

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Sandi VOVK

**IZDELAVA IZOLACIJSKIH PLOŠČ
IZ CELULOZNIH VLAKEN**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Sandi VOVK

IZDELAVA IZOLACIJSKIH PLOŠČ IZ CELULOZNIH VLAKEN

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

**PRODUCTION OF INSULATION PANELS
FROM CELLULOSE FIBERS**

B.Sc THESIS
Professional study programmes

Ljubljana, 2015

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega študija lesarstva – 1. stopnja. Opravljeno je bil na katedri za lepljenje lesa, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile opravljene laboratorijske analize.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja imenoval izr. prof. dr. Sergeja Medveda, za somentorja doc. dr. Boštjana Lesarja in recenzenta prof. dr. Milana Šernek.

Mentor: izr. prof. dr. Sergej Medved

Somentor: doc. dr. Boštjan Lesar

Recenzent: prof. dr. Milan Šernek

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 preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Sandi VOVK

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*862
KG	izolacijska plošča/celulozna vlakna/izdelava plošč
AV	VOVK, Sandi
SA	MEDVED, Sergej (mentor)/LESAR Boštjan (somentor)/ŠERNEK, Milan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	IZDELAVA IZOLACIJSKIH PLOŠČ IZ CELULOZNIH VLAKEN
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
OP	VII, 30 str., 8 pregl., 18 sl., 18 vir,
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Pri izbiri plošč za toplotno izolacijo moramo biti pozorni na izolativne lastnosti in vpliv na ugodje samega uporabnika. Izbiramo lahko med umetnimi (mineralna volna, polistiren, poliuretan, penjeno steklo itd.) in naravnimi (lesna vlakna, pluta, kokosova vlakna, slama, celulozna vlakna itd.) toplotno izolacijskimi materiali. Celulozna vlakna se v večini primerov vgrajujejo po sistemu vpihovanja. Ker omenjeni sistem zahteva primerno tehnologijo, smo v nalogi raziskali možnosti drugačne uporabe celuloznih vlaken in sicer v obliki plošč. Izdelali smo 6 različnih plošč različnih debelin z različno gostoto. Izdelali smo plošče debeline med 4 mm in 150-mm ter gostoto 57 kg/m^3 in 770 kg/m^3 . Ugotovili smo, da gostota in debelina značilno vplivata na toplotni prehod. Najboljše izolacijske lastnosti je imela plošča z najnižjo gostoto in največjo debelino, najslabše lastnosti pa plošče z visoko gostoto in majhno debelino.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dv1
DC UDK 630*862
CX insulation panels/cellulose fibers/making panels
AU VOVK, Sandi
AA MEDVED, Sergej (supervisor)/ŠERNEK, Milan (reviewer)/LESAR, Boštjan(co-supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of Wood Science and technology
PY 2015
TI PRODUCTION OF INSULATION PANELS OF CELLULOSE FIBERS
DT B. Sc. Thesis (Professional study programmes)
NO VII, 30 p., 8 tab., 18 ann., 18 ref.
LA sl
AL sl/en
AB In the selection of panels for thermal insulation we should take care to insulation properties and the impact on user comfort. We can choose between synthetic (mineral wool, polystyrene, polyurethane, foam glass, etc.) and natural (wood fibers, cork, coconut fiber, straw, cellulose fibers, etc.) thermal insulating materials. In most cases, cellulose fibers are installed with blowing technology. We wanted to determine the effect of thickness and density of cellulose boards made of cellulose fibers. We have produced a variety of 6 plates of different thicknesses between 4 mm and 150 mm and different density, between 57 kg /m³ and 770 kg/m³. We found that the density and thickness, typically affect the thermal transition. The best insulating properties had panel with the lowest density and a maximum thickness, while the worst results were revealed by panels with a high density and a small thickness.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO SLIK.....	VI
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 CILJ.....	2
1.3 NALOGE IN HIPOTEZE	2
2 PREGLED LITERATURE IN ZGODOVINA CELULOZE	3
3 MATERIALI IN METODE.....	9
3.1 MATERIALI.....	9
3.1.1 Uporabljena vlakna	9
3.2 METODE DELA	10
3.2.1 Testiranje plošč	16
4 REZULTATI.....	17
5 RAZPRAVA	24
6 SKLEPI.....	27
7 VIRI.....	28
ZAHVALA	30

KAZALO SLIK

Slika 1: (USPTO-Urad Združenih držav za patente in blagovne znamke US 374208A,.....	3
Slika 2: Proizvodni proces celulozne izolacije (European Commision, 2014)	6
Slika 3: Homatherm flexCL plošča (Homatherm, 2014)	8
Slika 4: Vlakna ZIMICELL.....	9
Slika 5: Kalup za pripravo plošč 500x500 mm	11
Slika 6: Plošča "1"	12
Slika 7: Plošča "2"	12
Slika 8: Plošča "3"	13
Slika 9: Izgled neuspešno izdelane plošče.....	13
Slika 10: Plošča "4" in plošča "5".....	14
Slika 11: Plošča "6"	14
Slika 12: Postavitev termočlenov	16
Slika 13: Primer grafa brezdimenzijske konstante - plošča 4.....	18
Slika 14: Prikaz gibanja temperature glede na toplotno časovno obremenitev za prvo, drugo in tretjo ploščo.....	19
Slika 15: Prikaz reakcije plošč na toplotno časovno obremenitev za četrto, peto in šesto ploščo.....	20
Slika 16: Grafični prikaz maksimalnih temperatur.....	22
Slika 17: Termično difuzijski koeficient v odvisnosti od debeline	24
Slika 18: Termično difuzijski koeficient v odvisnosti od gostote	25

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Toplotna prevodnost različnih lesnih ploščnih kompozitov (- povzeto po Sonderegger in Niemz, 2009).....	5
Preglednica 2: Sestava, koeficient toplotne prevodnosti, vlažnost in specifična toplotna kapaciteta celulozne izolacije različnih proizvajalcev.....	7
Preglednica 3: Pregled proizvajalcev celuloznih vlaken in zaposlenih v proizvodnji	8
Preglednica 4: Pregled izdelanih plošč.....	11
Preglednica 5: Primer izpisanih podatkov v programu	17
Preglednica 6: Primer izračunanih brezdimenzijskih konstant za ploščo 3.....	17
Preglednica 7: Maksimalne temperature za posamezno ploščo pri različni spremembi temperature	21
Preglednica 8: Vsi podatki o ploščah, debelina, gostota, koeficienti premic, termično difuzijski koeficient in temperature	23

1 UVOD

Danes živimo v svetu v katerem nam naše življenjsko ugodje narekuje varčevanje in z njim povezana ekologija. Varčujejo vladne organizacije, varčujejo družbe, nenazadnje varčujemo tudi sami doma v gospodinjstvu, bodisi pri porabi električne energije, porabi vode in porabi ogrevalne energije. Da bi v nekem prostoru zagotovili in zadržali prijetno klimo za naš vsak dan, ga je smotrno dobro izolirati.

Na trgu se danes ponuja mnogo različnih izolacijskih materialov, z različnimi karakteristikami, od debeline, gostote, toplotne prevodnosti itd. Torej dejavniki, ki močno vplivajo na izolativnost materialov.

Vse bolj se uveljavljajo bio izolacijski materiali. Ti materiali so večinoma naravnega izvora, ki je praktično trajen in pozitivno vpliva na okolje. Ena izmed bio izolacijskih materialov je celuloza, oziroma celulozna vlakna, ki so proizvedena iz zmletega časopisnega papirja.

Ekološki cikel se dopolni, ko ta papir predelamo v vlakna in zlepimo v ploščo, hkrati varujemo okolje in zmanjšujemo število odpadkov. Ker se ta vlakna v osnovi obnašajo kot les, so izvrstnega pomena za izolacijo in so učinkovita v vseh letnih časih.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Na trgu večinoma ponujajo celulozna vlakna za sistem vpihovanja, torej ga z ustrezno napravo vpihujejo med stene in izolacijske prostore z vpihovanjem. Pri tem lahko nastanejo določene težave zaradi nestrokovnega vgrajevanja kot so zračni žepi, posedanje, neenakomerna razporeditev celuloznih vlaken, kar pomeni različna gostota izolacijskega sloja. Probleme bi delno lahko odpravili z izdelavo plošč iz celuloznih vlaken, kar pomeni bolj praktično rešitev, saj so lažje prenosljive, ne potrebujemo stroja za vpihovanje in so bolj primerne za kasnejše adaptacije, a na drugi strani je potrebno narediti dovolj fleksibilno ploščo, da jo lahko na terenu oblikujemo po potrebi.

1.2 CILJ

Cilj diplomskega projekta je izdelati kompaktno ploščo iz celuloznih vlaken, s čim nižjo gostoto z dobrimi izolativnimi lastnostmi in enostavno za montažo.

Namen je ugotoviti hitrost segrevanja plošč iz celuloznih vlaken, pri različni debelini in gostoti, če jo izpostavimo določenim temperaturnim pogojem.

1.3 NALOGE IN HIPOTEZE

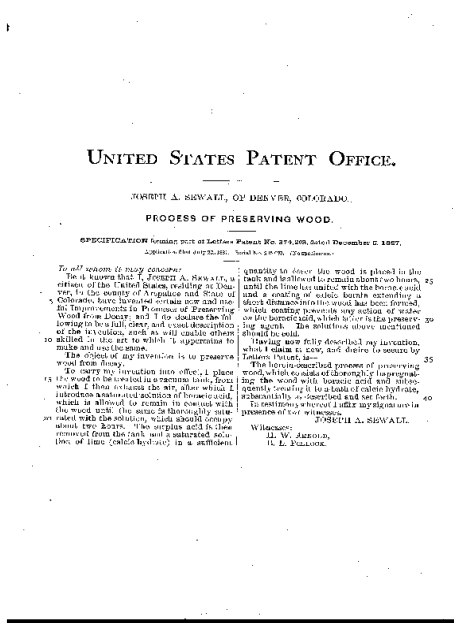
Predvidevamo, da bodo najboljši rezultati za izolativnost pri ploščah z maksimalno debelino in manjšo gostoto. Najslabše lastnosti bo imela tanka plošča z visoko gostoto. Izdelali bomo več plošč, različnih debelin z različno gostoto in jih testirali v nekem časovnem obdobju, kako se odzovejo na spremembo temperature,

2 PREGLED LITERATURE IN ZGODOVINA CELULOZE

Predsednik ZDA Jimmy Carter je sredi sedemdesetih let 20. stoletja, kot prvi naročil izdelavo svetovne raziskave glede varovanja okolja pod imenom Global 2000. Poročilo je pokazalo, da je povzročena škoda za okolje enormna kar je šokiralo širšo javnost. Tako so se ljudje po vsem svetu začeli združevati v skupine zelenih in začeli z ozaveščanjem o varovanju okolja. Trg je tako začel zahtevati ekološke proizvode (Barney, 1982).

V začetku devetnajstega stoletja je predsednik ZDA Thomas Jefferson uporabil celulozna vlakna za toplotno izolacijo svoje deželne hiše. Uporabil je namreč koruzne storže. Leta 1800 je bil razvit stroj za pridobivanje vlaken, prvotno so razvlaknjevali konopljo, kasneje pa še iz drugih primernih materialov. Tako se je pričelo z industrijskim izdelovanjem vlaken rastlinskega izvora, (CtHandiMan, 2015)

Patent za celulozno izolacijo (slika 1) je bil izdan med leti 1800-1900, omenja se sicer datum 12/1887, številka patenta US 374208A (Joseph, 1887).



Slika 1: (USPTO-Urad Združenih držav za patente in blagovne znamke US 374208A, Joseph A, Sew All, 1887. 15.3.2015)

Kasneje leta 1919, so v Kanadi začeli uporabljati neobdelan razcefran časopisni papir kot izolacijo za svoje domove, nakar je bilo ugotovljeno, da služi kot odlična izolacija. Okrog leta 1940 so začeli podjetniki mleti odpadni časopisni papir v vlaknastem stanju za izolacijski material. Tovrstna toplotna izolacija ni našla trdnih temeljev za uporabo vse do sredine dvajsetega stoletja. Trg je zaradi konstantnega poviševanja cen energije stremel k bolj učinkoviti rabi naravnega izolacijskega materiala, ki je postal ekonomsko privlačen. Trg je zato začel zahtevati večje in večje količine celulozne izolacije. Leta 1977 so v hudi zimi uvedli davčno olajšavo v ZDA, za vse tiste, ki bi uporabljali celulozno izolacijo. Tega leta je bilo okoli sto družb, ki so proizvajala vlakna, dve leti pozneje pa že več kot 350. Zaradi nizkih stroškov predelave in enostavnega procesa je bil delež na trgu drastično povečan. Zaradi pritožb potrošnikov in izvajalcev glede težav s kakovostjo in varnostjo, so začeli z uzakonitvijo standardov za celulozo leta 1978, čeprav statističnih podatkov glede nevarnosti ni bilo. Komisija za varnost je tako določila štiri varnostne točke standarda, gostota, jedkost, sevanje in tlenje zgorevanja (Sarfaz in Siddiqui, 1989).

Blackwell in Marchessault (1971) v knjigi Infrardeča spektroskopija celuloze navajata, da je zanimanje za biopolimerne nanokompozite ogromno. Ugotovila sta, da le ti niso samo zeleni in trajnostni materiali, ampak so materiali za širok spekter uporabe. Obravnavata sistematizacijo infrardečega spektra naravnega polimera, celuloze in njenih derivatov. Pozornost namenita tehniki pridobivanja infrardečega spektra vlaknastih celuloznih materialov in analitičnih možnosti za infrardečo spektroskopijo. V knjigi združujeta pregled gibanj in tehnik takratnih raziskovalcev in opis priprave, predelave, aplikacije in lastnosti bio kompozitov razvitih iz hitina, škroba in celuloze.

Hon (1994) v knjigi Les in kemija celuloze, povzame zgradbo in lastnosti celuloze, zgodovino rabe, kdaj se prvič pojavi in kako je vplivala na nadaljnji kemijski in tehnični razvoj. Navaja, da je celuloza najstarejši naravni polimer, ki spada med polisaharide in je sestavljena iz manjših molekul glukoze in celobioze. Predstavi zapletenost kemijske zgradbe celuloze pod mikroskopom in navede dokaze o tem, da je celuloza kovalentno vezana makromolekula z visoko molekulsko maso.

Kawasaki in Kawai (2006) sta raziskovala izolacijske lastnosti sendvič plošče, pri čemer je zunanja plast vezana plošča in sredica iz nizko gostotne lesne vlaknene plošče. Ugotovila sta nizke vrednosti toplotne prevodnosti, 0,07 do 0,077 W m⁻¹ K⁻¹, za plošče gostote med 0,34 in 0,41 g/cm³.

Grahovac (2010) v svoji diplomski nalogi preuči vpliv vrste in velikosti delcev na toplotno prevodnost lesnih plošč in ugotovi, da oba parametra vplivata na hitrost in čas prevajanja toplote. Ugotovi tudi, da se z večanjem lesnih iveri, hitrost prehajanja toplote večja. Difuzijski koeficient je bil največji za iverno ploščo narejeno iz največjih iveri, najmanjši pa za ploščo iz slame. Ugotovi še, da se z večanjem iveri zmanjša količina toplote, ki preide skozi ploščo, največ toplote pa prepusti plošča iz iveri slame. Najbolje se je izkazala plošča iz najmanjših iveri, če gledamo iz vidika akumulacije, saj se je le ta najpočasneje ohlajevala.

Sonderegger in Niemz (2009) navajata dobre termične izolacijske lastnosti različnih lesnih plošč. Preučila sta različne lesne ploščne kompozite (preglednica 1) pri čemer navajata, da se toplotna prevodnost povečuje s povečevanjem gostote hkrati pa se termična difuzivnost niža.

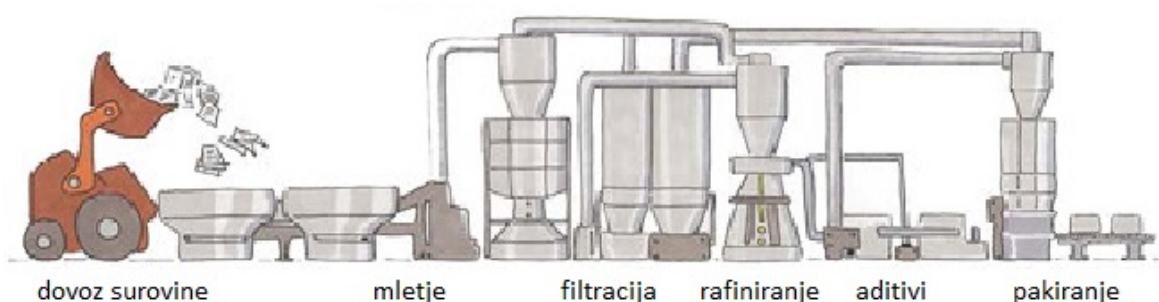
Preglednica 1: Toplotna prevodnost različnih lesnih ploščnih kompozitov (- povzeto po Sonderegger in Niemz, 2009)

	debilna (mm)	gostota (kg/m ³)	toplotna prevodnost (W m ⁻¹ K ⁻¹)
vezana plošča (bukev)	25	680	0,1304
iverna plošča	16	600	0,0965
OSB	18	560	0,0959
MDF	16	700	0,0974
MDF zidne plošče	15	530	0,0761
HDF	7	780	0,1138

Celulozna izolacija kot naravni material je zelo prilagodljiva oddajanju in vpijanju zračne vlage, tudi do 40% in pri tem ne zgubi svojih lastnosti. V kombinaciji z borovo soljo predstavlja zaščito proti živalskim vsiljivcem, ki zaidejo v izolacijo.

Odvzema jim telesno tekočino, sol jih draži, žival pa na tak način dehidrira. Ker si v izolaciji zaradi dodatkov ne najdejo svojega življenjskega prostora, lahko tja zaidejo le za krajši čas. Borova sol tako zaščiti pred insekti, trohnobo in plesnijo, prav tako pa ščiti izolacijo proti požaru, saj se pri gorenju na površju ustvarjajo kristali, ki preprečujejo dovod kisika (Karba, 2012).

Proizvodni proces celulozne izolacije (slika 2) se začne z recikliranega časopisnega papirja, ki je sprva zmlet v majhne približno 5 cm dolge koščke. Nato je papir sortiran, kjer mu odvzamejo vse plastične in kovinske dele (plastični ovoji, sponke itd.). Sortiranemu papirju se dodajo dodatki, ki zavirajo gorenje in zaščitijo pred plesnijo, trohnobo in insekti (amonijeva in borova sol). Aditivi se dodajajo v trdnem stanju v obliki praška, ki sledi po tem, ko papir dodatno visokohitrostno zmeljejo, tako da nastanejo vlakna. Med procesom ima filtrni sistem nalogo, da ujame papirnati prah. Izolacija se pakira v vreče od 11 kg do 15 kg in pripravi na transport (European Commision, 2014).



Slika 2: Proizvodni proces celulozne izolacije (European Commision, 2014)

Proizvodni proces različnih proizvajalcev ni povsem enak, čeprav so si glavne faze podobne. Bistvene razlike med proizvajalci se pojavijo pri dodajanju aditivov. Nekateri jih dodajajo več, drugi manj (preglednica 2).

Preglednica 2: Sestava, koeficient toplotne prevodnosti, vlažnost in specifična toplotna kapaciteta celulozne izolacije različnih proizvajalcev

	ZIMICELL	CLIMATIZER PLUS/KALCER	ISOCELL	CEL PAK	GREEN FIBER
SESTAVA	91% časopisni papir, 9% dodatki za zaviranje gorenja in konzerviranje	maks 87% časopisni papir, 13% dodatki za zaviranje in konzerviranje	90% časopisni papir, 10% dodatek za zaviranje gorenja in konzerviranje	min 83% časopisni papir, 9-17% dodatki za zaviranje gorenja in konzerviranje	min 85% časopisni papir, maks 15% dodatki za zaviranje gorenja in konzerviranje
KOEFICIENT TOPLOTNE PREVODNOSTI	0,039 W/mK	0,039 W/mK	0,039 W/mK	0,039 W/mK	0,039 W/mK
VLAŽNOST	8% pri 23°C - 50% relativna zračna vlažnost, 13% pri 23°C - 80% relativna zračna vlažnost	10,2% pri 23°C - 80% relativna zračna vlažnost	MAX 12%	MAX 15%	MAX 10%
SPECIFIČNA TOPLOTNA KAPACITETA	2150 J/kgK	2150 J/kgK	2150 J/kgK	2150 J/kgK	2150 J/kgK

Po podatkih Evropskega združenja proizvajalcev celuloze (ECIA) je skupna letna ocenjena proizvodnja 250.000 ton na leto. Število proizvajalcev celulozne izolacije je med 40 in 50. Povprečno število proizvajalcev, ki dodajajo amonijevo sol je 6, najverjetneje pa bodo amonijevo sol prepovedali za uporabo v celulozni izolaciji. Število zaposlenih med 400 in 500, število zaposlenih, kjer dodajajo amonijevo sol pa 25 (preglednica 3). Ocenjena tržna vrednost znaša 100 milijonov evrov (European Commission, 2014).

Preglednica 3: Pregled proizvajalcev celuloznih vlaken in zaposlenih v proizvodnji

Število proizvajalcev	40-50
Število proizvajalcev ki dodajajo amonijevo sol	6
Število zaposlenih v proizvodnji cel, izolacije	400-500
Število zaposlenih v proizvodnji cel, izolacije z dodatkom amonijeve soli	25

Na trgu se ponujajo že izdelane izolacijske plošče Nemškega proizvajalca Homatherm GmbH z imenom flexCL. Plošče so idealne za zvočno in toplotno izolacijo, so prilagodljive, fleksibilne in enostavne za montažo. Kompaktna struktura zagotavlja dobre izolacijske lastnosti, hkrati pa ponuja dober nadzor vlažnosti. Najpogosteje se uporablja za strešno izolacijo, med letvami talnih plošč, za notranje stene, v prostorih z zahtevami po zvočni izolaciji. Gostota plošč je 70 kg/m^3 . Plošče so dolge 1200 mm in široke 625 mm. Debelino plošč se lahko izbira glede na mesto vgradnje, debeline plošč so od 30 mm do 180 mm, Toplotna prevodnost plošč je $0,039 \text{ W/mK}$ (Homatherm, 2014).



Slika 3: Homatherm flexCL plošča (Homatherm, 2014)

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Uporabljena vlakna

Za izdelavo plošč smo uporabili industrijsko že pripravljena celulozna vlakna oziroma kosmiče (slika 4) ZIMICELL, podjetja Tadej Zimic s.p., Slovenija. Tehnični podatki navajajo sestavo: celulozna vlakna 91%, sredstva za zaviranje gorenja in konzerviranje 9%. Koeficient toplotne prevodnosti je $0,039 \text{ W/mK}$, specifična toplotna kapaciteta 2150 J/kgK in vlažnost zmletih celuloznih vlaken 4%.

Toplotna prevodnost je snovna konstanta, ki se določi pri prevajanju toplote in je sorazmernostni koeficient med gostoto toplotnega toka in gradientom temperature, Pove nam kolikšna je prepustnost energije na metru izolacije pri spremembi 1 stopinje Celzija.



Slika 4: Vlakna ZIMICELL

Za oblepljanje vlaken smo uporabili melamin-urea-formaldehidno lepilo, primerno za oblepljanje vlaken, ivernih plošč, vezanih plošč in furniranje. Uporabili smo lepilo proizvajalca Dynea, z imenom Prefere 10 F 102.

Za katalizator smo uporabili amonijev sulfat in ga dodajali k lepilu v obliki 20% vodne raztopine.

3.2 METODE DELA

Masni delež lepila je bil 15% glede na suho maso vlaken in 3% utrjevalca lepila glede na suho maso lepila. Skupno smo porabili 2300 g lepila, 225 g utrjevalca in 290 g vode. Za vsako ploščo posebej smo pripravili lepilno mešanico. Vlakna smo oblepili v laboratorijskem stroju za oblepljanje.

Oblepljena vlakna smo previdno razporedili v lesenem kalupu 500x500 mm (slika 5), ki je imel na spodnji strani kovinsko podlogo debeline 3 mm in kuhinjski peki papir proti sprijemanju. Enako smo naredili na gornji strani. Plošče smo nato prenesli v laboratorijsko vročo stiskalnico, segreto na 190° C in nato stiskali pri tlaku 8 bar 8 minut.

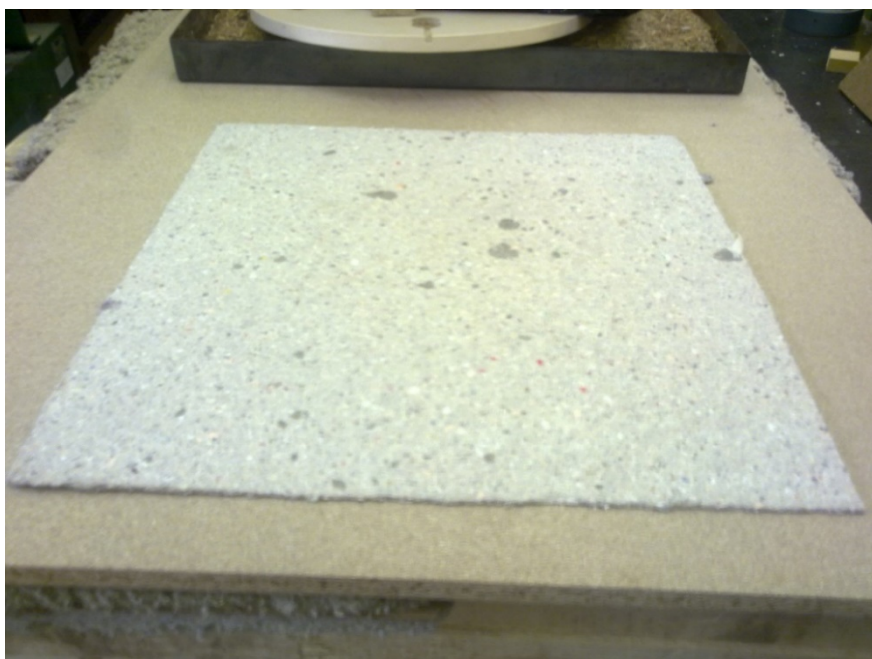


Slika 5: Kalup za pripravo plošč 500x500 mm

Izdelali smo 6 plošč z različnimi masami vlaken in različno debelino, saj smo želeli testirati več različnih plošč (preglednica 4, slika 6 do slika 11). Vse plošče so imele enako dolžino in širino, debelina pa se je pri zadnjih štirih ploščah regulirala z distančnimi letvami.

Preglednica 4: Pregled izdelanih plošč

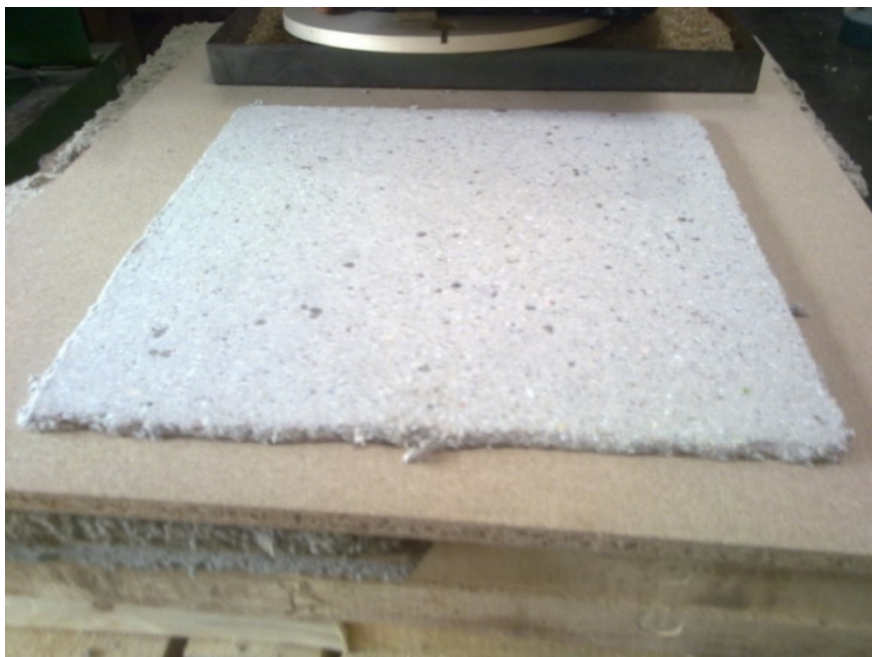
Št. plošče	MASA VLAKEN (g)	DEBELINA (mm)	DOLŽINA (mm)	ŠIRINA (mm)	GOSTOTA kg/m^3
1	540	4	500	500	540
2	1078	6	500	500	719
3	1617	12	500	500	539
4	2156	150	500	500	57
5	2656	150	500	500	71
6	1695	50	500	500	136



Slika 6: Plošča "1"



Slika 7: Plošča "2"



Slika 8: Plošča "3"



Slika 9: Izgled neuspešno izdelane plošče



Slika 10: Plošča "4" in plošča "5"



Slika 11: Plošča "6"

Plošče smo eno uro ohlajali pri sobnih pogojih, nakar smo jih za sedem dni postavili v prostor z normalno klimo (temperatura 20° C in relativna zračna vlažnost 65%).

Termični difuzijski koeficient je numerično enak stopnji temperaturne spremembe v točki sistema, kjer je sprememba temperaturnega gradienta 1°C/m za vsak meter dolžine v smeri toplotnega toka (Siau, 1995).

Termična difuzivnost se potem lahko predstavlja kot vrednost, ki določa hitrost razporejanja in absorpcije toplote po samem materialu, zato je neposredna odvisna od gostote in specifične toplote lesa (Medved in sod, 2013).

Termično difuzivnost izračunamo ga po enačbi:

$$D = \frac{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2}{4} \cdot \left(\frac{d\theta}{d\sqrt{t}}\right)^2 \quad [1]$$

D...koeficient v $\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$

t...čas v sekundah

d...debelina v mm

θ ...sprememba temperature

π ...matematična konstanta (3,14,,)

θ je sprememba temperature v časovnem obdobju in se jo izračuna po enačbi:

$$\theta = \frac{T_t - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad [2]$$

T_t ...temperatura v času

$T_{\max}$...maksimalna temperatura

$T_{\min}$...minimalna temperatura

3.2.1 Testiranje plošč

Za ugotavljanje hitrosti spreminjanja temperature smo na površino plošče oziroma v same plošče, vstavili štiri termočlene. En termočlen je bil prilepljen na spodnjo površino plošče tako da je bil v stiku z grelna plošč, trije termočleni pa so bili postavljeni na zgornjo površino plošče vsaj 10 cm od roba plošče (slika 12). Rezultate meritev smo preko vmesnika shranjevali v računalnik vsako sekundo. Podatke smo odčitavali toliko časa dokler ni dosežena konstantna željena temperatura, nato pa prenesli v računalniški program Excel.



Slika 12: Postavitev termočlenov

4 REZULTATI

Podatki ki smo jih uvozili v računalniški program so bili v obliki časa in temperature povprečno na vsako sekundo (preglednica 5 in 6).

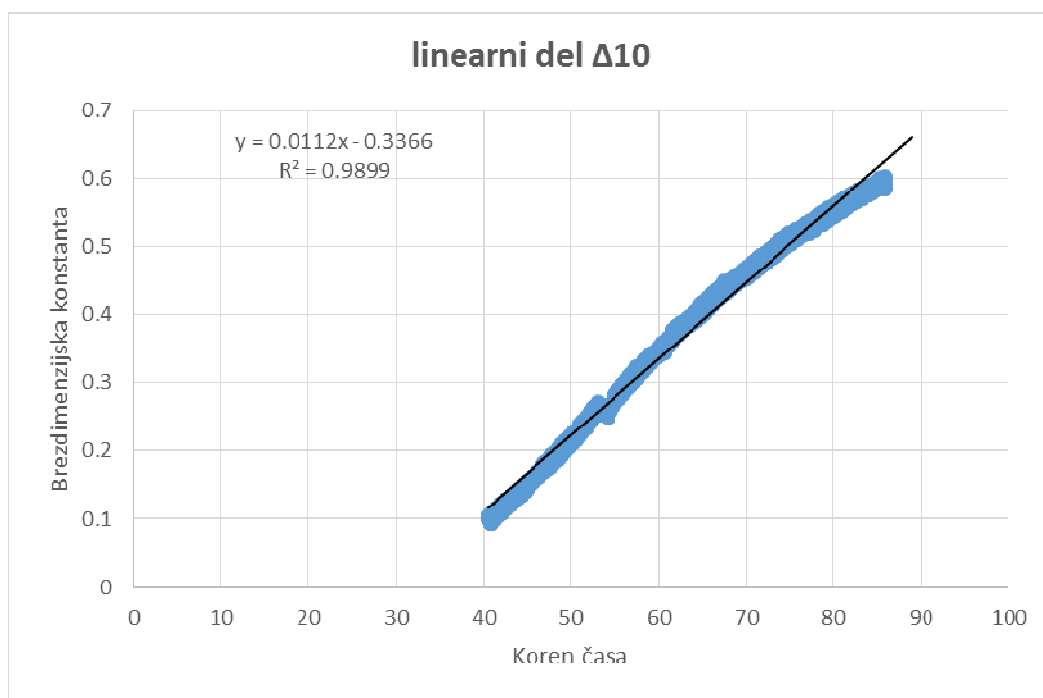
Preglednica 5: Primer izpisanih podatkov v programu

τ	$\Delta 10$	$\Delta 20$	$\Delta 40$
0,00	22,495	22,175	22,122
0,92	22,489	22,175	22,114
1,86	22,521	22,171	22,114
2,80	22,523	22,160	22,114
3,74	22,530	22,162	22,114
4,67	22,532	22,167	20,972
5,61	22,537	22,167	22,102
6,53	22,535	22,156	22,116
7,47	22,535	22,130	22,106
8,41	22,537	22,113	22,097
9,34	22,543	22,136	22,102
10,28	22,537	22,149	22,094
11,22	22,538	22,162	22,100
12,16	22,544	22,156	22,113
13,08	22,537	22,169	22,123
14,02	22,549	22,177	22,115

Preglednica 6: Primer izračunanih brezdimenzijskih konstant za ploščo 3

τ	$\Delta 10$	$\Delta 20$	$\Delta 40$	τ	SQRT	brezdimenzijska 10	brezdimenzijska 20	brezdimenzijska 40
70.78	23.29	23.63	24.66	70.78	8.413	0.109	0.104	0.095
71.72	23.31	23.65	24.72	71.72	8.469	0.113	0.106	0.097
72.66	23.33	23.69	24.77	72.66	8.524	0.115	0.109	0.099
73.58	23.34	23.74	24.82	73.58	8.578	0.118	0.112	0.101
74.52	23.36	23.78	24.88	74.52	8.632	0.120	0.115	0.103
75.45	23.38	23.82	24.94	75.45	8.686	0.122	0.118	0.105
76.38	23.39	23.86	24.99	76.38	8.739	0.124	0.121	0.107
77.31	23.41	23.89	25.04	77.31	8.793	0.127	0.123	0.109
78.24	23.43	23.93	25.10	78.24	8.845	0.129	0.126	0.111
79.17	23.45	23.98	25.15	79.17	8.898	0.132	0.129	0.113
80.11	23.47	24.01	25.20	80.11	8.950	0.134	0.132	0.115
81.03	23.47	24.03	25.24	81.03	9.002	0.135	0.133	0.116
81.97	23.49	24.07	25.28	81.97	9.054	0.138	0.136	0.118
82.89	23.52	24.13	25.36	82.89	9.104	0.142	0.140	0.121
83.83	23.53	24.17	25.38	83.83	9.156	0.143	0.143	0.122
84.75	23.55	24.20	25.45	84.75	9.206	0.146	0.146	0.124
85.69	23.56	24.23	25.49	85.69	9.257	0.147	0.148	0.126
86.61	23.58	24.26	25.54	86.61	9.306	0.150	0.150	0.128

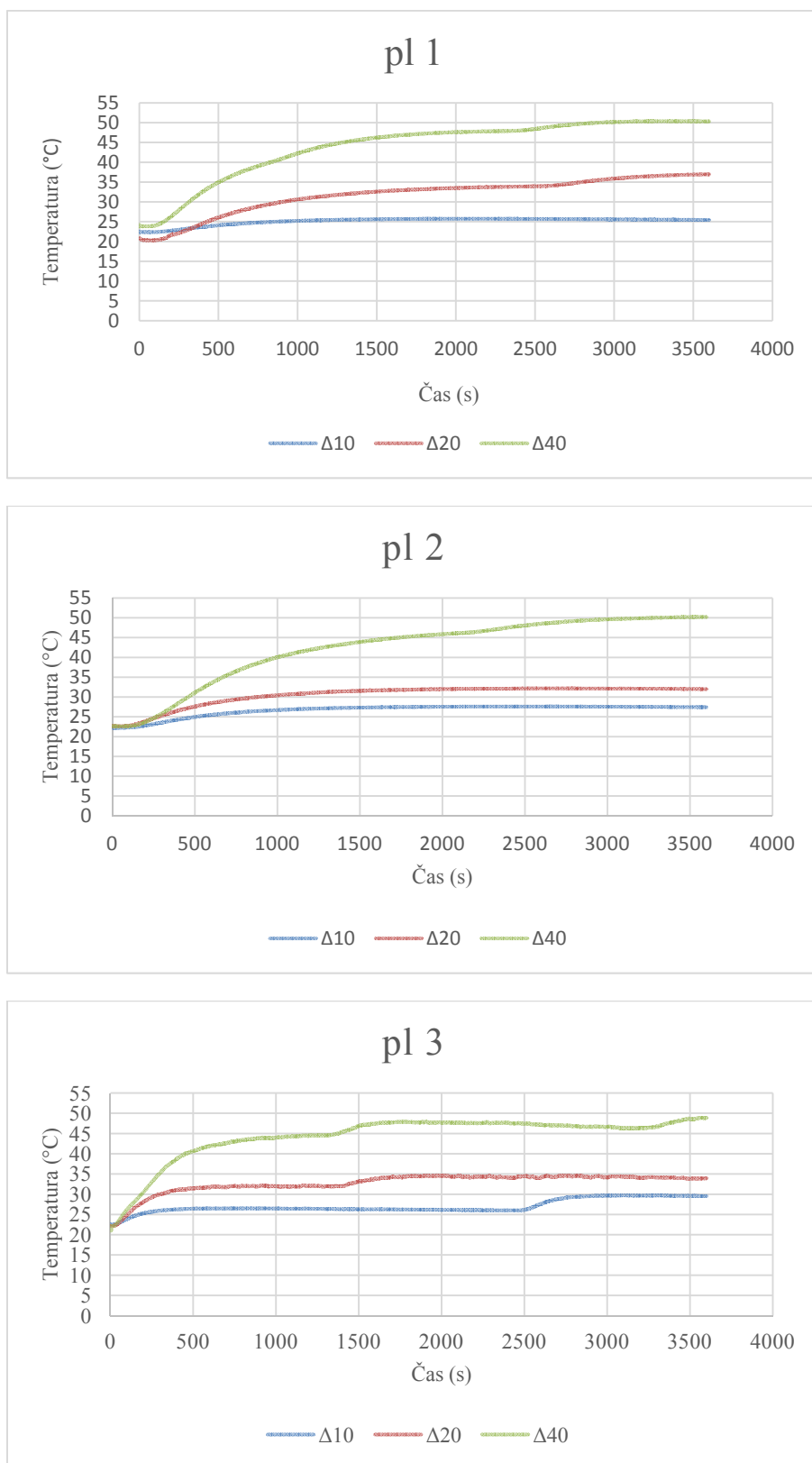
Za vsako ploščo posebej smo izračunali brezdimenzijsko konstanto (enačba 2), uredili podatke v preglednici in naredili grafični prikaz (slika 13). Brezdimenzijska konstanta je vmesni izračun, da je lažje operirati s končno enačbo za izračun termične difuzivnosti.



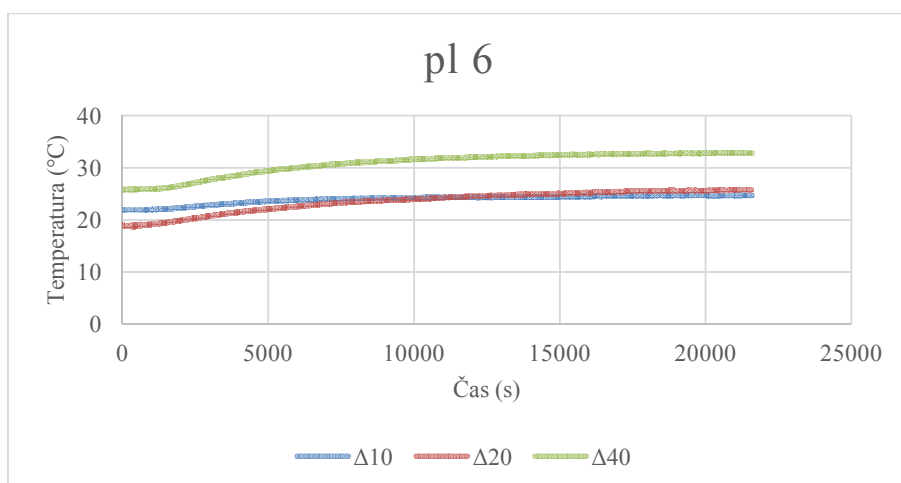
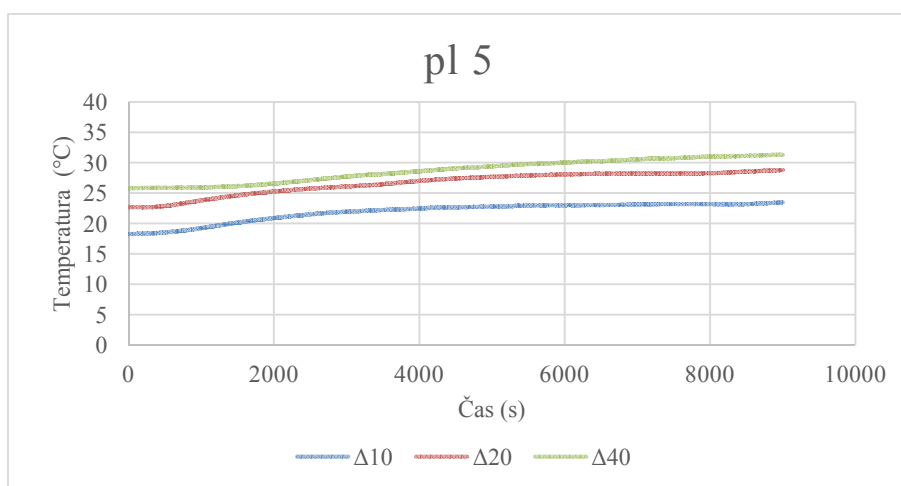
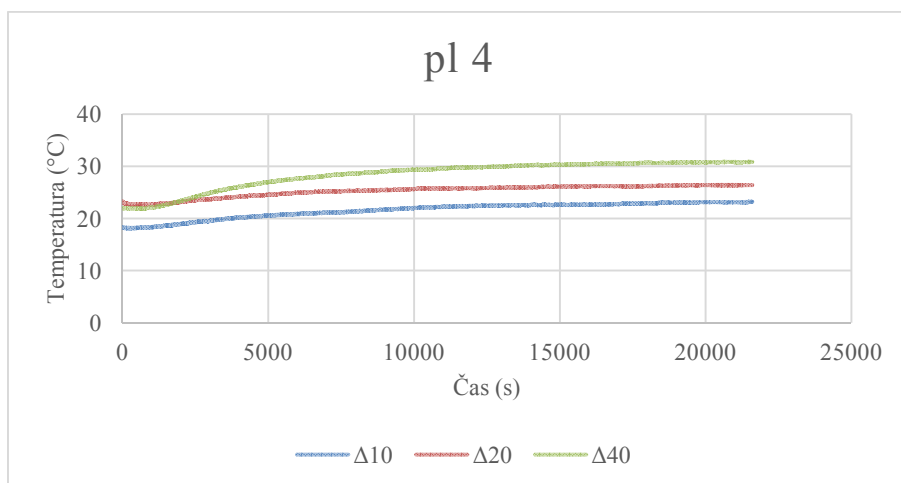
Slika 13: Primer grafa brezdimenzijske konstante - plošča 4

Naredili smo grafični prikaz časa v odvisnosti od brezdimenzijske konstante in narisali premico, ki se najboljše prilagaja grafu. Ker je odvod funkcije enak smernemu koeficientu oziroma diferencial deljenja brezdimenzijske konstante s koren timer, nam ni potrebno računati smernega koeficienta v poljubni časovni spremembi. Za primer ima plošča 4 smerni koeficient premice 0,0112 (slika 13).

Hitrost spreminjanja temperature na neogrevani (zgornji) strani je odvisna od temperaturne razlike in vrste plošče (slika 14 in slika 15).



Slika 14: Prikaz gibanja temperature glede na toplotno časovno obremenitev za prvo, drugo in tretjo ploščo



Slika 15: Prikaz reakcije plošč na toplotno časovno obremenitev za četrto, peto in šesto ploščo

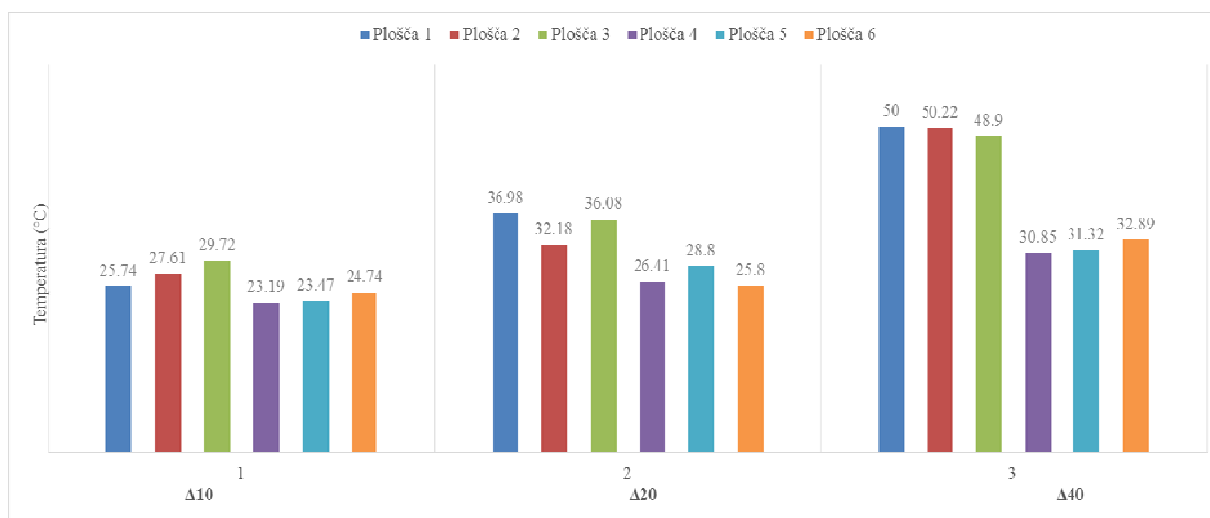
Pri ploščah z večjo gostoto in posledično majhno debelino smo bistveno hitreje dosegli točko ravnovesja, kar pomeni, da se je material skoraj v celoti pregrel. Čas potreben za doseganje konstantnih temperatur (na nasprotni strani) je relativno kratek (približno 1 ura) in tudi dosežene temperature so relativno visoke (preglednica 7). Glede na izmerjene vrednosti (čas, temperatura, hitrost segrevanja) lahko sklepamo, da je pri ploščah "1", "2" in "3" toplotna prevodnost velika. Obratno pa lahko ugotovimo pri ploščah "4", "5" in "6" (slika 13).

Pri ploščah z manjšo gostoto, je bil čas potreben za doseganje konstantne (največje) temperature bistveno daljši, kar pomeni boljši izolacijski efekt. Pri debelejših ploščah z manjšo gostoto smo dobili najnižje temperaturne spremembe (preglednica 7).

Preglednica 7: Maksimalne temperature za posamezno ploščo pri različni spremembi temperature

	PL 1	PL 2	PL3	PL4	PL5	PL6
DELTA T 10°C T max = 30°C	25,74	27,61	29,72	23,19	23,47	24,74
DELTA T 20°C T max = 40°C	36,98	32,18	36,08	26,41	28,80	25,80
DELTA T 40°C T max = 60°C	50,38	50,22	48,90	30,85	31,32	32,89

Izolativni efekt posameznih plošč lahko opazimo v preglednici 5, kjer smo prikazali maksimalne temperature za posamezen tip plošče. Večja kot je razlika med izmerjeno temperaturo in temperaturo grelne plošče, večja je izolativnost. Pri tanjših ploščah smo s temperaturo prišli skoraj do temperatur grelnih plošč 30, 40 in 60°C (slika 16). Pri debelejših ploščah pa je bila dosežena končna temperatura nižja za skoraj 30°C pri največji temperaturni razliki $T_{max} = 60^{\circ}\text{C}$ (plošča 4).



Slika 16: Grafični prikaz maksimalnih temperatur

Termični difuzijski koeficient smo izračunali po enačbi 1, za vsako ploščo posebej na podlagi ugotovljenih sprememb temperature, debeline, gostote in časa (preglednica 8).

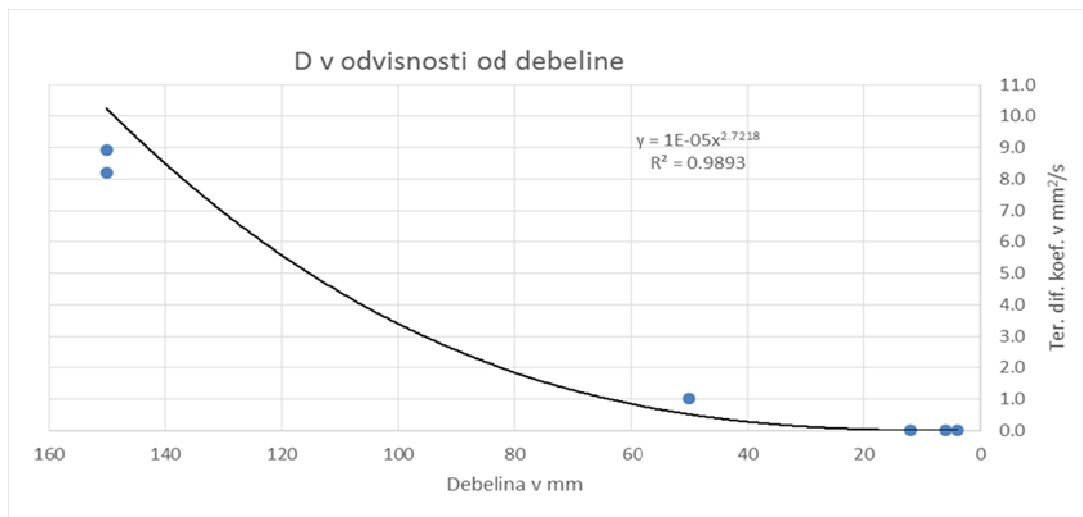
Preglednica 8: Vsi podatki o ploščah, debelina, gostota, koeficienti premic, termično difuzijski koeficient in temperature

	d	gost	gostota	k1/k2/k3	d/2	D	povprečje D		
	mm	g/cm ³	g/cm ³	k1/k2/k3	mm	mm ² /s-1	povprečje D /	T max	povprečna T
plošča 1	4	0.54	0.54	0.0503	2	0.0079	0.006	25.74	
	4	0.54	0.54	0.0472	2	0.0069		36.98	
	4	0.54	0.54	0.0332	2	0.0034		50.38	37.7
plošča 2	6	0.71	0.77	0.051	3	0.0183	0.013	27.61	
	6	0.71	0.718	0.0472	3	0.0157		32.18	
	6	0.71	0.718	0.0332	3	0.0077		50.22	36.67
plošča 3	12	0.53	0.539	0.0383	6	0.0414	0.058	29.72	
	12	0.53	0.539	0.0497	6	0.0698		36.08	
	12	0.53	0.539	0.0477	6	0.0643		48.9	38.23
plošča 4	150	0.05	0.057	0.0112	75	0.5541	0.605	23.19	
	150	0.05	0.057	0.0116	75	0.5944		26.41	
	150	0.05	0.057	0.0123	75	0.6683		30.85	26.81
plošča 5	150	0.07	0.071	0.0234	75	2.4191	1.523	23.47	
	150	0.07	0.071	0.0161	75	1.1451		28.8	
	150	0.07	0.071	0.0151	75	1.0071		31.32	27.86
plošča 6	50	1.36	0.136	0.0173	25	0.1469	0.109	24.74	
	50	1.36	0.136	0.0118	25	0.0683		25.8	
	50	1.36	0.136	0.0151	25	0.1119		32.89	27.81

Ugotovimo lahko, da je termični difuzijski koeficient odvisen od ΔT , debeline in gostote plošč.

5 RAZPRAVA

V primerjavi rezultatov (preglednica 5 in 6 ter slika 12, 13 in 14), smo ugotovili, da sta tako maksimalna temperatura, kakor tudi termično difuzijski koeficient odvisna od debeline plošče (slika 16) in gostote plošče (slika 17).

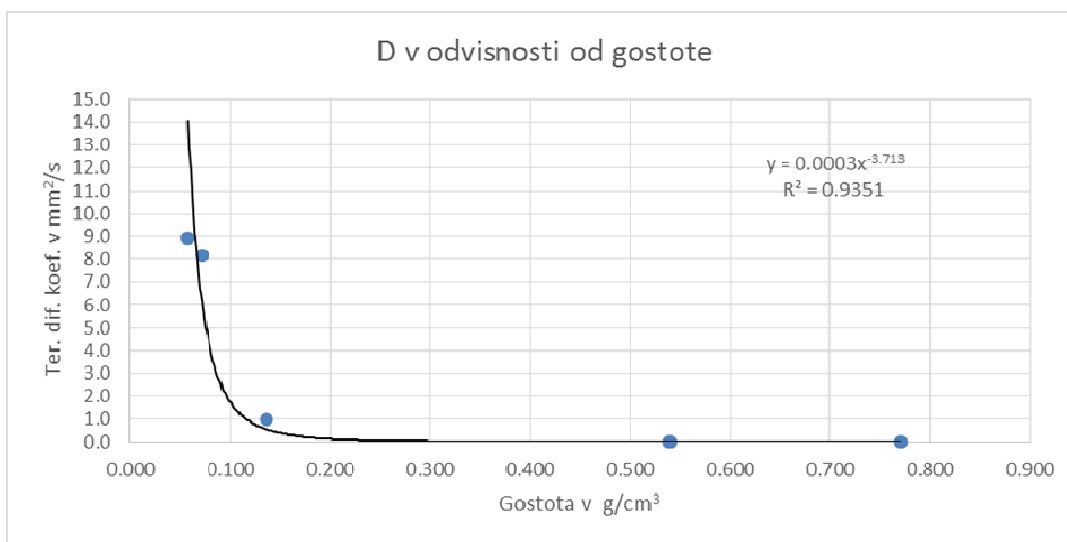


Slika 17: Termično difuzijski koeficient v odvisnosti od debeline

Že (Kawasaki in Kawai 2006) sta ugotovila, da imajo tanjše plošče s primerljivo gostoto, manjšo izolativnost. Enako smo ugotovili tudi v naši raziskavi (slika 15). Če zanemarimo razlike v gostoti med ploščami "1", "2" in "3" je termični difuzijski koeficient odvisen predvsem od oddaljenosti (debeline plošče), od vira toplote (grelna plošča).

Potrebna energija segrevanja je mnogo večja za debelejšje plošče. Gradniki debelejših plošč (plošče z nizko gostoto) niso tesno v kontaktu eden z drugim, zato je časovno napredovanje prenosa toplote daljše. Toplota se pri ploščah z nižjo gostoto pretežno prenaša (konvekcija) z gibanjem snovi (zraka), medtem ko se pri gostejših ploščah prevaja (kondukcija) iz enega gradnika na drugega, pri čemer morata le ta biti v stiku. Posledica tega je, da toplota, pri ploščah z nižjo gostoto počasneje prehaja skozi samo ploščo.

Majhna termična difuzivnost velja za plošče, ki slabo prevajajo toploto in imajo veliko toplotno kapaciteto. Lahko ugotovimo, da je prehod toplote sorazmeren z naraščanjem gostote. Največje temperature smo dosegli pri ploščah z najvišjo gostoto (preglednica 6), kjer smo ugotovili tudi nizek termično difuzijski koeficient (slika 18).



Slika 18: Termično difuzijski koeficient v odvisnosti od gostote

Termično difuzijski koeficient je drastično nižji pri ploščah z višjo gostoto. Do podobnih ugotovitev sta prišla tudi Adl–Zarabi in Boström (2004).

Primerjali smo delo z izdelanimi ploščami na terenu, z vpihovanjem celuloznih vlaken, kot je to danes popularno. Da bi bilo delo s ploščami lahko, morajo biti takšne, da jih lahko kvalitetno vgradimo, zaradi prostorskih omejitev pri novogradnji, torej enostavne za uporabo in prenosljive. Pri strojnem vgrajevanju oziroma vpihovanju, dobimo vlakna v vrečah.

Za primer vzemimo gostoto plošče 4, ki je podobna gostoti vpihovanja. Vgrajevalci izolacije navajajo gostoto vpihovanja v poševnini $45\text{--}50 \text{ kg}/\text{m}^3$, kar je približno enako gostoti naše plošče. V praksi to pomeni, da se v medprostoru pravzaprav naredi neke vrste

plošča, ki bi lahko bila podobna naši, vendar brez lepila. Če odstranimo mavčno ploščo oziroma del stropa v poševnini, se izolacija ne vsuje, bo ostala na mestu, vpihan medij je kompakten, kar lahko rečemo tudi za našo ploščo, ki ima gostoto 57 kg/m^3 .

Prednost plošč vidimo v tem, da se izognemo slabostim strojnega vpihovanja celuloznih vlaken. Stroj za vpihovanje se drugače odziva pri različnih virih električne energije (slabša napetost) na terenu. Človeški faktor je zmotljive narave in nevestni vgrajevalec hitro naredi več škode kot koristi. V primeru nezadostnega vpihanega materiala so razlike v gostoti velike in pride do posedanja materiala.

Druga prednost celuloznih plošč je samovgradnja, kar ni možno pri strojnem vpihovanju, saj za to potrebujemo stroje in specializirane mojstre. Plošče so prožne, prilagodljive in so idealen gradbeni izolacijski material za Slovence, ki pa so zelo nagnjeni k samograditeljstvu.

Slabost plošče vidimo v tem, da se nobena plošča ne bo v celoti prilegala individualnim konstrukcijam v hiši, kot sam material, ki je vpihan in zapolni vsako nepravilno obliko ob steni, med tramovi, nosilci in tako naprej. Ker danes vse gradnje stremijo k zrakotesnosti je to velikega pomena. Ob kombinaciji z neustrezno izvedeno zrakotesnostjo se lahko pojavi kondenzacija, kar privede do trohnenja lesa, sekundarne kritine oziroma velike sanacije v roku nekaj let.

6 SKLEPI

V izvedeni raziskavi, kjer smo proučevali vpliv debeline in gostote na toplotno prevodnost plošč, smo ugotovili, da oba parametra vplivata na izolativnost plošč, torej hitrost in čas segrevanja.

Z zmanjševanjem gostote se večja izolativnost. Difuzijski koeficienti je bil pri ploščah z nižjo gostoto večji, kot pri ploščah z višjo gostoto.

Z vidika hitrosti prehoda toplote lahko ugotovimo, da z naraščanjem gostote tudi hitrost prehoda toplote narašča.

Najvišje temperature smo izmerili pri ploščah z gostoto med 500 in 800 kg/m³. Ugotovili smo, da imajo plošče večje debeline od 50 do 150 mm boljše izolativne lastnosti kot plošče debeline med 4 do 12 mm.

Plošča iz celuloznih vlaken ima dobro izolativnost pri gostotah med 50 in 100 kg/m³.

Ugotovili smo tudi, da je potrebno, za doseganje nizke toplotne prevodnosti, izdelati ploščo z gostoto pod 100 kg/m³, kar pa predstavlja velik izziv, saj ne moramo doseči dovolj veliko kompaktnost plošče, da ne pride do porušitve oziroma trganja plošče, kar pa nam v tem okviru diplomske naloge še ni uspelo.

7 VIRI

Barney G. 1982. The global 2000 report to the president, 1st edition, Washington, Penguin books: 1-5

Adl-Zarrab B.i, Bostrom L. 2005. Fire and materials. 1st edition, John Willey & Sons: 359-369

Blackwell J., Marchessault R.H. 1971. Infrared spectroscopy of cellulose. 1st edition, Bikaes, Senegal, Wiley Interscience: 1-37

Bomberg M., Solvason K.R. 1980. How To Ensure Good Thermal Performance of Cellulose Fiber. Insulation Journal of Building Physics, 4.2: 93-119

European Commision (2014): Annex XV restriction report proposal for a restriction substance names: Inorganic Ammonium Salts,
<http://echa.europa.eu/documents/10162/999a106c-6baf-48c7-8764-0c55576a2517> (3. jun. 2015)

Hon D. N. S. 1994. Cellulose: A random walk along its historical path. Cellulose, 1, 1: 1-25

Flexible dammmatte. 2014. Homatherm. <http://www.homatherm.com/produkte/flexcl/>

Grahovac T. 2010. Lesne plošče kot toplotno izolativni material. Diplomski projekt. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 35 str.

Intro to insulation, 2011. Cthandiman
<http://cthandiman.com/services/insulation/myths-and-misconceptions> (15. feb. 2015)

Karba B. 2012. Celulozna izolacija.
<http://www,krovstvo-karba.si/celulozna-izolacija.php> (15. mar. 2015)

- Kawasaki T., Kawai S. 2006. Thermal insulation properties of wood-based sandwich panel for use as structural insulated walls and floors. *Journal of wood science*, 52, 1: 75-83
- Kollman F., Kuenzi W. E., Stamm J. A. 1975. Principles of Wood Science and Technology, 1st edition, New York: Springer Berlin heidelberg: 160-291
- Medved S., Jambreković V., Iliev B., Gorišek Ž. 2013. Thermal characteristics of some wood – based panels used in construction. V: Proceedings, International scientific conference Wood technology & product design, 16th - 18th May, 2013, Ohrid, Skopje, Faculty of design and technology of furniture and interior: 1-10
- Sew All J. A. 1887. Proces of preserving wood, US patent application 374208 A
- Siddiqui S. A. 1989. A Handbook on cellulose insulation, E edition. Florida, Krieger publishing company: 1-37
- Siau J.F. 1995. Wood influence of moisture on physical properties. 1st edition, Virginia, Virginia Polytechnic Institute and State University: 20-39
- Sonderegger W., Niemz P. 2009. Thermal and moisture flux in soft fiberboards. *European Journal of Wood and Wood products*, 70, 1-3: 25-35
- Suzuki S., Saito F., Yamada M. 1994. Properties of bark wood particle composite board. *Mokuzai Gakkhaishi*, 40, 3: 281-292

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Sergeju Medvedu za vso pomoč pri eksperimentiranju v laboratoriju, neprestano pomoč ter napotke pri pisanju diplomske naloge.

Zahvaljujem se mlademu raziskovalcu in somentorju Boštjanu Lesarju, za vse odgovore na moja vprašanja in pregled diplomskega dela.

Zahvalil bi se tudi prof. dr. Milanu Šerneku za strokovno recenzijo diplomskega projekta.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Sandi VOVK

IZDELAVA IZOLACIJSKIH PLOŠČ
IZ CELULOZNIH VLAKEN

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja