

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Mihael REŽONJA

PLOŠČE IZ RECIKLIRANEGA PAPIRJA

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

PANELS MADE OF RECYCLED PAPER

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2016

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega študija Lesarstva – 1. stopnja. Opravljeno je bilo na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Sergeja Medveda, za somentorja doc. dr. Boštjana Lesarja in za recenzenta prof. dr. Željka Goriška.

Mentor: prof. dr. Sergej Medved

Somentor: doc. dr. Boštjan Lesar

Recenzent: prof. dr. Željko Gorišek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Mihael Režonja

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*861
KG	celulozna vlakna/izolacijska plošča/toplotna prevodnost/gostota
AV	REŽONJA, Mihael
SA	MEDVED, Sergej (mentor)/LESAR, Boštjan (somentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	PLOŠČE IZ RECIKLIRANEGA PAPIRJA
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
OP	VIII, 30 str., 6 pregl., 11 sl., 24 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Cilj diplomske naloge je bil ugotoviti kako vpliva gostota na toplotno prevodnost plošč iz celuloznih vlaken in katere gostote teh plošč so optimalne za izolacijo. Iz recikliranega papirja smo izdelali 5 plošč gostot 30 kg/m^3 , 50 kg/m^3 , 70 kg/m^3 , 150 kg/m^3 in 300 kg/m^3 . Toplotno prevodnost plošč smo preizkušali pri treh različnih povprečnih temperaturah in sicer 10°C , 25°C in 40°C . Ugotovili smo, da gostota in povprečna temperatura vplivata na toplotno prevodnost. Najboljšo toplotno izolativnost smo ugotovili pri plošči z gostoto 70 kg/m^3 , najnižjo toplotno izolativnost oz. najvišjo toplotno prevodnost pa pri plošči z gostoto 300 kg/m^3 . S povečanjem povprečne temperature se poveča tudi toplotna prevodnost.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dv1
DC UDC 630*861
CX cellulose fibre/insulation panel/thermal conductivity/density
AU REŽONJA, Mihael
AA MEDVED, Sergej (supervisor)/LESAR, Boštjan (co-supervisor)/GORIŠEK, Željko (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of wood science and technology
PY 2016
TI PANELS MADE OF RECYCLED PAPER
DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
NO VIII, 30 p., 6 tab., 11 fig., 24 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The objective of this research was to determine how density influences the thermal conductivity of the cellulose fiber panels and which densities of these panels are optimal for insulation. Five panels were made from recycled paper with densities of 30 kg/m³, 50 kg/m³, 70 kg/m³, 150 kg/m³ and 300 kg/m³. The thermal conductivity of the panels was tested at three different average temperatures 10 °C, 25 °C and 40 °C. We have found that the density and average temperature have an effect on the thermal conductivity. The highest thermal insulation was determined at panels with density of 70 kg/m³, while the lowest was determined at panels with density of 300 kg/m³. With average temperature increase the thermal conductivity increases.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJ RAZISKAVE	2
1.3 DELAVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 TOPLOTNO IZOLACIJSKI MATERIALI	3
2.1.1 Naravni toplotno izolacijski materiali	3
2.1.1.1 Celulozna vlakna	3
2.1.1.2 Glina	4
2.1.1.3 Les	4
2.1.1.4 Lesna vlakna	4
2.1.1.5 Pluta	4
2.1.1.6 Kokosova vlakna	4
2.1.1.7 Trstika	5
2.1.1.8 Konoplja	5
2.1.1.9 Slama	5
2.1.1.10 Lan	5
2.1.1.11 Bombaž	6
2.1.1.12 Ovčja volna	6
2.1.2 Sintetični toplotno izolacijski materiali	7
2.1.2.1 Polistiren	7
2.1.2.2 Poliuretan	7
2.1.2.3 Urea - formaldehidna pena	8
2.1.2.4 Fenolna pena	8
2.1.3 Mineralni toplotno izolacijski materiali	9
2.1.3.1 Mineralna volna	9
2.1.3.2 Vermikulit in perlit	9
2.2 CELULOZNA VLAKNA	10
2.2.1 Vpihana celulozna izolacija	10
2.2.2 Celulozna izolacija v obliki plošč	10
3 MATERIALI IN METODE	12
3.1 MATERIALI	12

3.1.1	Celulozna vlakna	12
3.1.2	Urea formaldehidno lepilo (UF)	12
3.2	METODA DELA	14
3.2.1	Priprava vzorcev	14
3.2.2	Merjenje toplotne prevodnosti	20
4	REZULTATI	22
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	27
5.1	RAZPRAVA	27
5.2	SKLEPI	27
6	VIRI	29

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Prikaz toplotne prevodnosti natresenih vlaken.....	22
Preglednica 2: Prikaz toplotne prevodnosti vzorcev iz plošč.....	23
Preglednica 3: Toplotna prevodnost v odvisnosti od pogojev preskušanja	24
Preglednica 4: Prikaz toplotne prevodnosti vlaken z dodanim lepilom in sušenjem	25
Preglednica 5: Prikaz toplotne prevodnosti vlaken dveh različnih gostot z dodanim lepilom	25
Preglednica 6: Prikaz toplotne prevodnosti vlaken z dodanim lepilom pri različnih temperaturah	26

KAZALO SLIK

Slika 1: Celulozna vlakna v modelu	14
Slika 2: Stroj za oblepljanje vlaken	15
Slika 3: Vlakna v kalupu	16
Slika 4: Stiskalnica	17
Slika 5: Plošči gostot 70 kg/m^3 in 150 kg/m^3	18
Slika 6: Plošča gostote 300 kg/m^3	18
Slika 7: Plošča gostote 50 kg/m^3	19
Slika 8: Vzorci plošče z gostoto 30 kg/m^3	19
Slika 9: Oprema za preizkušanje toplotne prevodnosti Stirolab.....	20
Slika 10: Slika meritve z ekrana	21
Slika 11: Graf toplotne prevodnosti v odvisnosti od povprečne temperature	24

1 UVOD

Proizvodnja papirja ima velik vpliv na okolje, saj je osnovna surovina za pridobivanje celuloznih vlaken in s tem tudi papirja ravno les. Hloderovina predstavlja kar 35% delež osnovne surovine za pridobivanje celuloznih vlaken. Ostalih 65% predstavlja uporaba starega papirja (reciklaža). Ponovna uporaba starega papirja, torej reciklaža je smiselna tako z vidika ohranjanja naravnega vira (lesa), kakor tudi z vidika zmanjševanja obremenitve okolja z odpadki. Odpadni papir po teži predstavlja kar 35% vseh trdnih komunalnih odpadkov. Recikliranje 1 tone starega časopisnega papirja prihrani okoli tona lesa, medtem ko recikliranje 1 tone starega pisarniškega papirja prihrani nekoliko več kot 2 toni. Z recikliranjem polovice svetovnega odpadnega papirja bi se izognili sečnji približno 20 mio. Hektarjev gozdnih površin letno (Wikipedia, 2015).

Pri segrevanju in ohlajevanju bivalnih prostorov, kjer preživimo največ časa, se porabi veliko energije. Poglavitni razlog toplotnih izgub je slaba izolacija oz. izgube toplotne energije skozi tla, stene in streho stavb. Če bi to lahko preprečili, bi porabili veliko manj energije za ogrevanje oz. ohlajevanje prostorov in na ta način posledično tudi privarčevali. Izgube toplotne energije lahko preprečimo tako, da poskrbimo za primerno izoliranost prostorov oz. celotne konstrukcije.

V želji po kakovostni in cenejši izolaciji se v zadnjem času kot izolacijski material pogosto uporabljajo celulozna vlakna, katera pa pridobivamo iz recikliranega papirja in na ta način, kot je bilo že prej omenjeno, zmanjšamo posek dreves. Uporaba celuloznih vlaken oz. kosmičev se je pokazala kot prednost predvsem pri renovaciji ostrešij, kjer se je izolacija vgrajevala po sistemu vpihovanja

Pri vpihovanju vlaken pa so se pojavile številne težave kot npr. posedanje, neprimerna količina vpihane celuloze, neenakomerna zapolnitev, itn. vse te težave pa so se pojavile predvsem zaradi neizkušenih izvajalcev. Z izdelavo plošč iz celuloznih vlaken smo se poizkušali tem težavam izogniti.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Ker se veliko toplotne energije izgubi zaradi slabe izolacije bivalnih prostorov je potrebno nameniti pozornost izboljšanju le te, pri čemer je pri izbiri vrste izolacije, pomembna tako vrednost toplotne prevodnosti, kakor tudi specifična toplotna kapaciteta, fazni zamik in absorptivnost same izolacije. Za kakovost izolacijskih plošč pa mora ob kakovostni sestavi in nizki porabi energije biti tudi primerno nizka cena končnega izolacijskega izdelka.

1.2 CILJ RAZISKAVE

Cilj naloge je ugotoviti kakšna gostota je najbolj optimalna za izdelavo plošč iz celuloznih vlaken v toplotno izolacijske namene.

1.3 DELAVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da gostota plošč in temperatura preizkušanja znatno vplivata na toplotno prevodnost plošč. Večja kot bo gostota, večja bo toplotna prevodnost. Pričakujemo, da bo toplotna prevodnost plošč večja pri višji temperaturi preizkušanja.

2 PREGLED OBJAV

2.1 TOPLOTNO IZOLACIJSKI MATERIALI

Med toplotno izolacijske materiale uvrščamo materiale z majhno toplotno prevodnostjo (λ). Ta vrednost nam pove kolikšen toplotni tok teče skozi 1 m^2 izolacijskega materiala pri debelini 1 m in temperaturni razliki 1 K . Najbolj pogosti toplotno izolacijski materiali so materiali s toplotno prevodnostjo med $0,035$ in $0,040 \text{ W/mK}$ (Pugelj, 2015, cit. po Ozmec, 2015).

Na trgu najdemo veliko različnih toplotno izolacijskih materialov za uporabo. Glede na nastanek pa jih delimo na dve vrsti toplotno izolacijskih materialov in sicer naravni in umetni toplotno izolacijski material.

2.1.1 Naravni toplotno izolacijski materiali

Vse večja ozaveščenost o pomenu čistega okolja nas vrača nazaj k naravi. Pri gradnji objektov ne težimo več le k energetske varčnosti objektov, temveč tudi h gradnji iz čim bolj naravnih materialov. Naravno pomeni, da vlaknom za izboljšanje fizikalnih ali tehničnih karakteristik ne primešamo ekološko sporne snovi. Poleg tega mora ekološki material ugoditi zahtevi, da v svojem življenjskem ciklusu od proizvodnje do uporabe in odstranitve, v čim manjši meri obremenjuje okolje.

Na voljo je kopica naravnih izolacijskih materialov, ki pa so si po svojih tehnoloških značilnostih in toplotni prevodnosti bolj ali manj podobni. Razlikujejo se v ekološkosti pridelave oziroma predelave naravnih vlaken, iz katerih so izdelani.

2.1.1.1 Celulozna vlakna

Celulozna vlakna so eden najstarejših izolacijskih materialov. Za proizvodnjo izolacije iz celuloznih vlaken se porabi zelo malo energije kar je dobro gledano iz ekološkega vidika. Izolacija iz celuloznih vlaken se lahko brez težav reciklira in potem ponovno uporabi (Lesar in Zimic, 2012). Celulozna vlakna so podrobneje predstavljena v poglavju 2.2.

2.1.1.2 Glina

Njene dobre lastnosti so, da regulira oziroma vzdržuje vlago v prostoru in akumulira toploto, ne vsebuje škodljivih primesi ter jo lahko recikliramo in da za pridobivanje gline ne porabimo dosti energije. Za toplotno izolacijo jo uporabljamo skupaj z lesnimi vlakni ali slamo kot zaključni omet, uporabna pa je tudi za gradnjo sten. Zaradi sposobnosti zadrževanja toplote v steni pa je uporabna tudi pri lesenih skeletnih gradnjah (Naravni izolacijski materiali, 2015; Ozmec, 2015).

2.1.1.3 Les

Najpogostejše se uporablja kot konstrukcijski material, vendar ga lahko zaradi njegovih karakteristik upoštevamo tudi kot toplotno izolacijski material. Na voljo je v obliki plošč različnih gostot in debelin, katere pogojuje namembnost njihove uporabe. V skrajnih pogojih uporabe je les impregniran z naravnimi smolami (Naravni izolacijski materiali, 2015)

2.1.1.4 Lesna vlakna

Izolacija iz lesnih vlaken je narejena iz razvlaknjenega lesa in je obdelana z vodo. Izolacija je odporna tudi proti požaru. Lesna vlakna so na voljo v obliki nasute izolacije in v obliki plošč. Uporabljajo se predvsem za izolacijo sten, streh in estrihov. Plošče iz lesnih vlaken so debelin od 40 do 240 mm gostote 70 kg/m^3 (Naravna izolacija – lesna vlakna, 2016; Izolacija iz lesnih vlaken, 2016).

2.1.1.5 Pluta

Pluto izdelujejo iz lubja hrasta plutovca in je zato ekološko neoporečen material. Za pridobivanje plute se dreves ne poseka, temveč se jih na vsakih 8 do 10 let olušči. Plošče iz plute so dobro prepustne za paro, obstojne proti kemikalijam, škodljivcem in bakterijam. Poleg tega ne trohnijo in zato ne povzročajo prahu. Kot toplotno izolacijski material, ki daje hkrati tudi dobro zvočno zaščito se pluta uporablja v obliki plošč debeline od 3 do 30 cm, rol ali granulata. Gostota izolacije iz plute je od 3 do $3,5 \text{ kg/m}^3$ (Naravni izolacijski materiali, 2015; Wilson, 2012).

2.1.1.6 Kokosova vlakna

Kokosova vlakna lahko služijo kot polnilo, dobiti pa jih je moč tudi v obliki plošč z nizko, srednjo in visoko gostoto. Pogosto se uporabljajo za talne obloge ter imajo hkrati izolacijsko in dekorativno funkcijo uporabljajo pa se tudi za izolacijo sten in streh ter za tesnjenje oken in vrat. Vlakna so odporna proti moljem, plesni in trohnenju. Plošče iz

kokosovih vlaken so na voljo različnih debelin, običajno pa so gostote 80 ali 100 kg/m³ (Izolacija iz kokosovih vlaken, 2016; Ozmec, 2015).

2.1.1.7 Trstika

Včasih se je skupaj z glino uporabljala za izvedbo ometov. Danes se najpogosteje uporablja pri obnovi starejših stavb, predvsem tistih, ki so zaščitene kot kulturni spomeniki. Izolacija iz trstike je dobro paroprepustna, kar je pri starejših hišah zelo pomembno. Trstiko je možno dobiti v obliki plošč, s katerimi potem izvedemo toplotno izolacijo. Plošče so na voljo debeline 2 ali 5 cm in gostote 190 kg/m³ (Izolacija iz trstike – trstične plošče, 2016; Ozmec, 2015).

2.1.1.8 Konoplja

Ima odlične toplotno izolacijske lastnosti, hkrati pa uravnava vlago v prostoru. Odporna je proti trohnobi in plesnim. Ker ne vsebuje beljakovin, jo tudi molji, hrošči in glodalci ne napadejo. Vlakna konoplje se tudi uporabljajo kot dodatek za fine ilovnate omete. Konopljo je mogoče dobiti v obliki rol in plošč debeline 45, 60, 80, 100, 140, 160 in 200 mm (Naravni izolacijski materiali, 2015; Konoplja Biofib, 2016).

2.1.1.9 Slama

Slama je odpadni material, ki ima majhno težo in je do okolja prijazen. Včasih se je uporabljala predvsem za strehe oz. kritine na njih. Danes je ponovno v uporabi kot toplotno izolacijski material in kot konstrukcijsko polnilo. Na voljo je v obliki slamnatih blazin s katerimi polnimo votline pri skeletni gradnji. Mleta slama se uporablja tudi kot dodatek pri grobih ilovnatih ometih (Naravni izolacijski materiali, 2015; Ozmec, 2015).

2.1.1.10 Lan

V gradbeništvu se uporabljajo kratka lanena vlakna, ki so najbolj primerna za izdelavo izolacijskih plošč in pletiva. Slednje ima funkcijo nosilne podlage za omete. Bistvena prednost lanenih vlaken je odpornost proti vlagi in moljem za njihovo vezavo pa se uporablja krompirjev škrob. Izolacijo iz lanenih vlaken dobimo obliki plošč različnih debelin, v obliki filca za talno izolacijo ali kot narezana v trakove za posebne primere, kot so izolacija cevi in podobno, kot tudi v razsuti obliki (Naravni izolacijski materiali, 2015; Ozmec, 2015).

2.1.1.11 Bombaž

Bombaž je dober toplotni izolator, ki se uporablja tudi kot izolacija proti udarnemu zvoku. Je elastičen, odbija vodo in uravnava vlago v prostoru. Ima dolgo življenjsko dobo, odporen pa je tudi na molje. Izolacija je sestavljena 85% iz recikliranega bombaža in 15% plastičnih vlaken v katerih so uporabljene borove soli za povečanje ognjeodpornosti. Bombaž je tudi cenovno ugoden in se kot izolacija uporablja v nasuti obliki (Naravni izolacijski materiali, 2015; Insulation materials, 2015).

2.1.1.12 Ovčja volna

Ovčja volna je edina izmed naštetih materialov živalskega izvora. Izdelana je iz volne drugega razreda, ki je večinoma neuporabna za katerekoli druge izdelke, proti zajedavcem in pred ognjem pa jo zaščitijo z borovo soljo. Masa volne je majhna in obdrži obliko tako v vzdolžni in prečni smeri. Lahko sprejme in odda vlago za 33 % svoje mase, ne da bi se bistveno spremenile njene izolacijske sposobnosti. Ker dobro absorbira vlago in je paroprepustna, ustvarja ugodno bivalno klimo tako poleti kot pozimi. Uporablja se za zapiranje strešnih konstrukcij, za izolacijo podov in tal, za izolacijo cevi ter za tesnjenje okenskih špranj in rež. Izolacija iz ovčje volne je lahko v nasuti obliki ali pa v obliki rol debelin do 25 cm za strehe in zunanje ter notranje stene in stropne (Naravni izolacijski materiali, 2015; Bio volnena izolacija, 2016).

2.1.2 Sintetični toplotno izolacijski materiali

Ravno obratno kot pri naravnih materialih se sintetičnim materialom za izboljšanje karakteristik primešajo kemične snovi in so na ta način obremenjujoči za okolje in človeka. Za njihovo proizvodnjo je potrebno veliko energije. Največji problem z sintetičnimi toplotno izolacijskimi materiali pa je, po koncu življenjske dobe teh materialov. Čas razkroja nekaterih materialov je zelo dolg, nekateri pa se lahko reciklirajo ali na novo proizvedejo, zato pa je potrebno veliko energije.

Na trgu je na voljo veliko sintetičnih toplotno izolacijskih materialov, ki so obremenjujoči za okolje in človeka a so v primerjavi z nekaterimi naravnimi toplotno izolacijskimi materiali dosti bolj enostavni za vgradnjo.

2.1.2.1 Polistiren

Polistiren je na voljo v obliki dveh tipov plošč. Ekstrudiran polistiren (XPS) in ekspandiran polistiren (EPS), ki je bolj znan kot stiropor. Bistvena razlika med obema je, da ima ekstrudiran polistiren bolj zaprto celično strukturo in je zato bolj uporaben za izolacijo vlažnih delov. Proizvajajo ga iz stopljenega polistirena, ki je nato iztisnjen skozi šobo pod pritiskom kar povzroči razširitev polistirena. Ekstrudiran polistiren je tudi bolj mehansko odporen. Ekspandiran polistiren je cenovno ugoden in preprost za vgradnjo. Polistiren je proizveden s pomočjo razširitvenega sredstva, ki ekspandira s segrevanjem z vodno paro. Proizvajajo ga v obliki bloka katerega ga na koncu narežejo v plošče različnih debelin, ki so gostote do 25 kg/m^3 (Nemanič, 2011; Jelle, 2011).

2.1.2.2 Poliuretan

Poliuretanska pena ima zaprto celično strukturo, zato se uporablja predvsem za izolacijo streh pod hidroizolacijo. V času proizvodnje se zaprte pore zapolnijo z razširitvenim plinom. Poliuretan je obstojen pri višjih temperatura, uporabljajo pa se dodatki za izboljšanje požarne varnosti saj ob izpostavitvi požaru sprošča strupene pline. Ne sme biti izpostavljen UV žarkom. Poliuretan je na voljo v obliki tekoče nabrizgane pene, na mestu vgradnje za tesnjenje oken in vrat ali pa stisnjenih plošč debeline 90 mm za stene in 190 mm za stropove (Insulation materials, 2015; Jelle, 2011).

2.1.2.3 Urea - formaldehidna pena

Urea - formaldehidna pena se največ uporablja v zidanih stenah poslovnih in industrijskih objektih. Zaradi emisij formaldehida pa ni najbolj primerna predvsem z ekološkega vidika in zdravja. Je paro prepustna in ne vsebuje protipožarnih dodatkov, kot penilo se uporablja stisnjen zrak. Urea - formaldehidna pena se vgrajuje z brizganjem (Insulation materials, 2015).

2.1.2.4 Fenolna pena

Fenolna pena ali fenol - formaldehidna pena je bila pred leti približljana v obliki plošče, danes pa je na voljo samo v brizgani obliki. Za penjenje se uporablja zrak. Slabosti fenolne pene so, da se po sušenju lahko skrči do 2 % in vsebnosti emisij formaldehida. Uporablja se za izolacijo sten, stropov in ravnih streh (Insulation materials, 2015).

2.1.3 Mineralni toplotno izolacijski materiali

Mineralni izolacijski materiali imajo precej podobne lastnosti kot sintetični izolacijski materiali saj je za proizvodnjo mineralnih prav tako potrebno veliko energije. Težava pri mineralnih materialih je po koncu uporabe saj je čas razkroja zelo dolg. Prednost, ki jo imajo mineralni izolacijski materiali pred sintetičnimi pa je, da ne v fazi uporabe ne obremenjuje okolja in človeka.

2.1.3.1 Mineralna volna

Pod imenom mineralna volna obravnavamo dve vrsti izolacijskega materiala kameno volno in stekleno volno. Kamena volna je material, ki sestoji iz kamnin bazalt ali diabaz stopljenih pri temperaturi 1500 °C. Stekleno volno izdelujejo iz recikliranega stekla in/ali kremenovega peska, ki ju stalijo pri temperaturi 1400 °C. Pri obeh proizvodnjah je vroča staljena snov potisnjena skozi disk, da se na ta način izdelajo vlakna. Mineralna volna vsebuje povprečno 75% postindustrijske reciklirane vsebine in je požarno odporna. Za izolacijo je na voljo v razsuti obliki in obliki rol kjer so debeline plasti lahko od 5 do 20 cm in se uporablja za izolacijo sten, streh in za zapolnitev prostorov pri skeletni gradnji (Insulation materials, 2015; Jelle, 2011).

2.1.3.2 Vermikulit in perlit

Vermikulit in perlit sta si podobna izolacijska materiala saj je izvor obeh iz čiste mineralne kamenine in sta se pogosto uporabljala za izolacijo podstrešja v domovih zgrajenih pred 1950. Oba se pridobivata z ekspandiranjem vermikulita in perlita. Največkrat se uporabljata v mešanici s cementom (Insulation materials, 2015).

2.2 CELULOZNA VLAKNA

Celulozna vlakna spadajo med naravne toplotno izolacijske materiale. Pridobivajo se iz lesa in iz starega odpadnega papirja ter jih uporabljamo kot učinkovito toplotno izolacijo streh, sten in podov. Celuloznim vlaknom med proizvodnjo dodajo sredstva za izboljšanje požarne odpornosti ter odpornosti na glive in plesni. Največkrat se v različnih mešanica dodajajo borove soli (boroja kislina in boraks), ki poleg požarne odpornosti nudi tudi dobro fungicidno odpornost (Lesar in Zimic, 2012). Celulozna vlakna vgrajujemo s strojnim vpihovanjem v stene, pode ali namenske praznine v strehi v obliki nasutih vlaken ali stisnjenih plošč (Naravni izolacijski materiali, 2015).

2.2.1 Vpihana celulozna izolacija

V eni izmed prvih študij, ki sta jo izvedla Bomberg in Shirliffe (1979) je bilo ugotovljeno, da je povprečna gostota nasutih celuloznih vlaken v vodoravnih izolacijah $34,8 \text{ kg/m}^3$. Danes je gostota nasutih vlaken v stropovih in horizontalnih površinah od 30 do 45 kg/m^3 in od 45 do 65 kg/m^3 v stenah in strehah z naklonom (Tehnične lastnosti celulozne izolacije, 2016). Sčasoma so se gostote nasutih vlaken začele spreminjati saj se je zaradi vlage pojavilo usedanja vlaken. Rasmussen (2002) je za preprečitev posedanja vlaken pri 50% relativni vlažnosti potrebna gostota nasutih vlaken 48 kg/m^3 , pri 80% relativni vlažnosti pa je potrebna gostota nasutih vlaken $62,3 \text{ kg/m}^3$ (Lopez Hurtado in sod., 2015).

Toplotna prevodnost celuloznih vlaken je približno $0,040 \text{ W/mK}$, vendar pa se lahko glede na proizvodnjo, način in mesto vgradnje ta lastnost celuloznih vlaken rahlo spreminja. Vejelis in sod. (2006) ugotavljajo, da se s povišanjem vsebnosti vlage za 1%, v nasuti celulozni izolaciji, toplotna prevodnost povprečno poviša za 1,2 – 1,5%. V tej študiji je bila gostota nasutih vlaken zaradi ročnega nasuvanja nekoliko višja od 50 do 70 kg/m^3 , debeline preizkušanih nasutih celuloznih izolacij pa so bile 5, 6, 7, 9 in 12 cm.

2.2.2 Celulozna izolacija v obliki plošč

Kljub nizki toplotni prevodnosti ima uporaba nasutih celuloznih vlaken več slabosti kot so posedanje in posledično zbijanje, ki rahlo povečajo toplotno prevodnost. Poleg tega pa vgradnja vpihane celulozne izolacije zahteva posebej izšolanega izvajalca. Ena od rešitev za premagovanje posedanja je proizvodnja celulozne izolacije v obliki plošč (Medved in sod., 2014). Izolacijske plošče iz celuloznih vlaken se najbolj pogosto proizvajajo debeline

80 mm in gostote 50 kg/m^3 . Podjetje Homatherm iz Nemčije pa ponuja debeline od 30 do 180 mm z gostoto 70 kg/m^3 (Homatherm, 2016).

Medved in sod. (2014) so ugotovili, da se pri gostoti plošč 50 kg/m^3 in debelini plošč 80 mm toplotna prevodnost celuloznih vlaken poveča ob povečanju povprečne temperature preizkušanj. S pomočjo sejalne analize je bilo ugotovljeno tudi, da imajo vlakna srednje velikosti (1-1,5 mm) najnižjo povprečno toplotno prevodnost, ki je znašala $0,053 \text{ W/mK}$.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Celulozna vlakna

Za izdelavo izolacijski plošč smo uporabili celulozna vlakna oz. kosmiče iz recikliranega papirja. Celulozna vlakna je dobavilo podjetje Zimicell d.o.o..

3.1.2 Urea formaldehidno lepilo (UF)

Za lepljenje smo uporabili urea formaldehidno lepilo. Delež lepila je bil 20%, delež dodanega utrjevalca pa 2% in je bil za vse plošče enak. Maso lepila smo izračunali po formuli:

$$m_{lep} = m_{mat} * d.l. [g] \quad \dots (1)$$

m_{lep} – masa lepila [g]

m_{mat} – masa materiala (vlaknen) [g]

d.l. – delež lepila [%]

utrjevalec predstavlja 2 % celotne lepilne mešanice, maso tega pa smo izračunali po formuli:

$$m_{ut} = m_{lep} * 0,02 \quad \dots (2)$$

m_{ut} – masa utrjevalca [g]

m_{lep} – masa lepila [g]

Kot utrjevalec smo uporabili amonijev sulfat in sicer smo v lepilno smolo dodali 20% raztopino.

Poleg UF lepila v tekoči obliki, smo želeli ugotoviti možnost rabe UF lepila v praškasti obliki. Delež praškastega lepila je bil 15 % in 20 % glede na maso vlaken. Delež suhe snovi pripravljenega lepila je bil 60%. Maso lepila smo izračunali po formuli:

$$m_{lep} = m_{mat} * d.l. [g] \quad \dots (3)$$

m_{lep} – masa lepila [g]

m_{mat} – masa materiala (vlaken) [g]

d.l. – delež lepila [%]

3.2 METODA DELA

3.2.1 Priprava vzorcev

Eksperimentalno delo (določanje toplotne prevodnosti) je bilo zasnovano na primerjanju toplotne prevodnosti "vpihovane" celuloze in plošč iz celuloze. Ustrezno količino celuloze (glede na željeno gostoto) smo zatehtali in enakomerno razporedili v model (stirodur - XPS) z dimenzijami odprtine 200 x 200 x 80 mm (slika 1).



Slika 1: Celulozna vlakna v modelu

Gostote natresanja so bile 30 kg/m^3 , 50 kg/m^3 , 70 kg/m^3 , 100 kg/m^3 in 150 kg/m^3 . Kot primerjavo smo uporabili prazen kalup.

V drugem delu eksperimenta smo celulozna vlakna zmešali s praškastim lepilom. Praškasto lepilo smo dodajali kombinirano in sicer smo ga 50% dodali v praškasti obliki, 50% pa smo zmešali z vodo (65% suhe snovi). Masa celotnega lepila je bila 15 % na maso vlaken. Najprej smo preizkušali oblepljena vlakna, v modelu 200 x 200 x 80 mm, gostote 70 kg/m^3 . Po preizkusu smo vlakna za 30 minut dali v sušilnik (103°C) in nato ponovno izvedli preizkus toplotne prevodnosti.

Za konec pa smo preverjali toplotno prevodnost celulozni vlaken z gostoto 70 kg/m^3 , katere smo zmešali z 20 % praškastega lepila glede na maso vlaken. Lepilo smo dodali pol zmešanega z vodo in pol suhega. Preizkus smo izvedli s tremi različnimi povprečnimi

temperaturami in sicer 10 °C pri kateri je bila temperaturna razlika 20 °C, 25 °C s temperaturno razliko 10 °C in 40 °C s temperaturno razliko 20 °C.

Oblepljanje celuloznih vlaken je potekalo v laboratorijskem stroju za oblepljanje (slika 2).



Slika 2: Stroj za oblepljanje vlaken

Delež lepila je bil 20 %. Vlakna smo nato natresli v kalup z dimenzijami 500 x 500 mm (slika 3).



Slika 3: Vlakna v kalupu

Izdelali smo pet plošč različne gostote in sicer 30 kg/m^3 , 50 kg/m^3 , 70 kg/m^3 , 150 kg/m^3 in 300 kg/m^3 . Plošči z gostoto 30 kg/m^3 in 50 kg/m^3 smo stisnili na debelino 26 mm, ker natresena količina vlaken v kalupu ni dosegla 80 mm debeline, ostale plošče pa smo stisnili na debelino 80 mm. Ker je bilo pri ploščah z nižjo gostoto materiala za doseganje kompaktne plošče premalo, smo se zato odločili, da izdelamo tanjše plošče, ki jih bomo nato "sestavili" v približno 80 mm debelo ploščo. Plošče smo stiskali 12 minut pri temperaturi 180°C , tlak v stiskalnici pa je bil med 30 in 50 bari (slika 4).



Slika 4: Stiskalnica

Po končanem stiskanju smo plošče (slike 5,6,7 in 8) pustili, da se klimatizirajo 3 dni pri 20 °C in 65 % relativni zračni vlažnosti. Po preteku treh dni pa smo iz plošč narezali vzorce na dimenzije 250 x 250 mm. Meritve toplotne prevodnosti, na teh vzorcih iz plošč kot tudi na vzorcih kjer so bila vlakna v modelu, so bile izvedene samo na enem vzorcu posamezne gostote.



Slika 5: Plošči gostot 70 kg/m^3 in 150 kg/m^3



Slika 6: Plošča gostote 300 kg/m^3



Slika 7: Plošča gostote 50 kg/m^3



Slika 8: Vzorci plošče z gostoto 30 kg/m^3

3.2.2 Merjenje toplotne prevodnosti

Preizkus merjenja toplotne prevodnosti je potekal po standardu SIST EN 12667. Meritev je trajala 60 minut. Meritve so se izvajale pri povprečnih temperaturah:

- 10 °C (0 °C na spodnji plošči, 20 °C na zgornji plošči)
- 25 °C (20 °C spodaj, 30 °C zgoraj)
- 40 °C (30 °C spodaj, 50 °C zgoraj).

Podatke merjenja toplotne prevodnosti vzorcev smo spremljali na zaslonu (slika 9).

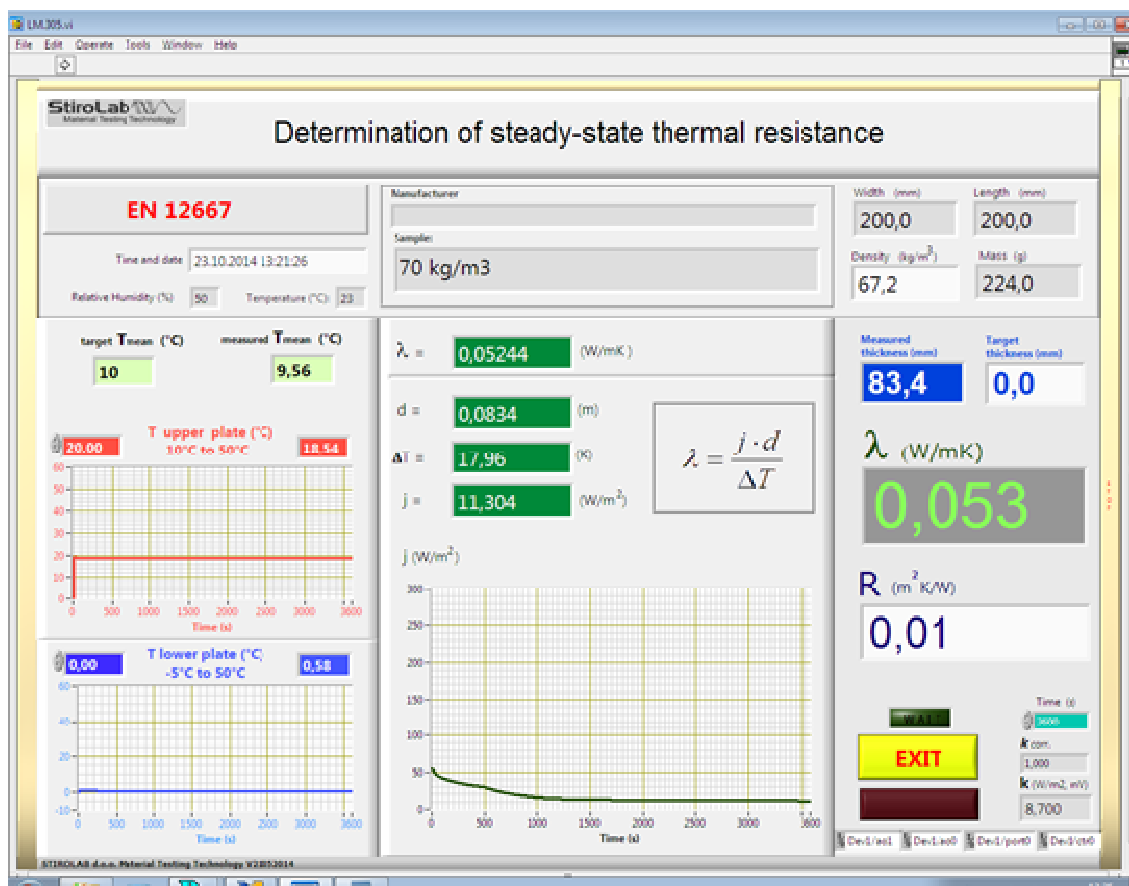


Slika 9: Oprema za preizkušanje toplotne prevodnosti Stirolab

Na sliki 10 vidimo sliko računalniškega programa s pomočjo katerega upravljamo z opremo za preizkušanje toplotne prevodnosti proizvajalca Stirolab. Program vsebuje možnost vnašanja podatkov kot so širina, dolžina in masa vzorcev. Debelino vzorca izmeri sam po tem, ko se zgornja grelna plošča spusti do vzorca na to pa še izračuna gostoto vzorca. Program daje tudi možnost nastavitve dveh ključnih pogojev, to sta temperatura na spodnji plošči v razponu od -5 do 50 °C in temperatura na zgornji plošči v razponu od 10 do 50 °C. Program vsebuje tudi nastavitev časa za preizkušnje vzorcev in po preteku določenega časa nam program poda izračunane podatke posameznega preizkusa kot so temperaturna razlika med ploščama, gostota toplotnega toka, ki je prikazana grafično v odvisnosti od časa, toplotni upor in toplotna prevodnost preizkušane vzorca.

Kot referenco vsem meritvam smo izmerili tudi toplotno prevodnost zraka. To meritev smo izvedli pri povprečni temperaturi 10 °C. Za meritev smo uporabili prazen model (stirodur -

XPS), ki se je pozneje uporabljal za merjenje "vpihanih" vlaken. Zatehtali smo ustrezno količino vlaken in jih na to enakomerno ročno natresli v modelu. V program je bilo potrebno vnesti širino in dolžino odprtine modela, da program v meritev ne bi zajel roba modela. Za maso zraka smo uporabili število nič, debelino modela pa je program izmeril sam.



Slika 10: Slika meritve z ekrana

4 REZULTATI

Rezultati meritev so pokazali, da je toplotna prevodnost odvisna tako od načina izdelave (nasuti gradniki oz. plošča) kakor tudi gostote in vsebnosti vlage.

V preglednici 1 so prikazani rezultati preizkusov natresenih vlaken. Pri preizkusih je bila povprečna temperatura 10 °C (20 °C na zgornji in 0 °C na spodnji plošči).

Preglednica 1: Prikaz toplotne prevodnosti natresenih vlaken

Gostota ρ [kg/m ³]	Debelina d [mm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]
zrak	83,0	0,277
30	83,1	0,051
50	83,2	0,050
70	83,4	0,053
100	84,2	0,058
150	86,5	0,060

V preglednici 1 lahko vidimo, da je toplotna prevodnost odvisna od gostote natresanja. Pri natresnih gostotah 30 in 50 kg/m³ vidimo, da je razlika v toplotni prevodnosti majhna, medtem ko lahko pri gostotah 50 kg/m³ in več opazimo naraščanje toplotne prevodnosti z naraščanjem gostote. Toplotna prevodnost zraka v literaturah znaša od 0,024 do 0,026 λ (Wikipedia, 2016), zato je najverjetnejša razlaga za tako povečano toplotno prevodnost zraka povečan toplotni tok med preizkušanjem.

V preglednici 2 so prikazani rezultati preizkusov, ki smo jih izvedli na ploščah iz celuloznih vlaken. Preizkus smo izvedli pri enakih pogojih, kot pri natresenih vlaknih.

Preglednica 2: Prikaz toplotne prevodnosti vzorcev iz plošč

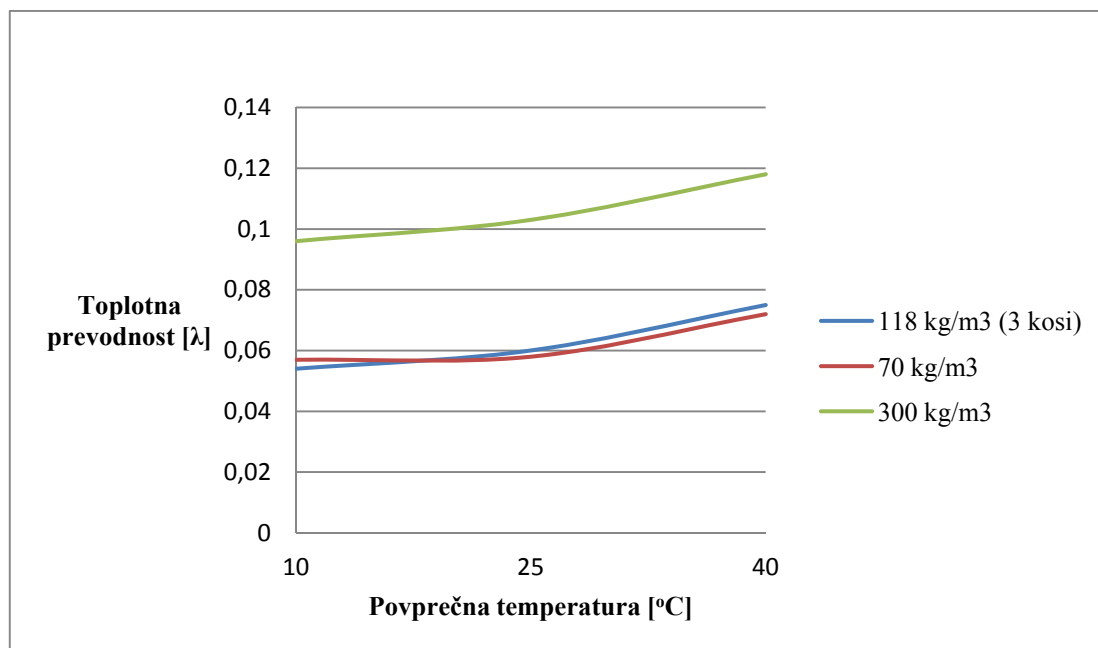
Gostota ρ [kg/m ³]	Debelina d [mm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]
118 (3 kosi)	69,4	0,054
103 (1 kos)	22,7	0,045
167 (3 kosi)	74,9	0,060
155 (1 kos)	25,3	0,052
70	67,9	0,057
150	77,7	0,066
300	86,0	0,096

Z rezultati iz preglednice lahko ponovno opazimo, da se z večanjem gostote povečuje tudi toplotna prevodnost vzorcev. Vidimo pa, da nima zgolj gostota vzorcev vpliva na vrednost toplotne prevodnosti ampak tudi debelina. Pri vzorcih sestavljenih iz treh tanjših plošč tako opazimo, da je toplotna prevodnost večja kakor pri eni (tanjši) plošči.

Preglednica 3 prikazuje rezultate meritev toplotne prevodnosti v odvisnosti od pogojev preskušanja.

Preglednica 3: Toplotna prevodnost v odvisnosti od pogojev preskušanja

Povprečna temperatura $\bar{T}$ [°C]	Gostota ρ [kg/m ³]	Debelina d [mm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]
10	118 (3 kosi)	69,4	0,054
25	118 (3 kosi)	69,5	0,060
40	118 (3 kosi)	69,2	0,075
10	70	67,9	0,057
25	70	66,2	0,058
40	70	67,1	0,072
10	300	86,0	0,096
25	300	85,2	0,103
40	300	85,2	0,118



Slika 11: Graf toplotne prevodnosti v odvisnosti od povprečne temperature

Iz rezultatov v preglednici in s pomočjo slike 11 vidimo, da se s povečevanjem povprečne temperature preizkusa povečuje toplotna prevodnost vzorcev. Ugotovimo tudi lahko, da z naraščanjem gostote naraščajo tudi razlike med toplotno prevodnostjo v odvisnosti od pogojev preskušanja.

V preglednici 4 so prikazane spremembe toplotne prevodnosti nasutih vlaken ob izpostavitvi visokim temperaturam v sušilniku in dodajanjem lepila. Masa dodanega lepila je bila 15 % glede na maso vlaken in sicer smo 50% lepila dodali v prašnati obliki, 50% pa v tekoči obliki. V sušilniku so bila vlakna 30 minut izpostavljena temperaturi 103 °C. Preizkuse smo izvajali v modelu kjer je bila gostota vlaken 70 kg/m³, povprečna temperatura pri preizkusih pa je bila 10 °C.

Preglednica 4: Prikaz toplotne prevodnosti vlaken z dodanim lepilom in sušenjem

Gostota ρ [kg/m ³]	Debelina d [mm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]
70	84,4	0,050
70 po sušenju	76,9	0,043
70 z lepilom	76,8	0,064
70 z lepilom po sušenju	77,0	0,045

Iz rezultatov vidimo, da se ob segrevanju oz. sušenju celuloznih vlaken toplotna prevodnost zmanjša. Vidimo tudi, da se toplotna prevodnost celuloznih vlaken poveča, ko med vlakna dodamo lepilo. Razlog za to je višja gostota lepila kot je gostota vlaken in z vmešanjem lepila med vlakna povečamo gostoto celotnega vzorca.

Tudi pri nasutih in oblepljenih vlaknih je toplotna prevodnost odvisna od nasutja (preglednica 5) in pogojev preskušanja (preglednica 6). Masa dodanega lepila je bila 15 % (50% prašnata oblika, 50% tekoča oblika). Vlakna so bila 30 minut v sušilniku kjer je bila temperatura 103 °C. Uporabili smo gostoti 70 kg/m³ in 50 kg/m³, preizkusa pa smo izvedli pri povprečni temperaturi 10 °C.

Preglednica 5: Prikaz toplotne prevodnosti vlaken dveh različnih gostot z dodanim lepilom

Gostota ρ [kg/m ³]	Debelina d [mm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]
70	83,3	0,053
50	77,0	0,050

Primerjava rezultatov toplotne prevodnosti gostot 70 in 50 kg/m³ nam skupaj s preglednico 1 prikaže, da je gostota vlaken 50 kg/m³ bolj toplotno izolativna od gostote 70 kg/m³. Vendar pa pri gostoti 50 kg/m³ nastane težava izdelave plošč kot smo prikazali v preglednici 2.

Preglednica 6: Prikaz toplotne prevodnosti vlaken z dodanim lepilom pri različnih temperaturah

Povprečna temperatura ΔT [°C]	Gostota ρ [kg/m ³]	Debelina d [mm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]
10	70	77,1	0,059
25	70	77,5	0,050
40	70	77,0	0,073

V preglednici vidimo, da se je v tem primeru zgodilo odstopanje od trenda večja kot je temperatura preizkusa večja je toplotna prevodnost, izjema se je zgodila pri preizkusu s povprečno temperaturo 25 °C. Omeniti moramo tudi, da smo v tem primeru (preglednica 6) dodali 20% lepila, zato tudi razlika v toplotni prevodnosti pri preizkusu s povprečno temperaturo 10 °C (primerjava s podatki prikazanih v preglednici 5).

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Iz izvedenih preizkusov smo ugotovili, da so najbolj primerne gostote za izolacijsko ploščo iz recikliranega papirja gostote do 70 kg/m^3 , saj je toplotna prevodnost pri teh gostotah najmanjša oz. toplotna izolativnost največja. Pri večji gostoti iz plošč iztisnemo zrak in s tem povečamo prevodnost med vlakni. Pri večji gostoti smo povzročili tudi zgostitev vlaken. Stična površina med vlakni je narasla in s tem posledično tudi prevodnost toplote med vlakni (kondukcija).

Toplotna prevodnost je odvisna tudi od pogojev preskušanja, saj smo pri višjih nastavljenih temperaturah ugotovili tudi višjo toplotno prevodnost. Do tega pride zaradi nihanja in trkanja manjših delcev med seboj znotraj gradnikov celuloznih vlaken. Delci snovi atomi, molekule ali ioni pri nizkih temperaturah ne mirujejo, ampak nihajo okoli svoje lege. Ko se snov segreva, ti delci začnejo nihati močneje in začnejo trkati v sosednje delce. Več toplotne energije dodamo, večje je nihanje delcev in posledično večji je prehod temperature skozi snov. Glede na to, da so v našem primeru celulozna vlakna iz lesa in so zgrajena iz večjih molekul je ta prenos nihanja in trkanja delcev počasnejši kot v primeru gostejših materialov kot so kovine (Krnel, 2011).

Toplotna prevodnost se poveča, ko celuloznim vlaknom dodamo lepilo. Ker smo lepilo zmešali z vodo, smo na ta način med celulozna vlakna dodali zmes z višjo gostoto od celuloznih vlaken, s tem smo povečali celotno gostoto vzorca in kontakt med gradniki zaradi česa je prišlo do večje kondukcije celuloznih vlaken in s tem povečane toplotne prevodnosti vzorca. Toplotna prevodnost se zmanjša, ko se celulozna vlakna za nekaj časa izpostavijo sušenju. Razlog zato je, da je lepilo utrnilo in da je s tem izparelo nekaj vode. Razlog za manjšo toplotno prevodnost celuloznih vlaken po sušenju pa je tudi manjša gostota toplotnega toka skozi material, to pa zaradi tega, ker so se vlakna med sušenjem ogreli na višjo temperaturo kot je bila temperatura pri kateri smo preizkušali toplotno prevodnost. Pri višji temperaturi vlaken smo izvedli preizkus.

5.2 SKLEPI

V izvedenih preizkusih smo preučevali vpliv gostote in temperature na toplotno prevodnost plošč iz celuloznih vlaken. Ugotovili smo, da gostota plošč in temperatura izvajanja preizkusa značilno vplivata na toplotno prevodnost plošč.

Z večanjem gostote celuloznih vlaken v plošči se večja tudi toplotna prevodnost. Med vzorci je najmanjšo toplotno prevodnost imel vzorec z gostoto 50 kg/m^3 , med ploščami pa plošča z gostoto 70 kg/m^3 . Največjo oz. najslabšo toplotno prevodnost je imel preizkušanec iz plošče z gostoto 300 kg/m^3 .

Toplotna prevodnost se prav tako večja z večanjem povprečne temperature v plošči. Plošče so imele najmanjšo toplotno prevodnost pri povprečni temperaturi $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ medtem, ko je bila največja toplotna prevodnost pri povprečni temperaturi $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Plošče smo preizkušali tudi pri povprečni temperaturi $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pri dodajanju lepila med vlakna, se je izkazalo, da so najboljše plošče, katerim smo lepilo dodajali strojno, saj so imele boljšo kompaktnost in manjšo toplotno prevodnost oz. boljšo toplotno izolativnost.

6 VIRI

Bio volnena izolacija. SOVEN d.o.o.

<http://soven16.wix.com/soven#!bio-volnena-izolacija/cfvm> (januar 2016)

Bomberg M., Shirliff C. J. 1979. Comments on standardization of density and thermal resistance testing of cellulose fibre insulation for horizontal applications. Building research note, 147: 17

Insulation materials. U. S. Department of energy.

<http://energy.gov/energysaver/insulation-materials> (december 2015)

Izolacija iz kokosovih vlaken. SLONEP.

<http://www.slonep.net/eko-bivanje/sonaravna-gradnja/vodic/izolacija-iz-kokosovih-vlaken> (januar 2016)

Izolacija iz lesnih vlaken. STEICO.

http://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/UK/Product_information/flex/STEICOflex_en_i.pdf (junij 2016)

Izolacija iz trstike – trstične plošče. Gnezdo.si.

http://www.gnezdo.si/e107_files/downloads/Izolacija%20iz%20trstike.pdf (januar 2016)

Jelle B. P. 2011. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solution – Properties, requirements and possibilities. Energy and buildings, 43: 2551

Krnel D. Toplotna prevodnost. 2011. Ljubljana, Pedagoška fakulteta.

http://pefprints.pef.uni-lj.si/748/1/KRNEL1_Nar_solnica16-1.pdf (maj 2015)

Konoplja Biofib. Gnezdo.si.

<http://www.gnezdo.si/page.php?87> (januar 2016)

Lopez Hurtado P., Rouilly A., Vandebossche V., Raynaud C. 2015. A review on the properties of cellulose fibre insulation. Building and Environment, 96: 172-173

Lesar B., Zmic T. 2012. Celulozna toplotna in zvočna izolacija. Gradbenik, julij- avgust: 32

Medved S., Lesar B., Tudor E. M., Humar M. 2014. Thermal insulation panels from cellulosic fibres. Proceedings of the 3rd International Conference on Processing Technologies for the Forest and Bio-based Products Industries, Kuchl/Salzburg, Austria, 24. - 26. September 2014: 5 str.

Naravna izolacija – lesna vlakna. Mojmojster.net.

http://www.mojmojster.net/clanek/110/Naravna_izolacija (junij 2016)

Naravni izolacijski materiali. Gnezdo.si.

<http://www.gnezdo.si/page.php?86> (december 2015)

Naravni izolacijski materiali. SLONEP.

<http://www.slonep.net/zakljucna-dela/izolacija/vodic/naravni-izolacijski-materiali>
(december 2015)

Nemanič K. Polistireni – odporni na vlago in obremenitve. 2011. Delo in dom.

<http://www.deloindom.si/polistireni-odporni-na-vlago-obremenitve> (januar 2016)

Ozmec S. Toplotne izolacije: Prijazni do okolja. 2015. Delo in dom.

<http://www.deloindom.si/zunanji-ovoj/toplotne-izolacije-prijazni-do-okolja>
(december 2015)

Plošča iz recikliranega papirja – flexCL. Homatherm.

<http://www.homatherm.com/wp-content/uploads/downloads/en/flexCL.pdf> (junij 2016)

Predelava papirja. Wikipedia.

https://sl.wikipedia.org/wiki/Predelava_papirja (maj 2015)

Rasmussen T. V. 2002. Modelling settling of loose-fill insulation in walls, part II
determination of coefficients. Journal of Building Physics, 2002, 25: 189-208

Tehnične lastnosti celulozne izolacije. Zimicell.

<http://zimicell.si/celulozna-izolacija/tehnice-lastnosti/> (junij 2016)

Toplotna prevodnost. Wikipedia.

https://sl.wikipedia.org/wiki/Toplotna_prevodnost (julij 2016)

Vejelis S., Gnipas I., Keršulis V. 2006. Performance of Loose-Fill Cellulose Insulation.
Materials science, 4: 338-340

Wilson A. Ekspandirana pluta – najzeleniji izolacioni material?. 2012. Gradjevinarstvo.rs.

<http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/2914/820/ekspandirana-pluta-najzeleniji-izolacioni-materijal> (januar 2016)

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Sergeju Medvedu za pomoč pri izvedbi eksperimenta in meritev ter za pomoč in napotke pri pisanju diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi somentorju doc. dr. Boštjanu Lesarju za napotke pri pisanju naloge, red. prof. dr. Željku Gorišku za strokovno recenzijo diplomskega dela in strokovnemu sodelavcu Janezu Renku za pomoč pri izvedbi eksperimenta.

Zahvaljujem se tudi vsem profesorjem in ostalim zaposlenim na Oddelku za lesarstvo za kakršnokoli pomoč skozi študijski čas.

Zahvala gre tudi moji puncu za vso podporo v času študija.

Iskreno pa se zahvaljujem svojim staršem ter sestram za podporo in pomoč pri študiju predvsem pa za potrpežljivost.