

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Grega ŠKUFCA

**RAZVOJ TER IZDELAVA SREDICE IN  
POVRŠINSKEGA SLOJA KOMPOZITA IZ VLAKEN  
KONOPLJE ZA SMUČI**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2014

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Grega ŠKUFCA

**RAZVOJ TER IZDELAVA SREDICE IN POVRŠINSKEGA SLOJA  
KOMPOZITA IZ VLAKEN KONOPLJE ZA SMUČI**

DIPLOMSKI PROJEKT  
Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

**DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF THE CORE AND  
SURFACE LAYER OF HEMP FIBRE COMPOSITE FOR SKIS**

B. SC. THESIS  
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2014

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Sergeja Medveda in recenzenta izr. prof. dr. Gorazda Fajdigo.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora: 12.09.2014

Diplomski projekt je rezultat lastnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega projekta na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je projekt, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identičen tiskani verziji.

Grega Škufca

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 633.522:685.363.2
KG	konopljna vlakna/vlaknena plošča/upogibna trdnost/ciklična obremenitev
AV	ŠKUFCA, Grega
SA	MEDVED, Sergej (mentor)/FAJDIGA, Gorazd (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. CIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	RAZVOJ TER IZDELAVA SREDICE IN POVRŠINSKEGA SLOJA KOMPOZITA IZ VLAKEN KONOPLJE ZA SMUČI
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
OP	VI, 25 str., 4 pregl., 22 sl., 12 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Zgradba smuči je zelo kompleksna. Smuči morajo zagotavljati določene lastnosti med katerimi glavno vlogo igrajo togost, trdnost in teža smuči. Vse te lastnosti v veliki meri izhajajo iz same sredice smuči. Za izdelavo vrhunskih smuči se največ uporablja lesena sredica, obstaja pa kar nekaj alternativ: karbonska vlakna, ojačitve iz titanija, itd. Vse bolj pa v ospredje prihajajo kompoziti, katerih osnovni gradniki so naravna vlakna. Konoplja kot najstarejša poljščina vsebuje dolga vlakna, saj se raztezajo vzdolž celega stebela rastline. So izredno močna in predstavljajo odlično naravno alternativo dragim umetnim vlaknom, ki se trenutno uporabljajo pri izdelavi lahkih kompozitov. Za osnovni material pri izdelavi plošč smo uporabili dolga konopljna vlakna, kot vezivo pa melamin-urea formaldehidno lepilo. Izdelane plošče smo izpostavili ciklični obremenitvi pri različnih odstotkih maksimalne sile, predhodno določene z upogibnim preizkusom na industrijsko izdelani plošči iz kratkih konopljinih vlaken. Ugotovili smo, da se pri vseh vzorcih opazijo razlike med inicijalno deformacijo in deformacijo po 50. ciklu, odvisno od aplicirane sile. Večje deformacije smo ugotovili pri večjih silah obremenitve, tudi do 15 % nepovratne deformacije. Pri vzorcih, izpostavljenih hladnemu okolju (-15 °C), je pri velikih silah obremenitve med cikličnim preizkusom prišlo do loma preizkušancev. V primerjavi z referenčnimi ploščami smo ugotovili pozitiven učinek uporabe daljših vlaken, saj so bile deformacije pri laboratorijsko izdelanih ploščah nižje kot pri referenčnih. Ugotovili smo tudi razliko med obnašanjem materiala glede na pogoje okolja, v katerem smo imeli izpostavljene vzorce.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dv1  
DC UDK 633.522:685.363.2  
CX hemp fibre/fibre board/bending strength/cyclic load  
AU ŠKUFCA, Grega  
AA MEDVED, Sergej (supervisor)/FAJDIGA, Gorazd (co-advisor)  
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. CIII/34  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology  
PY 2014  
TY DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF THE CORE AND SURFACE LAYER OF HEMP FIBRE COMPOSITE FOR SKIS  
DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)  
NO VI, 25 p., 4 tab., 22 fig., 12 ref.  
LA sl  
Al sl/en  
AB The composition of skis is very complex. The skis have to provide certain properties of which rigidity, strength and weight are the most important. All of these properties mostly come from the inner core of the skis. To produce high-quality skis, wood is usually used for the core, along with some other alternatives: carbon fibres, titanium reinforcements, etc. Apart from that, the natural fibre composites are increasingly coming to the forefront. Hemp, the oldest field crop, has long and very strong fibres, located along the whole length of the stem. They present a great alternative to other artificial fibres currently used to form light composites. To make the board, we used long hemp fibres as the basic material, and melamine urea formaldehyde glue as a binder. We then exposed the produced boards to the cyclic load at various percentages of maximum force, determined beforehand by performing a bending test on the industrially manufactured board made from short hemp fibres. We have established that there are differences among the deformations in all of the samples. These occur between the initial deformation and the deformation after the 50th cycle depending on the applied force. Larger deformations were found at higher force loads, up to 15 % of permanent deformation. During the cyclic testing, some of the examined items fractured, when exposed to cold conditions (-15 °C) under high force loads. A positive effect of using longer fibres was noticed, since the deformations of the laboratory-made boards were lower than those in the reference boards. We have also found out the differences in material behaviour depending on the environmental conditions the samples were exposed to.

## KAZALO VSEBINE

<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....</b>	<b>II</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION .....</b>	<b>III</b>
<b>KAZALO VSEBINE .....</b>	<b>IV</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>VI</b>
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 PROBLEM .....	1
1.2 HIPOTEZE IN CILJ NALOGE .....	1
<b>2 PREGLED OBJAV .....</b>	<b>2</b>
2.1 KONOPLJA.....	2
2.2 KONOPLJINA VLAKNA.....	3
2.3 SREDICA SMUČI.....	5
<b>3 MATERIALI IN METODE DELA .....</b>	<b>8</b>
3.1 KONOPLJINA VLAKNA.....	8
3.2 LEPILO.....	8
3.3 REFERENČNA PLOŠČA .....	8
3.4 METODE DELA .....	9
<b>3.4.1 Določanje gostote .....</b>	<b>9</b>
<b>3.4.2 Upogibna trdnost .....</b>	<b>9</b>
<b>3.4.3 Ciklična obremenitev.....</b>	<b>10</b>
<b>3.4.4 Laboratorijska izdelava plošč.....</b>	<b>10</b>
<b>4 REZULTATI.....</b>	<b>13</b>
4.1 UPOGIB .....	13
4.2 GOSTOTA IN DEBELINA .....	13
4.3 CIKLIČNO OBREMENJEVANJE .....	14
<b>4.3.1 Referenčna plošča .....</b>	<b>14</b>
<b>4.3.2 Plošča 1 .....</b>	<b>18</b>
<b>4.3.3 Plošča 2 .....</b>	<b>20</b>
<b>5 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI.....</b>	<b>22</b>
5.1 ZAKLJUČKI .....	23
<b>6 POVZETEK.....</b>	<b>24</b>
<b>7 VIRI .....</b>	<b>25</b>
<b>ZAHVALA</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Rezultati merjenja upogibne trdnosti.....	13
Preglednica 2: Določanje sil obremenjevanja .....	13
Preglednica 3: Povprečne debeline in gostote plošč.....	13
Preglednica 4: Primerjalna tabela rezultatov vseh treh plošč.....	22

## KAZALO SLIK

Slika 1: Variacije relativnih velikosti rastline (Wikipedia, 2014).....	2
Slika 2: Prikazana vlakna na stebli konoplje (Wikipedia, 2014).....	3
Slika 3: Lesena sredica Response Frame (Elan d.o.o., 2014).....	5
Slika 4: Sredica Monolite (Elan d.o.o., 2014).....	6
Slika 5: Dolga konopljna vlakna .....	8
Slika 6: Upogibni test preizkušanca referenčne plošče .....	9
Slika 7: Ciklično obremenjevanje preizkušanca laboratorijsko izdelane plošče.....	10
Slika 8: Stroj za oblepljanje iveri in vlaken.....	11
Slika 9: Kalup iz vezane plošče .....	11
Slika 10: Laboratorijska stiskalnica.....	12
Slika 11: Deformacije referenčne plošče pri 25 % obremenitvi.....	14
Slika 12: Deformacije referenčne plošče pri 50 % obremenitvi.....	15
Slika 13: Deformacije referenčne plošče pri 75 % obremenitvi.....	16
Slika 14: Deformacije referenčne plošče pri 90 % obremenitvi.....	17
Slika 15: Deformacije plošče 1 pri 25 % obremenitvi .....	18
Slika 16: Deformacije plošče 1 pri 50 % obremenitvi .....	18
Slika 17: Deformacije plošče 1 pri 75 % obremenitvi .....	19
Slika 18: Deformacije plošče 1 pri 90 % obremenitvi .....	19
Slika 19: Deformacije plošče 2 pri 25 % obremenitvi .....	20
Slika 20: Deformacije plošče 2 pri 50 % obremenitvi .....	20
Slika 21: Deformacije plošče 2 pri 75 % obremenitvi .....	21
Slika 22: Deformacije plošče 2 pri 90 % obremenitvi .....	21



## 1 UVOD

Zgradba smuči, še posebej tistih namenjenih zahtevnim smučarjem in tekmovalcem, je zelo kompleksna. Smuči morajo zagotavljati ustrezno upogljivost po dolžini in torzijsko togost (trdnost) po preseku (debelini). Hkrati morajo biti lahke in dušiti vibracije, ki se prenašajo iz podlage na smuči in naprej na smučarja. Lastnosti smuči so odvisne od tehnologije izdelave in uporabe materialov, ki pa se prilagajajo slogom smučanja in znanju ter zahtevnostim smučarja.

- Mehkejše smuči bolje absorbirajo vse neravnine na snežni podlagi in omogočajo mehkejši in bolj kontroliran doskok smučarjev prostega sloga. Za mehkejše smuči je značilno tudi to, da so za njihovo zavijanje potrebni manjši pritiski.
- Za zavijanje s tršimi smučmi so potrebni večji pritiski, vendar pa je možnost zdrsa v samem ovinku manjša. V zaključku zavoja trše smuči nudijo večji odboj in pospešek iz samega zavoja.
- Od slalomskih smuči se pričakuje veliko odzivnost in pospeške iz zavojev, na relativno gladki snežni podlagi, zato je njihova sredica trda.
- Široke "powder" smuči, ki so namenjene vožnji po novozapadlem snegu in neurejenih pobočjih, morajo blažiti neravnine in omogočati lahko vijuganje na nekompaktni snežni podlagi, zato so praviloma mehkejše.
- Smučarji začetniki ter ženske so v ovinkih sposobni ustvariti manj pritiska na smuči, zato so za njih primernejše relativno mehkejše izvedbe le teh.

Pomembno vlogo pri odzivnosti samih smuči odigra ravno njen najbolj skrit del in sicer sredica. Materiali in tehnologije izdelave sredice smuči se razlikujejo od proizvajalca do proizvajalca toda vsem je skupno, da imajo v svoji ponudbi smuči iz lesene sredice in lesnih kompozitov. Kot eden izmed možnih materialov za izdelavo lesnega kompozita za smučke, se omenjajo tudi vlakna iz konoplje.

### 1.1 PROBLEM

Sredica predstavlja ključni element smučke oziroma snežne deske. Od nje zahtevamo, da zagotavlja dobre mehanske lastnosti, dobro odzivnost, dušenje vibracij ter zagotavljanje lahkosti kompozita. Omenjene lastnosti lahko zagotovimo ali z masivnim lesom ali z kompozitom na osnovi vlaken. Ugotoviti želimo ali lahko iz vlaken konoplje izdelamo kompozit ustrezne debeline in gostote ter s primernimi mehanskimi lastnostmi.

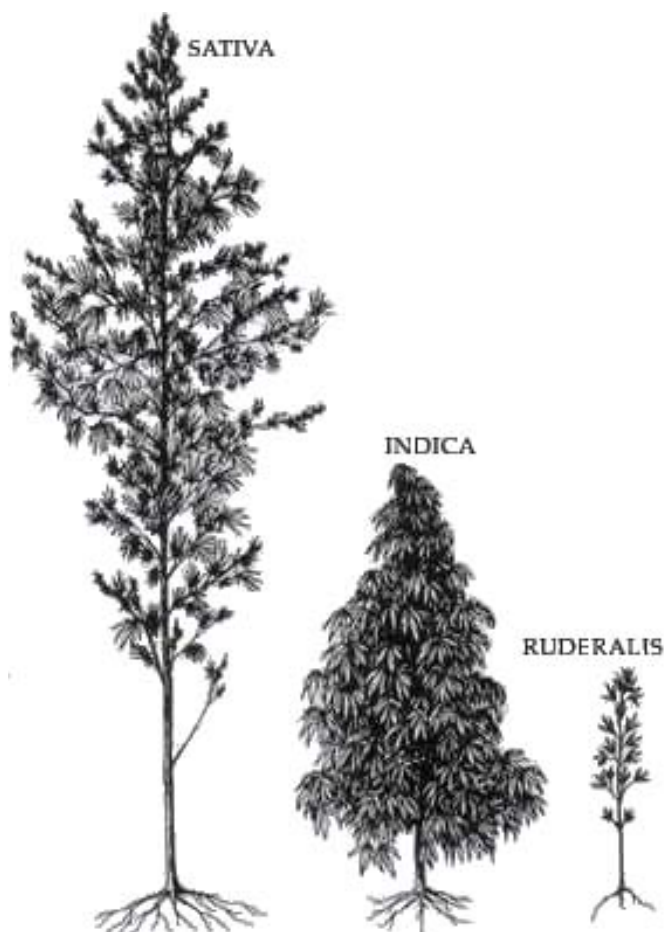
### 1.2 HIPOTEZE IN CILJ NALOGE

Naša hipoteza je, da lahko iz konopljinih vlaken izdelamo relativno dober material z ustrezno gostoto in debelino, ki ga bo mogoče uporabiti kot sredico za smuči. Predvidevamo, da bodo lastnosti plošče v veliki meri odvisne od dolžine samih vlaken in njihove medsebojne povezanosti.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 KONOPLJA

Konoplja (*Cannabis sativa*) velja za rastlino, ki spremlja človeka že od pradavnine naprej in obsega tri podvrste: *Cannabis sativa* (navadna konoplja), *Cannabis indica* (indijska konoplja) in *Cannabis ruderalis* (Wikipedija, 2014) in se močno ločijo že po sami velikosti.



Slika 1: Variacije relativnih velikosti rastline (Navadna konoplja, 2014)

Navadni konoplji pravimo tudi industrijska konoplja, saj jo pridelujemo za industrijske namene. Industrijska konoplja je variacija navadne konoplje, medtem ko indijsko konopljo poznamo tudi pod imenom medicinska konoplja, ki pa se uporablja predvsem v zdravilne namene.

Konopljo povezujemo s človekom že 10.000 let in je bila človekov prvi in največji kmetijski pridelek. Bila je zelo cenjena rastlina vse do dvajsetih in tridesetih let prejšnjega stoletja, ko so se začela uspešna ameriška gibanja za prohibicijo drog. Večina nezahodnega sveta ni nikoli prenehala pridelovati konoplje. Danes je večina konoplje za komercialno rabo pridelane v državah: Kitajska, Madžarska, Anglija, Kanada, Avstralija, Francija,

Italija, Španija, Nizozemska, Nemčija, Poljska, Romunija, Rusija, Ukrajina, Indija in po vsej Aziji (Hemp producers, 2014).

Vse znane vrste konoplje vsebujejo psihotropno snov tako imenovani THC oz. delta-9-tetrahidrokanabinol, vendar je potrebno poudariti, da ga industrijske sorte (*Cannabis sativa* L. *ssp. sativa*) vsebujejo premalo in so zato neuporabne za opojne namene (Hemp vs. Marijuana, 2014).

Nepoznavanje konoplje med ljudmi so v preteklosti izkoristile močne industrijske korporacije, ki so s protipropagando konoplje zatirale njen potencial.

V zadnjem času pa se raba konoplje povečuje, kar bi lahko pripisovali, vedno večjemu pomenu uporabe naravnih obnovljivih materialov.

Uporaba konoplje obsega tako širok spekter (tekstil, gradbeni material, izolacija, gorivo, hrana), da se lahko vprašamo, ali poznamo še kakšno drugo rastlino, ki je tako vsestransko uporabna.

## 2.2 KONOPLJINA VLAKNA

Če pozabimo na rabo konoplje v zdravilne namene in se osredotočimo na predelavo konoplje za konstrukcijsko rabo jo lahko razdelimo v tri uporabnostne segmente: vlakno, sredica in seme (slika 2).



Slika 2: Prikazana vlakna na stebli konoplje (Hemp fiber, 2014)

Obstajata dve glavni vrsti konopljinih vlaken – ličje konoplje ali dolga vlakna in konopljina sredica s kratkimi vlakni. Tradicionalno je bila konoplja uporabljena zaradi koristnih in vsestranskih visoko kakovostnih ličnatih vlaken. Ličnata vlakna predstavljajo

20-30 odstotkov stebela (odvisno od sorte semen in gostoto sajenja). Obstajata dve vrsti ličnatih vlaken:

- **primarna ličnata vlakna**; predstavljajo približno 70 odstotkov vlaken in so dolga z visoko vsebnostjo celuloze in nizko vsebnost lignina. So najdragocenejši del stebela in sodijo med najmočnejša rastlinska vlakna.
- **sekundarna ličnata vlakna**; predstavljajo preostalih 30 odstotkov vlaken in so srednje dolga vlakna ter imajo višjo vsebnost lignina. So manj vredna in so pogostejša pri manj gosti nasaditvi konoplje, kjer zrastejo krajša in debelejša stebela, saj jim ne primanjkuje svetlobe (Hemp Fibres, 2014).

Povpraševanje po obnovljivih surovinah je vedno večje. Trenutno veliko podjetij proizvaja netkane izdelke, kot so preja za izolacijo, v avtomobilski industriji pa kompozite iz lanenih vlaken in vedno več tudi iz konopljinih vlaken. Konopljina vlakna imajo velik potencial – lahko ojačajo plastiko, zamenjajo mineralna vlakna, lahko se jih reciklira, pridobivajo se na ekološki način in ne povzročajo odpadnega materiala. Veliko izdelkov se lahko izdelata iz netkanih materialov za vrsto uporab: izolacija, filtri, geotekstil, rastna gojišča, ojačana plastika in kompoziti (Hemp Fibres, 2014).

Kompoziti iz naravnih vlaken (NFC) so oblikovani iz mešanice naravnih vlaken, kot so kenaf, konoplja, lan, juta, sisal in termoplastični polimer. Kompoziti iz naravnih vlaken so za približno 25 odstotkov močnejši, kot pa termoplastika ojačana z lesnimi vlakni poleg tega pa ne postavljajo nobenih okoljevarstvenih problemov, kot jih na primer steklena vlakna (Hemp Fibres, 2014).

Industrijska konoplja, kot hitro rastoča rastlina, obeta ne le kot biomasa za pridobivanje energije, temveč tudi kot material za konstrukcijske namene v skladu z načeli trajnostnega razvoja (Stevulova in sod., 2012).

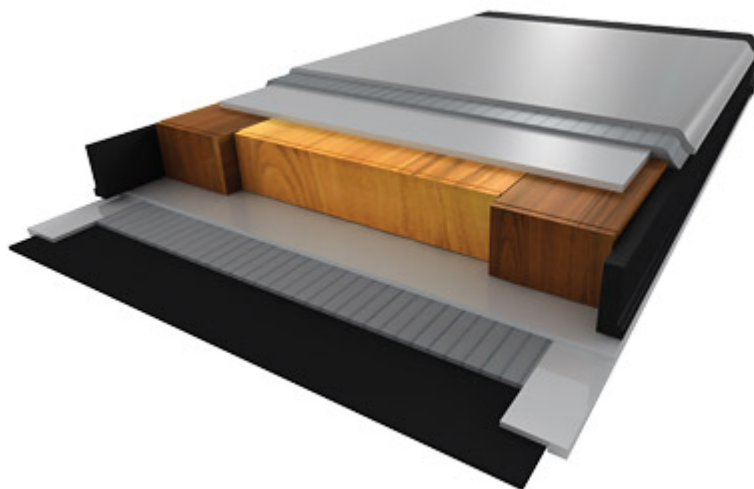
Konopljina vlakna so zelo heterogena in jih lahko opisujemo kot kompozitni sistem, sestavljen iz treh različnih delov: srednja lamela ter primarna in sekundarna celična stena, zgrajena okoli srednjega prostora – lumna (Stevulova in sod., 2012).

Mehanske lastnosti kompozita iz konopljinih vlaken lahko v veliki meri vnaprej določimo, saj so odvisne od vrste celuloze, velikosti, površine, kristaliničnosti in strukturnega nabreka vlaken (Stevulova in sod., 2012).

### 2.3 SREDICA SMUČI

Pri zagotavljanju zgoraj naštetih zahtev je še posebej pomembna zgradba sredice. Večina proizvajalcev smuči za zahtevne smučarje in tekmovalce za osnovno jedro sredice uporablja lameliran les. Eden izmed razlogov uporabe lesa je, da zagotavlja bolj odzivne smuči, dobro duši vibracije, ima dokaj nizko resonanco, hkrati pa je zelo vzdržljiv in ohrani svojo obliko. Les pa je tudi lahko dostopen, enostaven za obdelovanje in cenejši od drugih materialov, ki se uporabljajo za sredico. Najpogosteje se v raznih kombinacijah za isto sredico uporablja les bukve, breze, jesena, javorja, smreke, jelke in topola. Ločeni trakovi lesa so zlepjeni skupaj v celoto sredice. Ta se nato profilira tako, da se doseže želena debelina. Izbira lesenega jedra in njegove debeline mora biti skrbno načrtovana saj jedro definira odzivnost smuče. Gostota uporabljenih lesov se giblje od  $370 \text{ kg/m}^3$  (topol)  $680 \text{ kg/m}^3$  (bukve). Razmerje kombinacije med uporabljenima vrstama lesa za sredico pa je odvisna od želenih končnih lastnosti smuči (Wood core, 2014).

Izbira lesa za sredico ni lahka prav tako pa je težko točno določiti kakšne lastnosti bomo dobili pri uporabi določenega lesa. Lahko predvidimo gostoto sredice in težo, ki prav tako igrata pomembno vlogo.



Slika 3: Lesena sredica Response Frame (Elan d.o.o., 2014)

Edinstvena in inovativna lesena sredica Response Frame (slika 3) smučki zagotavlja neposreden prenos moči in optimalno torzijsko stabilnost, zahvaljujoč posebni konstrukciji okvirja iz tršega lesa okoli jedra iz mehkejšega lesa (Elan d.o.o., 2014).

Pri izbiri lesa so glavni parametri, ki vplivajo na odločitev: togost (modul elastičnosti), trdnost (upogibna trdnost) in masa (gostota) (Wood core, 2014).

Za sredico smuči se že uporabljajo številni drugi materiali v kombinaciji z lesom ali kot nadomestek lesa. Nekaj o teh materialih:

- Karbon – lahek, prožen, močen in se zelo dobro obnese pod tlačno obremenitvijo. Njegova slabost je visoka cena.
- Kevlar – Močen, razmeroma lahek, dobro se obnaša pod obremenitvijo in ima zelo dobre zmogljivosti dušenja.
- Satovje iz aluminija – zelo lahko in močno vendar drago. Slabe zmogljivosti dušenja.
- Steklena vlakna – relativno močna, lahka in poceni.
- Zrak – ob pravilni uporabi zraka za sredico, bistveno zmanjša težo smuči brez da bi vplival na moč sredice.
- Pena – kadar se uporablja velika količina pene v sredici, se večino trdnosti smuči in njenih upogibnih karakteristik ustvari z drugimi plastmi kompozita, ki obdajajo sredico (Ski construction, 2014).



Slika 4: Sredica Monolite (Elan d.o.o., 2014)

Lahka sintetična sredica z unikatnim, tanjšim profilom (slika 4). Nižja gostota sredice prinaša manjšo maso in lažje zavijanje (Elan d.o.o., 2014).

Lastnosti konopljinih vlaken so v primerjavi z zgoraj naštetimi že uporabljenimi materiali v smučarski industriji in nasploh v izdelavi lahkih kompozitov, najbolj podobne karbonu. Poleg dobre natezne trdnosti je glavna konkurenčna prednost konopljinih vlaken pred karbonom, nižja cena. Karbon oziroma ogljikova vlakna imajo ogromen tržni potencial in širok spekter uporabe a se zaradi visoke cene, ki je približno 16 €/kg ne uporablja veliko, medtem ko se cena za konopljina dolga vlakna giblje okoli 10 €/kg. Kljub temu, da se karbon večinoma uporablja za tehnološko napredne izdelke, kjer teža igra ključno vlogo, naj bi se njegova proizvodnja podvojila v zadnjih petih letih. Karbonska vlakna imajo dodatno slabost, ni jih mogoče proizvajati trajnostno. Ne moremo jih pretopiti, zato njihova reciklaža ni enostavna. V primeru reciklaže so karbonska vlakna šibkejša kot so

bila pred reciklažo. Poleg tega je poliakrilonitril oziroma sintetična smola iz katere se proizvaja večina karbonskih vlaken, rakotvoren, hkrati pa je naftni derivat, zato ne pomaga ravno pri našem prizadevanju, da bi zmanjšali svojo odvisnost od fosilnih goriv (Biostruct, 2012).

Na kratko konopljna vlakna lahko opišemo kot material, ki daje biokompozitom fleksibilnost in težo, ki je primerljiva s tisto pri kompozitih iz karbonskih vlaknih.

Konopljna vlakna dosegajo v primerjavi s steklenimi vlakni enak modul elastičnosti, precej nižjo gostoto in skoraj polovico manjše stroške (Santoro in sod., 2006).

Kulturna miselnost, ki obdaja konopljne produkte je zelo privlačna številnim deskarjem. Raziskava je pokazala, da ima 47 % deskarjev v lasti proizvod, ki je narejen iz konoplje, medtem ko si enak proizvod lasti le 14 % ljudi, ki ne deskajo (Santoro in sod., 2006).

### 3 MATERIALI IN METODE DELA

#### 3.1 KONOPLJINA VLAKNA

Za izdelavo plošč smo uporabili konopljna vlakna, ki smo jih dobili od podjetja Hannah biz d.o.o. iz Ljubljane. V samem eksperimentu smo uporabili izključno dolga vlakna, torej v takšnem stanju, kot smo jih dobili od dobavitelja. Z uporabo dolgih vlaken smo skušali ugotoviti kako prepletenost in dolžina vlaken vpliva na same mehanske lastnosti plošč.



Slika 5: Dolga konopljna vlakna

#### 3.2 LEPILO

Za laboratorijsko izdelavo plošč smo uporabili melamin-urea-formaldehidno lepilo Meldur H97, proizvajalca Melamin Kočevje. Za to lepilo smo se odločili, saj je predvideno za izdelavo proizvodov za zunanjo uporabo in zagotavlja vodoodpornost.

#### 3.3 REFERENČNA PLOŠČA

Kot referenčno ploščo smo uporabili komercialno dostopno ploščo iz vlaken (vlaknena plošča) debeline 4 mm in gostote  $800\text{kg/m}^3$ .

Rezultate preizkušanja industrijsko izdelane plošče smo uporabili kot referenčno ploščo.



### 3.4 METODE DELA

#### 3.4.1 Določanje gostote

Za določanje gostote smo uporabili standard SIST EN 323. Uporabili smo formulo

$$\rho = m / l \times w \times t \text{ [g/mm}^3\text{]},$$

kjer oznake pomenijo:

m [g] - masa preizkušanca

l [mm] - dolžina preskušanca

w [mm] - širina preskušanca

t [mm] - debelina preskušanca

#### 3.4.2 Upogibna trdnost

Upogibno trdnost smo določili po standardu SIST EN 310, pri čemer je bila velikost preizkušancea v enakem razmerju kot je le-to pri smučeh. Kot osnovo smo vzeli smuči dolžine 165 cm, pri kateri je širina pod smučarskim čevljem 78 mm.

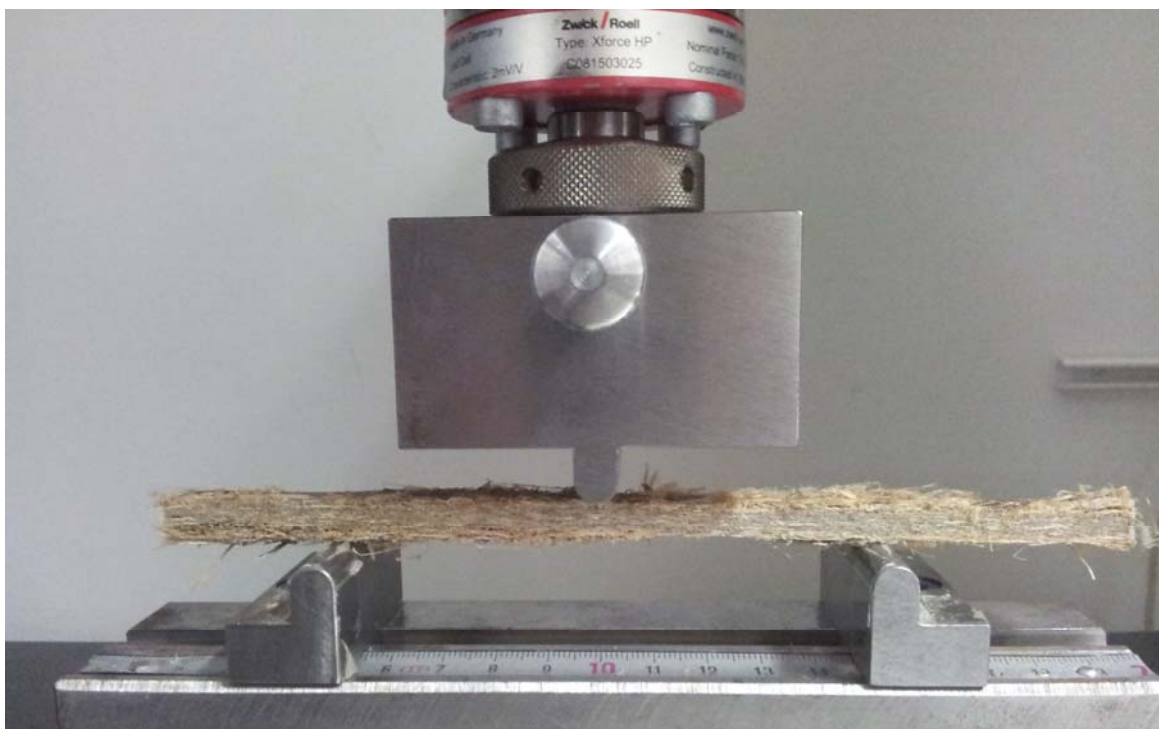
Uporabili smo 6 vzorcev dimenzij dolžine 13 mm, širine 6 mm in debeline 4 mm, predhodno kondicionirane pri temperaturi 22 °C in 6 preizkušancev enakih dimenzij, ki smo jih izpostavili temperaturi -15 °C (slika 6).



Slika 6: Upogibni test preizkušanca referenčne plošče

### 3.4.3 Ciklična obremenitev

Na preskuševališču (slika 7) smo poskušali simulirati obremenitve, ki se pojavljajo med samim smučanjem. En cikel je bil sestavljen iz faze obremenitve, ki je bila 25 %, 50 %, 75 % in 90 % povprečne maksimalne sile, ki smo jo določili pri upogibnem testu. Čas trajanja ene obremenitve je bil eno sekundo. Toliko časa je trajala tudi faza razbremenitve. Uporabili smo 3 vzorce za vsako obremenitev in vsak vzorec testirali 50 ciklov.



Slika 7: Ciklično obremenjevanje preizkušanca laboratorijsko izdelane plošče

### 3.4.4 Laboratorijska izdelava plošč

V laboratorijskih pogojih smo izdelali dve plošči iz dolgih konopljinih vlaken. Za izdelavo prve plošče smo uporabili 778 g konopljinih vlaken, 190 g melaminsko formaldehidne lepilne mešanice, ki je vsebovala 143 g melaminsko formaldehidnega lepila, 14 g utrjevalca amonijevega sulfata in 33 g vode.

Za izdelavo druge plošče smo uporabili 1264 g konopljinih vlaken, 307 g melaminsko formaldehidne lepilne mešanice z 232 g deleža lepila, 22 g utrjevalca in 53 g vode.



Slika 8: Stroj za oblepljanje iveri in vlaken

Vlakna smo oblepljali v bobnu za oblepljanje v katerem lopatice mešajo vlakna na katera se veže lepilna mešanica (slika 8).

Za izdelovanje plošč smo uporabili kalup v obliki kvadrata (slika 9). Za dno smo uporabili železno ploščo zaščiten s peki papirjem na katerega smo razporedili vlakna. Pri usmerjanju smo pazili, da so vlakna usmerjena kar se da enakomerno v vse smeri.



Slika 9: Kalup iz vezane plošče

Stiskanje smo opravili v laboratorijski stiskalnici (slika 10).



Slika 10: Laboratorijska stiskalnica

Parametri stiskanja so bili za obe plošči enaki. Čas stiskanja 4 min pri temperaturi 200 °C in tlaku 2 N/mm<sup>2</sup>.

Plošče smo 60 minut ohlajali pri sobnih pogojih nakar smo jih postavili v prostor z normalno klimo (temperatura 20 °C, 65 % zračna vlažnost). Plošče so se nato razžagale na željene dimenzije. Parametri stiskanja so bili za obe plošči enaki in so bili prilagojeni industrijskim parametrom stiskanja plošč.

## 4 REZULTATI

### 4.1 UPOGIB

Silo, pri kateri je prišlo do preloma pri obremenitvi zaradi upogiba, smo ugotavljali na 12 preizkušancih (preglednica 1). Povprečna sila pri kateri je prišlo do preloma je bila 22,05 N (standardni odklon = 1,129).

Preglednica 1: Rezultati merjenja upogibne trdnosti

Vzorec	Sila max (Fmax)
1	22,1
2	21,6
3	23
4	23,8
5	21
6	22,6
7	22,7
8	22,6
9	21,7
10	22,2
11	22
12	19,3
Povprečna sila	<b>22,05</b>

Od dobljene povprečne sile za prelom 22 N smo za različne odstotke določili sile pri katerih smo opravili ciklične preizkuse (preglednica 2).

Preglednica 2: Določanje sil obremenjevanja

Odstotek	Sila preizkušanja [N]
90%	19,8
75%	16,5
50%	11
25%	5,5

### 4.2 GOSTOTA IN DEBELINA

Debelina in gostota uporabljenih plošč je predstavljena v preglednici 3.

Preglednica 3: Povprečne debeline in gostote plošč

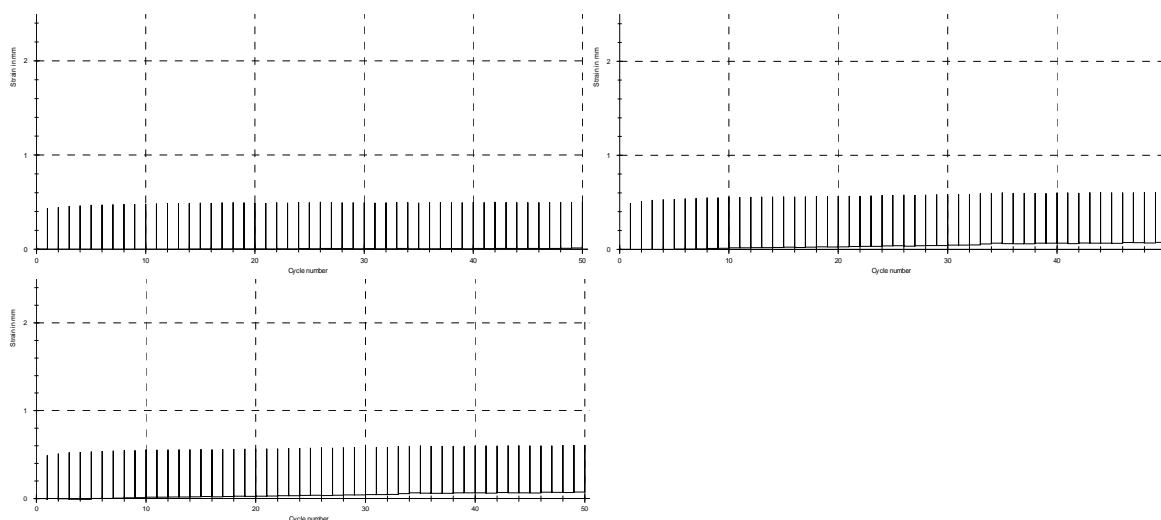
	Debelina [mm]	Gostota [g/cm <sup>3</sup> ]
Referenčna plošča	4,2	0,825
Plošča 1	5,9	0,580
Plošča 2	7,5	0,814

### 4.3 CIKLIČNO OBREMENJEVANJE

Rezultati ciklične obremenitve, ki so predstavljeni v nadaljevanju, so pokazali razlike tako med ploščami, kakor tudi med pogoji klimatizacije. Pri vseh ploščah smo ugotovili odstopanja plošč, ki smo jih izpostavili hladni klimi.

#### 4.3.1 Referenčna plošča

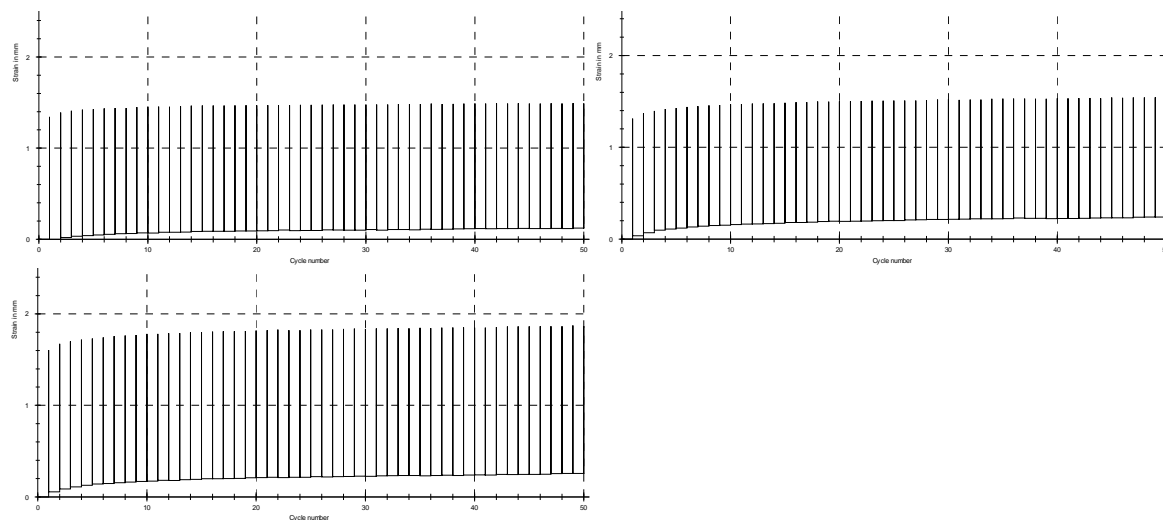
Deformacije referenčne plošče glede na pogoje klimatizacije pri 25 % obremenitvi so prikazane na grafih, kjer x os predstavlja število ciklov, y os pa povos [mm] (slika 11).



Slika 11: Deformacije referenčne plošče pri 25 % obremenitvi v odvisnosti od števila ciklov in pogojev klimatizacije (**A (levo zgoraj)** - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; **B (desno zgoraj)** - ohlajen na -15 °C; **C (levo spodaj)** - ohlajen na -15 °C in nato kondicioniran na sobno temperaturo)

Pri 25 % obremenitvi se že pojavljajo trajne deformacije. Pri izpostavitvi nizkim temperaturam (primera B in C na sliki 11) so trajne deformacije večje in tudi pojavijo se hitreje. Večji povos smo opazili pri preizkušancih, ki so bili najprej izpostavljeni normalni klimi in naknadno nizkim temperaturam (primer C na sliki 11).

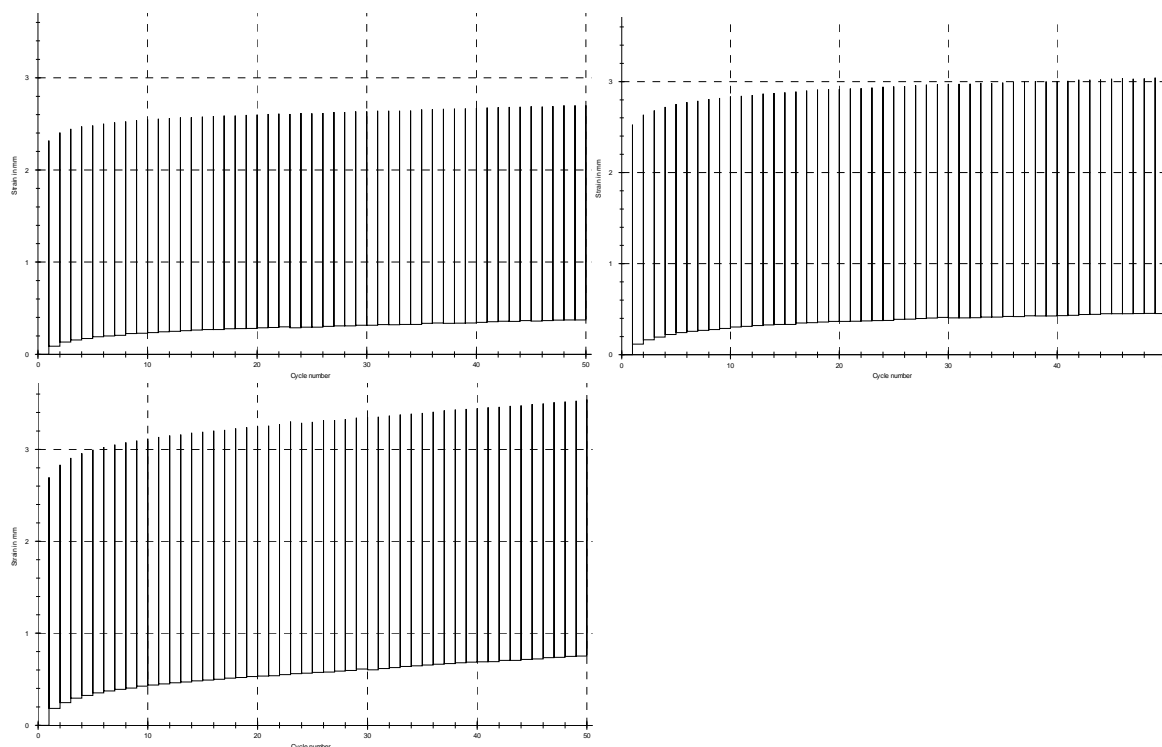
Deformacije referenčne plošče glede na pogoje klimatizacije pri 50 % obremenitvi so prikazane na grafih, kjer x os predstavlja število ciklov, y os pa povos [mm] (slika 12).



Slika 12: Deformacije referenčne plošče pri 50 % obremenitvi v odvisnosti od števila ciklov in pogojev klimatizacije (**A (levo zgoraj)** - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; **B (desno zgoraj)** - ohlajen na -15 °C; **C (levo spodaj)** - ohlajen na -15 °C in nato kondicioniran na sobno temperaturo)

Če primerjamo zmrznjeno ploščo (primer B na sliki 12) in ploščo, ki smo jo iz hladnega okolja kondicionirali na sobno temperaturo (primer C na sliki 12) lahko opazimo, da je pri slednjih večji povos medtem ko sta trajni deformaciji relativno enakih vrednosti.

Deformacije referenčne plošče glede na pogoje klimatizacije pri 75 % obremenitvi so prikazane na grafih, kjer x os predstavlja število ciklov, y os pa poves [mm] (slika 13).

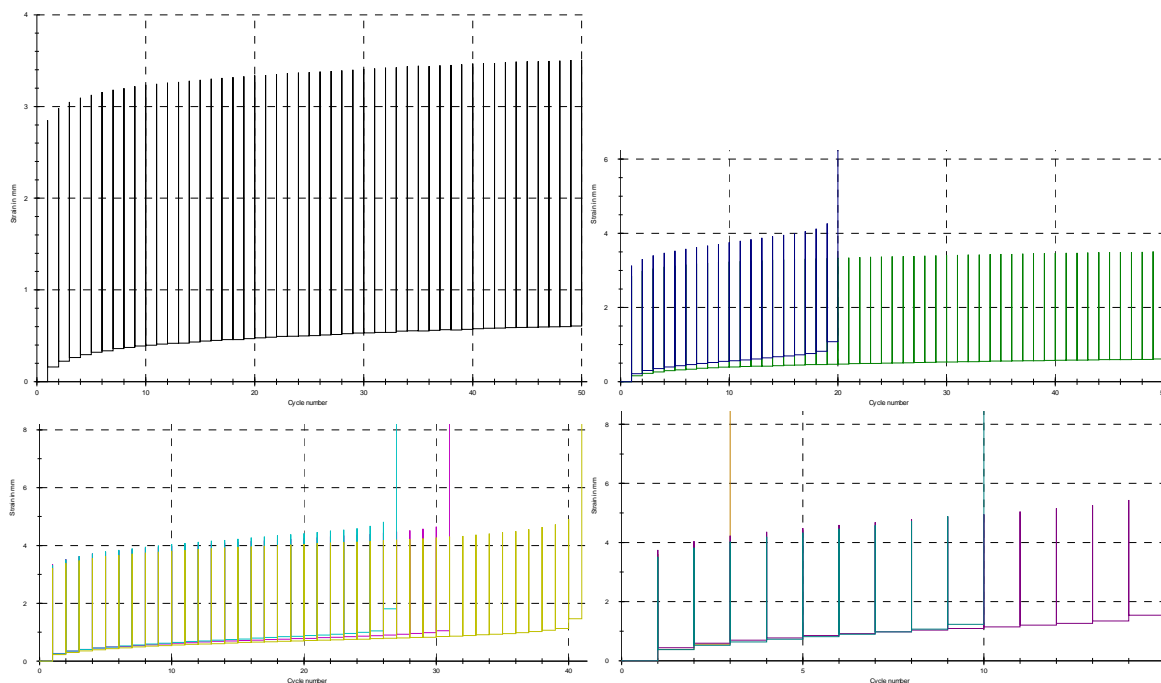


Slika 13: Deformacije referenčne plošče pri 75 % obremenitvi v odvisnosti od števila ciklov in pogojev klimatizacije (A (levo zgoraj) - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; B (desno zgoraj) - ohlajen na -15 °C; C (levo spodaj) - ohlajen na -15 °C in nato kondicioniran na sobno temperaturo)

Trend povečevanja povesa in deformacij pri povečani obremenitvi se nadaljuje. Pri 75 % obremenitvi se največje deformacije pojavljajo na vzorcu, ki smo ga iz hladnega okolja kondicionirali na sobno temperaturo (primer C na sliki 13).



Deformacije referenčne plošče glede na pogoje klimatizacije pri 90 % obremenitvi so prikazane na grafih, kjer x os predstavlja število ciklov, y os pa poves [mm] (slika 14).

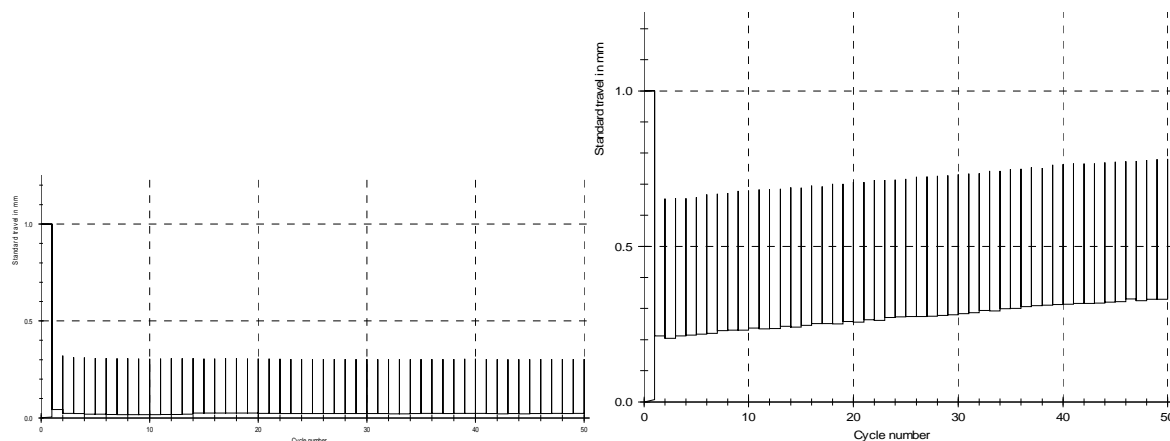


Slika 14: Deformacije referenčne plošče pri 90 % obremenitvi v odvisnosti od števila ciklov in pogojev klimatizacije (A (levo in desno zgoraj) - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; B (levo spodaj) - ohlajen na -15 °C; C (desno spodaj) - ohlajen na -15 °C in nato kondicioniran na sobno temperaturo)

Pri največji obremenitvi preizkušanja, 90 % je pri vseh preizkušancih prišlo do zloma. Izjema je vzorec kondicioniran na sobno temperaturo (primer A levo zgoraj na sliki 14), ki je edini prenesel 50 ciklov obremenjevanja. Pri vzorcih, ki smo jih izpostavili hladni klimi in jih kondicionirali na sobno temperaturo (primer C na sliki 14), do loma prišlo prej.

### 4.3.2 Plošča 1

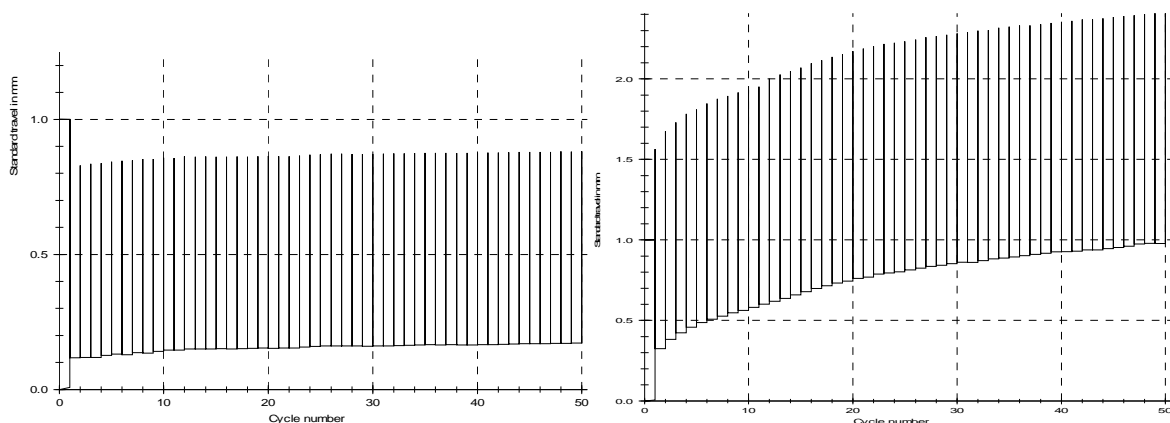
Deformacije plošče 1 glede na pogoje klimatizacije pri 25 % obremenitvi so prikazane na grafih, kjer x os predstavlja število ciklov, y os pa poves [mm] (slika 15).



Slika 15: Deformacije plošče 1 pri 25 % obremenitvi v odvisnosti od števila ciklov in pogojev klimatizacije (A (levo) - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; B (desno) - ohlajen na -15 °C)

Že pri 25 % obremenitvi se kažejo precejšnje razlike v trajnih deformacijah med vzorcema izpostavljenima različnemu okolju. Ohlajen vzorec (primer B na sliki 15) ima skoraj enkrat večji poves in nereverzibilne deformacije, kot vzorec pri normalni temperaturi (primer A na sliki 15).

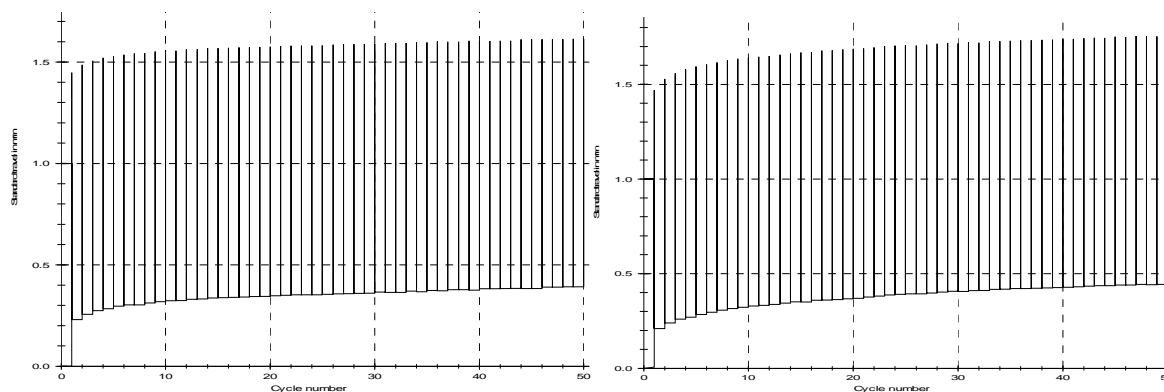
Deformacije plošče 1 glede na pogoje klimatizacije pri 50 % obremenitvi so prikazane na grafih, kjer x os predstavlja število ciklov, y os pa poves [mm] (slika 16).



Slika 16: Deformacije plošče 1 pri 50 % obremenitvi v odvisnosti od števila ciklov in pogojev klimatizacije (A (levo) - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; B (desno) - ohlajen na -15 °C)

Pri 50 % obremenitvi vzorec normalne temperature (primer A na sliki 16) hitro doseže relativno konstantno velikost povesa, prav tako trajne deformacije medtem ko so vrednosti pri ohlajenem vzorcu (primer B na sliki 16) zopet večje in strmo naraščajo vseh 50 ciklov.

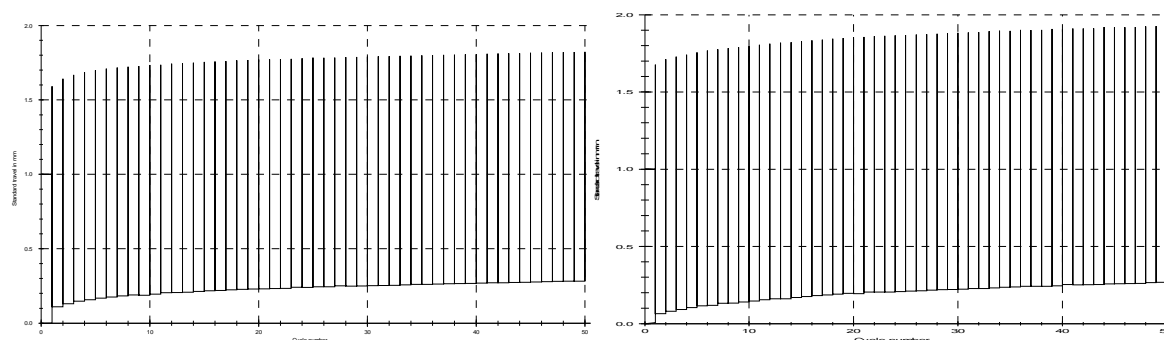
Deformacije plošče 1 glede na pogoje klimatizacije pri 75 % obremenitvi so prikazane na grafih, kjer x os predstavlja število ciklov, y os pa povos [mm] (slika 17).



Slika 17: Deformacije plošče 1 pri 75 % obremenitvi v odvisnosti od števila ciklov in pogojev klimatizacije (A (levo) - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; B (desno) - ohlajen na -15 °C)

Pri višjih silah obremenjevanja opazamo zmanjšanje razlik izmerjenih vrednosti med vzorcema različnih klim (primer A in B na sliki 17).

Deformacije plošče 1 glede na pogoje klimatizacije pri 90 % obremenitvi so prikazane na grafih, kjer x os predstavlja število ciklov, y os pa povos [mm] (slika 18).

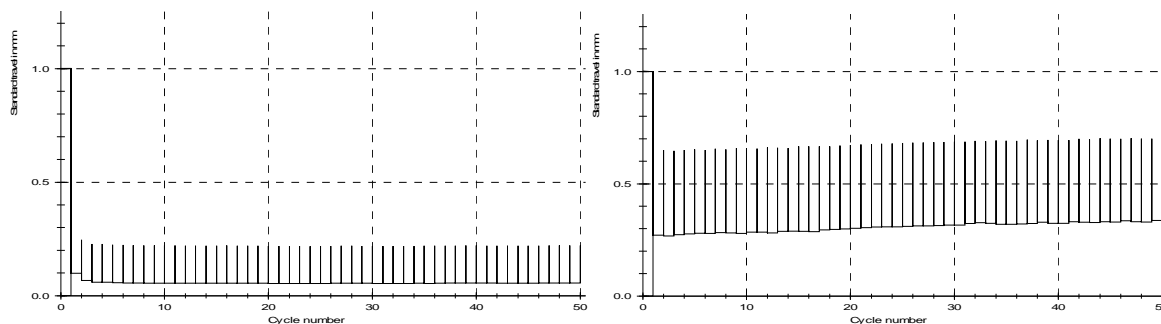


Slika 18: Deformacije plošče 1 pri 90 % obremenitvi v odvisnosti od števila ciklov in pogojev klimatizacije (A (levo) - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; B (desno) - ohlajen na -15 °C)

Odstopanja med vzorcema so še vedno relativno majhna pri 90 % obremenitvi, če jih primerjamo z odstopanji obremenitev pri 25 % (slika 15) in 50 % (slika 16). Zanimivo je, da so izmerjene trajne deformacije pri 90 % obremenjevanju (slika 18) manjše, kot pri vzorcih na katere smo delovali s 75 % silo (slika 17), povos se je pri tem povečal.

### 4.3.3 Plošča 2

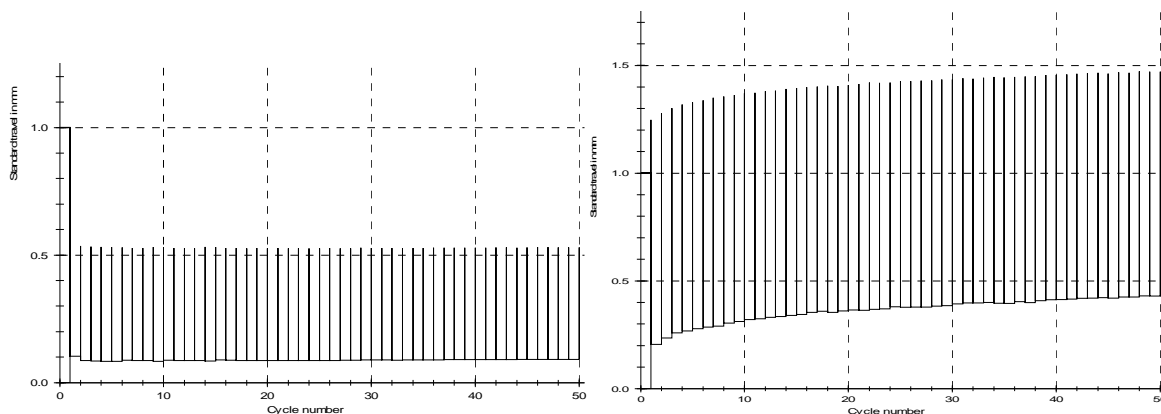
Deformacije plošče 2 glede na pogoje klimatizacije pri 25 % obremenitvi so prikazane na grafih, kjer x os predstavlja število ciklov, y os pa poves [mm] (slika 19).



Slika 19: Deformacije plošče 2 pri 25 % obremenitvi v odvisnosti od števila ciklov in pogojev klimatizacije (A (levo) - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; B (desno) - ohlajen na -15 °C)

Trajne deformacije se pojavijo že po prvem ciklu obremenjevanja. Razlika med vzorcema v vrednostih povesa in trajnih deformacij so velike, saj so trajne deformacije zmrznjenega vzorca (primer B na sliki 19) kot tudi poves dvakratni v primerjavi z vzorcem pri normalni klimi (primer A na sliki 19).

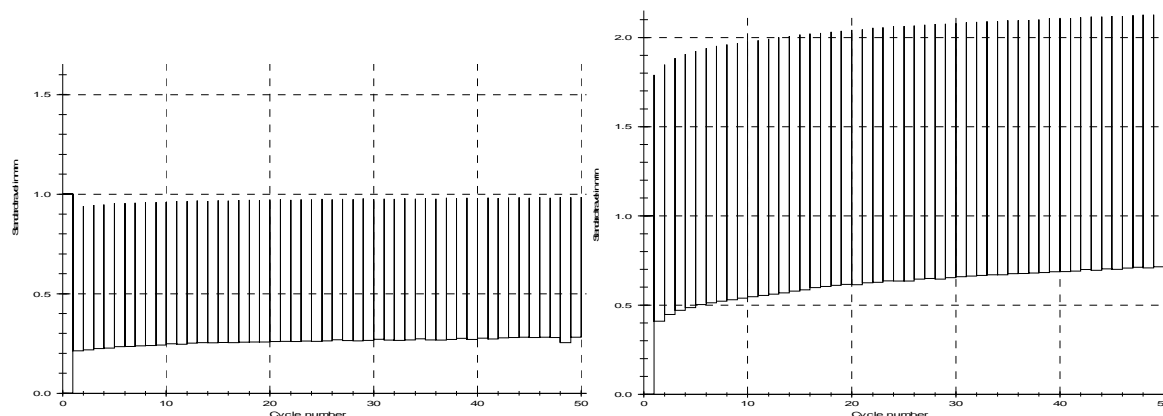
Deformacije plošče 2 glede na pogoje klimatizacije pri 50 % obremenitvi so prikazane na grafih, kjer x os predstavlja število ciklov, y os pa poves [mm] (slika 20).



Slika 20: Deformacije plošče 2 pri 50 % obremenitvi v odvisnosti od števila ciklov in pogojev klimatizacije (A (levo) - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; B (desno) - ohlajen na -15 °C)

Pri 50 % obremenitve so razlike med vzorcema še vedno velike. Trajne deformacije so se povečale za več kot 0,2 mm pri vzorcu izpostavljenem hladnemu okolju (primer B na sliki 20). Pri tem vzorcu se je poves povečal za dvokratno vrednost vzorca sobne temperature (primer A na sliki 20).

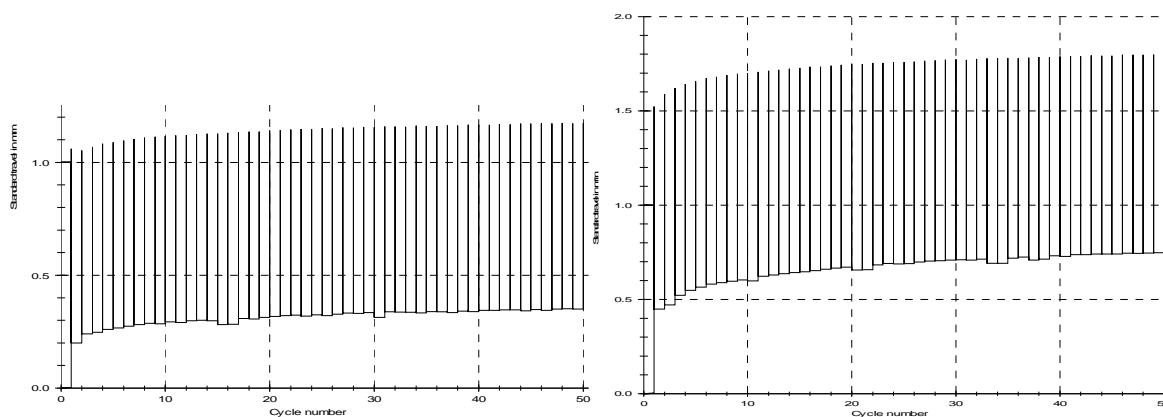
Deformacije plošče 2 glede na pogoje klimatizacije pri 75 % obremenitvi so prikazane na grafih, kjer x os predstavlja število ciklov, y os pa povos [mm] (slika 21).



Slika 21: Deformacije plošče 2 pri 75 % obremenitvi v odvisnosti od števila ciklov in pogojev klimatizacije (A (levo) - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; B (desno) - ohlajen na -15 °C)

Pri 75 % obremenitvi so razlike med preizkušencema različnih klim (slika 21) še vedno izrazite. Trajne deformacije in povos so večje kot pri nižjih silah obremenjevanja.

Deformacije plošče 2 glede na pogoje klimatizacije pri 90 % obremenitvi so prikazane na grafih, kjer x os predstavlja število ciklov, y os pa povos [mm] (slika 22).



Slika 22: Deformacije plošče 2 pri 90 % obremenitvi v odvisnosti od števila ciklov in pogojev klimatizacije (A (levo) - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; B (desno) - ohlajen na -15 °C)

Kot smo poudarili pri plošči 1 so razlike med preizkušencema različnih klim pri 90 % obremenitvi (prikazano na sliki 18) manjše kot sicer, tukaj ugotavljamo, da se vrednosti povosa in deformacije bolj razlikujejo. Povos se je sicer pri hladnejši plošči (primer B na sliki 22) v primerjavi z enakim vzorcem pri 75 % obremenjevanju (primer B na sliki 21) malenkost zmanjšal, trajne deformacije pa so ob tem podobnih vrednosti pri obeh klimah vzorcev.

## 5 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

Rezultati cikličnih upogibnih obremenitev so pokazali, da lahko izdelamo kvalitetno ploščo iz dolgih konopljinih vlaken katere lastnosti so primerljive, ali pa celo boljše od referenčne plošče (preglednica 4).

Preglednica 4: Primerjalna tabela rezultatov vseh treh plošč (Vzorec **A** - klimatiziran na sobno temperaturo 22 °C; Vzorec **B** - ohlajen na -15 °C; Vzorec **C** - ohlajen na -15 °C in nato kondicioniran na sobno temperaturo)

	Referenčna plošča	Plošča 1	Plošča 2
<b>Debelina [mm]</b>	4,2	5,9	7,5
<b>Gostota [g/cm<sup>3</sup>]</b>	0,825	0,580	0,814

<b>F = 5,5 N</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Največji povos [mm]	0,502	0,562	0,322	0,78	0,222	0,703
Začetni povos [mm]	0,433	0,426	1	1	1	0,65
Maksimalna deformacija [mm]	0,009	0,064	0,024	0,331	0,056	0,336

<b>F = 11 N</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Največji povos [mm]	1,494	1,544	0,881	1,503	0,53	1,472
Začetni povos [mm]	4,343	1,312	1	1,15	0,535	1,247
Maksimalna deformacija [mm]	0,122	0,24	0,171	0,891	0,092	0,432

<b>F = 16,5 N</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Največji povos [mm]	2,701	3,041	1,612	1,754	0,983	2,13
Začetni povos [mm]	2,318	2,525	1,488	1,469	0,939	1,791
Maksimalna deformacija [mm]	0,372	0,454	0,392	0,443	0,28	0,714

<b>F = 19,8 N</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Največji povos [mm]	3,507	4,905	1,821	1,926	1,174	1,797
Začetni povos [mm]	2,842	3,218	1,591	1,676	1,061	1,523
Maksimalna deformacija [mm]	0,608	1,467	0,282	0,268	0,351	0,748

Želja je bila izdelati plošče istih debelin, a zaradi različnega natresanja vlaken to nismo dosegli. Pri tem je igral veliko vlogo tudi »spring-back« efekt, ki je bil za vsako ploščo različen.

Pri cikličnem upogibnem obremenjevanju plošč smo prišli do različnih rezultatov, med katerimi je najboljše rezultate dosegla laboratorijsko izdelana plošča 2. Skladnost rezultatov plošče 2 pri različnih silah obremenjevanja bi lahko pripisovali največji kompaktnosti plošče torej večji debelini in gostoti. Medtem ko za najboljše izmerjene lastnosti pri vseh pogojih merjenja te plošče, lahko pripisujemo uporabi dolgih vlaken.

Če primerjamo ploščo 2 z referenčno ploščo, pri 90 % sili obremenjevanja vidimo, da ima plošča 2, približno 50 % boljše izmerjene lastnosti kot referenčna plošča. Torej manjši povos in manjše nereverzibilne deformacije. To lahko trdimo za obe temperaturi izpostavljenosti plošč. Ti plošči imata sicer relativno majhno razliko v gostoti.

Plošča 1 se je kljub manjši gostoti v primerjavi z referenčno ploščo, odrezala bolje. To bi lahko pripisovali večji debelini plošče 1 in uporabi daljših vlaken.

Izmerjene vrednosti, ki kažejo na slabše lastnosti vzorcev, ki smo jih izpostavili hladni klimi pripisujemo »obnašanju« lepila. Večje deformacije pri zamrznjenih preizkušancih so posledica zamrzovanja vodnih molekul v sami plošči in posledično večanje razdalj med gradniki. To pomeni slabšo povezanost vlaken in tako slabše upogibne lastnosti plošče.

## 5.1 ZAKLJUČKI

Z rezultati dobljenimi iz naših meritev smo lahko zadovoljni saj nam je uspelo izdelati ploščo, ki ima relativno dobre lastnosti in je v primerjavi z referenčno ploščo boljša. Dobili smo širok razpon rezultatov in velike razlike med ploščami, kar je posledica zgoraj opisanih rezultatov.

Pri sami laboratorijski izdelavi plošč je potrebno poudariti nekatere pomankljivosti. Ker so vlakna s katerimi smo delali izredno dolga, se v stroju za oblepljanje niso dobro oblepila, saj je stroj izdelan za krajša vlakna oziroma lesne iveri. Lepilo je oblepilo približno polovico vlaken, ki so se dobesedno zbila skupaj, stroj pa je gmoto le vrtel po obodu bobna. Ker so bila vlakna tako neenakomerno oblepljena jih je bilo potrebno ročno premešati, kar se da enakomerno. V fazi stiskanja plošče 1 se je po končanem stiskanju pojavil »spring back« efekt, zato smo dobili večjo debelino kot referenčna plošča.

## 6 POVZETEK

Namen diplomske naloge je bil izdelati kompozit iz konopljinih vlaken, ki bo primeren za uporabo kot sredica in/ali površinski sloj smuči. Za konopljna vlakna smo se odločili, ker so med naravnimi vlakni najbolj primerna. So dolga in izredno močna. V laboratoriju smo izdelali dve plošči različnih gostot in debelin ter ju primerjali z referenčno ploščo iz konopljinih vlaken, ki je dostopna na našem tržišču.

Laboratorijski plošči smo izdelali iz dolgih konopljinih vlaken in uporabili melamin-urea-formaldehidno lepilo. Vlakna smo oblepljali v stroju za oblepljanje iveri in vlaken. Natresena vlakna smo stiskali 4 min pri 200 °C in tlaku 2 N/mm<sup>2</sup>. Po ohlajanju plošč smo jih razrezali na željene dimenzije.

Vsem vzorcem smo določili upogibno trdnost in izračunali povprečno vrednost. Za preizkušanje ciklično upogibnih obremenitev pri različnih klimatskih pogojih smo določili sile pri katerih smo poskus izvajali. Te sile so bile 25 %, 50 %, 75 % in 90 % maksimalne upogibne trdnosti vzorcev. Pri tem smo spremljali spremembo povesa in trajnih deformacij glede na število ciklov. Za primerjavo gostot in debelin plošč smo le-te tudi izmerili.

Pri vseh ploščah smo ugotovili, da imajo plošče boljše izmerjene lastnosti pri sobni temperaturi, kot pod lediščem. Pri referenčnih ploščah je pri ohlajenih vzorcih in višjih silah obremenjevanja prišlo do zloma. Oslabljene lastnosti pri ohlajenih ploščah pripisujemo zamrznitvi vodnih molekul, ki razširijo prostor med gradniki, kar pomeni slabšo povezanost vlaken in posledično slabše upogibne lastnosti plošč. Najboljše lastnosti smo ugotovili pri laboratorijski plošči z večjo debelino in gostoto. Vrednosti obeh plošč izdelanih v laboratorijskih pogojih so primerljive ali pa celo boljše od referenčne plošče.



## 7 VIRI

Can Industrial Hemp Compete with Carbon Fiber Technologies? Biostruct.  
<http://www.biostruct.ca/can-industrial-hemp-compete> (1.9.2014)

Hemp fiber. Wikipedia.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Hemp#Fiber> (1.9.2014)

Hemp producers. Wikipedia.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Hemp#Producers> (4.9.2014)

Hemp vs. Marijuana. Arizona Industrial Hemp Council (1.9.2014)  
<http://azhemp.org/Archive/Package/Legal/legal.html>

Hemp fibres. Natural fibres.  
<http://www.binhaitimes.com/hemp.html> (1.9.2014)

Navadna konoplja. Wikipedija.  
[http://sl.wikipedia.org/wiki/Navadna\\_konoplja](http://sl.wikipedia.org/wiki/Navadna_konoplja) (1.9.2014)

Robinson R. 2000. Velika knjiga o konoplji: popoln vodič po okoljski, komercialni, medicinski in duhovni rabi ene najbolj izjemnih rastlin na zemlji. Ljubljana. Samozaložba A. Urbančič: 7-14

Santoro T., Grant C., Franklin C. 2006. The Eco-Core Snowboard.  
<http://designscience.umich.edu/pdf%20files/APD-2006-02.pdf>

Ski construction. Mechanic of sport.  
[http://www.mechanicsofsport.com/skiing/equipment/skis/ski\\_construction.html](http://www.mechanicsofsport.com/skiing/equipment/skis/ski_construction.html)  
(4.9.2014)

Stevulova N., Kidalova L., Junak J., Cigasova J., Terpakova E., 2012 Effect of hemp shive sizes on mechanical properties of lightweight fibrous composites.

Tehnologije sredice. Elan d.o.o. 2014  
<http://www.elanskis.com/sl/technology/cores.html> (1.9.2014)

Wood core. Skibuilders.com  
<http://www.skibuilders.com/howto/skicon/woodcore.shtml> (1.9.2014)

## **ZAHVALA**

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Sergeju Medvedu za pomoč in usmerjanje pri pisanju diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi tehniškemu sodelavcu Janezu Renku, ki je pomagal pri izdelavi laboratorijskih plošč.

Izredni prof. dr. Fajdiga je recenziral diplomsko nalogo, za kar se mu zahvaljujem.

Zahvaljujem se prijatelju Roku Kejžarju, ki je kot profesionalni alpski smučar, pripomogel k lažjemu razumevanju vpliva smuči na karakteristike smučanja.