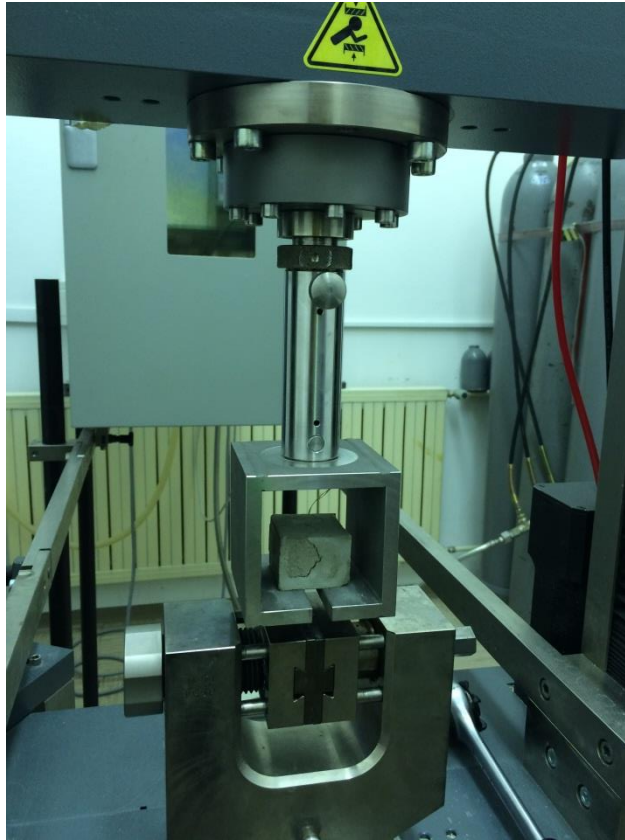
**Slika 19:** Preizkuševalna naprava ZwickRoell Z10 (lastni vir)

Preizkušanece smo vpeli v zgornjo ter spodnjo mehansko čeljust naprave ZwickRoell Z10 ter monotono natezno obremenjevali s konstantno hitrostjo premikanja glave preizkuševalnega stroja v smeri delovanja sile 0.01 mm/s vse do porušitve. Natezno trdnost smo določili kot kvocient med maksimalno silo in pripadajočo površino vlaken. Ker so vlakna konoplje zelo neenakomerna in različna, smo za določitev površine prečnega preseka vlaken uporabili enačbo iz literature (Asproneetal., 2011):

$$A = \frac{P}{L\gamma}$$

kjer P (N) predstavlja težo vlaken, L (m) dolžino vlaken  $\gamma$  (N/m<sup>3</sup>) specifično težo konopljinih vlaken, za katero smo upoštevali vrednost  $1.4 \times 10^4$  N/m<sup>3</sup>, ki velja za celulozne materiale (Fakirov in Bhattacharyya, 2007).

## 2.4.2 Preizkus puljenja

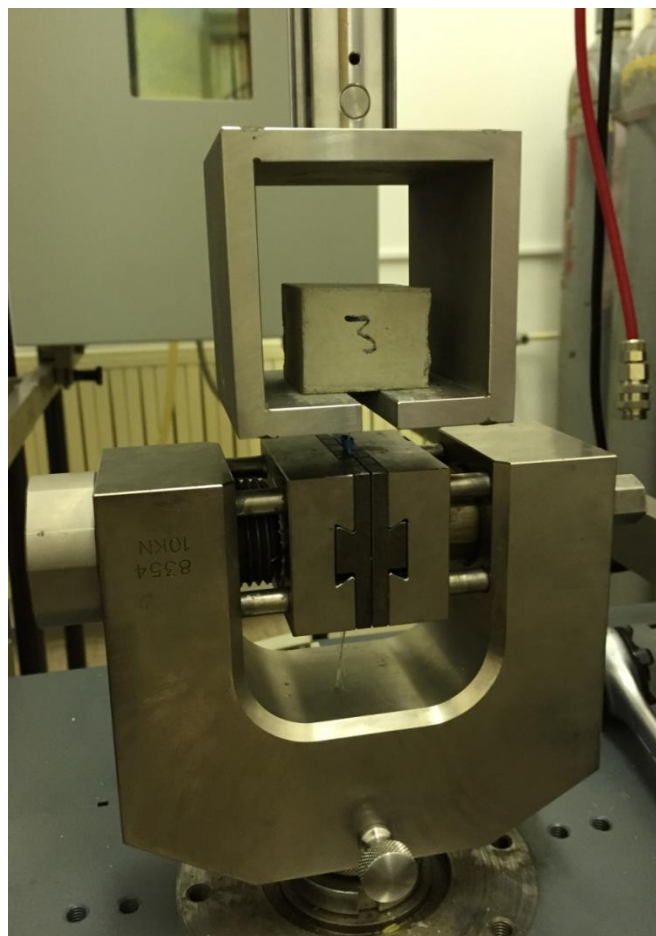


**Slika20:** Enostranski preizkus puljenja (lastni vir)

Za določitev karakteristik vpetja med vlakni industrijske konoplje ter cementno matrico smo v raziskovalni nalogi uporabili konvencionalni enostranski preizkus puljenja s konstantno hitrostjo premikanja glave preizkuševalnega stroja 2 mm/min (Slika 20). Prosta dolžina vlaken je bila 5 mm. Postavitev preizkusa je prikazana na Sliki 21. Preizkus smo izvedli na skupno 12 vzorcih, katere smo razdelili v 4 različne skupine glede na dolžino vpetja vlaken v betonski matrici. Po pridobljenih rezultatih puljenja smo ocenili kvaliteto vpetja z izračunom t.i. navidezne strižne trdnosti  $\tau_{app}$  (Miller etal., 1987), kjer smo upoštevali predpostavko, da je obseg vlaken popolna krožnica. Zaradi tega je izračun je le približek. Točne rezultate bi dobili, če bi realni obseg konopljinih vlaken izmerili s pomočjo elektronskega mikroskopa. Uporabljena enačba je bila sledeča:

$$\tau_{app} = \frac{F_{max}}{\pi d_f l_e}$$

kjer je  $F_{max}$  (N) maksimalna sila izpuljenja,  $d_f$  (mm) ekvivalentni premer vlakna in  $l_e$  (mm) dolžina vpetja vlakna v vzorcu.

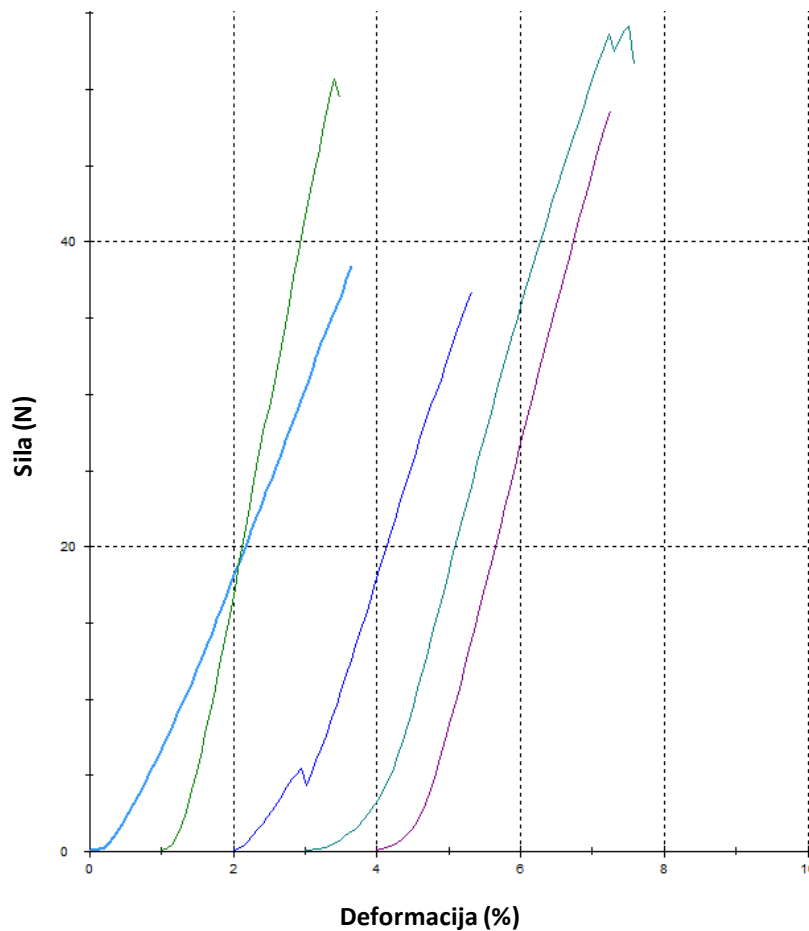


**Slika 21:** Postavitev enostranskega preizkusa puljenja (lastni vir)

### 3. REZULTATI IN RAZPRAVA

#### 3.1 Natezni preizkus

Za izvedbo nateznega preizkusa smo uporabili 5 vzorcev neobdelane industrijske konoplje. Krivulje, ki prikazujejo odvisnost sila (N) – deformacija (%), so prikazane na Sliki 22. Krivulje so zaradi boljše preglednosti na x-osi medsebojno zamaknjene za 1 % iz koordinatnega izhodišča. Pri vseh vzorcih je razvidno linearno elastično obnašanje do porušitve.



**Slika 22:** Krivulje odvisnosti med natezno silo in pripadajočo deformacijo

Na Sliki 22 so razvidni različni nakloni eksperimentalnih krivulj, kar pomeni razlike v modulu elastičnosti ( $E$ ), ki se giblje od 20.4 do 42.4 GPa. V Preglednici 4 prikazujemo vse bistvene parametre nateznega preizkusa. Natezne napetosti se gibljejo od 615 pa do 906 MPa pri končnih nateznih deformacijah ( $\epsilon$ ) od 2.40 do 4.51 %.

**Preglednica 4:** Tabelarni prikaz parametrov izvedenih nateznih testov

	<b>F (N)</b>	<b><math>\epsilon</math> (%)</b>	<b><math>\sigma</math> (MPa)</b>	<b>E (GPa)</b>
	38.34	3.65	641	20.4
	50.67	2.40	847	42.4
	36.77	3.31	615	25.2
	54.18	4.51	906	30.0
	48.59	3.25	813	30.9
Povprečje	45.71	3.42	764	29.8
Standardni odklon	7.73	0.76	129	8.21

### 3.2 Preizkus puljenja

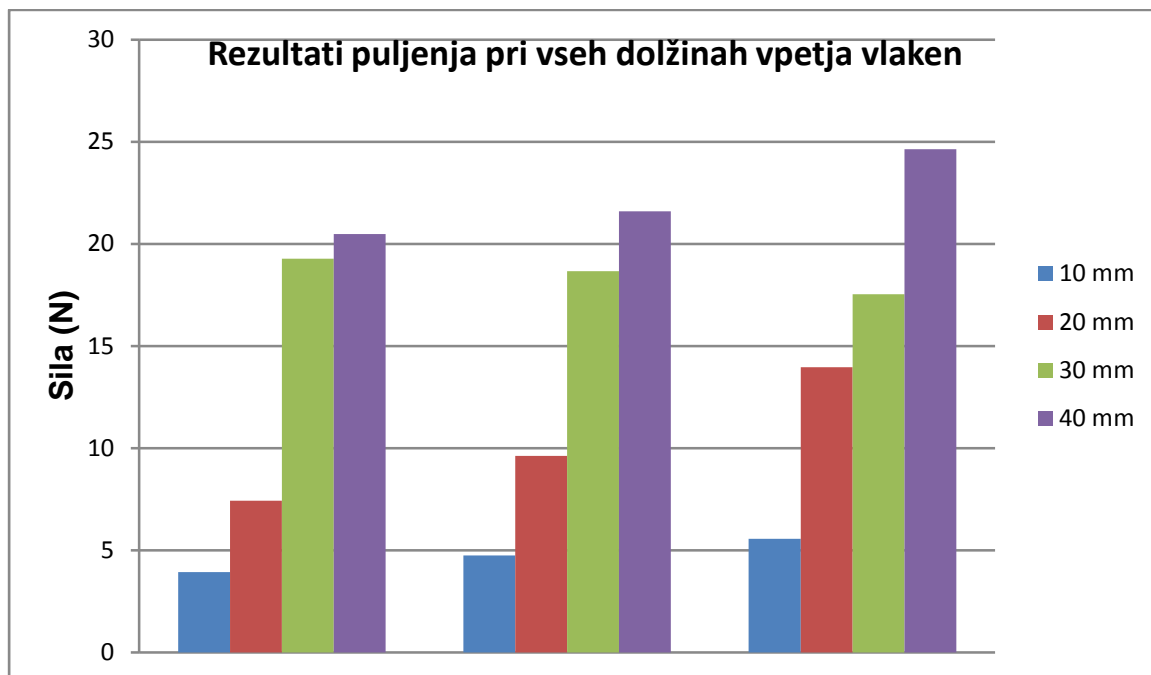
Za določitev in primerjavo trdnosti vpetja med cementno matrico in različnimi dolžinami vpetja konopljinih vlaken smo uporabili standardni enostranski preizkus puljenja, ki smo ga prekinili pri dolžini izpuljenja 30 mm, kar je dolžina pomika glave preizkuševalnega stroja.

Za vsako dolžino vpetja smo preizkusili 3 vzorce. Vrednosti sil izpuljenja pri starosti 14 dni prikazujemo v Preglednici 5, grafična predstavitev pa je razvidna na Sliki 23.

**Preglednica 5:** Vrednost sil izpuljenja pri starosti 14 dni

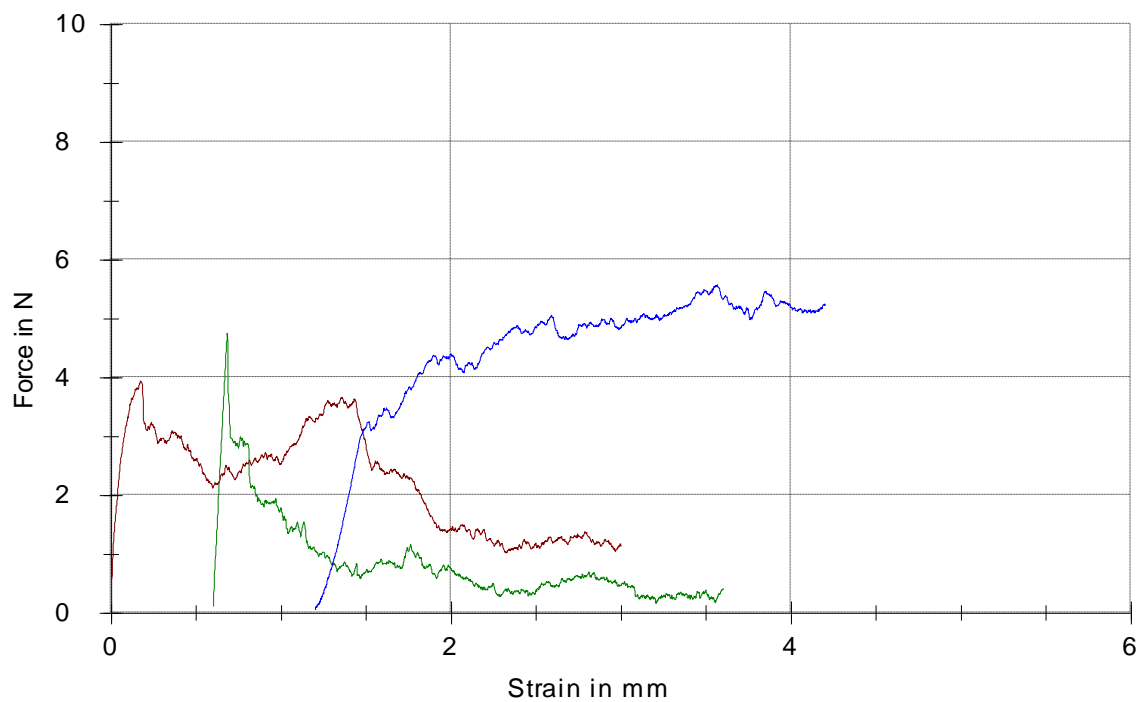
	<b>Dolžina vpetja</b>			
	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm
<b>VZOREC</b>	<b>Sila (N)</b>	<b>Sila (N)</b>	<b>Sila (N)</b>	<b>Sila (N)</b>
1	3.94	7.43	19.28	20.49
2	4.75	9.62	18.67	21.59
3	5.57	13.97	17.54	24.64



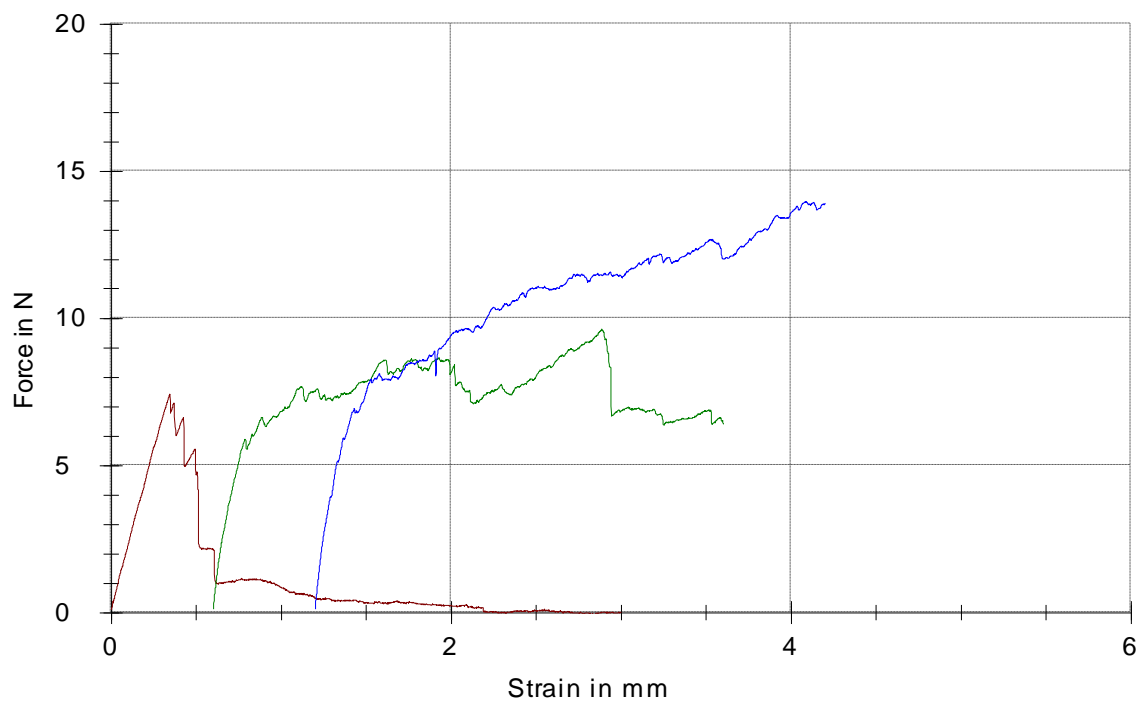


**Slika 23:** Rezultati puljenja pri vseh dolžinah vpetja vlaken

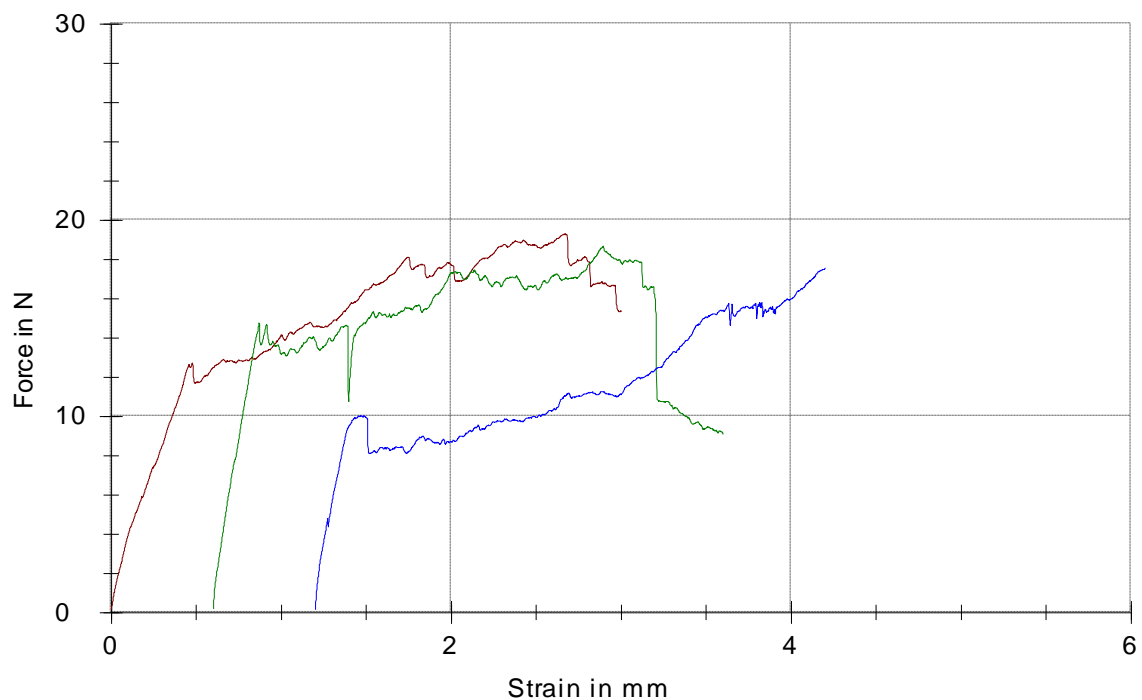
Na Slikah 24, 25, 26 in 27 podajamo grafe odvisnosti med silo izpuljenja in dolžino vpetja vlaken v matrici.



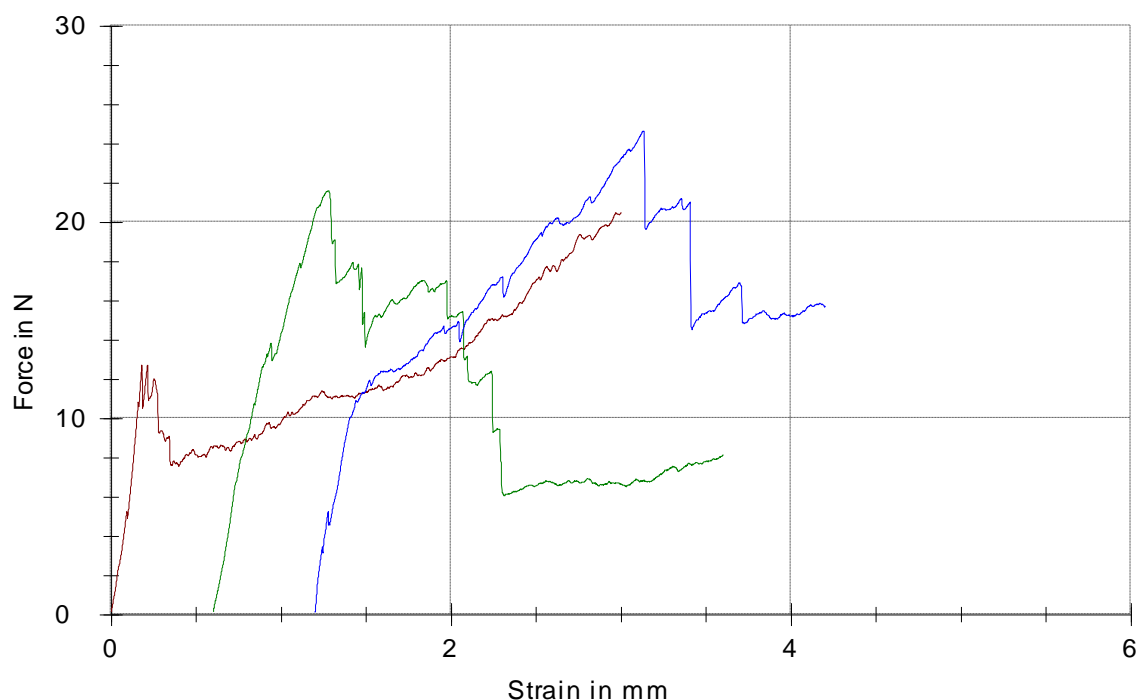
**Slika 24:** Graf preizkusa puljenja pri dolžini vpetja 10 mm



**Slika 25:** Graf preizkusa puljenja pri dolžini vpetja 20 mm



**Slika 26:** Graf preizkusa puljenja pri dolžini vpetja 30 mm



**Slika 27:** Graf preizkusa puljenja pri dolžini vpetja 40 mm

Pri večini krivulj na Slikah 24, 25, 26 in 27 opazamo podobno obnašanje. Po doseženem prvem maksimumu sile izpuljenja, ki pomeni pretrganje kemijske vezi med vlakni in matrico, se sila izpuljenja povečuje. To povečanje lahko pripišemo trenju na mejni površini med vlaknom in matrico, ki je lahko posledica grobe in neenakomerne površine konopljinih vlaken, poškodb vlaken in tudi matrice med samim procesom puljenja in posledičnega nabiranja ostankov bodisi vlaken ali matrice na mejni površini. Takšno obnašanje pomeni večjo porabo energije med izpuljenjem, kar vodi k večji žilavosti z vlakni utrjenega cementnega kompozita.

Po enačbi za navidezno stržno trdnost ali trdnost vpetja smo le-to izračunali kot povprečno vrednost treh vzorcev za vsako obravnavano dolžino vpetja. Pri dolžinah vpetja 10 mm, 20 mm, 30 mm in 40 mm so pripadajoče trdnosti vpetja znašale 0.247 MPa, 0.218 MPa, 0.199 MPa in 0.288 MPa. Vidno je, da se trdnost vpetja z večanjem dolžine vpetja bistveno ne spreminja. Do podobnih zaključkov so prišli tudi Silva et al., 2009.

#### 4. ZAKLJUČEK

Naravna vlakna so obnovljiva surovina, katera je zaradi svojih pozitivnih in uporabnih lastnosti vedno bolj prisotna tudi v gradbeništvu. S preizkusom puljenja posamičnih vlaken smo ugotovili, da se ob večanju dolžine vpetja maksimalna sila izpuljenja povečuje, trdnost vpetja pa se bistveno ne spreminja.

- Natezna trdnost posamičnih vlaken je v povprečju znašala 764 GPa, kar je primerljivo z natezno trdnostjo armaturnega jekla.
- S povečanjem dolžine vpetja se je z večanjem trenja povečala tudi žilavost oz. poraba energije pri izpuljenju.

Raziskal sem:

- zgradbo, namen in način uporabe industrijske konoplje,
- gradbene izdelke iz industrijske konoplje,
- natezno trdnost in trdnost vpetja vlaken industrijske konoplje v cementni matrici.

Potrdil sem zastavljeno hipotezo:

- Kot armatura v kompozitih s cementno matrico se lahko uporabljajo kontinuirana vlakna industrijske konoplje.
- Uporaba celuloznih vlaken kot armature v kompozitnih gradbenih materialih ponuja veliko prednosti pred sintetičnimi vlakni.
- Naravna vlakna služijo kot alternativa sintetičnim vlaknom v gradbeni industriji.

Zahvaljujem se mentorjema za strokovno pomoč in usmerjanje pri izdelavi raziskovalne naloge.

## 5. DRUŽBENA ODGOVORNOST

Raziskovalno delo mi je utrdilo zavest, da lahko sami vplivamo na okolje. Z uporabo vlaken industrijske konoplje v gradbeništvo bi povsem zmanjšali vpliv na okolje v smislu porabe energije in onesnaževanja okolja.

Industrijska konoplja je obnovljivi vir surovine, čigar proizvodnja ne obremenjuje okolja, ima še lastnost, da okolje celo izboljšuje. Njena pridelava je nevtralna, vsaka tona pridelane industrijske konoplje med svojo rastjo porabi približno dve toni ogljikovega dioksida. Uspeva lahko na skoraj vsej zemeljski obli, pridelava ni zahtevna, seveda ni potrebna uporaba pesticidov. Med poljščinami ima skoraj največji donos.

Kljub vsem pozitivnim lastnostim pa uporaba industrijske konoplje pri nas še vedno vzbuja pomisleke predvsem zaradi tega, ker jo pogosto zamenjujejo z indijsko konopljo, katere pridelava pa ni legalizirana. Upam, da bo moj prispevek vsaj malo doprinesel k popularizaciji uporabe industrijske konoplje in pomagal podreti zakoreninjene tabuje o njeni škodljivosti.

## 6. UPORABLJENA LITERATURA

Anžel I., 2006. Nekovinski materiali, Interno študijsko gradivo, *Fakulteta za strojništvo*, Maribor.

Hočevar A., 2007. Vpliv vrste cementa na sulfatno odpornost betona, Ljubljana.

Ivanič A., 2011. Novi mehanizem vpetja vlaken v kompozitnih materialih, Maribor.

Robinson D., 2000. Velika knjiga o konoplji.

Velkavrh E., 2010. Preliminarna preiskava ustreznosti kompozitov iz naravnih vlaken za aplikacijo v gradbenih konstrukcijah, Ljubljana.

Kovač M., 2016. Diplomsko delo: Možnosti uporabe vlaken industrijske konoplje kot armature v cementnih materialih, Fakulteta za gradbeništvo, Maribor.

Silva de Andrade F., Mobasher B., Filho R.D.T., 2009. Bond mechanisms in sisal fibre reinforced cement composites, Proc. Of the 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT 2009), Bath, UK.

Asprone D., Durante M., Prota A., Manfredi G., 2011. Potential of structural pozzolanic matrix-hemp fiber grid composites, *Constr. Build. Mater.*

Fakirov S., Bhattacharyya D., 2007. Handbook of engineering biopolymers: homopolymers, blends and composites.

### **Spletni viri:**

<http://www.aljazeera.com/programmes/earthrise/2012/08/201289113049149541.html>

<http://www.collective-evolution.com/2013/02/03/hempcrete-worlds-strongest-building-material/>

<http://www.americanlimetechnology.com/>

<http://www.konopko.si/>

<http://www.dominvrt.si/clanek/rubrika/trend/avstralska-hisa-iz-konoplje.html>

<http://www.deloindom.si/vrt-zivali/konoplja-vse-prej-kot-le-droga>

<http://www.konopko.si/gradbenistvo>

<http://www.collective-evolution.com/2013/02/03/hempcrete-worlds-strongest-building-material/>

<http://www.americanlimetechnology.com>