

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Tadej GRAHOVAC

LESNE PLOŠČE KOT TOPLOTNO IZOLATIVNI MATERIAL

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij – 1. stopnja

**WOOD – BASED PANELS AS A THERMAL INSULATION
MATERIAL**

B. Sc. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2010

Diplomski projekt je zaključek Univerzitetnega študija Lesarstva – 1. stopnja. Opravljeno je bilo na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljane, kjer so bile opravljene laboratorijske analize v laboratoriju za preizkušanje lesnih tvoriv

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega projekta imenoval doc. dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa prof. dr. Željka Goriška.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Tadej Grahovac

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du1
DK	UDK 630*862
KG	lesne plošče/iverne plošče/slama/toplotna izolacija
AV	GRAHOVAC, Tadej
SA	MEDVED, Sergej (mentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2010
IN	LESNE PLOŠČE KOT TOPLOTNO IZOLATIVNI MATERIAL
TD	Diplomski projekt (Univerzitetni študij – 1. stopnja)
OP	VIII, 35 str., 7 pregl., 11 sl., 18 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Pri izbiri toplotne izolacije moramo biti pozorni predvsem na izolativne lastnosti nekega materiala; energijo, potrebno za izdelavo tega materiala, ter nenazadnje vpliv materiala na toplotno ugodje samega uporabnika. Izbiramo lahko med naravnimi toplotno izolacijskimi materiali, kot so npr.: pluta, slama, lesna vlakna, ovčja volna, kokosova vlakna, itd. in med umetnimi oz. sintetičnimi toplotno izolacijskimi materiali, kot so npr.: polistiren, poliuretan, perlit, mineralna volna, penjeno steklo, itd. Želeli smo ugotoviti vpliv velikosti in vrste gradnika na prevodnost toplote uporabljenega kompozita. Izdelali smo 3 iverne plošče enake gostote (200 kg/m^3). Prva je bila narejena iz iveri velikosti do 1,5 mm, druga iz velikosti 1,5 mm - 6,14 mm, tretja pa je vsebovala mešanico iveri obeh velikosti, in sicer v razmerju 50/50. Proizvedli smo še ploščo iz iveri slame, gostote 250 kg/m^3. Ugotovili smo, da vrsta in velikost značilno vplivata na prehod toplote. Od vseh 4 plošč je imela najboljše izolacijske lastnosti plošča iz iveri velikosti med 1,5 mm in 6,14 mm, najslabše pa slama.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du1
DC UDC 630*862
CX wood-based panel/particleboard/strawboard/thermal insulation
AU GRAHOVAC, Tadej
AA SERGEJ, Medved (supervisor)/GORIŠEK, Željko (co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2010
TI WOOD – BASED PANELS AS A THERMAL INSULATING MATERIAL
DT B. Sc. Thesis (Academic studies programmes)
NO VIII, 35 p., 7 tab., 11 ann., 18 ref.
LA sl
AL sl/en
AB When faced with decision which thermal insulation to use we should know: thermal resistance of material, energy needed to produce it, and finally, its impact on the thermal comfort of the user. We can choose between natural thermal insulation materials, for example: cork, straw, wood fibres, sheep wool, coconut fibres, etc.; and synthetic thermal insulating materials, such as: polystyrene, polyurethane, perlite, mineral wool, blown glass, etc. We wanted to determine, if the size and type of chip particles have an effect on heat conductivity of the composites. We made 3 types of chipboards that had the same density (200 kg/m^3), but differed in size of the chips. One was made of chips smaller and equal to 1.5 mm; for the other 1.5 mm - 6.14 mm were used; we mixed chips of all sizes for the third. We also manufactured a board made of straw; its density was 250 kg/m^3 . We found that the type and size significantly affected heat transfer. The best insulation properties had the board made of 1.5 mm - 6.14 mm sized chips, the worst that of straw board.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	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 NAMEN IZOLACIJE	3
2.2 TOPLOTA IN IZOLACIJA	4
2.2.1 Toplotno ugodje	4
2.2.1.1 Temperature zraka v prostoru	4
2.2.1.2 Srednja sevalna temperatura obodnih površin	5
2.2.1.3 Hitrost zraka v prostoru	5
2.2.1.4 Vlažnost zraka	5
2.3 TOPLOTNOIZOLATIVNI MATERIALI	7
2.3.1 Naravna toplotnoizolacijska gradiva	7
2.3.1.1 Ekspandirana in impregnirana pluta	7
2.3.1.2 Lesna vlakna	8
2.3.1.3 Slama	8
2.3.1.4 Ovčja volna	8
2.3.1.5 Kokosova vlakna	9
2.3.1.6 Bombaž	9
2.3.1.7 Konoplja	9
2.3.1.8 Lan	9
2.3.1.9 Celulozni kosmiči	10
2.3.2 Umetna toplotnoizolacijska gradiva	10
2.3.2.1 Vermikulit	10
2.3.2.2 Perlit	10
2.3.2.3 Penjeno steklo	11
2.3.2.4 Mineralna volna	11
2.3.3 Sintetična toplotnoizolacijska gradiva	11
2.3.3.1 Polistiren	12
2.3.3.2 Poliuretan	12
2.3.3.3 Fenol – formaldehidna pena	12
2.3.4 Posebna toplotnoizolacijska gradiva	12
2.3.4.1 Prosojna toplotna izolacija	13
2.3.4.2 Vakuumska toplotna izolacija	13
3 MATERIALI IN METODE	18
3.1 MATERIALI	18
3.1.1 Iveri iz lesa	18
3.1.2 Iveri iz slame	18

3.1.3	Melamin – urea formaldehidno lepilo (MUF)	18
3.2	METODA DELA	19
3.2.1	Izračun termična difuzijskega koeficienta α in polovičnega časa t	20
4	REZULTATI.....	21
4.1	SEGREVANJE	21
4.1.1	Iverna plošča narejena iz majhnih delcev (frakcija 1,5 mm)	23
4.1.2	Iverna plošča narejena iz mešanih delcev	24
4.1.3	Iverna plošča narejena iz večjih delcev (frakcija od 1,5mm do 6,14 mm)	25
4.1.4	Plošča narejena iz iveri slame	26
4.2	OHLAJEVANJE	27
4.2.1	Iverna plošča narejena iz majhnih delcev (frakcija 1,5 mm)	28
4.2.2	Iverna plošča narejena iz mešanih delcev	29
4.2.3	Iverna plošča narejena iz večjih delcev (frakcija od 1,5mm do 6,14 mm)	30
4.2.4	Plošča narejena iz iveri slame	31
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	32
5.1	RAZPRAVA	32
5.2	SKLEPI	33
6	VIRI	34

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Povprečne temperature zraka v prostorih (temperatura merjena 1 m od zunanjih sten, 0,5 m od notranjih sten, 0,1 m nad podom in 1,8 m v višino) ..	5
Preglednica 2: Lastnosti klasičnih in alternativnih toplotnoizolacijskih materialov	14
Preglednica 3: Toplotna prevodnost plošč različnih gostot iz različnih materialov	15
Preglednica 4: Pregled povprečnih rezultatov segrevanja	21
Preglednica 5: Prikaz izračunanih vrednosti termičnega difuzijskega koeficienta a in polovičnega časa $t_{\theta=0,5}$ za proces segrevanja	22
Preglednica 6: Pregled povprečnih rezultatov ohlajevanja	27
Preglednica 7: Prikaz izračunanih vrednosti termičnega difuzijskega koeficienta a in polovičnega časa $t_{\theta=0,5}$ za proces ohlajevanja	27

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Prikaz izračuna povprečnih toplotnih izgub na objektih.....	3
Slika 2: Graf počutja	6
Slika 3: Prikaz pozicije senzorjev v plošči	19
Slika 4: Graf segrevanj iverne plošče frakcije 1,5 mm.....	23
Slika 5: Graf segrevanja iverne plošče mešanih iveri.....	24
Slika 6: Graf segrevanja iverne plošče frakcije od 1,5 mm do 6,14 mm.....	25
Slika 7: Graf segrevanja plošče narejene iz slame	26
Slika 8: Graf ohlajevanja iverne plošče frakcije 1,5 mm	28
Slika 9: Graf ohlajevanja iverne plošče mešanih iveri	29
Slika 10: Graf ohlajevanja iverne plošče frakcije od 1,5 mm do 6,14 mm	30
Slika 11: Graf ohlajevanja plošče narejene iz slame	31

1 UVOD

V zadnjem času se ozaveščanje ljudi o okoljevarstvenih težavah povečuje. Glavna težava so izpusti toplogrednih plinov v ozračje, ki povzročajo dvigovanje temperature ozračja, kar se odraža na intenzivnosti naravnih pojavov oz. katastrof (poplave, suše, plazovi, orkani, itn.). Zaradi takih in podobnih problemov, ki se jih ljudje vedno bolj zavedamo, se usmerjamo k varovanju okolja s tem da, ločujemo odpadke, varčujemo s porabo vode in električne energije, uporabljamo okolju prijazne embalaža in še bi lahko našteval. Tudi stroka se je usmerila v izboljšanje industrije in izdelkov le te, s katerimi, če so pravilno zastavljena oz. zasnovana, lahko pomagamo k izboljšanju podnebja. Lesarstvo je ena izmed strok, ki lahko odigra veliko vlogo pri zmanjšanju spustov toplogrednih plinov v okolje, saj je les obnovljiva surovina, ki skladišči CO₂ in je iz njega mogoče izdelati številne izdelke in polizdelke (npr. plošče), odslužene izdelke se lahko reciklira in ponovno uporabi.

Veliko energije se porabi pri segrevanju in ohlajevanju bivalnih prostorov, kjer ljudje preživljamo veliko časa. Na vprašanje, zakaj moramo ves čas ogrevati oz. ohlajati bivalne prostore, lahko odgovorimo s preprostim odgovorom: zaradi 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 posledično zmanjšali emisije toplogrednih plinov. Preprečimo jo lahko tako, da poskrbimo za primerno izoliranost prostorov pred zunanjimi vplivi (predvsem je tukaj mišljena temperatura) in z odstranjevanjem toplotnih mostov oz. s pravilno konstrukcijo.

Z dobro izolacijo vplivamo na tri glavne elemente: že prej omenjeno zmanjšanje energije za ogrevanje stavb, posledično tudi porabo denarnih sredstev s katerim plačujemo porabljeno energijo, poskrbimo za ugodno počutje v domu oz. delovnem okolju, in ne nazadnje tudi podaljšamo življenjsko dobo samega objekta. Glavne tehnološke zahteve za toplotno izolacijo so: toplotna odpornost, požarna varnost in vpliv vlage na njene tehnološke lastnosti (Nelson, 1990). Materiale, ki jih uporabljamo za izolacijo delimo v dve večji skupini organskih in anorganskih materialov. Večina komercialnih izdelkov je iz mineralnih vlaken, kot sta kamena in steklena volna in spadajo v drugo večjo skupino materialov. V to skupino spadata tudi ekstrudirani (XPS) in ekspandirani (EPS) polistiren, širše znan pod imenom stiropor. V skupino organskih materialov pa spadajo slama, pluta, celulozna in kokosova vlakna, volna, da naštejemo samo nekatere.

V zadnjem času pa lahko opazimo porast porabe lesenih plošč z nizko gostoto (manjša od 250 kg/m³) v toplotnoizolacijske namene.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Zaradi ugotovitve, da se veliko energije in s tem povezanih toplogrednih plinov porabi za izdelavo raznih neorganskih toplotnoizolacijskih materialov, moramo usmeriti pozornost v bolj naravne surovine za izdelavo le teh, kamor spada tudi les. Glavni problem, ki ga predstavlja les kot toplotno izolacijski material, je poraba energije za njegovo predelavo v izolacijske plošče. Če želimo dobiti kvaliteten toplotnoizolacijski material moramo za

njegovo izdelavo porabiti čim manj energije, prav tako pa mora biti tudi primerna končna cena takšnega izolacijskega materiala.

1.2 CILJ RAZISKAVE

Cilj naloge je ugotoviti možnost rabe lesnih izolacijskih materialov in vpliv velikosti gradnika na prevodnost toplote izdelanega kompozita. Plošče se bodo razlikovale glede na velikost in vrsto gradnikov, saj bomo izdelali plošče iz iveri lesa in slame.

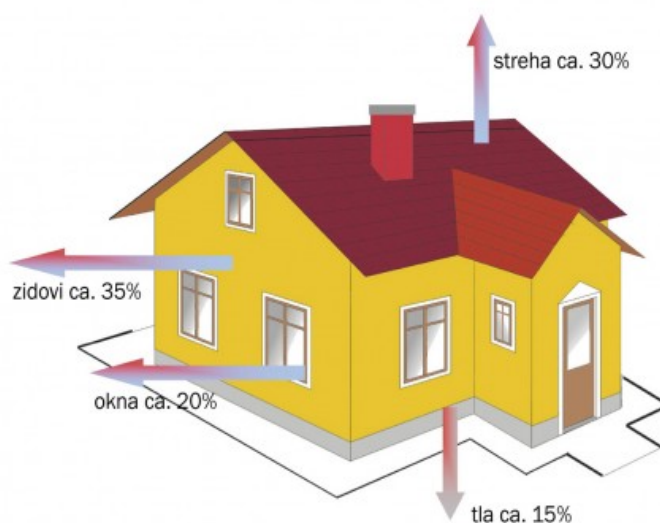
1.3 DELAVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da velikost gradnika in tudi vrsta surovine značilno vpliva na toplotno prevodnost plošč. Večje kot bodo iveri, boljše toplotnoizolacijske lastnosti bo plošča imela. Plošče izdelane iz manjših delcev bodo imele večjo toplotno prevodnost.

2 PREGLED OBJAV

2.1 NAMEN IZOLACIJE

Osnovni namen toplotne izolacije je preprečevanje toplotnih izgub preko tal, sten in strehe. Približno 40 % vse porabljene energije v Evropi odpade na energijo, ki se jo porabi, za segrevanje prostorov v stavbah, tako stanovanjskih, kot tudi poslovnih. Delež izgub toplote v stavbah prikazuje slika 1.



Slika 1: Prikaz izračuna povprečnih toplotnih izgub na objektih (Toplotne prenove ..., 2010)

Vidimo lahko, da cca. 65 % vseh toplotnih izgub prehaja skozi zunanje stene objekta in skozi streho, na kar lahko v veliki meri vplivamo z izboljšanjem izolacijskega ovoja in s tem prihranimo pri porabi energije za ogrevanje, posledično tudi denarja in seveda dobro vplivamo na okolje, saj zmanjšamo izpuste toplogrednih plinov. Način, s katerim zmanjšamo toplotne izgube je, da v prvi vrsti načrtujemo pravilno gradnjo strukture z vidika arhitekture in gradbeniškega vidika. To pomeni eliminacijo toplotnih mostov in vgraditev primerno izolativnih materialov na zunanji obod zgradbe, pri čemer moramo paziti na kraj, kjer bo stavba zgrajena geografsko in kako se materiali med seboj obnašajo. Tukaj mislim predvsem na razne raztezke posameznih materialov, poroznost, trdnost... Pomemben pa je tudi način uporabe objekta (odpiranje oken, uporaba naprav, ki sevajo toploto ipd.)

Od dobre izoliranosti je odvisno tudi počutje uporabnikov stavb. Klepeis in sod. (2001) so z izvedeno raziskavo v Združenih državah Amerike ugotovili, da tamkajšnje prebivalstvo preživi kar 87 % svojega časa v zaprtih stavbah. Od tega preživijo 69 % časa znotraj svojih domov, medtem ko ostalih 18 % preživijo v ostalih zaprtih prostorih (pisarne, tovarne, gostilne, restavracije...). Podobno raziskavo sta izvedla tudi Brasche in Bischof (2004) v Nemčiji, s katero sta ugotovila, da prebivalci v Nemčiji preživijo 15.7 ur na dan znotraj svojega doma, kar predstavlja podoben delež (65 %) kot pri raziskavi izvedeni v Ameriki. Očitno je, da veliko časa preživimo, ne samo v raznih objektih pač pa tudi v svojih

domovih. Izboljšana toplotna zaščita ovoja zgradbe ima neposreden vpliv na človekovo počutje v bivalnem prostoru, saj so notranje površine sten toplejše, kar prispeva k toplotnemu ugodju v sami stavbi (Moritz, 1975).

Vedno bolj se zavedamo pomena okoljskih kriterijev. Za zdravje ljudi in varovanje okolja je pomembna vsebnost škodljivih snovi, ekološka neoporečnost proizvodnega postopka, čim manjša raba energije pri proizvodnji, kratke transportne poti, razpoložljivost surovin ter primernost za ponovno uporabo oziroma odstranitev. Odločitev o izbiri materiala je povezana s predvidenim mestom in načinom vgradnje. Pogosto pa je pomemben faktor pri odločanju tudi cena materiala (Informacijski list AURE, 2003).

2.2 TOPLOTA IN IZOLACIJA

Toplota je prenos energije od enega sistema do drugega, zaradi temperaturnih sprememb. Prenaša se med sistemi od področij z visoko temperaturo do tistih z nižjo. Prenos toplotne energije med dvema objektoma, med katerimi obstaja temperaturna razlika, se izvrši s prevajanjem, konvekcijo in sevanjem. Telo si ves čas izmenjuje toplotno energijo z okolico, kar vpliva na naše počutje in trenuten občutek ugodja. Dobro se počutimo, ko so vsi ti toplotni tokovi med človekom in okolico v ravnovesju. Toplotni tokovi, ki se sprožijo v težnji vzpostaviti ravnovesja med objektoma, se dogajajo s prevajanjem skozi obleko, s konvekcijo oz. gibanjem zraka ob obleki, s sevanjem med telesom in okoliškimi površinami, ter z izhlapevanjem preko dihanja in potenja. Porabljeno energijo pridobivamo nazaj s pomočjo presnove hrane, ki jo zaužijemo (Medved, 1997).

Telo je toplotni stroj, ki le manjši del energije spremeni v mehansko delo, višek se prenese v okolico s prej opisanimi mehanizmi prenosa toplote. Če proces ne zaznamo kot moteč smo dosegli toplotno ugodje.

2.2.1 Toplotno ugodje

Toplotno ugodje je odvisno od štirih dejavnikov:

- temperature zraka v prostoru,
- srednjo sevalno temperaturo obodnih površin,
- hitrost zraka v prostoru in
- vlažnosti zraka v prostoru

2.2.1.1 Temperature zraka v prostoru

Temperatura v nekem prostoru je pomemben dejavnik ugodnega bivanja v določenem prostoru (preglednica 1).

Preglednica 1: Povprečne temperature zraka v prostorih (temperatura merjena 1 m od zunanjih sten, 0,5 m od notranjih sten, 0,1 m nad podom in 1,8 m v višino)

<i>Prostor</i>	<i>Temperatura [°C]</i>
Bivalni in delavni prostori:	
- Pozimi	20 – 22
- Poleti	26
Prostori kjer smo manj oblečeni (npr. kopalnica)	24
Spalnice	15 – 18
Prostori kjer opravljamo težka fizična dela	12 – 14

2.2.1.2 Srednja sevalna temperatura obodnih površin

Srednja sevalna temperatura je povprečna temperatura vseh površin oz. ogreval, ki nas obdajajo v prostoru. Če je ta temperatura višja, je lahko temperatura zraka nižja kar pomeni, da so tudi toplotne izgube nižje (približno 8 % nižje pri 1 K). Srednja sevalna temperatura naj ne bi bila nižja za več kot 2 K od temperature zraka. Tu ima velik pomen dobro izoliran ovoj stavbe, saj ima le-ta višjo površinsko temperaturo in je ta razlika majhna pri manjši porabi energije.

2.2.1.3 Hitrost zraka v prostoru

Hitrost in gibanje zraka v prostoru vplivata na konvektivne toplotne izgube in izparevanje vode, ki jo izločimo skozi kožo in žleze znojnice. Če je temperatura zraka 20 °C, potem je lahko hitrost zraka 0,015 m/s, če je temperatura zraka 26 °C, pa je lahko hitrost zraka 0,65 m/s. Take pogoje človek še ne zazna kot moteče.

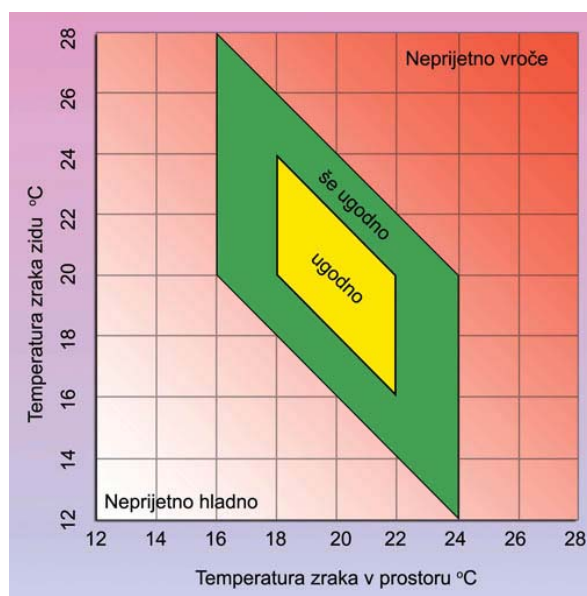
2.2.1.4 Vlažnost zraka

Vlažnost zraka ima majhen vliv na toplotno ugodje, če je pri temperaturi zraka med 20 in 26 °C relativna zračna vlažnost v mejah med 35 in 70 % (relativna zračna vlažnost opredeljuje razmerje med dejanskim delnim tlakom vodne pare in delnim tlakom nasičenja vodne pare). Ob višjih temperaturah mora biti relativna zračna vlažnost nižja, da lahko telo lažje oddaja toploto z izparevanjem. Pod 35 % ostajajo trdni delci v zraku, kar draži sluznico, nad 70 % pa lahko pride na hladnih površinah do kondenzacije vodne pare in nastanejo ugodni pogoji za razvoj plesni.

Nižje temperature notranjih površin lahko povzročajo rosenje. Rosa ali tako imenovani kondenzat nastane, kadar vlažen topel zrak naleti na hladno površino in se ohladi pod temperaturo nasičenja – rosišča. Posebej v prostorih z višjo relativno zračno vlažnostjo (kuhinje in kopalnice) je nevarnost tega pojava večja. Še pred doseganjem točke rosišča (100 % zračna vlažnost), pri okrog 80 % relativne zračne vlage, se vodna para z absorpcijo uskladišči v porozna tkiva (gradbeni elementi, izolacija...) (Zbašnik – Senegačnik, 2008).

Kondenzirana voda, ki se vpije v porozne elemente, kot je izolacija, pa značilno vplivajo na njeno sposobnost prevajanja toplote. V primeru povečanja vsebnosti vode v gradbenih materialih, toplotna prevodnost le-teh skokovito naraste, saj so za toplotno izolacijo najbolj primerna gradiva, ki imajo faktor toplotne prevodnosti (λ) med 0,035 in 0,040 W/(mK), faktor toplotne prevodnosti vode pa je 0,6 W/(mK) (Breuer, 1987).

Od temperature obodnih površin sta odvisna tudi zahtevana temperatura zraka v prostoru in vlažnost ter gibanje zraka. Iz prej ugotovljenega sledi zaključek, da je bolje, če imamo v prostorih nižje temperature, ki pa jih lahko dosežemo z višjimi temperaturami obodnih površin, kot je predstavljeno na sliki spodaj



Slika 2: Graf počutja (Poletno pregrevanje..., 2008)

Graf predstavlja povezavo med temperaturo na površini stene in temperaturo v prostoru. Kot lahko vidimo, višja temperatura na površini stene povzroči, da dosežemo ugodno počutje že pri nižji temperaturi zraka v prostoru, kar pomeni prihranek energije za ogrevanje. Neizolirani stavbi pade temperatura obodnih površin tudi pod 16 °C, kar lahko povzroči kondenzacijo vodne pare na površini. Če se vodna para kondenzira in zadržuje na površini sten, lahko pride do plesnenja in razvoja gliv, ki s svojim vonjem, nikakor ne vpliva dobro na počutje uporabnikov prostorov.

Pri odločanju o izboru primerne materiala za toplotno zaščito stavbe upoštevamo veliko kriterijev. Gotovo je najbolj izpostavljena lastnost materiala toplotna prevodnost. Čim manjša je toplotna prevodnost, toliko boljši je toplotnoizolacijski material. Na doseženo toplotno zaščito stavbe vpliva debelina in toplotna prevodnost toplotnoizolacijskega materiala. Merilo za toplotne izgube skozi element ovoja zgradbe je toplotna prehodnost k [W/m²K], ki mora biti čim manjša, če želimo dobro toplotno izoliran ovoj stavbe. Pri presoji razpoložljivih materialov je poleg toplotne prevodnosti pomembno upoštevati še druge kriterije, kot so protipožarna odpornost, difuzijska prepustnost, tlačna trdnost, stisljivost, trajnost, občutljivost na navlaževanje.

2.3 TOPLOTNOIZOLATIVNI MATERIALI

Za toplotno izolacijo so najbolj primerna gradiva, ki imajo faktor toplotne prevodnosti (λ) med 0,035 in 0,040 W/(mK), kjer nam veličina λ pove, kolikšen toplotni tok teče skozi 1 m² homogene plasti gradiva debeline 1 m, pri temperaturni razliki 1 K (ki je enako 1 °C). Čim manjši je faktor λ , tem boljša je toplotna izolativnost določenega gradiva (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

V današnjem času lahko najdemo na trgu veliko vrst toplotnoizolacijskih komercialnih gradiv, ki jih lahko uporabimo. V grobem jih lahko razdelimo na štiri vrste materialov, ki se delijo glede na njihov nastanek, to so:

- NARAVNA toplotnoizolacijska gradiva,
- UMETNA toplotnoizolacijska gradiva,
- SINTETIČNA toplotnoizolacijska gradiva in
- POSEBNA toplotnoizolacijska gradiva

2.3.1 Naravna toplotnoizolacijska gradiva

Pogoj, ki ga mora neko toplotnoizolacijsko gradivo izpolnjevati, da se lahko uvrsti v zvrst naravno toplotnoizolacijskih gradiv je, da je sestavljeno iz naravnih surovin. Vendar bi lahko na tem mestu pripomnili, da je vse na tem planetu zgrajeno iz naravnih substanc, zato morajo naravna toplotnoizolacijska gradiva izpolnjevati tudi pogoj, da jim za opravljanje funkcije izolacije, ni potrebno spreminjati kemijske sestave. Iz tega razloga proizvodnji proces omenjenih gradiv ne obremenjuje človeka in okolja. Prav tako v sami fazi uporabe ne prihaja do raznih emisij substanc, škodljivih človeškemu zdravju. V to skupino uvrščamo naslednje gradiva:

- ekspandirana in impregnirana pluta,
- lesna vlakna,
- slama,
- ovčja volna,
- kokosova vlakna,
- bombaž,
- konoplja,
- lan in
- celulozni kosmiči

2.3.1.1 Ekspandirana in impregnirana pluta

Ekspandirana in impregnirana pluta se uporablja za toplotno izolacijo celotnih zgradb: od tal, sten in stropov, do same strehe. Njen toplotnoizolacijski faktor λ dosega vrednosti med 0,038 in 0,046 W/(mK). Izdelana je iz zmletega lubja drevesa hrasta plutovca (*Quercus suber* L.) , za kar se ne porabi veliko energije. Ni potrebnih dodatkov lepil in organskih topil, zaradi vsebnosti naravnih sokov tega drevesa. Izolacija je lahka in elastična, ni občutljiva na vlago in zmrzal in ne trohni in ne gnije. Njene dve slabi lastnosti so, da je lahko vnetljiva (obstoja je do temperature 150 °C) in da je vir te surovine omejen, saj je

znano, da hrast plutovec (*Quercus suber* L) raste na Portugalskem, Španiji, Severni Afriki in Italiji, tako je nekoliko zmanjšan ekološki vidik uporabe tega naravnega materiala.

2.3.1.2 Lesna vlakna

Lesna vlakna oz. lesni kosmiči, so tudi izrazito naravno toplotnoizolacijsko gradivo, saj za njihovo izdelavo ne potrebujemo veliko energije. Lahko se uporabljajo tako v razsuti obliki, kot v obliki plošč, kjer se kot vezivo uporabljajo posebna mineralna veziva. V prvem primeru je način vgradnje z vpihovanjem, s katerim lahko dosežemo enakomerno porazdelitev po celotni površini, zapolnitev vseh težko dostopnih delov in izognemo se zračnim žepom, ter režam na stikih. Ena izmed dobrih lastnosti, ki jo je vredno izpostaviti je tudi ta, da je ta izolacija sposobna dobro sprejemati in oddajati vlago, kar posledično močno vpliva na dobro mikroklimo znotraj prostorov. Uporablja se tako v suhih kot v mokrih prostorih, za izolacijo vseh vrst konstrukcij novogradenj in sanacij. Toplotnoizolacijski faktor λ te vrste izolacije dosega vrednosti med 0,040 in 0,045 W/(mK)

2.3.1.3 Slama

Slama je sama po sebi odpaden material. Ima majhno težo, lahko jo enostavno pridobivamo, je okolju prijazen material in lahko jo ziverimo in stiskamo v lahke ploščne kompozite, ali pa proizvedemo tako imenovane bloke slame. Zaradi svojih neizrazitih mehanskih lastnosti je primerna za uporabo z ostalimi materiali ali kot polnilo. Glede toplotne prevodnosti literatura podaja dva različna podatka saj Grobovšek navaja λ vrednost med 0,09 in 0,13 W/(mK) (Grobovšek, 2009), medtem ko Zbašnik-Senegačnik in Kresal ugotavljata, da je ta vrednost nekje med 0,054 in 0,065 W/(mK) (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004). V obeh primerih so vrednosti precej visoke, kar pomeni, da ima slabše toplotnoizolacijske lastnosti in zahteva večjo debelino same blazine toplotne izolacije. Vendar je s svojo cenenostjo, ekološko neoporečnostjo, dobro zvočnoizolativnostjo ter izpolnitvijo vseh požarno - varnostnih zahtev (B2 – normalna vnetljivost, F90 – devetdeset minutna požarna obstojnost) vredna omembe.

2.3.1.4 Ovčja volna

Blazine iz ovčje volne imajo dobro toplotno izolativnost, saj vrednost λ dosega vrednosti med 0,040 in 0,050 W/(mK). Izdelujejo jih tako, da najprej volno operejo z milom in sodo, nato s sečninskimi derivati, naravnimi solmi in borovimi solmi. Slednje služijo protipožarnemu namenu, saj dosežejo samougašljivost. Vnetljiva je pri 520 °C. Načeloma poznamo dve obliki izolacije izdelane iz ovčje volne. Prva je v obliki plošč, ki se jih vgrajuje tako, da jih z majhnimi žeblički pribijejo na oporo. Druga oblika so razpuščena oblika, ki se jih natlači v manjše zatesnjene odprtine konstrukcij ipd. Vlakna volne vsebujejo maščobo imenovano lanolin in večja kot je vsebnost lanolina v volni, boljše izolacijske lastnosti ima. Ovčja volna pripomore še eno dobro lastnost in sicer je zelo higroskopičen material, saj lahko sprejme vlage za dobrih 30 % lastne teže ter jih uspešno odda. Zaradi sposobnosti uravnavanja vlage v prostoru zelo dobro vpliva na ugodje bivanja in na mikroklimo.

2.3.1.5 Kokosova vlakna

Toplotna izolacija, narejena iz kokosovih vlaken, je odporna proti vlagi, plesnim, bakterijam, staranju, žuželkam, glodalcem, posedanju, trohnobi in drobljenju. Vgradnja te vrste izolacije je zelo enostavna in je zdravju neškodljiva, saj ne povzroča nobenih nezaželenih učinkov na koži in dihalih. Vlakna so elastična in votla, kar pripomore k dobri izolativnosti, saj je vrednost λ enaka 0,045 W/(mK). Za vezivo se ponekod uporablja lateks. Kokosova vlakna veljajo za lahko vnetljiva, zato se jih praviloma obdelava z amonijevim sulfatom. Tako obdelana izolacija iz kokosovih vlaken spada v požarno – varnostni razred B2 (normalna vnetljivost).

2.3.1.6 Bombaž

Bombaž se je na trgu začel pojavljati šele v zadnjem času, kar ga uvršča med novejša toplotnoizolacijska materiala. Je rastlinskega izvora, odporen proti vlagi in moljem, je poznan kot vzdržljiv material in ima nizko λ vrednost, okrog 0,040 W/(mK). Uporablja se ga tudi v zvočnoizolacijske namene, saj je dober izolator udarnemu zvoku. Je pa ekološko vprašljiv material, saj je za gojenje bombažnih polj potrebna velika količina gnojil in namakanja, kar nikakor ne vplivata dobro na globalne probleme s katerimi se srečujemo. Glede na to, da bombaž v večji meri pridelajo v Indiji, se zaradi transporta poraja vprašanje smiselnosti uporabe tega gradiva pri nas. Seveda se to ne nanaša na morebitno uporabo recikliranih izdelkov. Prav tako kot pri ovčji volni, se tudi pri bombažu uporablja borove soli za povečanje ognjevarnosti.

2.3.1.7 Konoplja

Toplotna izolacija iz industrijske konoplje je primerna za zaščito pred vročino, kot tudi za dodatno toplotno izolacijo pred mrazom. Dobra difuzija vodne pare poskrbi za regulacijo vlage v prostoru, kar vodi k zdravi ter prijetni mikroklimi. Pridelujejo jo iz vlaken steblov in nato posušijo v obliki bal. Za boljšo požarno varnost poskrbi obdelava s sodo, ki jo je v končnem produktu od 2 % do 3 %. Požarna varnost se v tem primeru plasira v B2 razred (normalno vnetljiv). Temperatura vnetišča je 150 °C. Odporna je proti gnilobi in plesni. Ker ne vsebuje beljakovin, jo tudi molji, hrošči in glodalci ne napadejo. Zaenkrat je njena slabost le ta, da je cena te surovine razmeroma visoka.

2.3.1.8 Lan

Izolacija ima dobre tako toplotnoizolacijske lastnosti (λ je 0,038 W/(mK)), kot tudi zvočnoizolacijske lastnosti. Prav tako kot izolacija narejena iz konoplje, ovčje volne in lesnih vlaken, je tudi izolacija narejena iz vlaken lana, dober regulator vlage v prostoru. Za izboljšanje požarne zaščite so vlakna impregnirana z amonijevimi solmi. Uporablja se v obliki pletenjač, trdih plošč, kot tudi v razsutem stanju, za izolacijo streh, sten in v razsutem stanju za izoliranje talnih konstrukcij.

2.3.1.9 Celulozni kosmiči

Tovrstna izolacija je narejena iz starega časopisa in zaradi boljše požarne varnosti toplotno obdelana z ekološko neproblematičnimi sredstvi. Izdeluje se jo v obliki plošč in kosmičev. Slednje se lahko ponovno uporabi, ko odslužijo svojem namenu, tako da jih s posebnim strojem ponovno izsesajo in spravijo. Uporablja se za izolacijo strehe, sten in tal. Dobro uravnava vlago, je odporna proti škodljivcem in ima dolgo življensko dobo. Vrednost λ se giblje med 0,040 in 0,045 W/(mK).

2.3.2 Umetna toplotnoizolacijska gradiva

Največji problem pri umetnih oz. anorganskih toplotnoizolacijskih gradivih nastane, ko se jih odrabi in postanejo odpad. Čas njihovega razkroja je zelo dolg, lahko bi se reklo tudi nedoločen. Takšna gradiva nastanejo iz mineralnih surovin s pomočjo velike količine energije in s tem povezanih emisij. V fazi uporabe načeloma ne povzročajo težav človeku prav tako okolju. V to skupino prištevamo naslednje surovine:

- vermikulit,
- perlit,
- penjeno steklo in
- mineralno volno (kamena in steklena)

2.3.2.1 Vermikulit

Nahajališča rude vermikulta so v Rusiji, Indiji in Južni Afriki. Je mineral sestavljen iz več plasti. Izolacijo termično obdelajo tako, da vezano vodo uparijo in material ekspandira, kar pomeni, da se med delce ujame zrak. Za ta proces je potrebno veliko energije, saj se ruda peče pri 1000 °C. Material je zelo lahek in negorljiv in ker je anorganskega izvora tudi odporen proti trohnenju. Zaradi majhne teže je material primeren za izolacijo strehe in tal. Zelo uporaben je tudi v ladjedelništvu, kjer se zahteva večja požarna varnost. Pogosto se mu primešajo razne veziva, kot so cement, mavec, magnezit, vodno steklo, umetne smole, bitumen itd. Toplotna prevodnost tega materiala je slabša, saj je vrednost λ med 0,060 in 0,080 W/(mK).

2.3.2.2 Perlit

Perlit je podoben material kot vermikulit. Gradivo je narejeno iz kamenin vulkanskega izvora, ki se tekom proizvodnje oblikuje v kroglice z veliko majhnih celic. Je sicer odporen proti škodljivcem, vendar je zelo občutljiv na vlago, kar pomeni, da zahteva obdelavo z bitumenom in umetnimi smolami. Perlit se je večinoma uporabljal v mešanici z malto, oziroma s klasičnimi fasadnimi ometi. Vendar se te mešanice vedno manj uporabljajo, saj jih na trgu hitro izpodrivajo izdelki iz ekspandiranega polistirena. Toplotna prevodnost izolacije iz perlita je med 0,045 in 0,050 W/(mK).

2.3.2.3 Penjeno steklo

Toplotna izolacija iz penjenega stekla se pri gradnji hiš uporablja zelo redko. Narejen je iz starega stekla ali pa iz kremenčevega peska in dodatkov. Je paranepropusten material in negorljiv. Obstojen je proti delovanju kemikalij in primeren za izolacijo predelov, kjer vladajo izjemne razmere (stranske stene pri temeljih, betonske stene v kletih in na ravnih strehah), ima tudi visoko tlačno trdnost, zato jih uporabljajo za izolacijo plošč kjer so predvidene večje tlačne obremenitve. Vrednost λ je med 0,040 in 0,056 W/(mK).

2.3.2.4 Mineralna volna

V to skupino materialov spadata kamena volna in steklena volna. Kameno volno proizvajajo iz bazalta in diabaza, z dodanim koksom pri temperaturi taljenja okoli 1600 °C. Steklena volna nastaja pretežno iz kremenovega peska, z možnostjo dodajanja recikliranega stekla v elektropečeh pri temperaturi okoli 1350°C. Mineralna volna je narejena iz vlaken, kar jo naredi parapropustno, hkrati ima sposobnost absorpcije zvoka, ne razpade in ne spremeni oblike. Plošče iz vlaken mineralne volne so zelo elastične in so odporne proti mehaničnim učinkom in proti škodljivcem. Za večjo trdnost plošč jih impregnirajo z vezivom fenolnih smol. Njena toplotna prevodnost sodi med boljše, saj se giblje med 0,030 in 0,045 W/(mK), vendar nastane težava pri navlaževanju same izolacije, saj njena toplotna prevodnost hitro naraste. Iz tega razloga je potrebno nameniti posebno pozornost skladiščenju, kakovostni izvedbi parnih zapor ter preprečevanju vdora vode v konstrukcije ovoja stavbe. Iz ekološkega vidika predstavlja slabost sorazmerno veliko energije, potrebne pri proizvodnji okoli 460 kWh na kubični meter, vendar lahko raba primarne energije tudi precej odstopa.

2.3.3 Sintetična toplotnoizolacijska gradiva

Gradiva, ki sodijo v to skupino materialov prepoznamo predvsem po tem, da so zelo obremenjujoči za okolje in človeka. Že v začetni fazi njihovega nastajanja, se pravi v proizvodnem delu, je potrebno veliko energije za njihov nastanek. Poleg tega so potrebni še zapleteni kemijski in tehnološki postopki, da proizvedejo sintetična toplotnoizolacijska gradiva. Med najbolj problematične faze v življenjskem ciklu teh materialov, je faza odpada. Sicer se del teh gradiv lahko reciklira, vendar je potrebno veliko energije, poleg tega je ceneje, če se jih na novo proizvede. Prav iz tega razloga se proizvajalci prej odločijo za ponovno proizvodnjo, kot pa recikliranje. V to skupino materialov prištevamo:

- polistiren (ekspandirani in ekstrudirani),
- poliuretan in
- fenol – formaldehidna pena

2.3.3.1 Polistiren

Polistiren je kot gradivo v izolacijske namene precej ekološko in zdravstveno sporen material. Predvsem je nevaren v primeru požara, ko se sproščajo plini, bolj nevarni od samega požara. Za nameček se za pritrditev plošč uporablja toksično lepilo. Polistiren je osnova za proizvodnjo dveh osnovnih tipov plošč – ekstrudiranega in ekspandiranega polistirena. Slednji je komercialno poznan pod imenom stiropor in dosega vrednosti toplotne prevodnosti med 0,035 in 0,040 W/(mK), kar je zelo dobro. Sam po sebi je zelo gorljiv material, zato mu dodajajo dodatke, ki povzročijo, da plošča tli in ne gori. Obstoje je do temperatur 80 °C. Občutljiv je tudi na UV – žarke in na organska topila. Vodovpojnost tega materiala je majhna. Prav tako je v primeru ekstrudiranega polistirena, ki ima celice še bolj tesno skupaj in je zato še bolj vodoodbojen ter primeren za uporabo na mestih, izpostavljenih zunanjim vplivom. Tako, kot ekspandiran ima tudi ekstrudiran polistiren vrednost λ med 0,035 in 0,040 W/(mK).

2.3.3.2 Poliuretan

Prav tako kot plošče iz polistirena, imajo tudi plošče iz poliuretana strukturo zgrajeno iz zaprtih celic, kar jih naredi vodoodbojne ter izredno dobre toplotne izolatorje (λ je med 0,020 in 0,035 W/(mK)). Poliuretan je, prav tako kot polistiren obstojen tudi pri višjih temperaturah (do 150 °C). Plošče so izdelane iz naftnih derivatov, pri čemer kot stranski produkt nastajajo strupeni plini. Za izboljšanje požarne varnosti se tudi tukaj uporabljajo dodatki. Te plošče so odporne proti delovanju razredčenih kislin, lugov, kurilnega olja in različnih topil. Ne smejo pa biti izpostavljeni UV – žarkom.

2.3.3.3 Fenol – formaldehidna pena

Fenol – formaldehidna toplotna izolacija se pridobiva s kondenzacijo fenol – formaldehidne smole, z dodatkom trdilca in penilnega sredstva. Gradivo je sestavljeno iz drobnih, pretežno odprtih celic in je zelo krhko. Zaradi odprte celične strukture je vsrkavanje vode veliko. Pena je odporna proti delovanju večine topil in razredčenih kislin, ni pa odporna proti delovanju močnih baz in kislin. Gradivo v plamenu samo poogleni, plamen po njemu se ne širi. Uporablja se za toplotno izolacijo sten, stropov in ravnih streh (λ je 0,041 W/(mK)). Ekološko je fenol – formaldehidna toplotna izolacija sporen izdelek zaradi vsebnosti formaldehid, ki se proizvaja pri vgradnji in po končani uporabi (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.4 Posebna toplotnoizolacijska gradiva

V to skupino spadata dve gradivi, ki sta sestavljeni iz več komponent in ju zato ne moremo uvrstiti v nobeno izmed prej naštetih skupin.

2.3.4.1 Prosojna toplotna izolacija

Prosojna toplotna izolacija je zgrajena iz majhnih cevčic, ki so postavljene v obliko satovja. Na zunanji strani je zaprta s steklom, kar povzroči propustnost sončnih žarkov v notranjost teh cevčic in se odbijajo, dokler ne pridejo na notranjo masivno steno, ki je črna in kjer se toplota akumulira. Zrak, ki miruje znotraj cevčic, prevzame vlogo izolatorja. Ta vrsta izolacije je zgrajena iz prozornih substanc kot so: polimetil metakrilat, polikarbonati, stekla in nekatera satovja iz naravnih snovi. Ta vrsta izolacije je primerna za južne fasade.

2.3.4.2 Vakuumska toplotna izolacija

Že samo ime izolacije pove, da gre za izolacijo, ki deluje na principu vakuuma. Ker izločimo zrak, preprečimo konvekcijo toplote, tako dobimo izjemno dober izolativni material, čigar vrednost λ doseže od 0,002 do 0,008 W/(mK). Vendar zaradi kompleksne izdelave in vgradnje tega sistema, ta vrsta toplotne izolacije dosega visoke cene, zato je smiselna vgradnja le v sanacije nekaterih spomeniško varovanih objektov.

Nekatere lastnosti klasičnih toplotnoizolacijskih materialov sem povzel v preglednici spodaj.

Preglednica 2: Lastnosti klasičnih in alternativnih toplotnoizolacijskih materialov (AURE, 2003)

<i>Material</i>	<i>Toplotna prevodnost (λ) v W/mK</i>	<i>Toplotna prehodnost pri 10 cm (k) v W/m²K</i>	<i>Potrebna debelina za k 0,4 W/m²K v cm</i>	<i>Relativni strošek za material brez vgradnje za k je 0,4 W/m²K</i>	<i>Vgrajena energija pri proizvodnji v kWh za k je 0,4 W/m²K</i>
Celuloza	0,045	0,45	10-11	1,12-1,71	8,5
Pluta	0,045-0,05	0,45-0,5	11	2,0-2,94	77-86
Perlit	0,05-0,055	0,5-0,55	13	1,24-1,82	11-24
Lan	0,04-0,045	0,4-0,45	10-11	1,76-1,88	-
Ovčja volna	0,04-0,045	0,4-0,45	10-11	1,82-2,59	-
Bombaž	0,04	0,4	10	1,76	-
Lesna vlakna	0,04-0,045	0,4-0,45	10-11	2,76	74-95
Kokosova vlakna	0,05	0,5	13	2,59-2,94	11
Penjeno steklo	0,04-0,055	0,4-0,55	10-13	3,70-4,12	85
Ekspandirana glina	0,10-0,16	1,0-1,6	25-40	4,12-8,94	73-168
Lesna volna	0,09	0,9	23	4,53-5,71	45-74
Slama	0,09-0,13	0,9-1,3	23-33	-	-
Trstika	0,04-0,06	0,4-0,6	10-15	1,88-2,47	-
Mineralna volna	0,03-0,045	0,3-0,45	8-11	1,00	9-90
- Kamena					47
- Steklena					15
Poliuretan	0,02-0,035	0,2-0,35	5-9	2,12	47-64
Ekspandiran polistiren	0,035-0,04	0,35-0,4	9-10	0,70-0,82	39-95
Ekstrudiran polistiren	0,03-0,035	0,3-0,35	6-9	2,29	43-89

Na Univerzi v Helsinkih (Building and environment, 2008) so izvedli raziskavo na temo primernosti uporabe vlaken iz lana in konoplje v izolacijske namene. Skušali so ugotoviti, kakšna je toplotna prevodnost plošč različnih gostot, narejenih iz teh dveh surovin ter kakšna sta potencial in cena uporabe takšnih plošč v izolacijske namene. Izdelali so več različnih plošč, različnih gostot iz konopljinih in lanenih vlaken. Za primerjavo pa so raziskovali še toplotne lastnosti plošč iz steklene in kamene volne in plošče iz celuloznih vlaken. V preglednici 3 so predstavljene vrednosti toplotne prevodnosti plošč različnih gostot in materialov.

Preglednica 3: Toplotna prevodnost plošč različnih gostot iz različnih materialov (Kymäläinen in Sjöberg, 2008)

Type of insulation	Fibre raw material	Bulk density (kg/m ³)	k (or λ) (W/mK)
-	Flax	-	0.040-0.046
Mat	Flax	5-50	0.038-0.075
-	Flax	20-100	0.035-0.045
-	Flax and hemp	25-40	0.050
Mat	Flax and hemp	39	0.033
Mat	Flax and hemp	19	0.060
Mat	Hemp, retted	5-50	0.040-0.082
Mat	Hemp, green	5-50	0.044-0.094
Loose-fill	Hemp, frost-retted	25-100	0.040-0.049
-	Hemp	20-45	0.040-0.060
-	Glass wool	20-50	<0.040
-	Glass wool	18-50	0.050
Mat	Stone wool (mineral)	5-50	0.035-0.071
-	Stone wool (mineral)	15-300	0.037-0.050
-	Stone wool	30-60	0.050
-	Cellulose	30-45	0.041-0.050
Loose-fill	Cellulose (paper)	30	0.041
	Cellulose (wood fibre)	30-60	0.050

Ugotovili so, da se toplotna prevodnost spreminja glede na gostoto izolacijskega materiala, kar prikazuje preglednica 3, vendar relacija med gostoto in toplotno prevodnostjo ni linearna. Tudi sama porozna struktura vlaken je primerna za uporabo v izolacijske namene, saj v sami strukturi zadržuje veliko količino zraka. Vendar kemijska sestava vlaken, ki vsebujejo celulozo, predstavlja več problemov pri uporabi takega materiala v izolacijske namene kot je npr.: odpornost proti škodljivcem in glivam ter hitrejši razkroj oz. razpad materiala.

Kauriinvaha in sod. (2001) so ugotovili, da je požarna varnost izolacije narejene iz lanenih vlaken, podobna kot izolacija narejena iz recikliranega papirja in je potrebno dodati vsaj 13 % borovih spojin za zadostno požarno zaščito. Pri izolaciji narejeni iz konoplje pa, ni niti 25 % borovih spojin preprečilo tlenja.

Zaradi kemijske sestave izolacije narejene iz vlaken konoplje in lana nastanejo problemi z odpornostjo proti mikrobom. Ker je v takemu materialu naravna bakterijska flora, vlakna sama niso odporna proti bakterijam, kar lahko privede do razvoja gliv, predvsem plesni. Ta se še hitreje razvije na mestih s povečano vsebnostjo vlage, zato je treba že ob sami izbiri materiala poskrbeti, da je le-ta dovolj suh, ker se v nasprotnem primeru lahko razvije plesen že med samim skladiščenjem. Razvoj plesni pa lahko povzroči emisije spor v zrak, še posebej, če se plesnivo izolacijo posuši in nato uporabi. Povečana vsebnost vlage v izolaciji, pa poveča toplotno prevodnost, kar privede do zmanjšanja izolativnosti materiala.

Ko pomislimo na materiale kot, so konoplja in lan, pomislimo tudi na to, da so ti materiali ekološki. Na to temo še ni bilo narejenih veliko študij in še tiste, ki so bile narejene,

rezultati le teh nikakor ne moramo reči, da so nedvoumne. Študija, ki sta jo naredila Behring in Murphy (1997), kjer sta uporabila LCA (life cycle assessment) model oz. model analize življenjskega cikla, je pokazala, da je izolacija, narejena iz slame bolj ekološka, kot pa izolacija, narejena iz steklene volne. Rezultati so pokazali, da je za izdelavo izolacije iz lana potrebne 511 MJ/m³ primarne energije, medtem, ko je za izolacijo iz steklene volne potrebne 1077 MJ/m³ primarne energije. Njuni izračuni so pokazali tudi, da so emisije CO₂ plina večje pri izdelavi steklene volne 68 g/ m³, za lan pa 43g/ m³. Po drugi strani pa je študija, ki so jo Schmidt in sod. (2004) naredili pokazala, da je imela izolacija narejena iz lana največji vpliv na okolje, izolacija iz papirnate volne najmanjši vpliv, kamena volna pa je pristala nekje vmes. Tudi njihova študija je bazirala na ocenjevanju življenjskega cikla (LCA). Prišli so do izračunov, da je bilo energije porabljene za izdelavo kamene volne 18 MJ/m³, za papirno volno 21 MJ/m³ in za lan 40 MJ/m³. Emisije plina CO₂ so znašale za kameno volno 1200 g/kg, za papirno volno 629 g/kg, za lan pa 1700 g/kg. Iz teh rezultatov težko pridemo do fiksnih zaključkov, zato bo v prihodnje potrebnih še več podobnih študij, ki bodo pripeljale do boljših zaključkov.

Še ena študija je bila izvedena v zvezi s ploščami, narejenimi iz vlaken konoplje, lana in lanenih semen. Koivula M. in sod. (2004) so poizkusili ugotoviti kakšne so emisije hlapnih organskih spojin, mikrobioloških in fizičnih delcev (aerosol) snovi v zrak, ob uporabi nekaterih organskih in neorganskih toplotnoizolacijskih materialov. V raziskavo so vključili osem vrst izolacij, od katerih jih je bilo šest organskega izvora, z vsebnostjo celuloze in dve neorganskega. Za predstavnike toplotnoizolacijskih materialov organskega izvora so uporabili reciklirana lesna vlakna gostote 65 kg/m³, vlakna konoplje gostote 28 kg/m³, lanena semena z gostoto 28 kg/m³ ter tri vrste izolacije narejene iz lanenih vlaken. Dve sta bili stisnjeni v plošče debeline 100 mm in gostote 27 kg/m³, druga debeline 50 mm in gostote 29 kg/m³, tretja pa je bila narejena iz prostih vlaken z gostoto 28 kg/m³. Za predstavnike materialov neorganskega izvora, pa so izbrali plošče narejene iz kamene volne debeline 100 mm in gostote 27 kg/m³ ter ploščo iz steklene volne enake debeline in gostote 16 kg/m³.

Rezultati so pokazali, da so bile emisije hlapnih organskih spojin enake v primeru organskih in anorganskih materialov, uporabljenih v raziskavi, kar sovпада z že znanimi podatki, da tako kamena in steklena volna, kot tudi lesna vlakna, spadajo v najvišji razred M1 emisijskih vrednosti, za katerega velja, da mora biti emisija celotnih hlapnih organskih komponent nižja od 0,20 mg/m²h. To pomeni, da sama koncentracija emisij hlapnih organskih snovi, ni skrb vzbujajoča.

Količina emisij mikrobioloških delcev v zrak, je odvisna od vrste mikrobov, starosti micelija, kontakta med mikrobom in vlaknom, relativne zračne vlažnosti in temperature ter hitrosti gibanja zraka nad oz. med materialom (Koivula M. in sod., 2004). Nekatere vrste, kot sta na primer *Penicillium* in *Aspergillus*, proizvedejo tudi t.i. suhe spore, ki se zlahka dvignejo v zrak, podobno kot suhi delci prahu, že ob manjšem toku zraka. Te mikrobiološke vrste, so bile opažene tako v lanu, kot tudi v izolaciji narejeni iz lanenih semen, v prej omenjeni raziskavi. Poizkus so izvedli tako, da so merili vsebnost mikrobov v treh klimah z različnimi relativnimi zračnimi vlažnostmi (30 %, 80% in 90 %). Pri 30 % in 80 % zračne vlažnosti, so opazili, da se je vsebnost mikrobov v vzorcih zmanjšala, od tiste pri 90 %, kar so pripisali razpadu vezi med mikrobi in vlakni. Tudi potem, ko so

vzorci prenesli iz klime z 90 % zračno vlažnostjo v klimo s 30 % zračno vlažnostjo, so opazili, da so se emisije mikrobioloških delcev še povečale. Za ta pojav so iskali razlago, po eni strani v dejanskemu povečanju koncentracije mikrobov v sami izolaciji, po drugi strani, pa so lahko že obstoječe vezi med mikrobi in vlakni, zaradi nenadnega pomanjšanja vsebnosti vlage, še hitreje razpadale, kar je privedlo do večje količine emisij delcev v zrak.

Koncentracija aerosol delcev v zraku, je zelo odvisna od aktivnosti, ki se vršijo v samih objektih, kot so na primer kuhanje, kurjenje ognja v kaminih, savne ipd. Koncentracija se lahko zato giblje med 10^5 delcev/cm³ in 4×10^4 delcev/cm³. Če pa te dejavnike izvajamo, na koncentracijo aerosol delcev znotraj prostorov močno vpliva koncentracija aerosol delcev zunanjega zraka. Kot so Koivula M. in sod. (2004) ugotovili, se v obljudenih krajih mesta Helsink, koncentracija aerosol delcev zunanjega zraka giblje med 10^4 delcev/cm³ in 6×10^4 delcev/cm³. Ugotovili so tudi, da biološki oz. glivični aerosol delci, ne vplivajo veliko na samo koncentracijo aerosol delcev znotraj prostorov in prišli do zaključka, da emisije aerosol delcev, prav tako, kot tudi emisije hlapnih organskih snovi, niso problematični za kvaliteto zraka v notranjih prostorih in s tem povezanega življenja.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Iveri iz lesa

Za pripravo ivernih plošč smo uporabili mešanico sekancev iz lesa različnih vrst dreves. Mešanica je bila sestavljena iz 75 % sekancev iz lesa iglavcev in 25 % iz lesa listavcev.

3.1.2 Iveri iz slame

Za pripravo plošče iz slame, smo za osnovno surovino vzeli posušeno slamo, ki smo jo, podobno kot sekance, iverili v obročastem iverilniku.

3.1.3 Melamin – urea formaldehidno lepilo (MUF)

Za zlepljanje iveri in slame med seboj, smo uporabili melamin – urea formaldehidno lepilo z oznako Meldur H97. Delež lepila je bil v vseh ploščah enak in to je 10 %, prav tako tudi utrjevalca 3 %. Delež lepila smo izračunali po formuli:

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

m_{lep} – masa lepila [g]

$m_{mat.}$ – masa materiala (slame oz. iverja) [kg]

d.l. – delež lepila [%]

deleže utrjevalca, ki predstavlja 5 % celotne lepilne mešanice smo pa izračunali po formuli:

$$m_{ut} = m_{lep.} * 0,5 [g] \quad \dots(2)$$

m_{ut} – masa utrjevalca [g]

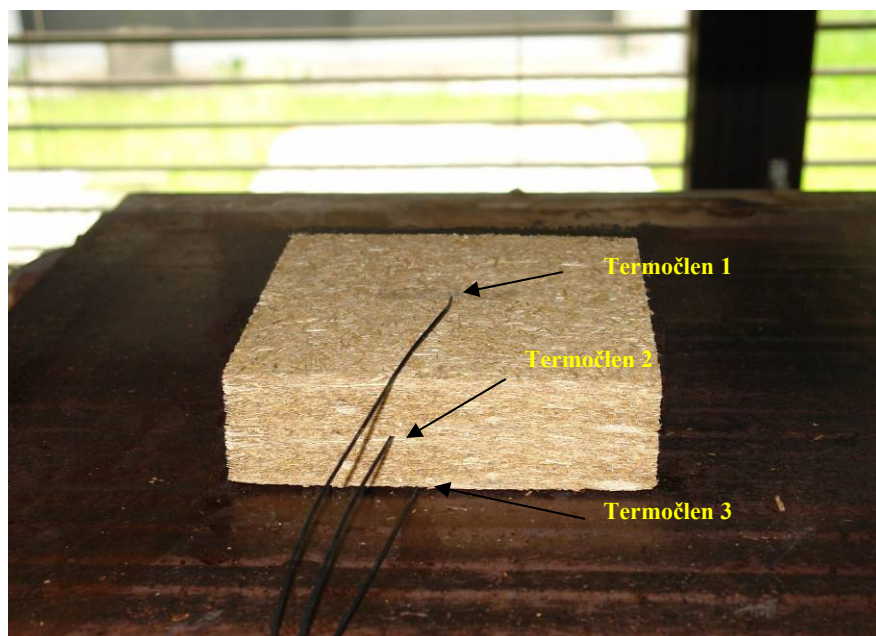
m_{lep} – masa lepila [g]

3.2 METODA DELA

Najprej smo iz sekancev in slame, v obročastem iverilniku izdelali iveri. Le-te smo nato sušili 16 ur pri temperaturi 70 °C. Posušili smo jih na ciljno vlažnost 4 %. Potem smo iveri iz lesa razdelili na dve frakciji (ena velikost odprtin sita 1,5 mm, druga med 1,5 mm do 6,14 mm), tretja plošča pa je bila sestavljena iz 50% majhnih in 50% velikih iveri. Iveri iz lesa in slame smo oblepili z MUF lepilom. Delež lepila pri iverih iz lesa je bil 10%, pri slami pa 4%.

Oblepljene iveri smo natresli v kalup z merami 500 × 500 mm. Izdelali smo štiri različne plošče, od tega so bile tri narejene iz različnih velikosti lesnih iveri, ena pa iz iveri slame. Nominalne debeline plošč iz lesnih iveri so bile 26 mm, gostote pa 200 kg/m³, nominalna debelina plošče, narejene iz iveri slame, pa je bila 28 mm, gostota pa 250 kg/m³. Pri eni plošči iz lesnih iveri smo za osnovne gradnike uporabili manjše iveri (velikosti odprtin sita 1,5 mm), za drugo smo uporabili večje iveri (velikosti odprtin sita med 1,5 mm in 6,14 mm), v tretji pa smo uporabili iveri obeh frakcij zmešane tako, da je bilo v končni plošči 50 % manjših iveri in 50 % večjih iveri. Nato smo plošče pustili, da se klimatizirajo v normalni klimi (20° C in 65% relativni zračni vlagi) približno 3 dni in jih po končani klimatizaciji razrezali na vzorce velikosti 200 × 200 mm.

Potem smo, po dva vzorca narejena iz iste plošče, zlepili skupaj in vmes na sredino postavili termočlen. Termočlene smo postavili še na zgornjo in spodnjo stran plošče, prav tako na sredino ploščine kar je razvidno iz slike 3. Z njimi smo preko računalnika merili prehod temperature skozi plošče, ki smo jih postavili na grelno ploščo ogreto na temperaturo 40° C (razlika v temperaturi 15° C – glede na okolje).



Slika 3: Prikaz pozicije senzorjev v plošči

3.2.1 Izračun termična difuzijskega koeficienta a in polovičnega časa t

Brazdimenzijsko temperaturo smo izračunali po enačbi:

$$\Theta = \frac{Tt - Tk}{Tz - Tk} \quad \dots(3)$$

Kjer je:

Θ brezdimenzijska sprememba temperature

Tt temperatura vzorca v sredici v času t

Tk končna temperatura vzorca v sredici

Tz začetna temperatura vzorca v sredici

Nato smo, glede na eksperimentalno zasnovo uporabili modificirano enačbo:

$$1 - \Theta = \frac{4}{\pi} \times e^{-\left(\frac{\pi}{4} \times \frac{at}{d^2}\right)} \quad \dots(4)$$

Postavljen matematični model smo prilagodili eksperimentalnim podatkom v območju $0 \leq \Theta \leq 0,5$ s pomočjo linearne zveze med logaritmom Θ in časom eksperimenta (t)

$$\ln\left(\frac{\pi}{4}(1 - \Theta)\right) = k \times t \quad \dots(5)$$

Termični difuzijski koeficient (a) smo izračunali iz naklona premice (k) po zvezi:

$$a = \frac{4 * k * d^2}{\pi^2} \quad \dots(6)$$

Termični difuzijski koeficient je numerično enak stopnji temperaturne spremembe v točki sistema, kjer je sprememba temperaturnega gradienta $1 \text{ } ^\circ\text{C/m}$ za vsak meter dolžine v smeri toplotnega toka (Siau, 1995, str. 144). 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.

Iz dobljenega modela smo pri brezdimenzijski spremembi temperature ($\Theta=0,5$) določili tudi polovični čas segrevanja ($t_{\Theta=0,5}$), ki je potreben za doseganje konstantne temperature v sredici vzorčne plošče.

4 REZULTATI

S pomočjo termočlenov in računalniškega programa, smo merili prehod toplote skozi iverne plošče različnih frakcij. Grelno ploščo, na katero smo postavili vzorce, smo segreli na 40 °C, povprečna temperatura okolja pa je bila 25 °C. Nato smo, preko termočlenov tipa K, merili spremembe temperature (segrevanje in ohlajanje) na notranji ter na zunanji plasti plošč, velikosti 200 × 200 mm. Uporabili smo tri različne iverne plošče, narejene iz dveh različno velikih iveri in eno ploščo, narejeno iz iveri slame. Rezultati so prikazani v naslednjih poglavjih.

4.1 SEGREVANJE

V preglednici 4 so prikazane povprečne vrednosti rezultatov merjenja sprememb temperatur, v sredici ter na zunanji plasti plošč. Točke, kjer smo določili čas sprememb temperatur, smo določili vizualno s pomočjo grafov in risanja premic.

Preglednica 4: Pregled povprečnih rezultatov segrevanja

<i>Velikost in vrsta iveri</i>	<i>Sredica</i>				<i>Zunanja plast</i>			
	$T_{\text{začetna}}$ (°C)	T_{max} (°C)	Razlika (°C)	Čas (min)	$T_{\text{začetna}}$ (°C)	T_{max} (°C)	Razlika (°C)	Čas (min)
Lesne:								
- Velike	20,5	25,0	4,5	208	20,4	37,6	17,2	45,5
- Mešane	20,4	25,9	5,5	227	20,4	37,6	17,2	45
- Majhne	19,8	27,2	7,4	221	20,4	37,6	17,2	45
Slama	25,6	32,9	7,3	300	24,8	38,5	13,7	130

V sredici lahko vidimo, da so razlike bolj očitne, kot pa na zunanji plasti. Vidimo, da je v tem primeru najdlje potrebovala sredica plošče iz slame, da se je segrela na svojo najvišjo temperaturo in sicer 300 min, razlika temperatur pa je enaka, kot pri plošči narejene iz majhnih iveri, ki pa je 7,3 °C. Vidimo lahko tudi, da je v zunanji plasti temperatura plošče iz slame višja, kot pri plošči narejeni iz majhnih iveri. Iz razlik temperatur lahko opazimo, da je plošča iz velikih iveri potrebovala najmanj časa (208 min) za doseg razlike 4,5 °C. Prav tako lahko pri isti plošči vidimo, da je imela najnižjo maksimalno temperaturo (25,0 °C) od vseh štirih plošč kar pomeni, da se je sredica najmanj segrela.

V preglednici 5 so prikazani izračunane vrednosti termičnega difuzijskega koeficienta a in polovičnega časa $t_{\theta=0,5}$ za proces segrevanja.

Preglednica 5: Prikaz izračunanih vrednosti termičnega difuzijskega koeficienta a in polovičnega časa $t_{\theta=0,5}$ za proces segrevanja

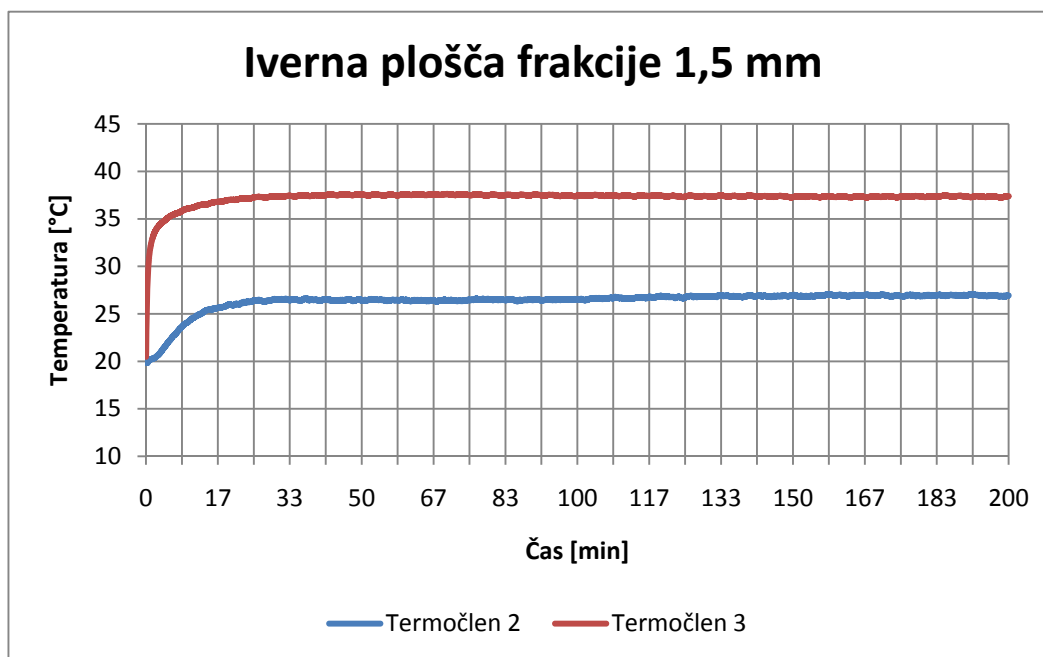
Velikost in vrsta iveri	<i>Sredica</i>			
	$d [m]$	$T_{\theta=0,5} [^{\circ}C]$	$a [m^2/s]$ ($\times 10^{-7}$)	$t_{\theta=0,5} [s]$
Lesne:				
- Majhne	0,0155	23,6	2,73	477
- Mešane	0,0175	23,6	1,62	691,2
- Velike	0,0252	22,8	5,80	757,2
Slama	0,0280	29,27	1,59	2290,2

Iz preglednice 5 lahko razberemo, da je najpočasnejše segrevanje dosegla plošča iz iveri slame. V primeru plošč iz lesnih iveri so ugotovitve naslednje. Če primerjamo ploščo iz majhnih iveri s tisto narejeno iz velikih iveri lahko ugotovimo, da se je plošča iz velikih iveri segrevala hitreje kot tista iz majhnih. Tu lahko kot razlog navedemo samo strukturo. Gladkost površine plošče iz velikih iveri je večja, kot pri plošči iz majhnih iveri, ker je bila natresna višina pogače velikih iverih pred stiskanjem večja kot pri manjših iverih, kar je povzročilo bolj optimalne razmere pri stiskanju. To je povzročilo, da je naležna površina lesene plošče iz velikih iveri in grelne plošče večja kot pri tisti iz majhnih iveri, kar pomeni hitrejši prestop toplote in s tem hitrejšo segrevanje. Tudi sama sestava sredice iverne plošče iz velikih iveri je drugačna kot površina. Razlika je v samemu stiku med delci, saj je v sredini gostota manjša kot na površini, kar povzroči, daljši polovični čas kot pri plošči iz majhnih iveri. Na polovični čas vpliva tudi večji delež nepoškodovanih vlaken pri plošči iz velikih iveri. Vendar pri interpretaciji dobljenih rezultatov ne moremo gledati samo polovične čase, saj nam ti ne pokažejo vpliva debeline plošče, kar pa nam pokažejo termični difuzijski koeficienti, ki je večji pri iverni plošči iz velikih iveri. Enako velja v primerjavi plošče iz velikih iveri in tisto iz mešanih iveri. Če pa primerjamo ploščo iz mešanih iveri in tisto iz majhnih iveri lahko kot razlog navedemo porazdelitev delcev. Pri mešanih iverih pride do tega, da se manjši delci porazdelijo med večje delce, posledično zmanjšajo stično površino med delci in hkrati se ujame več praznih prostorov med njimi. Vse to doprinese k počasnejšemu prehajanju toplote skozi ploščo.

V nadaljevanju so prikazani posamezni grafi segrevanja za vse štiri plošče.

4.1.1 Iverna plošča narejena iz majhnih delcev (frakcija 1,5 mm)

Na sliki 4 vidimo naraščanje temperature termočlenov v sredici in na zunanji plasti iverne plošče, narejene iz majhnih delcev. Rdeča črta prikazuje spremembe temperature v zunanji plasti, modra pa v sredici.

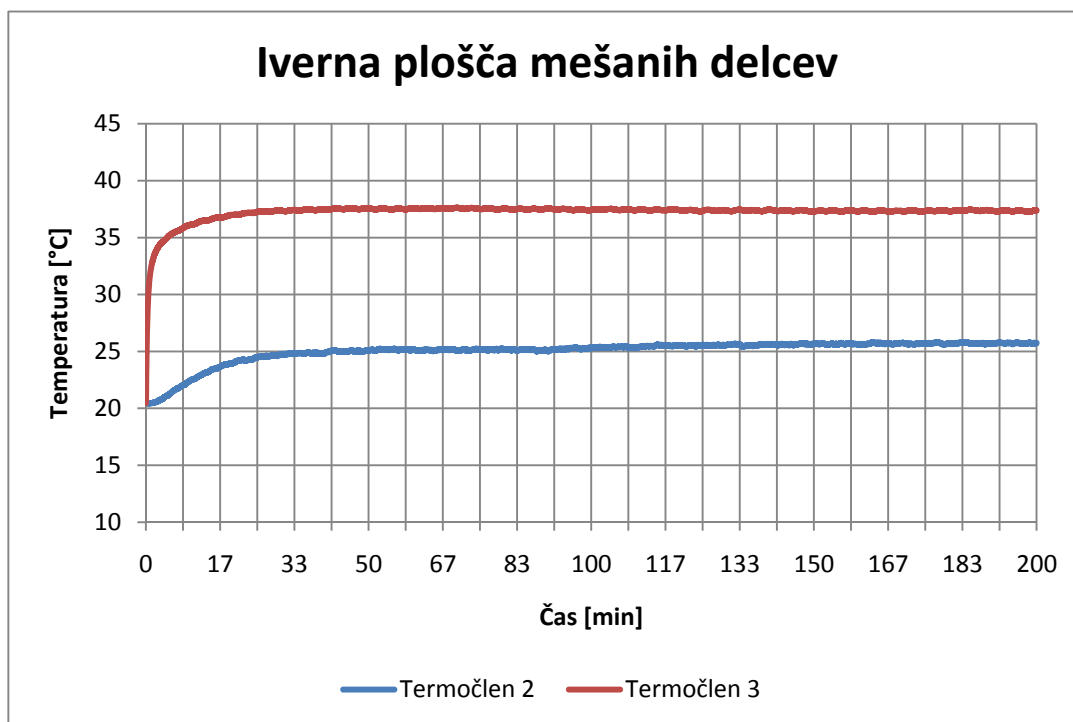


Slika 4: Graf segrevanj iverne plošče frakcije 1,5 mm

Pri plošči narejeni iz najmanjših delcev smo lahko ugotovili, da se je, ob enostranski izpostavitvi temperature 37,6 °C, temperatura v sredini začela dvigovati po 0,5 minutah in dosegla svojo maksimalno temperaturo 27,2 °C po 221 minutah. Začetna temperatura sredice je bila 19,8 °C, kar pomeni, da je bila razlika med začetno in končno temperaturo 7,4 °C.

4.1.2 Iverna plošča narejena iz mešanih delcev

Na sliki 5 vidimo graf, ki prikazuje segrevanje plošče v sredici in na zunanji plasti iverne plošče, narejene iz mešanih delcev. Rdeča črta prikazuje segrevanje termočlena 3, ki je bil postavljen v sredico plošče. Modra črta prikazuje segrevanje zunanje plasti, natančneje plasti, ki je bila direktno izpostavljena grelni plošči.

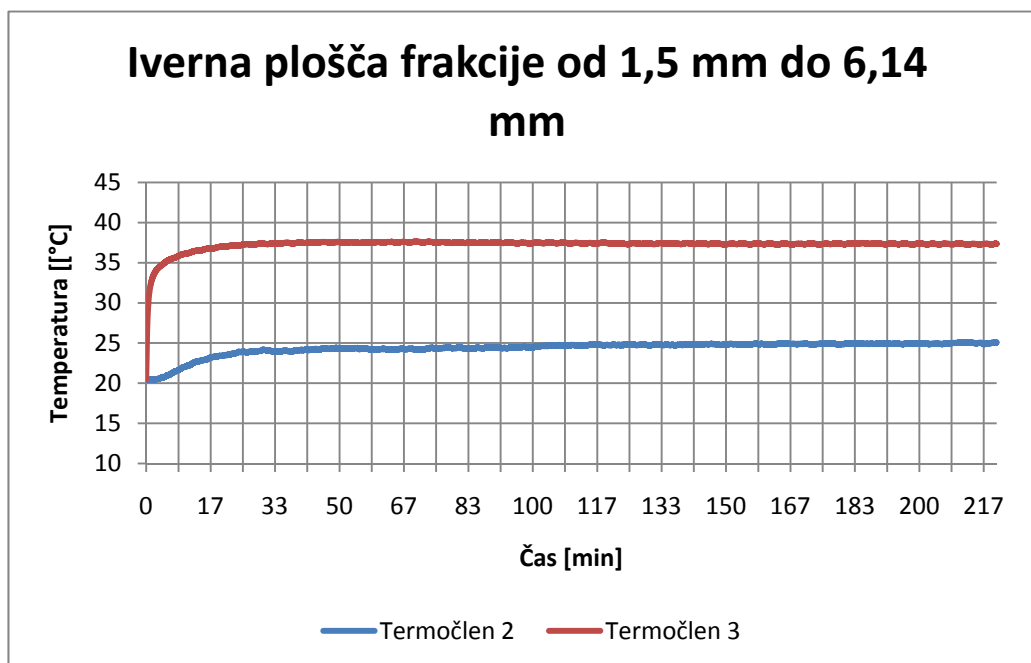


Slika 5: Graf segrevanja iverne plošče mešanih iveri

Pri plošči narejeni iz mešanih delcev, tako frakcije 1,5 mm velikih odprtih sita, kot tudi frakcije od 1,5 mm do 6,14 mm, smo lahko ugotovili, da se je, ko smo ploščo enostransko izpostavili temperaturi 37,6 °C, temperatura v sredini začela dvigovati po 2,3 minutah in dosegla svojo maksimalno temperaturo 25,9 °C po 227 minutah. Začetna temperatura sredice je bila 20,4 °C kar pomeni, da je bila razlika med začetno in končno temperaturo 5,5 °C.

4.1.3 Iverna plošča narejena iz večjih delcev (frakcija od 1,5 mm do 6,14 mm)

Na sliki 6 vidimo graf, ki prikazuje segrevanje plošče v sredici in na zunanji plasti iverne plošče narejene, iz velikih delcev. Rdeča črta prikazuje segrevanje termočlena 3, ki je bil postavljen v sredico plošče. Modra črta prikazuje segrevanje zunanje plasti, natančneje plasti, ki je bila direktno izpostavljena grelni plošči.

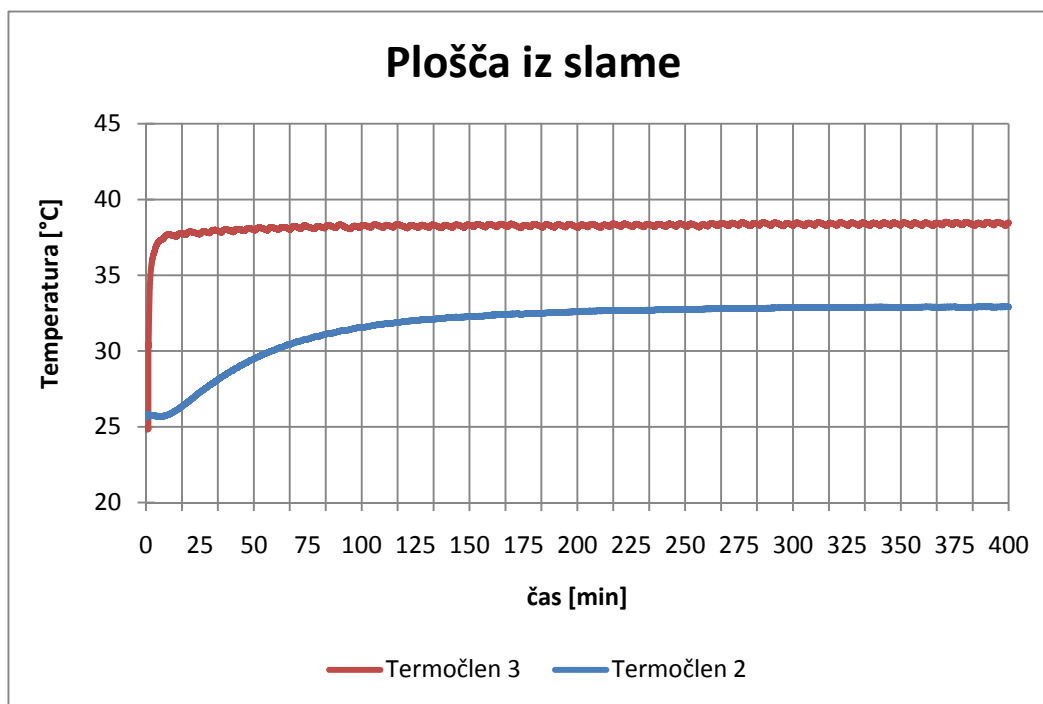


Slika 6: Graf segrevanja iverne plošče frakcije od 1,5 mm do 6,14 mm

Pri plošči narejeni iz delcev frakcije med 1,5 mm in 6,14 mm, smo lahko ugotovili, da se je, ko smo ploščo enostransko izpostavili temperaturi 37,6 °C, temperatura v sredini začela dvigovati po 2,5 minutah in dosegla svojo maksimalno temperaturo 25 °C po 208 minutah. Začetna temperatura sredice je bila 20,5 °C kar pomeni, da je bila razlika med začetno in končno temperaturo 4,5 °C.

4.1.4 Plošča narejena iz iveri slame

Na sliki 7 vidimo graf, ki prikazuje segrevanje plošče v sredici in na zunanji plasti plošče, narejene iz iveri slame. Rdeča črta prikazuje segrevanje termočlena 3, ki je bil postavljen v sredico plošče. Modra črta prikazuje segrevanje zunanje plasti, natančneje plasti, ki je bila direktno izpostavljena grelni plošči.



Slika 7: Graf segrevanja plošče narejene iz slame

Pri plošči narejeni iz iveri slame, smo lahko ugotovili, da se je, ko smo ploščo enostransko izpostavili temperaturi 38,5 °C, temperatura v sredini začela dvigovati po 8,2 minutah in dosegla svojo maksimalno temperaturo 32,9 °C po 300 minutah. Začetna temperatura sredice je bila 25,6 °C, kar pomeni, da je bila razlika med začetno in končno temperaturo 7,3 °C.

4.2 OHLAJEVANJE

Podobno kot pri segrevanju, smo tudi pri ohlajevanju podatke uredili. Povprečne rezultati so prikazani v preglednici 6. Točke, kjer smo določili čas sprememb temperatur, smo določili vizualno s pomočjo grafov in risanja premic.

Preglednica 6: Pregled povprečnih rezultatov ohlajevanja

Velikost in vrsta iveri	<i>Sredica</i>				
	$T_{\text{začetna}}$ (°C)	T_{min} (°C)	Razlika (°C)	Čas (min)	Čas za 1 °C (min/°C)
Lesne:					
- Velike	23,3	20,5	2,8	166,6	59,5
- Mešane	24,4	20,5	3,9	224	57,4
- Majhne	24,2	20,5	3,7	200,5	54,2
Slama	32,8	25,4	7,4	212	28,6

Iz preglednice 6 lahko razberemo, da se je najhitreje ohladila plošča iz slame, saj se je ohladila za 7,4 °C zgolj v 212 minutah. Iz vseh treh ivernih plošč lahko vidimo, da se je, glede na velikost, tudi hitrost ohlajevanja spreminjala. Večji kot so bili delci, več časa se je plošča ohlajala, kar lahko vidimo iz zadnjega stolpca v preglednici 6. Vidimo, da je v povprečju iverna plošča iz največjih iveri potrebovala za ohladitev za 1 °C, 59,5 minute.

V preglednici 7 so prikazani izračunane vrednosti termičnega difuzijskega koeficienta a in polovičnega časa $t_{\theta=0,5}$ za proces ohlajevanja.

Preglednica 7: Prikaz izračunanih vrednosti termičnega difuzijskega koeficienta a in polovičnega časa $t_{\theta=0,5}$ za proces ohlajevanja.

Velikost in vrsta iveri	d [m]	$T_{\theta=0,5}$ [°C]	<i>Sredica</i>	
			a [m ² /s] * ($\times 10^{-8}$)	$t_{\theta=0,5}$ [s]
Lesne:				
- Majhne	0,0155	22,0	0,98	2795
- Mešane	0,0175	22,5	2,48	1038
- Velike	0,0252	23,1	1,85	4413
Slama	0,0280	29,1	2,86	3345

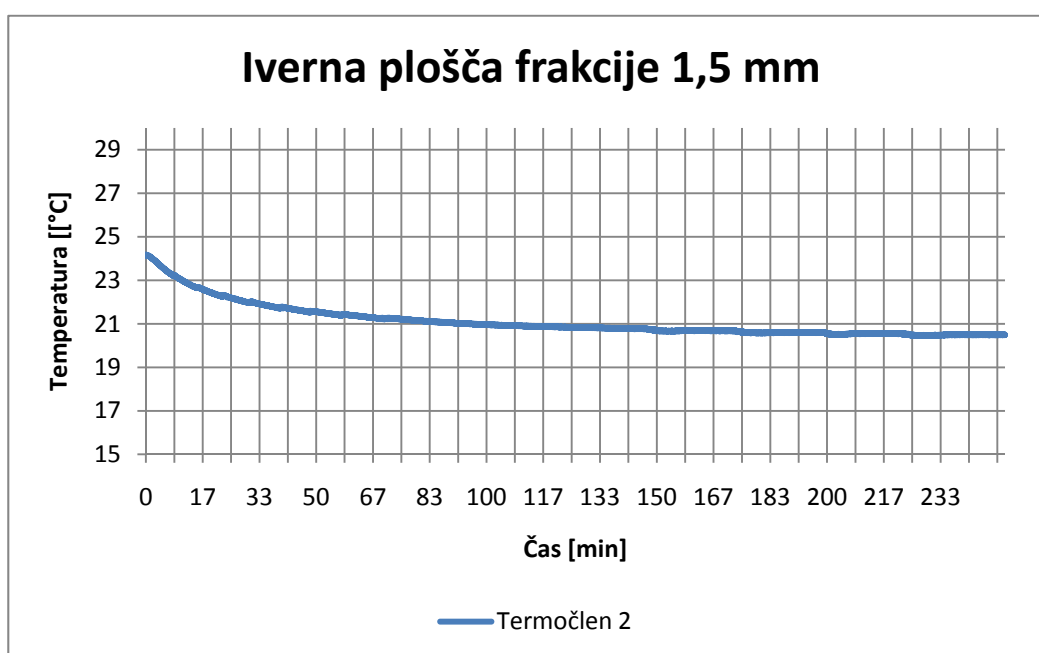
* prikazane so absolutne vrednosti rezultatov

Iz preglednice 7 lahko razberemo, da se je najpočasneje ohlajevala iverna plošča iz majhnih delcev. Pri plošči iz slame lahko vidimo, da je bila temperatura pri polovičnem času višja kot pri lesnih ploščah in tudi termični difuzijski koeficient je bil največji kar pomeni, da se je ohlajevala najhitreje. Pri lesnih ploščah je situacija obratna kot pri segrevanju. Ivorna plošča iz velikih delcev se je hitreje ohlajevala kot plošča narejena iz majhnih iveri, kar vidimo iz termičnega difuzijskega koeficienta. Prav to kaže tudi

polovični čas. Iz polovičnih časov lahko vidimo vpliv debeline same izolacije na akumulacijo toplote. Pri iverni plošči iz velikih iveri, ki je debelejša kot tista iz majhnih iveri, je vrednost polovičnega časa večja, prav tako je vrednost termičnega difuzijskega koeficienta večja. Vse skupaj nam pove, da plošča narejena iz majhnih iveri najbolj akumulira toploto.

4.2.1 Iverna plošča narejena iz majhnih delcev (frakcija 1,5 mm)

Na sliki 8 vidimo graf, ki prikazuje ohlajevanje plošče v sredici iverne plošče narejene iz iveri frakcije 1,5 mm.

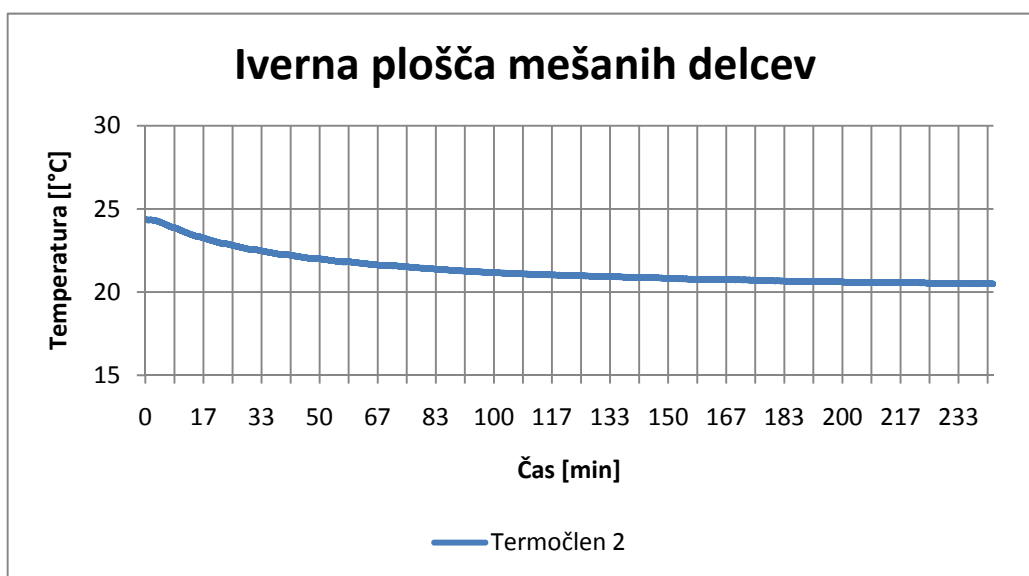


Slika 8: Graf ohlajevanja iverne plošče frakcije 1,5 mm

Pri plošči narejeni iz najmanjših delcev smo lahko ugotovili, da je, ko smo ploščo odmaknili iz grelne plošče, pričela temperatura v sredini padati po 1 minuti in dosegla svojo minimalno temperaturo oz. temperaturo okolja 20,5 °C po 200,5 minutah. Začetna temperatura sredice je bila 24,2 °C, kar pomeni, da je bila razlika med začetno in končno temperaturo 3,7 °C.

4.2.2 Iverna plošča narejena iz mešanih delcev

Na sliki 9 vidimo graf, ki prikazuje ohlajevanje plošče v sredici iverne plošče narejene iz mešanih iveri.

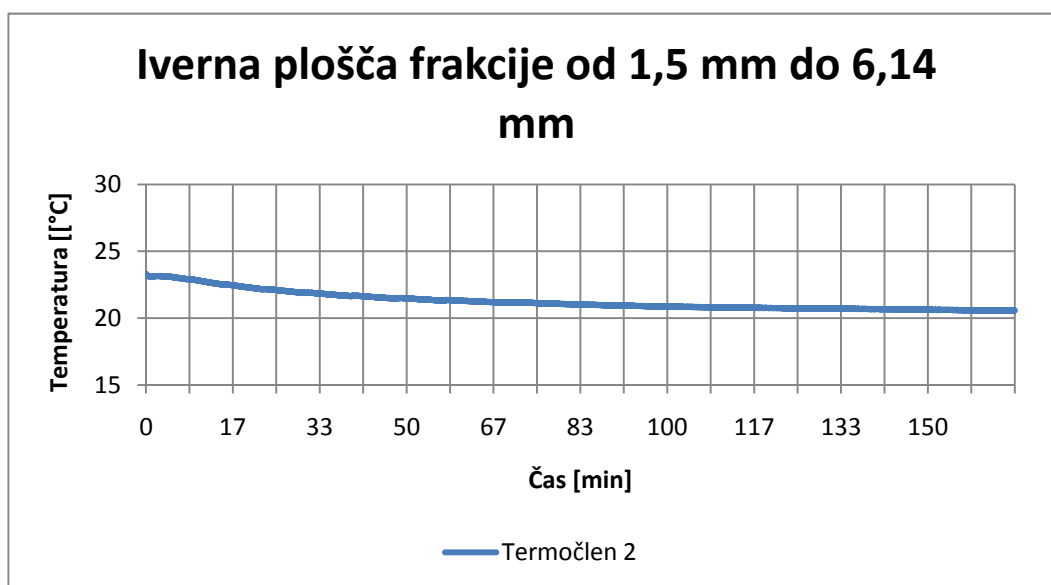


Slika 9: Graf ohlajevanja iverne plošče mešanih iveri

Pri plošči narejeni iz mešanih delcev, tako frakcije 1,5 mm velikih odprtih sita, kot tudi frakcije od 1,5 mm do 6,14 mm, smo lahko ugotovili, da je, ko smo ploščo odmaknili iz grelne plošče, pričela temperatura v sredini padati po 2,2 minutah in dosegla svojo minimalno temperaturo oz. temperaturo okolja 20,5 °C po 224 minutah. Začetna temperatura sredice je bila 24,4 °C, kar pomeni, da je bila razlika med začetno in končno temperaturo 3,9 °C.

4.2.3 Iverna plošča narejena iz večjih delcev (frakcija od 1,5mm do 6,14 mm)

Na sliki 10 vidimo graf, ki prikazuje ohlajevanje plošče v sredici iverne plošče narejene iz iveri frakcije od 1,5 mm do 6,14 mm..

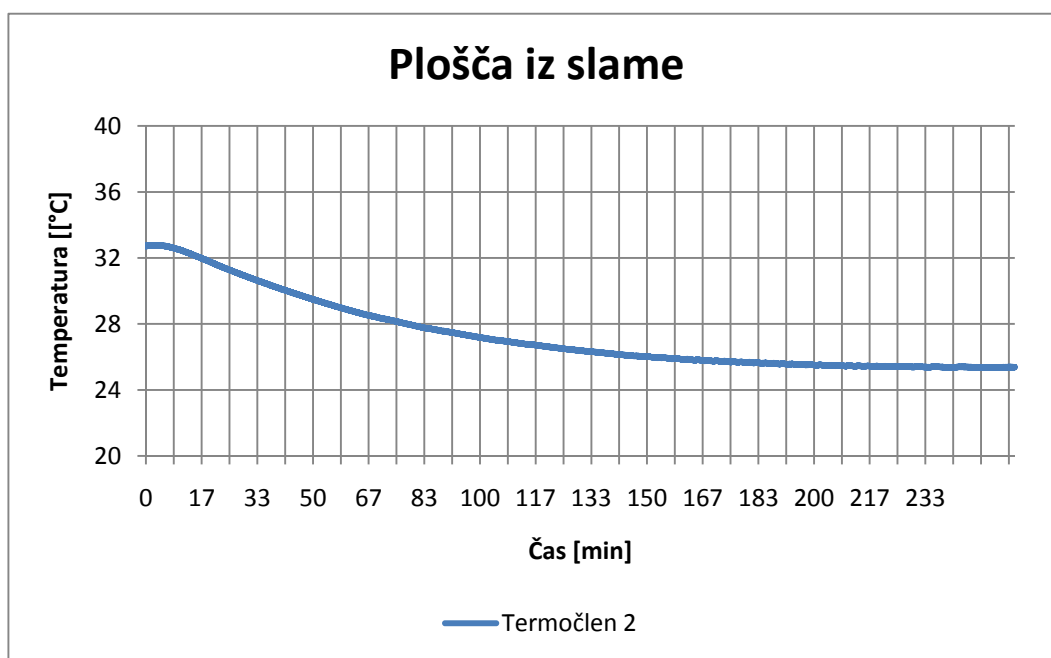


Slika 10: Graf ohlajevanja iverne plošče frakcije od 1,5 mm do 6,14 mm

Pri plošči narejeni iz delcev frakcije med 1,5 mm in 6,14 mm, smo lahko ugotovili, da je, ko smo ploščo odmaknili iz grelne plošče, pričela temperatura v sredini padati po 3 minutah in dosegla svojo minimalno temperaturo oz. temperaturo okolja 20,5 °C po 166,6 minutah. Začetna temperatura sredice je bila 23,3 °C, kar pomeni, da je bila razlika med začetno in končno temperaturo 2,8 °C.

4.2.4 Plošča narejena iz iveri slame

Na sliki 11 vidimo graf, ki prikazuje ohlajevanje plošče v sredici iverne plošče narejene iz iveri slame.



Slika 11: Graf ohlajevanja plošče narejene iz slame

Pri plošči narejenih iz iveri slame, smo lahko ugotovili, da je, ko smo ploščo odmaknili iz grelne plošče, pričela temperatura v sredini padati po 2,5 minutah in dosegla svojo minimalno temperaturo oz. temperaturo okolja 25,4 °C po 212 minutah. Začetna temperatura sredice je bila 32,8 °C, kar pomeni, da je bila razlika med začetno in končno temperaturo 7,4 °C.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Iz slik od 4 do 11 smo ugotovili, da je bila najmanjša razlika temperatur pri plošči z največjimi delci, kar lahko vidimo tudi v preglednici 5. Ker smo poizkus zasnovali na tak način, da smo eliminiramo gostoto kot dejavnik, ki vpliva na toplotno prehodnost skozi kompozite in smo proizvedli plošče iz različnih velikosti iveri ter iz slame, smo lahko ugotovili, da na toplotno prevodnost ivernih plošč značilno vplivajo velikost in vrsta gradnikov.

V našem primeru lahko vidimo, da večji kot so bili delci, boljše izolacijske lastnosti je plošča imela, z drugimi besedami manjšo toplotno prevodnost je imela. Razloge lahko iščemo v sami izdelavi plošč.

Najprej lahko pozornost obrnemo na razporeditev delcev v samih ploščah, ki ni nikoli naključna, pa čeprav včasih mislimo, da je to mogoče. Ko delci priletijo iz stroja na podlago, delec ne bo nikoli stal na robu drugega delca, ampak se bo sam porazdelil v smeri premikanja te podlage, oziroma t.i. tepiha. Tudi ko je delec v zraku, se bo obrnil v smer, ki predstavlja najmanjši odpor na določen delec. Tukaj moramo upoštevati vitkost delcev in obliko njihove površine, saj tudi ta vpliva na orientacijo oz. na sposobnost porazdelitve. Usmeritev delcev lahko povežemo s samo porozno sestavo lesa.

Les je zgrajen iz celic trahej, oz. traheid. Traheje oz. traheide v lesu tvorijo obliko satovja, kjer vemo, da je vmes med stenami prazen prostor, ki ga v primeru lesa imenujemo lumen. Traheje oz. traheide so relativno dolga vlakna, ki potekajo vzdolž strukture lesa. Vemo, da že v prvi fazi izdelave iveri (iverenje), rušimo strukturo lesa, bolj kot to delamo, manj lumnov nam ostane celih in več imamo samega lesa kar pomeni, da imamo večji delež kondukcije, ki pripomore k hitrejšemu prenosu toplote. Iz tega lahko pridemo do prvega zaključka, da z večjimi ivermi, manj poškodujemo strukturo in s tem izboljšamo izolacijske lastnosti materiala.

Ne samo z izdelavo iverja, ampak tudi s stiskanjem iverja v plošče, lahko poškodujemo strukturo traheid oz. trahej. Ker se večje iveri lažje porazdelijo po prostoru, se v fazi stiskanja manjši delež le-teh prelomi, oz. zdrobi, kar pomeni, da struktura v večji meri ostane nespremenjena. Tako lahko pridemo do drugega zaključka, da večje kot so iveri in posledično vlakna, boljša je usmerjenost, manj porušimo strukturo lesa tako, v fazi izdelave iverja, kot tudi v fazi stiskanja in boljše izolacijske lastnosti ima plošča.

Drugo, kar lahko preučimo, so prazni prostori med ivermi v sami plošči. Znano je, da z večanjem velikosti iverja zmanjšamo specifično površino materiala npr. če vzamemo enako količino majhnih in velikih delcev, bo več specifične površine pri majhnih delcih, kar pomeni, da bo več površine med seboj v stiku. Zaradi tega efekta, se v iverni plošči narejeni iz večjih delcev »ujame« več zraka. Pri prehajanju toplote skozi material, ima največji vpliv na hitrost prehajanja kondukcija, ki se vrši med trdinami. Glede na to, da imajo manjši delci več stika med seboj in da je malo zraka ujetega v samo strukturo plošče,

glavno vlogo odigra kondukcija toplote med delci. Pri večjih iverih pa se ujame več zraka med njimi, kar povzroči, da mora toplota, ki potuje po preseku plošče, večkrat prestopiti med prevajanjem s kondukcijo in konvekcijo, kar posledično povzroči, da toplota počasneje in v manjši količini prehaja skozi samo ploščo. Tako lahko pridemo še do tretjega zaključka, da z večjimi ivermi ujamemo več zraka v strukturo plošče, kar povzroči, da toplota slabše prehaja skozi ploščo.

5.2 SKLEPI

V izvedeni raziskavi, kjer smo preučevali vpliv velikosti in vrste delcev na toplotno prevodnost plošč, smo ugotovili, da oba parametra značilno vplivata na čas in hitrost prevajanja toplote.

Z večanjem lesnih iveri se večja tudi hitrost prehajanja toplote. Difuzijski koeficient je bil v primeru segrevanja največji za iverno ploščo narejeno iz največjih iveri in najmanjši za ploščo narejeno iz slame, v primeru ohlajevanja pa največji za ploščo narejeno iz slame, najmanjši za iverno ploščo narejeno iz najmanjših lesnih iveri.

Obratno se zgodi s količino toplote, ki prodre skozi ploščo saj se z večanjem iveri zmanjša količina toplote ki preide skozi ploščo. Ugotovili smo tudi, da je največ toplote prepustila plošča narejena iz iveri slame.

Če gledamo iz vidika akumulacije toplote se je za najboljšo izkazala plošča iz najmanjših iveri saj se je le ta najpočasneje ohlajevala.

6 VIRI

- Behring H., Murphy D.P.L. 1997. Are flax based insulation products environmentally friendly. V: Proceedings of flax and other bast plants symposium: 157–59
- Brasche S., Bischof W. 2005. Daily time spent indoors in German homes – Base line data for the assessment of indoor exposure of German occupants. International journal of hygiene and environmental health, 208, 4: 247-253
- Breuer H. 1987. Atlas zur physik. München, Deutscher taschenbuch verlag: 224 str.
- Kauriinvaha E., Viljanen M., Pasila A., Kymäläinen H.R., Pehkonen A. 2001. Bio-fiber from field to insulation of building. Helsinki University of technology, Laboratory of structural engineering and building physics: 117
- Klepeis N.E., Nelson W.C., Ott W.R., Robinson J.P., Tsang A.M., Switzer P., Behar J.V., Hern S.C., Engelmann W.H. 2001. The national human activity pattern survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. Exposure analysis and environmental epidemiology, 11: 231-252
- Koivula M., Kymäläinen H.R., Virta J., Hakkarainen H., Hussein T., Komulainen J., Koponen H., Hautala M., Hämeri K., Kanerva P., Pehkonen A., Sjöberg A.M. 2005. Emissions from thermal insulations-part 2: evaluation of emissions from organic and inorganic insulations. Building and environment, 40: 803-814
- Kralj D. 2009. Značilnost alternativnih izolacijskih materialov. V: Predelava izolativnih materialov. Maribor, Pivec: 51-54
- Kymäläinen H.R., Sjöberg A.M. 2008. Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations. Building and environment, 43: 1261-1269
- Maloney T. 1997. Modern particleboard and dry-process fibreboard manufacturing. San Francisco; Miller Freeman: 672 str.
- Medved S. 2000. Določanje velikosti iveri. Les, 52: 97-102
- Medved S. 2000. Vpliv zgradbe zunanjega sloja na sorpcijo in trdnost iverne plošče. Les, 52: 5-12
- Poletno pregrevanje prostorov. Prispevki dom. 2008. Erevija online – spletni magazin. <http://www.erevija.com/clanek/35/Poletno-pregrevanje-prostorov> (23. avgust, 2010)

Schmidt A.C., Jensen A.A., Clausen A.U., Kamstrup O., Postlewhite D. 2004. A comparative life cycle assessment of building insulation products made of stone wool, paper wool and flax. *International journal of life cycle assessment*, 9: 53-66

Siau J.F. 1995. Wood: Influence of moisture on physical properties. Department of Wood Science and Forest Products. Virginia Polytechnic Institute and State University: 227 str.

Toplotne prenove stavb. Prospekt toplotne prenove. 2009. Ljubljana, Baunit gradbeni materiali d.o.o.: 6 str.

<http://www.100baunit.si/?page=ThermalRedesign> (15. avgust, 2010)

Učinkovita raba energije. Informacijski list AURE. Ljubljana, Ministrstvo za gospodarske dejavnosti, Agencija za učinkovito rabo energije.

http://www.aure.gov.si/eknjiznica/IL_2-03.PDF (20. Avgust, 2010)

Zbašnik S.M. 2008. Pasivna hiša. 1. izd. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo: 130 str.

Zbašnik S.M., Kresal J. 2004. Toplotna izolacija. V: Fasadni ovoj. Zbašnik S.M. (ur.). Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo: 16-23

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Sergeju Medvedu za potrpežljivost, pomoč in napotke pri pisanju diplomskega projekta ter za pomoč pri izvedbi eksperimenta in z njim povezanimi meritvami.

Zahvalil bi se tudi rad prof. dr. Željku Gorišku za strokovno recenzijo diplomskega projekta.

Zahvaljujem se tudi vsem profesorjem in ostalim zaposlenim in nenazadnje tudi sošolcem in sošolkam na Oddelku za lesarstvo, ki so v času mojega študija pripomogli k uspešnemu zaključku le tega.

Zahvala gre tudi prijateljem in moji puncu, brez katerih bi bilo moje življenje dolgočasno.

Predvsem pa se iskreno zahvaljujem mojima staršema in bratu za finančno in, kar je bolj pomembno, za moralno podporo tekom preteklih let.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Tadej GRAHOVAC

**LESNE PLOŠČE KOT TOPLOTNO IZOLATIVNI
MATERIAL**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2010