UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Vid DOBRAVEC

LAHKE PLOŠČE IZ KONOPLJE

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Vid DOBRAVEC

LAHKE PLOŠČE IZ KONOPLJE

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

LOW DENSITY HEMP FIBREBOARDS

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2016

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 prof. dr. Sergeja Medveda in recenzenta prof. dr. Milana Šerneka.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu prek Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Vid Dobravec

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dv1
DK UDK 630*862.3
KG konopljina vlakna in pezdir/sejalna analiza/vlaknene plošče/spring-back efekt/vsebnostvlage/gostota/upogibna trdnost/razslojna trdnost/sprememba dimenzij ob povišani vlažnosti/
AV DOBRAVEC Vid
SA MEDVED Sergej (mentor)/ŠERNEK Milan (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2016
IN LAHKE PLOŠČE IZ KONOPLJE
TD Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
OP VIII, 35 str.,10 pregl.,20 sl., 20 vir.
IJ sl
JI sl/en

AI Zaradi vse večjega trenda uporabe naravnih materialov iz obnovljivih virov se poraba kompozitov na osnovi naravnih vlaken z leta v leto povečuje. Vlakneni kompoziti se uporabljajo v industrijah pohištva, notranje opreme in izolacijskih plošč. Poleg lesa, kot osnovnega gradnika različnih kompozitov se v zadnjem času, kot potencialna surovina za izdelavo vlaknatih in ivernih kompozitov omenja tudi konoplja. Konoplja je hitrorastoča rastlina, ki uspeva skoraj v vseh delih sveta. Steblo vsebuje veliko pezdirja in enega najmočnejših naravnih vlaken z veliko vsebnostjo celuloze. V raziskavi smo želeli ugotoviti možnost uporabe konoplje za izdelavo iverno-vlaknatega ploščnega kompozita. Izdelali smo 6 plošč in sicer štiri plošče 5 mm (enoslojne in trislojne) in 2 plošči 16 mm (enoslojna in trislojna) in sicer samo iz pezdirja ter kombinacije pezdirja in vlaken. Uporabili smo melamin-urea formaldehidno lepilo. Preizkušancem smo določali: vsebnost vlage, gostoto, debelinski in rezidualni nabrek, upogibno trdnost, modul elastičnosti, razslojno trdnost in koeficient toplotne prevodnosti. Ugotovili smo, da lahko iz konopljinih vlaken in pezdirja izdelamo plošče nizkih gostot. Dodajanje dolgih vlaken je ploščam zelo izboljšalo mehanske lastnosti, medtem ko je uporaba manjših (pomletih) gradnikov dosegla ravno nasproten učinek. Vse izdelane plošče so dosegle zadovoljive vrednosti toplotne prevodnosti. Glavna pomanjkljivost plošč ja majhna odpornost proti delovanju vlage.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dv1
DC UDC 630*862.3
CX hemp fiber and woody core/ sieve analysis/hemp fiber board/spring-back efect/ moisture content, dimension change at increased humidity/density/ flexural strength/residual swels/thermal conductivity
AU DOBRAVEC Vid
AA MEDVED Sergej (supervisor)/ ŠERNEK Milan (co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2016
TY LOW DENSITY HEMP FIBRE BOARDS
DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
NO VIII, 35 p., 10 tab., 20 fig., 20 ref.
LA sl
Al sl/en
AB Due to the increasing trend of using natural materials from renewable sources, the use of composites based on natural fibers is increasing every year. Fiber composites are used in the industries of furniture, furnishings and insulation panels. In addition to wood as the basic building blocks of various composites in recent times, hemp is mentioned as a potential raw material for the manufacture of fiber and particle composites. Hemp is a fast growing plant that thrives in almost all parts of the world. The stem contains many shives and one of the strongest natural fibers with a high content of cellulose. The study was to determine the possibility of using hemp for the manufacture of chipboard-fiber composite plate. We have created a single-layer (thickness 5 mm) and three-layer panels (16 mm) using only shives and combinations of shives and fiber. We used a melamine-urea-formaldehyde adhesive. We determined specimens: moisture content, density, thickness and residual swells, bending strength, modulus of elasticity, layer strength, and thermal conductivity. We were able to produce a low density boards using shives and combination of shives and long fibers. Measurements have shown that adding long fibers to the surface of the panels improves mechanical properties. Panels in which we used grind material were of poor flexural strength. All panels have reached satisfactory value of thermal conductivity. The main drawback of the panels is their low resistance against the high humidity.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA III
KEY WORDS DOCUMENTATION IV
KAZALO VSEBINE V
KAZALO PREGLEDNIC VII
KAZALO SLIK VIII

1 UVOD..... 1
1.1 PROBLEM 2
1.2 HIPOTEZE IN CILJI..... 3
2 PREGLED OBJAV 3
2.1 KONOPLJA IN NJENE VRSTE 3
2.2 KONOPLJA SKOZI ZGODOVINO IN DANES 4
2.3 KONOPLJINA VLAKNA IN PEZDIR TER NJUN POMEN..... 5
2.4 KOMPOZITI IZ NARAVNIH VLAKEN (KONOPLJE)..... 6
3 MATERIALI IN METODE DELA 8
3.1 KONOPLJINA VLAKNA IN PEZDIR..... 8
3.2 LEPILNA SMOLA..... 8
3.3 METODE DELA 8
3.3.1 Sejalna analiza 8
3.3.2 Laboratorijska izdelava plošč..... 9
3.3.3 "Spring-back" efekt 12
3.3.4 Vsebnost vlage..... 12
3.3.5 Gostota..... 12
3.3.6 Upogibna trdnost 12
3.3.7 Razslojna trdnost..... 13
3.3.8 Debelinski in rezidualni nabrek 14
3.3.9 Toplotna prevodnost..... 14
4 REZULTATI..... 16
4.1 SEJALNA ANALIZA 16
4.2 LASTNOSTI PLOŠČ 16
4.2.1 Spring-back efekt..... 16
4.2.2 Vsebnost vlage..... 17
4.2.3 Gostota..... 17
4.2.4 Upogibna trdnost in modul elastičnosti 18
4.2.5 Razslojna trdnost..... 18
4.2.6 Debelinski in rezidualni nabrek 19
4.2.7 Koeficient toplotne prevodnosti..... 20
5 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI..... 21

5.1 MORFOLOGIJA – LASTNOSTI GRADNIKOV 21
5.2 TRDNOSTI IN GOSTOTE PLOŠČ 21
5.3 KEMIJSKA SESTAVA GRADNIKOV IN DIMENZIJSKA STABILNOST 22
5.4 ZAKLJUČKI 23
6 POVZETEK 24
7 VIRI 25
ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Rezultati sejalne analize (povprečne vrednosti) 16
Preglednica 2: Spremembe debelin 1 min. po stiskanju 16
Preglednica 3: Vsebnost vlage v posamezni plošči 17
Preglednica 4: Gostote plošč z debelinami 17
Preglednica 5: Upogibna trdnost in modul elastičnosti plošče 5 mm 18
Preglednica 6: Upogibna trdnost plošče 16 mm 18
Preglednica 7: Razslojna trdnost (plošče 16 mm) 18
Preglednica 8: Spremembe debeline ob povišani zračni vlažnosti 19
Preglednica 9: Navzem mase pri povišani zračni vlažnosti 19
Preglednica 10: Rezultati meritev toplotne prevodnosti na ploščah 5 mm 20

KAZALO SLIK

Slika 1: Vrste roda Cannabis (Konoplja, 2016) ... 4
Slika 2: Območja kjer je konopljo možno gojiti zunaj (Chillaholic.com, 2016) ... 4
Slika 3: Žetev konoplje v Kentuckyju (ZDA) v začetku 20 stoletja (History.ky.gov, 2016) ... 5
Slika 4: Sveže steblo konoplje (spodaj levo vlakna in desno pezdir) ... 6
Slika 5: Trenutna uporaba konoplje zgoraj desno konopljin beton in levo vrata karoserije spodaj izolacija iz konoplje (Earthdwellings, 2013; Guarini, 2012: Truthonpot, 2016) ... 7
Slika 6: Vrste materiala: Zgoraj levo pezdir in desno dolga vlakna. Spodaj levo zmlet pezdir in desno mleta vlakna. ... 8
Slika 7: Material v sušilniku ... 10
Slika 8: Oblepljanje materiala (pezdir) ... 10
Slika 9: 16 mm plošča z usmerjenimi vlakni na površinah po natresanju (pred stiskanjem) ... 11
Slika 10: Preizkušanci 50 x 50 mm iz vsake plošče. (V spodnji vrsti spodnja stran plošče in v drugi zgornja stran plošče. Nad vzorci je uporabljen material. Plošče od leve proti desni: Pezdir (5 in 16 mm), pezdir z usmerjenimi vlakni na površini (5 in 16 mm), mlet pezdir (5 mm) in mleta vlakna (5 mm). ... 11
Slika 11: Določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti pri ploščah debeline 5 mm 13
Slika 12: Določanje upogibne trdnosti pri ploščah 16 mm ... 13
Slika 13: Testiranje razslojne trdnosti (plošče 16 mm) ... 14
Slika 14: Preizkušanci 16 mm v komori s povišano zračno vlažnostjo ... 14
Slika 15: Naprava za določanje termodinamskih lastnosti. ... 15
Slika 16: Razslojitev v sloju vlaken (preizkušanec 50 x 50 mm) ... 19
Slika 17: Masni delež posameznih velikosti gradnikov v primerjavi z upogibno trdnostjo ... 21
Slika 18: Primerjava gostote in upogibne trdnosti ... 22
Slika 19: Sprememba debeline vzorcev ... 22
Slika 20: Sprememba mase vzorcev ... 23

1 UVOD

"Iz konopljinega semena naredite največ kar lahko, zasadite ga povsod"

George Washington

"Zakaj uporabljati gozdove, ki so rasli stoletja ali rudnike, ki so nastajali tisočletja, če lahko enako količino surovine dobimo iz enoletne žetve konopljinih polj"

Henry Ford

Konvencionalne vlaknene in iverne plošče so v večini primerov narejene iz iveri in vlaken, ki so produkt iverjenja hlodovine oziroma razvlaknjevanja. Iveri in vlakna gredo nato skozi postopek separacije, sušenja, oblepljanja in nato natresanja ter končnega stiskanja pri visokih temperaturah. Končni produkt so plošče, ki se uporabljajo v različne namene, največ pa se jih uporabi v pohištveni industriji. V svetovnem pogledu bodo iverne in vlaknene plošče zaradi zmanjševanja lesnih zalog vse bolj prisotne.

Veliko prednost tovrstnih plošč predstavlja najprej vhodna surovina. Izdelujemo jih lahko iz skoraj vseh olesenelih rastlin (celuloza in lignin) Uporabimo lahko deblo, vejevje, korenine in tudi prah, ki nastane pri predelavi surovine (veliki izkoristki). Drugo prednost pa predstavlja prilagodljivost plošče glede na namen uporabe. Ploščam lahko med postopkom izdelave poljubno spreminjamo gostoto, debelino, količino lepila (okrepimo tiste dele materiala ki bodo bolj obremenjeni) ali jim dodamo aditive, ki jim izboljšajo določene lastnosti (odpornost proti delovanju vode/vlage, lovilci formaldehida). Ker plošče proizvajamo po istem postopku pa imajo tudi enake lastnosti kar zmanjša variabilnost končnih proizvodov.

Ker stebla konoplje vsebujejo veliko celuloze in je pridobivanje vlaken ter pezdirja iz stebel relativno enostavno in ne zahteva kemične predelave predstavlja konoplja alternativo konvencionalnemu proizvajanju vlaknenih plošč. Slednje se zaradi zmanjševanja količin lesnih zalog ter naraščajočega povpraševanja sooča s pomankanjem in visokimi cenami surovine.

V Sloveniji kot tudi v EU se pridelava konoplje iz leta v leto povečuje. V obdobju 2001 do 2011 je bilo v EU s konopljo zasejanih med 10.000 in 15.000 ha. Po letu 2011 pa se je proizvodnja konoplje močno povečala in je v letu 2015 dosegla že 25.000 ha. Podatki za leto 2013 nam povedo, da se je leta 2013 v EU na 15.700 ha pridelalo 85.000 t stebel iz katerih se je pridobilo 25.000 metričnih ton vlaken in 43.000 metričnih ton pezdirja. Več kot 50 % konopljinih vlaken se je uporabilo za predelavo v papir in 63 % vsega pezdirja za živalsko steljo (panoge kjer imajo surovine najnižjo dodano vrednost). (Carus, Sarmento, 2016)

1.1 PROBLEM

Konoplja predstavlja potencialen vir surovine za izdelavo lesnih ploščnih kompozitov iz iveri in vlaken. Še posebej so zanimiva vlakna saj bi lahko z njihovo uporabo izdelali kompozit z dobrimi mehanskimi lastnostmi. Ker pa je pomembna tudi celostna raba materiala smo želeli ugotoviti ali je mogoče izdelati kompozit pri katerih bi lahko uporabili tako vlakna kakor tudi pezdir.

1.2 HIPOTEZE IN CILJI

Cilj naloge je bila izdelava lahkih plošč iz konopljinih vlaken in pezdirja s primernimi mehanskimi in fizikalnimi lastnostmi, ki jih zahteva trg.

2 PREGLED OBJAV

2.1 KONOPLJA IN NJENE VRSTE

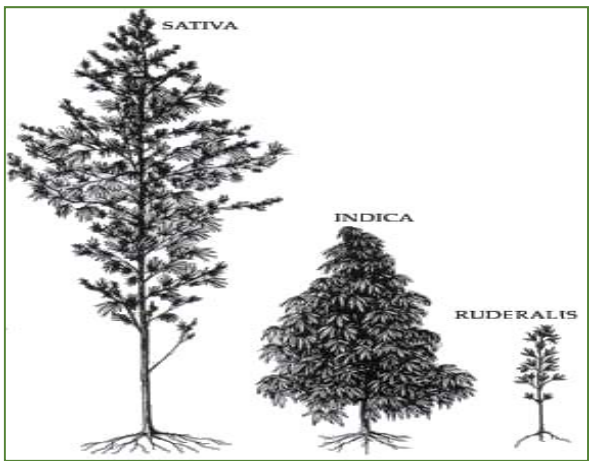
Z imenom Konoplja označujemo rod *Cannabis* (slika 1). Je hitrorastoča dvodomna rastlina, ki lahko doseže višino od 0,5 do 5 m. Vrste konoplje, ki jih danes gojimo so se razvile iz samorasle konoplje (*Cannabis sativa L. ssp. spontanea*), ki je avtohtona v centralni in južni Aziji. Iz nje so se glede na podnebni pas in teren razvile tri podvrste (Kocjan Ačko, 2002). Ko govorimo o nomenklaturi konoplje se pojavi kar nekaj dilem saj nove študije nakazujejo na to, da bi morali trenutno poimenovanje vrst spremeniti.

Trenutna splošno veljavna nomenklatura deli konopljo na (Konoplja, 2016; McPartland, 2014)

- Navadno ali industrijsko konopljo (*Cannabis sativa L. var. sativa*). Je najbolj razširjena vrsta konoplje, ki se jo goji za pridobivanje vlaken in semen kar nam pove že samo ime "sativa" ki v lat. pomeni kultiviran. Rastlina dosega višine od 1 do 5 m in vsebuje manjše količine smole. Nove študije, ki preučujejo genetiko konoplje predlagajo spremembo imena *Sativa* v *Indico*.

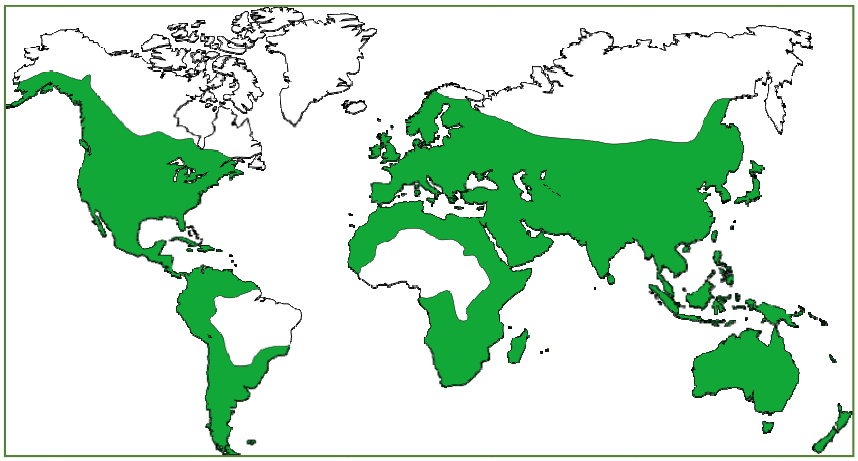
- Indijsko ali medicinsko konopljo (*Cannabis sativa L. var. indica*), ki se zaradi svoje visoke vsebnosti smole uporablja v medicinske namene. Raste v obliki grmičkov in dosega višino od 0,5 do 1,5 m. Indica bi bila po novih predlogih preimenovana v Afganistansko saj rastlina izvira iz pustih gora Afganistana kjer je zaradi neugodnih razmer proizvajala več smole za zaščito pred izhlapevanjem vode.

- Pionirsko vrsto *Ruderallis* (*Cannabis sativa L. var. ruderallis*), ki dosega višine cca. 0.5 m vendar je ta zelo odvisna od območja kjer uspeva. Vrsta je prilagojena na kratke rastne sezone, ki so značilne za severna rastišča (centralna Rusija). V primerjavi s *Sativo* in *Indico* proizvede majhne količine smole. Za vrsto *Ruderallis* pa predlagajo novo poimenovanje *Sativa*.



Slika 1: Vrste roda Cannabis (Konoplja, 2016)

Ljudje so konopljo zaradi njene vsestranske uporabnosti razširili skoraj po vsem svetu. Slika 2 prikazuje območja kjer je danes konopljo možno gojiti zunaj.



Slika 2: Območja kjer je konopljo možno gojiti zunaj (Chillaholic.com, 2016)

2.2 KONOPLJA SKOZI ZGODOVINO IN DANES

"Ni rastline, ki bi imela tako zamotano razmerje s človeštvom, kot ga ima konoplja" (Robinson, 2000). Človek se je srečal s konopljo že v pradavnini. Eden prvih arheoloških dokazov je kos blaga, ki je bil najden v neolitskem naselju Catal Huyuku na območju današnje Turčije. Kos blaga iz konoplje je bil datiran v 8. tisočletje pred našim štetjem, se pravi že pred vzponom velikih civilizaciji.

Človek je konopljo gojil iz dveh razlogov. Najprej zaradi močnih, trpežnih in dolgih vlaken, ki so se uporabljala za izdelovanje oblačil, obutve, šotorov, vrvi, orožja in gradbenih materialov. Po drugi strani pa zaradi hrane, zdravilnih učinkov in verskih obredov (Robinson, 2000).

Slika 3: Žetev konoplje v Kentuckyju (ZDA) v začetku 20 stoletja (History.ky.gov, 2016)

Konopljarstvo se je močno razširilo v obdobju odkrivanja in osvajanja novih svetov saj je imelo 90% takratnih plovil vrvi kot tudi jadra narejena iz konoplje. Za opremo ene takratne ladje je bilo potrebnih od 50 do 100 t konopljinih vrvi, katerih zamenjava je bila potrebna vsake 2 leti. Kolonialne države so v svojih kolonijah kot v domačih deželah podpirale in spodbijale gojenje konoplje nekatere pa tudi dodatno obdavčile tiste kmete, ki konoplje niso pridelovali. (Robinson, 2000; Herer, 1985)

Konoplja je do začetka 20. stoletja že začela izgubljati na pomenu. Z industrijsko revolucijo in pojavom parnika se konča obdobje jadrnic. V začetku 19 stoletja se pojavi stroj za pobiranje bombaža. Konec 19. stoletja pa še proces izdelovanja papirne kaše iz lesa. Kljub temu, da gre za umazan in energijsko potraten proces se je le ta hitro uveljavil (pred tem se je 3/4 vsega papirja izdelovalo iz konoplje). Povečevati se začne tudi uvoz poceni predivnic iz držav tretjega sveta (sisal, juta, kenaf). Najnižjo točko v svoji zgodovini pa konoplja doseže v 40- letih 20. stoletja s spornim zakonom o obdavčitvi konoplje (ZDA). Zaradi visoke obdavčitve, vse večje uporabe sintetičnih vlaken in propagiranja konoplje kot samo droge se je pridelava konoplje prenehala najprej v ZDA kasneje pa še v številnih državah, ki so sledile njihovemu zgledu. (Robinson, 2000; Hemp-technologies, 2016; Johnson 2015)

V 21. stoletju smo priča sunkovitemu preobratu. Dejstva našega časa kot so eksponentna rast prebivalstva, zmanjševanje količine lesnih zalog, onesnaževanje okolja in vode z uporabo zastarelih tehnologij nas silijo v uporabo alternativnih obnovljivih virov. Konoplja kot rastlina, ki lahko uspeva v skoraj vseh delih sveta s vsemi svojimi odličnimi lastnostmi, številnimi možnostmi uporabe in hitro rastjo zagotovo predstavlja eno takih alternativ. (Robinson, 2000)

2.3 KONOPLJINA VLAKNA IN PEZDIR TER NJUN POMEN

Steblo industrijske konoplje (slika 4) je sestavljeno iz vlaken (20-40%) in pezdirja (60-80%). Tehnična dolžina vlaken je 20 do 200 cm. Vlakna konoplje so sestavljena iz 70-76 % celuloze, 12-20 % hemiceluloze, 3-6 % lignina, 1-1,5 % pektina in 1-2 % smole. Pezdir vsebuje 40-48 % celuloze, 18-24 % hemiceluloze in 21-24 % lignina. Gostota pezdirja pri 10% vlažnosti je 117,5 kg/m^3 vlaken pa 1480 kg/m^3. Natezna trdnost vlaken variira med 550 in 900 N/mm^2 (Stevulova in sod., 2014; Sen, Reddy, 2011; Kocjan Ačko, 2002)

Slika 4: Sveže steblo konoplje (spodaj levo vlakna in desno pezdir)

Poleg konoplje poznamo tudi številne druge poljščine, ki imajo podobne in v nekaterih primerih celo boljše lastnosti od konoplje, kot nap. lan, sisal, bambus, kokos, kenaf. Prednost konoplje pred temi rastlinami je hitrejša rast, večji hektarski donosi (izrazito večji predvsem severno od 40 vzporednika), možnost gojenja v vseh podnebnih pasovih in naravna odpornost proti suši, slani in biotskim škodljivcem (zaradi velike vsebnost smole). Med vsemi naravnimi vlakni imajo konopljina tudi najboljšo odpornost proti delovanju vode/vlage (Sen, Reddy, 2011).

2.4 KOMPOZITI IZ NARAVNIH VLAKEN (KONOPLJE)

Kompoziti narejeni iz konoplje se trenutno izdelujejo predvsem za izolacijske namene, pri čemer se uporabljajo predvsem vlakna.
Prednosti rabe konoplje so slaba toplotna prevodnost in velika poroznost. Slednja zagotavlja dobro paroprepustnost materiala, kar omogoča absorpcijo vlage ob povišani vlažnosti poleti in desorpcijo vlage v suhem zimskem času. Poleg uravnavanje optimalne zračne vlažnosti so konopljina vlakna tudi dober absorber zvoka.

Pomanjkljivosti pa se kažejo predvsem pri dimenzijski stabilnosti. Vgrajeni materiali morajo biti popolnoma izolirani od virov vlage saj zviševanje vlažnosti materialu poveča toplotno prevodnost, maso in povzroča spremembe dimenzij. V primeru navlažitve moremo omogočiti čim hitrejše sušenje. Visoka vsebnost vlage naredi material tudi bolj občutljiv na napade mikroorganizmov. Zadnja velika pomanjkljivost pa je ognjevarnost saj so njihove komponente zelo vnetljive. Vgrajen material je potrebno zaščititi z ognjevarnimi premazi ali pa materialu že v fazi izdelave dodati aditive, ki zmanjšajo nevarnost vžiga (Korjenic in sod., 2011).

Povečuje se tudi uporaba konopljinega pezdirja, ki v kombinaciji z MgO in vodo tvori odličen gradbeni material (hempcrete). Takšna kombinacija zagotavlja dimenzijsko stabilnost in odpornost proti gorenju. Konopljina opeka oziroma beton tudi ne potrebuje dodatne izolacije in v objektu vzdržuje optimalno vlažnost. Velika prednost pa je tudi nizka poraba energije tako za pripravo materiala kot tudi za izdelavo kompozitov (Stevulova in sod., 2012).

Raziskave kompozitov iz naravnih vlaken segajo v začetek 20. stoletja vendar do poznih osemdesetih niso dobili posebne pozornosti. Tovrstne kompozite najdemo v množici izdelkov največ pa se jih porabi za izdelavo navtičnih plovil, smučarske opreme, karoserij avtomobilov in delovnih strojev. Glavni namen uporabe naravnih vlaken je nadomestiti draga steklena vlakna, ki so hkrati tudi zelo težka (2,5 g/cm^3) (Westman, 2010).

Konopljina vlakna se že uporabljajo za ojačitve kompozitov iz plastičnih mas, kateri se uporabljajo v industriji prevoznih sredstev zaradi nizke mase in visoke trdnosti. Sestavljeni so iz vlaken, ki dajejo trdnost in termoplastičnih polimerov s katerimi zalijemo vlakna (Yuanjian in sod., 2007).

Slika 5: Trenutna uporaba konoplje zgoraj desno konopljin beton in levo vrata karoserije spodaj izolacija iz konoplje (Earthdwellings, 2013; Guarini, 2012: Truthonpot, 2016)

3 MATERIALI IN METODE DELA

3.1 KONOPLJINA VLAKNA IN PEZDIR

Uporabili smo konopljina vlakna in pezdir slovenskega izvora, ki nam jih je dobavila zadruga Konopko. Za izdelavo plošč smo uporabili tako pezdir kakor tudi vlakna. Del dobavljenih vlaken in pezdirja smo pomleli v stroju za pomlevanje.

Za izdelavo plošč smo uporabili vse štiri vrste materiala (slika 6).

Slika 6: Vrste materiala: Zgoraj levo pezdir in desno dolga vlakna. Spodaj levo zmlet pezdir in desno mleta vlakna.

Mletje je bilo opravljeno z laboratorijskim mlinom za pomlevanje (?).

3.2 LEPILNA SMOLA

Ker je material zelo higroskopen smo se odločili za uporabo MUF lepila. Tovrstno lepilo je bolj odporno, kot urea-formaldehidno lepilo, v primeru rabe v okolju s povišano zračno vlažnostjo oz. cikličnih klimatskih pogojih.

3.3 METODE DELA

3.3.1 Sejalna analiza

Sejalno analizo smo opravili za pezdir (pomlet in nepomlet), pri čemer smo uporabili 100 g posameznega materiala. Material smo stresli v stroj za sejanje gradnikov, ki je sestavljen iz 8 sit skozi katere se zaradi rotirajočega gibanja naprave presejejo gradniki. Po zaključenem

postopku smo ostanek materiala iz vsakega sita stehtali in na podlagi mase določili kak je masni delež posameznih velikosti gradnikov. Opravili smo po 5 sejalnih analiz za vsak material.

3.3.2 Laboratorijska izdelava plošč

Odločili smo se za izdelavo 6 plošč in sicer tri enoslojne plošče debeline 5 mm, eno trislojno ploščo debeline 5 mm, eno enoslojno ploščo debeline16 mm in eno večslojno ploščo debeline 16 mm.

1. plošča – pezdir (5 mm)
2. plošča – pezdir + usmerjena vlakna na zgornji in spodnji ploskvi plošče (5mm)
3. plošča – pezdir - pomlet (5mm)
4. plošča – konopljina vlakna - pomleta (5 mm)
5. plošča – pezdir (16 mm)
6. plošča – pezdir + usmerjena vlakna na zgornji in spodnji ploskvi plošče (16 mm)

Pri vseh ploščah smo uporabili enako razmerje med količino materiala, lepila in utrjevalca (soli H_2SO_4). Plošče so bile narejene iz 88% gradnikov iz konoplje, 9 % lepilne smole glede na količino gradnikov konoplje in 3 % utrjevalca glede na količino lepilne smole. Pri ploščah 16 mm smo le povečali količino komponent tako, da smo dosegli željeno debelino.

Za prve 4 plošče debeline (5 mm) smo uporabili 543 g posameznega materiala, 82 g lepilne smole in 7 g 20 % raztopine utrjevalca. Pri 2. plošči smo uporabili 413 g pezdirja in 103 g dolgih vlaken (delež vlaken 20 %)
Pri ploščah 16 mm smo uporabili 1481 g pezdirja, 223 g lepilne smole in 20 g 20 % raztopine utrjevalca.

Pri 6. plošči smo uporabili 1085 g pezdirja v sredini plošče, 296 g dolgih vlaken na zgornji in spodnji površini in 100 g pezdirja na zgornji in spodnji površini, kateri je prekrival vlakna. (delež vlaken 20 %, delež pezdirja na površinah 10 %) (slika 9)

Gradnike (razen dolga vlakna) smo najprej, v laboratorijskem sušilniku (slika 8), posušili na vlažnost 2-4 % pri temperaturi cca 70 °C.

Slika 7: Material v sušilniku

Posušene gradnike smo nato oblepili v laboratorijskem stroju za oblepljanje (slika 8).

Slika 8: Oblepljanje materiala (pezdir)

Oblepljene gradnike smo natresli v lesen kalup velikosti 0,5 x 0,5 m, ki smo ga postavili na natresno pločevino.

Slika 9: 16 mm plošča z usmerjenimi vlakni na površinah po natresanju (pred stiskanjem)

Sledilo je 3 minutno stiskanje v stiskalnici pri temperaturi 200 °C. Tlak stiskanja je bil pri ploščah 5 mm, 30 bar in pri ploščah 16 mm, 60 bar. Po dveh minutah smo tlak znižali za 50 % in po treh minutah počasi spustili tlak na 0 bar. Plošče smo nato postavili na stojalo kjer smo jih pri sobnih pogojih pustili, da se ohladijo in relaksirajo notranje napetosti. Po 24 h smo plošče razžagali na dimenzije za preizkušanje mehanskih in fizikalnih lastnosti (slika 10).

Slika 10: Preizkušanci 50 x 50 mm iz vsake plošče. (V spodnji vrsti spodnja stran plošče in v drugi zgornja stran plošče. Nad vzorci je uporabljen material. Plošče od leve proti desni: Pezdir (5 in 16 mm), pezdir z usmerjenimi vlakni na površini (5 in 16 mm), mlet pezdir (5 mm) in mleta vlakna (5 mm).

3.3.3 "Spring-back" efekt

Takoj, ko smo plošče vzeli iz stiskalnice smo jim izmerili debelino na vseh štirih robovih vsake plošče. Enako meritev smo ponovili čez eno minuto. Iz razlike v debelinah smo nato izračunali za kolikšen odstotek se debelina plošče poveča, ko preneha delovati tlak.

Spremembo debeline smo izračunali po formuli:

$$\Delta L = \frac{l0 - l1}{l0} x100\ \%$$

Pomen oznak: l_0 = debelina plošče takoj po izdelavi
l_1 = debelina plošče 1 minuto po izdelavi

3.3.4 Vsebnost vlage

Preizkušancem smo določili vsebnost vlage po standardu SIST EN 322. Štiri preizkušance dimenzij 50 x 50 mm smo najprej stehtali in jih nato za 24 ur postavili v sušilnik s temperaturo 103 ± 2°C.
Po 24 h smo preizkušance ponovno stehtali in iz razlike v masi izračunali vsebnost vlage.

Odstotek vlage smo izračunali po formuli:

$$H = \frac{mH - m0}{m0}\ x\ 100\ [\%]$$

Pomen oznak: mH = masa vzorcev pred sušenjem [g]
m0 = masa suhih vzorcev [g]

3.3.5 Gostota

Gostoto smo določili po standardu SIST EN 323. Iz vsake plošče smo uporabili po šest preizkušancev velikosti 50 x 50 mm.
Uporabili smo formulo:

$$\rho = \frac{m}{l\ x\ w\ x\ t} = \left[\frac{g}{cm3}\right]$$

Pomen oznak: m = masa preizkušanca [g]
l = dolžina preizkušanca[cm]
w = širina preizkušanca[cm]
t = debelina preizkušanca[cm]

3.3.6 Upogibna trdnost

Določili smo jo po standardu SIST EN 310. Uporabili smo 6 preizkušancev velikosti 370 x 50 mm (plošče 16 mm) in 170 x 50 mm (plošče 5 mm) iz vsake plošče, ki smo jim izmerili

debelino in širino na mestu obremenitve. 3 preizkušance smo obremenjevali na zgornji strani plošče in 3 na spodnji strani plošče. Po vnosu podatkov je postopek avtomatiziran. Stroj za ugotavljanje mehanskih lastnosti preizkušanec obremenjuje do porušitve in nam izpiše maksimalno silo loma iz katere tudi izračuna upogibno trdnost in modul elastičnosti (slika 11 in 12).

Slika 11: Določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti pri ploščah debeline 5 mm

Slika 12: Določanje upogibne trdnosti pri ploščah 16 mm

3.3.7 Razslojna trdnost

Pri ploščah debeline 16 mm smo določili tudi razslojno trdnost. Uporabili smo standard SIST EN 319.Na osem preizkušancev dimenzij 50 x 50 mm smo z pMDI lepilom prilepili

ploščice iz bukove vezane plošče, ki služijo kot prijemala za vpetje v stroj za preizkušanje mehanskih lastnosti. Vsakemu vzorcu smo izmerili dolžino in širino, podatke vnesli v program naprave. Naprava preizkušance natezno obremenjuje do porušitve in nam na koncu vrne vrednost razslojne trdnosti (slika 13).

Slika 13: Testiranje razslojne trdnosti (plošče 16 mm)

3.3.8 Debelinski in rezidualni nabrek

Meritve smo izvajali po standardu SIST EN 317. Iz plošč 16 mm smo vzeli po osem preizkušancev dimenzij 50 x 50 mm, ki smo jih najprej stehtali in jim izmerili debelino nato pa jih postavili v komoro kjer smo vzdrževali povišano zračno vlažnost ($\varphi \approx 80$ %). Tehtanje in merjenje debeline smo opravili po enem dnevu, tednu in dveh tednih izpostavitve (slika 14).

Slika 14: Preizkušanci 16 mm v komori s povišano zračno vlažnostjo

3.3.9 Toplotna prevodnost

Koeficient toplotne prevodnosti smo določali na ploščah debeline 5 mm. Uporabili smo napravo StiroLab (slika 15) v katero smo vstavili preizkušanec dimenzij 300 x 300 mm. V

program naprave smo vnesli dolžino, širino in maso plošče. Stroj nato na vsaki strani plošče vzpostavi različno temperaturo tako, da se pojavi toplotni tok. Po eni uri meritev naprava določi vrednost koeficienta toplotne prevodnosti.

Slika 15: Naprava za določanje termodinamskih lastnosti.

4 REZULTATI

4.1 SEJALNA ANALIZA

Pri sejalni analizi smo analizirali morfologijo gradnikov. Opazili smo velike razlike med gradniki testiranih materialov (preglednica 1).

Preglednica 1: Rezultati sejalne analize (povprečne vrednosti)

Sito (mm)	Pezdir (%)	Pezdir - pomlet (%)
6,14	4	2,2
4	17,4	8,6
2	55,6	26,2
1,5	12,8	12,6
1,27	2,6	5,6
1	1,8	7,2
0,6	1,6	10,8
0,237	1	14,8
0	0	13,4

Pri pezdirju je 90 % materiala ostalo v zgornjih štirih sitih iz česar lahko sklepamo, da bodo gradniki dovolj veliki in se bodo lepo prepletali in povezovali znotraj plošče.

Pri pomletem pezdirju pa je v zgornjih sitih ostala slaba polovica gradnikov. S pomlevanjem smo generirali več prahu in hkrati skupke kratkih vlaken, kateri lahko pozitivno vplivajo na mehanske lastnosti.

4.2 LASTNOSTI PLOŠČ

4.2.1 Spring-back efekt

Sprememba debeline po izdelavi plošče je zelo variirala glede na uporabljen material (preglednica 2).

Preglednica 2: Spremembe debelin 1 min. po stiskanju

	Sprememba debeline (%)
Pezdir	6,2
Pezdir/dolga vlakna površina	3,3
Pezdir - pomlet	5,6
Vlakna - pomleta	8,3

Pri pomletih vlaknih je bila sprememba debeline večja kar je posledica večje zgostitve zaradi same morfologije materiala, kar rezultira v večji relaksaciji napetosti in posledično v večji spremembi debeline. Dodatno pa je na spremembo debeline vplivala tudi večja vezava vode med ohlajanjem, zaradi večje higroskopnosti mletih vlaken, kar je povezano s spremembo dimenzij.

4.2.2 Vsebnost vlage

Pri ploščah 5 mm je bila vsebnost vlage med ploščami zelo podobna (preglednica 3). Odstopa le plošča z vlakni na površini.

Preglednica 3: Vsebnost vlage v posamezni plošči

	Vsebnost vlage (%)
Pezdir (5 mm)	5,33
Pezdir/dolga vlakna površina (5 mm)	2,99
Pezdir mleto (5 mm)	5,45
Vlakna mleto (5 mm)	4,97
Pezdir (16 mm)	7,00
Pezdir/dolga vlakna površina (16 mm)	7,58

Mleta vlakna so dosegla nižjo vsebnost vlage zaradi višje gostote plošč medtem ko so plošče iz mletega pezdirja dosegle višjo vsebnost vlage zaradi nižje gostote in večje vsebnosti prahu, ki je zelo higroskopen.

Tudi pri ploščah 16 mm smo opazili povečano vsebnost vlage povezano z nižjo gostoto.
K višji vsebnosti vlage je dodatno prispeval bolj higroskopen pezdir, ki je na površini prekrival manj higroskopna vlakna in pa majhna iztrgana vlakna na obodih preizkušancev.

4.2.3 Gostota

Načrtovana gostota plošč je bila 0,550 g/cm^3 pri ploščah 5 mm in 0,600 g/cm^3 pri ploščah 16 mm. V tabeli so razvidne vrednosti gostot z debelinami (preglednica 4).

Preglednica 4: Gostote plošč z debelinami

	Gostota (g/cm^3)	Debelina (mm)
Pezdir (5 mm)	0,375	6,6
Pezdir/dolga vlakna površina (5 mm)	0,556	4,6
Pezdir mleto (5 mm)	0,523	4,4
Vlakna mleto (5 mm)	0,689	4,1
Pezdir (16 mm)	0,613	16,7
Pezdir/dolga vlakna površina (16 mm)	0,587	16,8

Pri plošči iz pezdirja smo dosegli nižjo gostoto saj je bila debelina večja od načrtovane kar je najvrjetneje posledica relativno velikega spring-back efekta. Plošča iz mletih vlaken odstopa v nasprotni smeri. Dosegli smo manjšo debelino kar je posledica morfologije gradnikov.

4.2.4 Upogibna trdnost in modul elastičnosti

V preglednicah lahko vidimo vrednosti za plošče 5 mm (preglednica 5) in plošče 16 mm (preglednica 6).

Preglednica 5: Upogibna trdnost in modul elastičnosti plošče 5 mm

	E (N/mm^2)	F_{max} (N)	f_m (N/mm^2)
Pezdir	168,7	16,2	2,6
Pezdir/dolga vlakna površina	741,8	46,2	7,0
Pezdir mleto	126,5	20,1	1,3

Pri plošči z usmerjenimi vlakni na površini smo pričakovano dosegli višje vrednosti saj so močna konopljina vlakna obremenjena na upogib (nateg) prispevala k višji trdnosti.

Trdnost plošč z usmerjenimi vlakni na površini je bila za 60 % višja kot pri ploščah iz pezdirja in za 80 % višja od plošč iz mletega pezdirja. Pozitiven vpliv uporabe vlaken lahko opazimo tudi pri ploščah debeline 16 mm (preglednica 6)

Preglednica 6: Upogibna trdnost plošče 16 mm

	F_{max} (N)	f_m (N/mm^2)
Pezdir (16 mm)	137,0	4,7
Pezdir/dolga vlakna površina (16 mm)	162,2	5,5

Pri debelejših ploščah je bila razlika v trdnosti med ploščama manjša. Kljub temu, da vlaken nismo oblepljali ampak smo uporabili le lepilo, ki se je na njih preneslo iz pezdirja smo dosegli za 17 % višjo upogibno trdnost kot pri plošči narejeni samo iz pezdirja. Po testiranju so bila vlakna večinoma nepoškodovana (vlakna se niso pretrgala ampak le izpulila).

4.2.5 Razslojna trdnost

Plošče so dosegle relativno nizke razslojne trdnosti (preglednica 7).

Preglednica 7: Razslojna trdnost (plošče 16 mm)

	F_{max} (N)	f_m (N/mm^2)
Pezdir	441,9	0,2
Pezdir/dolga vlakna površina	176,6	0,1

Pri preizkušancih, ki so imeli na površini sloj vlaken so bile vrednosti nižje saj so se vzorci razslojili ravno v sloju dolgih vlaken (slika 16). Razlog je v tem, da dolgih vlaken nismo posebej oblepljali ampak smo uporabili le lepilo, ki se je na njih preneslo iz pezdirja. Tak način smo izbrali zato ker je oblepljanje dolgih vlaken v bobnu zelo težavno. Vlakna se lahko v bobnu navijejo okoli osi kar močno oteži/onemogoči enakomerno oblepljanje in izvzem materiala iz naprave. Zlepljenost v sloju vlaken je bila zato slabša.

Slika 16: Razslojitev v sloju vlaken (preizkušanec 50 x 50 mm)

4.2.6 Debelinski in rezidualni nabrek

Nabrek preizkušancev pri 80 % zračni vlažnosti je bil relativno velik (preglednica 8).

Preglednica 8: Spremembe debeline ob povišani zračni vlažnosti

	1. dan (%)	1. teden (%)	2. tedna (%)
Pezdir	8,7	16,8	18,2
Pezdir/dolga vlakna površina	9,3	17,9	21,2

Opazili smo, da je plošča z vlakni na površini nabrekala hitreje saj je bila zaradi nižje gostote bolj porozna. Kljub majhni razliki sti plošči dosegli zelo podobne vrednosti.

Pri navzemu mase je trend zelo podoben (preglednica 9).

Preglednica 9: Navzem mase pri povišani zračni vlažnosti

	1. dan (%)	1. teden (%)	2. tedna (%)
Pezdir	1,37	4,3	5,2
Pezdir/dolga vlakna površina	1,41	4,7	7,2

Opazimo, da plošča z vlakni na površini absorbira več vlage kar je tudi posledica nižje gostote in s tem povezane večje poroznosti plošč in pa tudi velikega števila majhnih iztrganih vlaken, ki so nastale med razrezovanjem.

4.2.7 Koeficient toplotne prevodnosti

Vse plošče so dosegle vrednosti v območju 0,05 in 0,06 W/mK (preglednica 10).

Preglednica 10: Rezultati meritev toplotne prevodnosti na ploščah 5 mm

	Koeficient toplotne prevodnosti (W/mK)
Pezdir (5 mm)	0,058
Pezdir/dolga vlakna površina (5 mm)	0,054
Pezdir mleto (5 mm)	0,057
Fino mleta vlakna (5 mm)	0,051

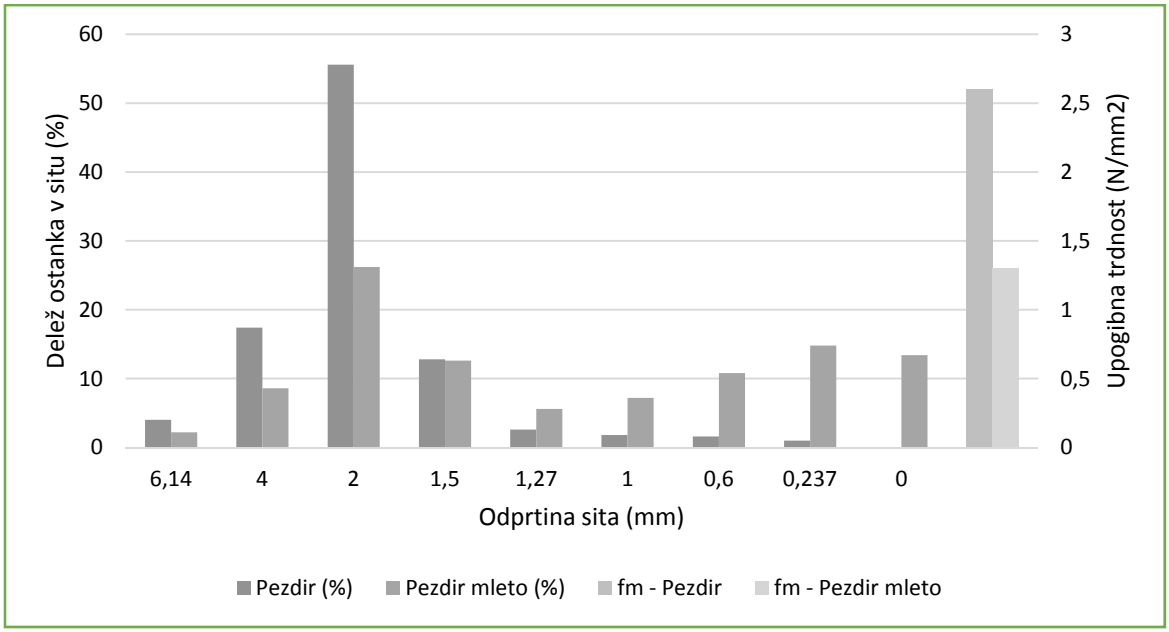
Po pričakovanjih je plošča z mletimi vlakni dosegla najboljšo vrednost saj so bili gradniki puhasti skupki vlaken, ki so v plošči zadržali veliko zraka.

Vse plošče bi bile primerne tudi za izolacijske namene saj so vrednosti primerljive z vrednostmi izolacijskih plošč na trgu.

5 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

5.1 MORFOLOGIJA – VELIKOST GRADNIKOV

Opazili smo velik vpliv morfologije gradnikov na upogibno trdnost (slika 17).

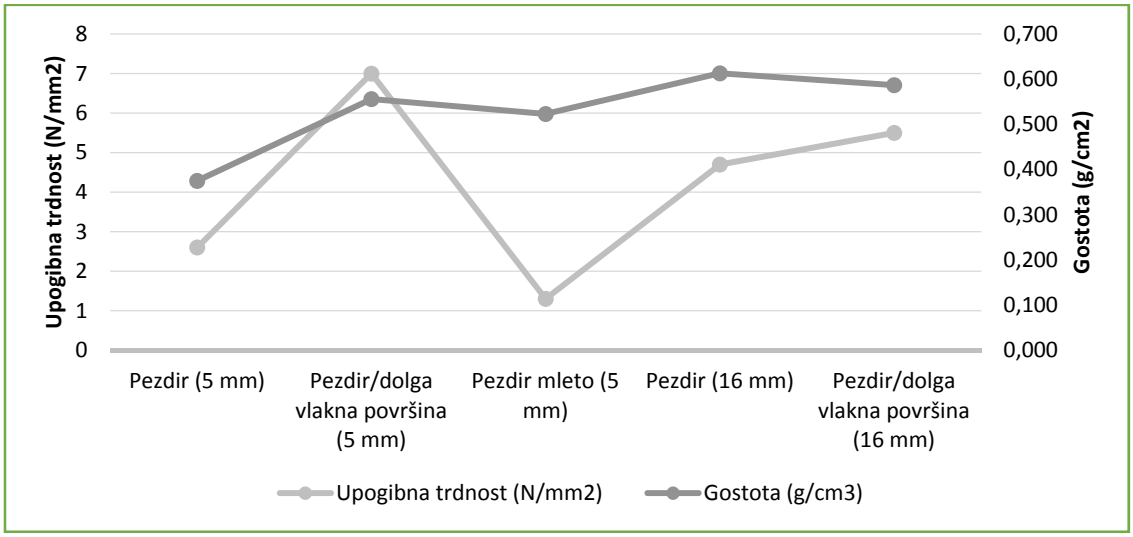


Slika 17: Masni delež posameznih velikosti gradnikov v primerjavi z upogibno trdnostjo

Plošče z daljšimi gradniki dosegajo boljše mehanske lastnosti. Plošča iz pezdirja je dosegla za 100 % višjo upogibno trdnost kot plošča z mletim pezdirjem. Pomlevanje pezdirja z vidika trdnosti ni smiselno saj s tem generiramo veliko število majhnih frakcij.

5.2 TRDNOSTI IN GOSTOTE PLOŠČ

Vpliv gostote na trdnost smo opazili le pri dveh 5 mm ploščah in sicer pri plošči s pezdirjem in plošči z dodanimi vlakni na površini (slika 18), medtem ko je pri drugih dveh ploščah bolj viden vpliv morfologije gradnikov.

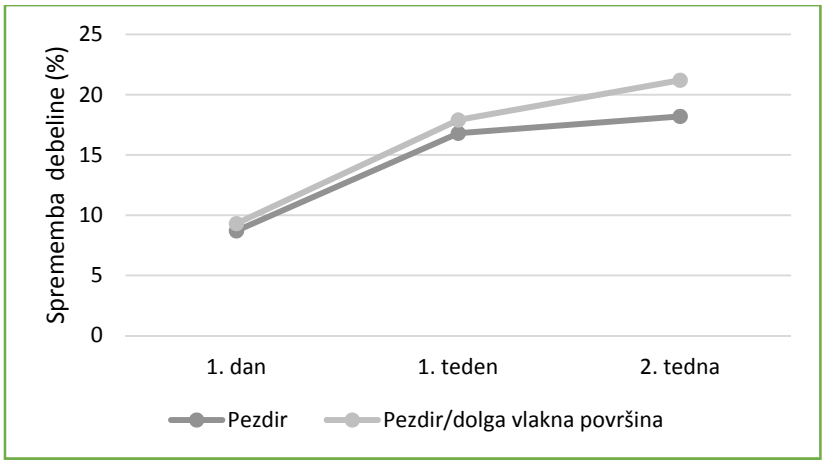


Slika 18: Primerjava gostote in upogibne trdnosti

Ugotovili smo, da dodajanje usmerjenih dolgih vlaken poveča upogibno trdnost plošč. Pri 16 mm ploščah z usmerjenimi vlakni na površini se trdnost kljub nižji gostoti poveča. To je lahko posledica nekoliko manjše zgostitve ali večjega spring-back efekta.

5.3 KEMIJSKA SESTAVA GRADNIKOV IN DIMENZIJSKA STABILNOST

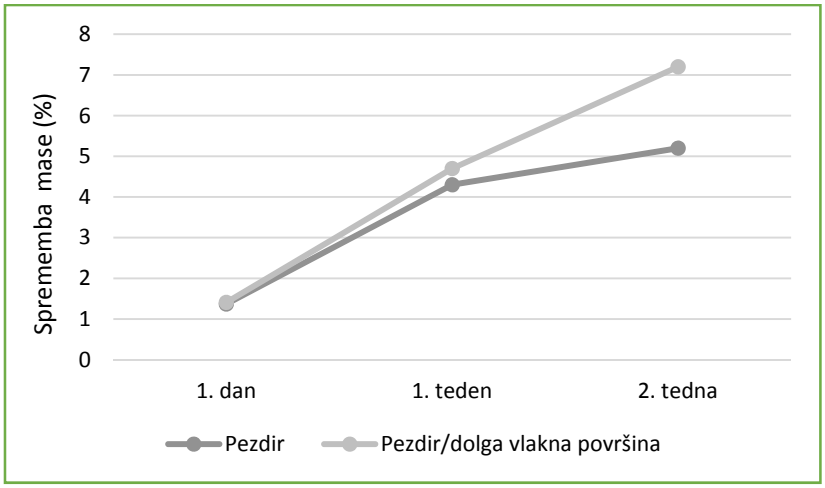
Pri obeh ploščah 16 mm smo dosegli primerljive rezultate (slika 19).



Slika 19: Sprememba debeline vzorcev

Pri ploščah z dolgimi vlakni na površini smo opazili večjo spremembo debeline in mase. Glede na to, da vlakna vsebujejo manj hemiceluloze smo pričakovali, da bo dimenzijska stabilnost boljša pri ploščah z dodanimi dolgimi vlakni. Ker pa smo zaradi oblepljanja vlakna na površini prekrili s tankim slojem pezdirja ta niso mogla prispevati k boljši dimenzijski stabilnosti.

Pri absorpciji vlage je razlika med ploščama bolj očitna (slika 20).



Slika 20: Sprememba mase vzorcev

Upoštevati moramo dejstvo, da je bilo na sloju dolgih vlaken (zaradi razreza) mnogo iztrganih majhnih vlakenc (slika 12), ki so povečala specifično površino preizkušanca in s tem omogočila večjo vezavo vode.

5.4 ZAKLJUČKI

Plošče, ki so bile narejene samo iz konopljinega pezdirja so glede na gostoto uporabljenega materiala (cca 0,1 g/cm^3) dosegle zadovoljive vrednosti tako pri upogibni kot tudi pri razsloji trdnosti iz česar lahko trdimo, da je pezdir primeren material za izdelavo lahkih plošč.

Ugotovili smo, da dodajanje dolgih konopljinih vlaken ploščam močno poveča mehanske lastnosti in ne zvišuje gostote plošč. Slaba oblepljenost vlaken lahko privede do večjega spring-back efekta in posledično do nižje gostote končnih plošč. Slaba stran takega pojava je višja vsebnost vlage (slabše mehanske in termodinamske lastnosti) in slabša odpornost proti delovanju vlage.
V nadaljnjih raziskavah bi bilo potrebno preveriti kako bi boljša oblepljenost dolgih vlaken vplivala na mehanske lastnosti in dimenzijsko stabilnost in pa kako bi povečanje gostote vplivalo na trdnost plošč iz pezdirja.

Mletje surovega materiala je negativno vplivalo na mehanske lastnosti in dimenzijsko stabilnost plošč. Se pa je izkazalo, da imajo plošče iz pomletega materiala boljše izolativnostne lastnosti.
V prihodnjih raziskavah bi bilo potrebno preveriti možnosti izdelave izolacijske plošče v kateri bi kombinirali mleta vlakna z dobro izolativnostjo in dolga vlakna z dobrimi mehanskimi lastnostmi.

6 POVZETEK

Namen naloge je bil ugotoviti ali lahko iz konopljinih vlaken in pezdirja izdelamo iverno-vlaknate ploščne kompozite s primernimi mehanskimi in fizikalnimi lastnostmi. Konopljina vlakna in pezdir smo uporabili zato ker se povečuje tako trend pridelave konoplje kot tudi uporabe materialov iz obnovljivih virov. Konopljina vlakna spadajo med najmočnejša naravna vlakna hkrati pa so tudi zelo dolga.

Izdelali so 6 laboratorijskih plošč različnih gostot za katere smo uporabili različno obdelan material. Štiri plošče so bile narejene samo iz pezdirja in kombinacije pezdirja in vlaken. 2 plošči pa sti bili narejeni iz pezdirja in vlaken, ki smo ju dodatno zmleli. Za pezdir in zmleti pezdir smo opravili tudi sejalno analizo.

Pri vseh ploščah smo uporabili enako razmerje med količino materiala, lepila in utrjevalca. Uporabili smo melamin-urea formaldehidno lepilo zaradi boljše obstojnosti v vlažnih pogojih. Material smo oblepili v bobnu za oblepljanje. Dolgih vlaken nismo posebej oblepljali.

Po natresanju je sledilo 3 min stiskanje v laboratorijski stiskalnici. Pri ploščah 5 mm je bil tlak stiskanje 30 bar in pri ploščah 16 mm 60 bar. Plošče smo nato za 24 h pustili na sobnih pogojih in jih nato razrezali na preizkušance.
Preizkušancem smo izmerili vsebnost vlage, gostoto, upogibno trdnost, razslojno trdnost, dimenzijski in rezidualni nabrek ter koeficient toplotne prevodnosti.

Pri 5 mm ploščah kjer nismo uporabili distančnih letev je bila variabilnost med gostotami večja saj je na zgostitev vplivala sama morfologija gradnikov. Pri ploščah 16 mm z uporabljeno distančno letvijo med stiskanjem takih variabilnosti nismo opazili.

Ugotovili smo, da dodajanje usmerjenih dolgih vlaken pezdirju močno poveča upogibno trdnost plošč. Mletje pezdirja z vidika trdnosti in dimenzijske stabilnosti ni smiselno se pa je izkazalo za pozitivno pri dolgih konopljinih vlaknih z vidika topotne prevodnosti. Pri 5 mm plošči z vlakni na površini smo opazili tudi, da lahko vlakna, ki so manj higroskopna prispevajo k boljši dimenzijski stabilnosti.

7 VIRI

Ačko D. 2002. Konoplja včeraj, danes jutri. Biotehniška fakulteta Ljubljana, Oddelek za agronomijo: 38 str. http://www.konoplja.org/web/Konoplja/Industrija/Gradivo_Acko.doc (3.8.2016)

Carus M., Sarmento L. 2016. The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs, seeds and flowers http://eiha.org/media/2016/05/16-05-17-European-Hemp-Industry-2013.pdf (12. 8. 2016)

Chillaholic.com. 2016. How to grow hemp - from seed to buds. http://f--f.info/?p=23240 (18. 8 2016)

Earthdwellings.com. 2013. Hemp bricks, rammed hemp and hemp insulation https://earthdwellings.com/2013/04/19/hemp-bricks-rammed-hemp-and-hemp-insulation/ (10. 8. 2016)

Guarini D. 2012. Hempcrete, made from hemp, used to build houses. http://www.huffingtonpost.com/2012/05/10/hempcrete-hemp-house_n_1506662.html (10.8. 2016)

Hemp-technologies.com. 2016. History of Hemp. http://www.hemp-technologies.com/page33/page33.html (10. 8. 2016)

Herer J. 1985. The emperor wears no clothes. http://www.hampapartiet.se/25.pdf (11. 8. 2016)

History.ky.gov 2016. World renowned kentucky hemp. http://history.ky.gov/world-renowned-kentucky-hemp/ (17. 7.2016)

Johnson R. 2015. Hemp as an Agricultural Commodity. https://www.fas.org/sgp/crs/misc/RL32725.pdf (3 8. 2016)

Kentucky.com 2016. Higdon J. 2014. Hemp harvest in Kentucky in late 19 century. https://www.growswitch.com/blog/2014/02/thanks-mitch-mcconnell-hemp-production-might-coming-kentucky/ (16. 8. 2016)

Korjenic A., Petranek V., Zach J., Hroudova J. 2011. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation matherials composed of renwable resources. Energy and Buildings, 9: 2518–2523 http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811002611 (22.8.2016)

McPartland J. 2015. Corrected Vernacular Nomenclature http://thenationalmarijuananews.com/2015/06/29020/ (18. 8. 2016)

Navadna konoplja. 2016
https://sl.wikipedia.org/wiki/Navadna_konoplja (11. 8. 2016)

Robinson R. 2000 Velika knjiga o konoplji. Ljubljana, samozal. A. Urbančič: 248 str.

Sen T. Reddy H. 2011. Various Industrial Applications of Hemp, Kinaf, Flax and Ramie Natural Fibres
http://www.ijimt.org/papers/130-M534.pdf (14. 8. 2016)

Stevulova N., Cigasova J., Estokova A., Terpakova E., Gffert A., Kacik F., Singovszka., Holub M. 2014. Properties Characterization of Chemically Modified Hemp Hurds.
http://www.mdpi.com/1996-1944/7/12/8131/htm (14. 8. 2016)

Truthonpot.com 2016. Hemp insulation: A carbon negative alternative to rock-wool
http://www.truthonpot.com/2013/07/16/hemp-insulation-a-carbon-negative-alternative-to-rock-wool/ (10.8. 2016)

TruthOnPot.com. 2016. The world's most eco-friendly hemp car: the Kestrel.
http://www.truthonpot.com/2013/07/11/the-worlds-most-eco-friendly-hemp-car-the-kestrel/ (10.8. 2016)

Westman M., Fifield L., Simmons K., Laddha S., Kafentzist T. 2010. Natural fiber composites: A review
http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-19220.pdf (28. 8. 2016)

Yuanjian T. in Isaac D. 2007. Impact and fatigue behaviour of hemp fibre composites. Composites Science and Technology, 67: 3300–3307
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026635380700139X (28. 8. 2016)

ZAHVALA