

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Marko DEBEVC

**VPLIV IVERI NA TOPLOTNO IZOLATIVNOST
IVERNE PLOŠČE**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Marko DEBEVC

VPLIV IVERI NA TOPLOTNO IZOLATIVNOST IVERNE PLOŠČE

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

**THE INFLUENCE OF CHIPS ON PARTICLEBOARD THERMAL
INSULATION**

GRADUATION THESIS

Higher professional studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile opravljene tudi laboratorijske analize.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenovala izr. prof. Sergeja Medveda, za recenzenta pa prof. dr. Željka Goriška.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: _____

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član: _____

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član: _____

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Marko Debevc

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*862.2
KG	iverne plošče/velikost ivernih delcev/toplotna izolativnost
KK	
AV	DEBEVC, Marko
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	2016
IN	VPLIV IVERI NA TOPLOTNO IZOLATIVNOST IVERNE PLOŠČE
TD	Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij)
OP	VII, 40 str., 7 pregl., 30 sl., 15 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AL	Namen diplomskega dela je ugotoviti vpliv velikosti ivernih delcev na toplotno izolacijske lastnosti iverne plošče. Izdelali smo tri iverne plošče velikosti 200x200 mm. Vsaka vzorčna plošča je bila izdelana iz ivernih delcev različnih velikosti. Prva vzorčna plošča je bila izdelana iz majhnih delcev iveri velikosti 1,27 mm, 1 mm, 0,6 mm ter 0,237 mm. Druga vzorčna plošča je bila izdelana iz srednjih delcev iveri velikosti 2 mm in 1,5 mm. Tretja vzorčna plošča pa je bila izdelana iz velikih delcev iveri velikosti 4 mm in 6,14 mm. Prehod temperature smo merili z dvema termočlenoma, ki sta bila nameščena na zgornjo in spodnjo stran vzorčne plošče, tretji termočlen pa je meril temperaturo okolice. Ugotovili smo, da velikost delcev zelo vpliva na prehod toplote. Od pripravljenih ivernih plošč je imela najboljše izolacijske lastnosti plošča, ki je bila izdelana iz velikih delcev iveri.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs

DC UDC 630*862.2

CX particleboard/particle's size/thermal insulation

CC

AU DEBEVC, Marko

AA MEDVED, Sergej (supervisor)/GORIŠEK, Željko (co-advisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c.VIII/34

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Dep. of Wood Science and Technology

PY 2016

TI THE INFLUENCE OF CHIPS ON PARTICLEBOARD THERMAL INSULATION

DT Graduation Thesis (Higher professional studies)

NO VII, 40 p., 7 tab., 30 fig., 15 ref.

LA sl

AL sl/en

AB The purpose of this graduation thesis is to analyze the influence of particles' size on chipboard thermal insulation. For this purpose three different boards (size: 200x200mm) were prepared. Every board was composed of particles of different sizes. The first board was composed of small particles of the size 1,27mm, 1mm, 0,6mm and 0,23mm. The second board was composed of medium particles of the size 2mm and 1,5mm. The third board was composed of large particles of the size 4mm and 6,14mm. Thermal conductivity was measured by two thermocouples that were positioned on the upper and underside of the board. A third thermocouple was used to record the ambient temperature. The conclusion was reached that particles size affects thermal conductivity. The chipboard composed of large size particles proved to have the best insulation properties.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJ RAZISKAVE	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 TOPLOTNA IZOLACIJA	3
2.2 NAMEN IZOLACIJE	4
2.3 TOPLOTNO IZOLACIJSKI MATERIALI	5
2.3.1 Naravna toplotnoizolacijska gradiva	6
2.3.2 Umetna toplotnoizolacijska gradiva	11
2.3.3 Sintetična toplotnoizolacijska gradiva	13
2.3.4 Posebna toplotnoizolacijska gradiva	15
2.4 LESNI KOMPOZITI IN TOPLOTNA PREVODNOST OZIROMA IZOLATIVNOST	18
2.4.1 Furnirane plošče	19
2.4.2 OSB plošče	19
2.4.3 Vlakenne plošče	20
2.4.4 Iverne plošče	21
3 MATERIALI IN METODE	23
3.1 MATERIALI	23
3.1.1 Les	23
3.1.2 Lepilo	23
3.2 METODA DELA	24
3.2.1 Izračun termičnega difuzijskega koeficienta a in naklona premice k	25
4 REZULTATI	27
4.1 SEGREVANJE	28
4.1.1 Vzorec iz majhnih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C	29
4.1.2 Vzorec iz majhnih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80 °C	30
4.1.3 Vzorec iz srednjih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C	31
4.1.4 Vzorec iz srednjih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80 °C	32

4.1.5	Vzorec iz velikih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C	33
4.1.6	Vzorec iz velikih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80 °C	34
4.2	ANALIZA PODATKOV	35
4.3	TERMIČNI DIFUZIJSKI KOEFICIENT	36
5	RAZPRAVA	37
6	SKLEPI	38
7	VIRI	39

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Lastnosti naravnih in umetnih izolacijskih materialov.....	17
Preglednica 2 : Toplotna prevodnost posameznih lesnih kompozitov	18
Preglednica 3: Lastnosti ploščatih kompozitov.	22
Preglednica 4: Struktura plošč glede na velikost gradnikov.....	24
Preglednica 5: Prikaz debeline posameznih vzorcev in njihova gostota	27
Preglednica 6: Končna temperatura spodnjega in zgornjega termočlena ter njuna razlika pri temperaturah grelne plošče 40 °C in 80 °C	28
Preglednica 7: Prikaz izračunanih vrednosti časa in temperature pri $\theta=0,5$	35
Preglednica 8: Termični difuzijski koeficient za vse tri preiskovane iverne plošče pri segrevanju na 40 in na 80 °C.....	36

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz izračuna toplotnih izgub na objektu	4
Slika 2: Razpon toplotne prevodnosti za različne toplotne izolatorje	5
Slika 3: Ekspandirana, impregnirana pluta	6
Slika 4: Lesna vlakna	7
Slika 5: Slama	7
Slika 6: Ovčja volna	8
Slika 7: Kokosova vlakna	8
Slika 8: Bombaž	9
Slika 9 : Konoplja	9
Slika 10: Lan	10
Slika 11: Celulozni kosmiči	10
Slika 12: Perelit	12
Slika 13: Steklена volna	12
Slika 14: Mineralna volna	12
Slika 15: Penjeno steklo	13
Slika 16: Ekspandirani polistiren	14
Slika 17: Ekstrudirani polistiren	14
Slika 18: Poliuretan	15
Slika 19: Prosojna toplotna izolacija	16
Slika 20: Vezana plošča	19
Slika 21: OSB plošča	20
Slika 22: Vlaknena plošča	20
Slika 23: Iverne plošče	21
Slika 24: Postavitev termočlenov	24
Slika 25 : Graf segrevanja plošče iz majhnih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40°C	29
Slika 26 : Graf segrevanja plošče iz majhnih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80°C	30
Slika 27 : Graf segrevanja plošče iz srednjih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40°C	31
Slika 28: Graf segrevanja plošče iz srednjih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80°C	32
Slika 29 : Graf segrevanja plošče iz velikih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40°C	33
Slika 30: Graf segrevanja plošče iz velikih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80°C.	34

1 UVOD

V današnjem času je vse bolj prisotna zahteva po energetsko učinkovitih zgradbah, kar pomeni, da morajo biti stroški, ki so potrebni za ogrevanje ali ohlajevanje objekta, čim nižji. Ključno vlogo pri tem ima izolacija. Z dobro izolacijo lahko zmanjšamo vpliv mraza in toplote ter poskrbimo za primerno bivalno okolje. Poleg tega lahko z dobro izolacijo podaljšamo življenjsko dobo objekta, porabimo manj energije za ogrevanje in posledično zmanjšamo negativen vpliv na okolje.

Glavne tehnološke zahteve za toplotno izolacijo so: toplotna odpornost, požarna varnost in vpliv vlage na njene tehnološke lastnosti. Poznamo različne izolacijske materiale, ki jih delimo na naravne in umetne. Tako les kot tudi lesni ploščni kompoziti sodijo med materiale z nizko toplotno prevodnostjo. Predvsem pri lesnih ploščnih kompozitih, izdelanih iz iveri ali vlaken, imamo veliko možnosti izboljšanja izolacijskih lastnosti. Lesni kompoziti so danes izdelani iz lesa iglavcev in lesa listavcev ter se glede na uporabo ločijo po velikosti gradnikov, strukturi znotraj plošče in vrsti gradnikov.

Iverne plošče so leseni ploščni kompoziti, pri katerih uporabljamo gradnike različnih velikosti, in sicer fine v zunanjem in večje v srednjem sloju. Velikost izbranega gradnika vpliva na gostoto kot tudi na lastnosti samih plošč. Ker z naraščanjem gostote narašča tudi toplotna prevodnost, nas zanima, kako bo struktura plošče glede na velikost izbranih gradnikov vplivala na toplotno izolativnost.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Prevodnost toplote lesa je odvisna predvsem od njegove gostote in vlažnosti. Les v suhem stanju zaradi svoje porozne strukture slabo prevaja toploto v primerjavi z drugimi materiali. Suh les ima za prevod toplote visok upor in je zato slab prevodnik toplote. Pri izdelavi iveri za izdelavo ivernih plošč rušimo strukturo lesa in s tem spreminjamo njegove toplotnoizolacijske lastnosti.

1.2 CILJ RAZISKAVE

Raziskovalno delo bo osredotočeno na preučevanje vpliva velikosti ivernih delcev v iverni lošči na njene toplotnoizolacijske lastnosti. Namen imamo pripraviti tri vrste vzorčnih plošč, na katerih bomo s spremljanjem temperature med segrevanjem določili čas segrevanja in termično difuzivnost. Cilj diplomskega dela je na podlagi meritev ugotoviti hitrost prevajanja toplote.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Na toplotno prevodnost ivernih plošč vplivata struktura in način izdelave plošč. Pri ploščah, ki so izdelane iz majhnih delcev iveri, je zgostitev gradnikov večja, kar posledično pomeni tudi večjo prevodnost toplote.

2 PREGLED OBJAV

2.1 TOPLOTNA IZOLACIJA

O pomembnosti toplotne izolacije v modernih stavbah skoraj ni potrebno pisati. Toplotna izolacija bistveno zmanjšuje potrebe po toploti za ogrevanje, lahko prispeva k zmanjševanju potrebe po hlajenju, prav tako pa bistveno prispeva k toplotnemu ugodju v prostoru z zmanjševanjem temperaturnih asimetrij. Ko govorimo o zmanjševanju toplotnih izgub skozi ovoj stavbe, moramo najprej povedati, da je izolativnost ovoja odvisna od toplotne prevodnosti posameznih vgrajenih materialov. Na toplotno prevodnost vpliva več parametrov. Najpomembnejša je toplotna prevodnost materiala, ne smemo pa zanemariti tudi vpliva debeline toplotne izolacije, specifične toplote, itd. Ostali vplivni faktorji, kot so toplotna pristopnost, izolativnost zidu in podobno, imajo manjši vpliv (Knez, 2012).

Toplotno izolacijske materiale danes pogosto delimo na naravne in umetne, vendar taka delitev ni smiselna. Kar želimo s tega terminoma povedati je, da so nekateri izolacijski materiali proizvedeni s postopkom predelave surovin (kamena volna, polistiren, perlit, penjeno steklo), drugi izolacijski materiali pa so naravnega izvora (ovčja volna, kokosova vlakna, celulozna vlakna, ržena vlakna). Bolje je, če materiale delimo na biogene materiale (v trenutni terminologiji »naravni materiali«) in na nebiogene materiale (v trenutni terminologiji »umetni materiali«). Morda se to zdi nepomembno, vendar je danes pojem naravnega že tako izpostavljen (in zlorabljen), da moramo paziti, kaj se za tem pojmom skriva (Knez, 2010).

Za toplotno izolacijo so najbolj primerni materiali, ki imajo toplotno prevodnost λ med 0,0335 in 0,040 W/(mK). Toplotna prevodnost nam pove, kolikšen toplotni tok teče skozi 1 m² homogene plasti gradiva debeline 1 m pri temperaturi razliki 1 K (kar je enako 1 °C). Čim manjši je λ , tem boljša je toplotna izolativnost določenega gradiva (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004).

2.2 NAMEN IZOLACIJE

V Sloveniji so gospodinjstva v letu 2009 porabila kar 66 % energije za potrebe ogrevanja prostorov, za ogrevanje sanitarne vode pa 16 % energije. Za razsvetljavo, električne naprave in druge namene smo porabili 15 % energije. Za kuhanje pa so porabili več kot tri odstotke vse porabljene energije (Največ energije porabimo /.../ ,2011). Na sliki 1 lahko vidimo, kakšne so toplotne izgube v običajni hiši brez izolacije.



Slika 1: Prikaz izračuna toplotnih izgub na objektu (Nizkoenergijska hiša /.../, 2013)

Zaradi slabo izoliranega objekta lahko izgubimo veliko energije. Te izgube znašajo okrog 50 % in več. S primerno izolacijo in primerno izgradnjo objekta lahko precej zmanjšamo izgube energije. Če izboljšamo izolativnost objekta, prihranimo precej denarja, ker potrebujemo manj energije za ogrevanje objekta in s tem v okolje uhaja manj toplogrednih plinov.

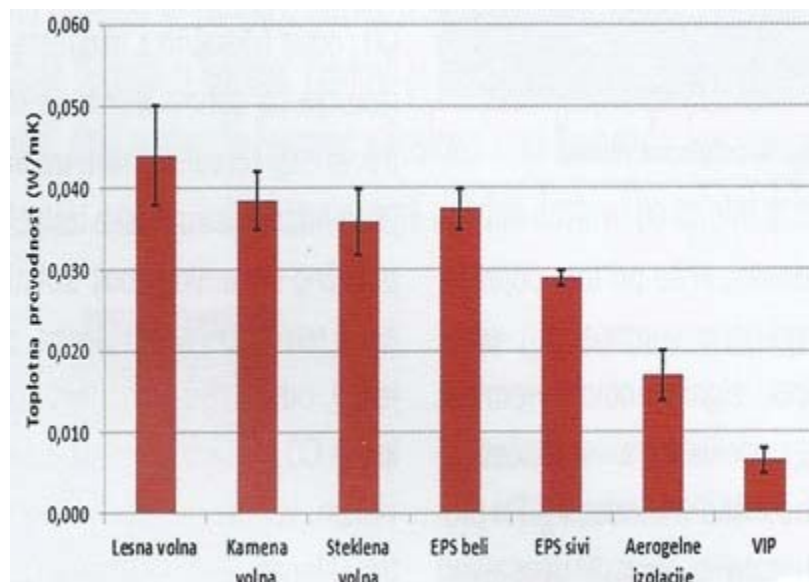
V Združenih državah Amerike so Klepeis in sod. (2001) izvedli raziskavo in ugotovili, da tamkajšnji prebivalci preživijo kar 87 % časa v zaprtih prostorih. 69 % časa preživijo znotraj svojih domov, medtem ko pa 18 % časa preživijo v ostalih zaprtih prostorih (pisarne, tovarne, gostilne, restavracije, itd.). Podobno raziskavo sta izvedela Brasche in Bischof (2005) v Nemčiji ter dobila podobne rezultate. Prebivalci Nemčije preživijo 15,7 ur na dan znotraj svojega doma, kar predstavlja podoben delež (65 %) kot pri raziskavi, ki je bila izvedena v Združenih državah Amerike.

2.3 TOPLOTNO IZOLACIJSKI MATERIALI (po Senegačnik in Kresal, 2004)

Na trgu so danes na voljo številna toplotna izolacijska gradiva, ki jih glede na izdelavo razdelimo na naravne in umetne. Umetni izolacijski materiali pa se delijo še na:

- umetna anorganska toplotnoizolacijska gradiva,
- sintetična toplotnoizolacijska gradiva,
- posebna toplotnoizolacijska gradiv.

Slika 2 prikazuje toplotno prevodnost nekaterih izolacijskih materialov.



Slika 2: Razpon toplotne prevodnosti za različne toplotne izolatorje (Knez, 2012)

2.3.1 Naravna toplotnoizolacijska gradiva

Naravna toplotnoizolacijska gradiva so sestavljena iz naravnih surovin, ki jim za toplotno izolativne namene ni potrebno spreminjati njihove kemične sestave. Proizvodni proces teh gradiv minimalno obremenjuje človeka in okolje, tudi v fazi uporabe ne prihaja do pojavov, ki bi bili škodljivi za človekovo zdravje.

Naravna toplotnoizolacijska gradiva so:

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

2.3.1.1 Ekspandirana, impregnirana pluta

Toplotna izolacija je izdelana iz mletega lubja hrasta plutovca. Je lahka in elastična ter ni občutljiva na vlago in zmrzal, ne trohni in ne gnije. Je lahko vnetljiva, vendar se pri gorenju ne razvijejo strupeni plini. Obstojna je do temperature 150 °C. Slaba lastnost te izolacije je omejen vir surovin (Portugalska, Španija, severna Afrika in Italija). Izolacija se uporablja za toplotno izolacijo zgradb, sten, tal, stropov in streh. Toplotna prevodnost je od 0,041 do 0,046 W/(mK).



Slika 3: Ekspandirana, impregnirana pluta (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.1.2 Lesna vlakna

Toplotna izolacija je izdelana iz sekancev smrekovega in hojinega lesa, termično obdelanega ter brez dodatka lepil. Plošče so človeku in okolju prijazne, saj so izdelane iz naravnih snovi in so odlična alternativa tovrstnim umetnim gradivom. Imajo številne prednosti, kot so majhna poraba energije pri proizvodnji, proizvodnja nima škodljivih posledic na zdravje, dobra požarna odpornost, dolga življenjska doba in sprejemljiva cena. Plošče se uporabljajo za izoliranje vseh vrst konstrukcij v suhih in mokrih prostorih, za novogradnje lahkih montažnih in pa tudi klasičnih masivnih zgradb. Toplotna prevodnost je od 0,040 do 0,045 W/(mK)).



Slika 4: Lesna vlakna (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.1.3 Slama

Služi kot dobra in cenena toplotna izolacija in je tudi dobro zvočno izolativna. Blazine iz slame imajo nekoliko manjši faktor toplotne prevodnosti od drugih toplotno izolacijskih materialov, zato moramo uporabljati večjo debelino izolacije. Toplotna prevodnost je od 0,054 do 0,065 W/(mK).



Slika 5: Slama (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.1.4 Ovčja volna

Volna je oprana z milom in sodo ter obdelana z naravnimi solmi. Blazine iz ovčje volne imajo dobro toplotno izolativnost. Volna je higroskopna in lahko sprejme (in odda) vlage za 33 % svoje lastne teže, ne da bi se bistveno spremenile njene izolacijske lastnosti. Volna je tudi zelo težko vnetljivo gradivo, zagori pri 560 °C. Volna se uporablja za toplotno izolacijo strešnih površin, stropov, sten, tal in kot izolacija proti udarnemu zvoku. Toplotna prevodnost je 0,040 W/(mK).



Slika 6: Ovčja volna (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.1.5 Kokosova vlakna

Elastična vlakna kokosovega oreha so votla, zato so izdelki iz njih dobri toplotni izolator. Toplotna izolacija iz kokosovih vlaken je odporna proti vlagi, plesnim, bakterijam, staranju, žuželkam, glodalcem, posedanju, trohnenju in drobljenju. Je enostavna za gradnjo in zdravju neškodljiva. Uporablja se za zvočno izolacijo, za izolacijo podov, izolacijo stropov ter strešnih in prezračevanih zunanjih zidov. Toplotna prevodnost je 0,045 W/(mK).



Slika 7: Kokosova vlakna (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.1.6 Bombaž

Bombaž ima dobre toplotno izolativne lastnosti. Toplotna prevodnost je $0,040 \text{ W/(mK)}$. Služi tudi kot zvočni izolator. To je rastlinsko gradivo z dolgo življenjsko dobo, dobro odbija vodo, odporen je proti moljem. Ekološka slabost tega gradiva so dolge transportne poti in okolju neprijazno gojenje (uporaba pesticidov, umetno namakanje ter intenzivno gojenje).



Slika 8: Bombaž (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.1.7 Konoplja

Surovina za izolacijo so vlakna iz stebel konoplje. Toplotna izolacija iz konopljinih vlaken ima dobre toplotne in zvočno izolativne lastnosti. Toplotna prevodnost je $0,045 \text{ W/(mK)}$. Po podatkih proizvajalca je vodoodbojna, odporna proti plesni in napadu glodalcev. Izolacijo iz konoplje je mogoče ponovno uporabiti (proizvajalec jo lahko reciklira). Slabost je trenutno visoka cena. Toplotna izolacija iz konopljinih vlaken se uporablja za izolacijo lahkih zunanjih sten, notranjih sten ali kot polnilo.



Slika 9 : Konoplja (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.1.8 Lan

Toplotno izolacijske plošče izdelane iz lana so odporne proti škodljivcem in plesnim, izravnavajo vlago, so zvočno izolativne in ne povzročajo prahu. Gradivo je na voljo v obliki trdih plošč, pletenjač in kot razsuto gradivo. Uporablja se za izoliranje streh, sten in kot nasutje pri talnih konstrukcijah. Toplotna prevodnost je $0,040 \text{ W/(mK)}$.



Slika 10: Lan (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.1.9 Celulozni kosmiči

Toplotna izolacija iz kosmičev starega časopisnega papirja je obdelana z ekološko neoporečnimi sredstvi za zaščito proti požaru. Izolacija izravnava vlago v prostoru, odporna je proti škodljivcem. Toplotna prevodnost je $0,045 \text{ W/(mK)}$. Izolacija se izdeluje v obliki plošč, vgrajuje pa se lahko tudi v obliki kosmičev. Celulozna vlakna se uporabljajo za toplotno izoliranje sten, streh in podov. Ima dolgo življenjsko dobo.



Slika 11: Celulozni kosmiči (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.2 Umetna toplotnoizolacijska gradiva

Umetna toplotnoizolacijska gradiva nastanejo iz mineralnih surovin s pomočjo velikih količin energije in določenih emisij, do katerih prihaja že v fazi proizvodnje. V fazi uporabe tovrstna gradiva ne obremenjujejo okolja in človeka. Problematična pa so v fazi odpada, saj končajo na deponijah, kjer razpadajo zelo dolgo časa.

Umetna anorganska toplotnoizolacijska gradiva so:

- vermikulit,
- perelit,
- mineralna volna,
- penjeno steklo.

2.3.2.1 Vermikulit

Vermikulit je toplotna izolacija iz sljude. Toplotna prevodnost je od 0,060 pa do 0,080 W/(mK). Pri pridobivanju vermikulita porabimo veliko energije. Odporen je proti delovanju lugov, kislin in je kemično nevtralen. Ker je anorganskega izvora, je odporen proti trohnenju in težko gorljiv. Uporabljamo ga kot nasutje v talnih konstrukcijah ter za izdelavo lahkih ometov. Plošče izdelane iz vermikulita uporabljamo zlasti v ladjedelništvu oziroma tam, kjer je zahtevana večja požarna odpornost.

2.3.2.2 Perelit

Toplotno izolacijsko sredstvo je iz kamenin vulkanskega izvora, ki so nastale s hitro ohlavitvijo. V proizvodnem procesu se perelit napihne in oblikuje v kroglice iz mnogih majhnih celic in ima površino z odprtimi porami. Penjeni perelit je odporen proti škodljivcem in zelo občutljiv na vlago. Šele z obdelavo z bitumnom in umetnimi smolami perelitne kroglice odbijajo vodo. Perelit se uporablja kot nasutje pod estrihom kot polnilo pri lesenih tramovih, stropih, lesenih lahkih konstrukcijah ter za izolacijo poševnih in ravnih streh. Toplotna prevodnost izolacijskega sredstva je med 0,045 do 0,050 W/(mK).



Slika 12: Perelit (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.2.3 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 je narejena pretežno iz kremenovega peska, z možnostjo dodajanja recikliranega stekla v elektropečeh pri temperaturi okoli 1350 °C. Talino, ki nastane iz teh surovin, po različnih postopkih razvaljajo. Mineralna volna je zelo elastična, ohrani obliko in je zelo odporna proti vibracijam in mehaničnim učinkom. Toplotna izolacija iz mineralnih vlaken ima dobro izolativnost, ki je od 0,035 do 0,040 W/(mK). Izolacija iz mineralne volne je difuzijsko odprta, absorbira zvok, ne razpada, ne spreminja oblike in je odporna proti škodljivcem. Vlaga pa zmanjšuje toplotnoizolacijske lastnosti. Toplotna izolacija iz mineralnih vlaken se uporabljajo za izoliranje sten, tal, streh.



Slika 13: Steklena volna (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)



Slika 14: Mineralna volna (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.2.4 Penjeno steklo

Toplotno izolacijsko gradivo iz starega stekla ali keramičnega peska (41 %) in dodatkov. Obstoječe je proti delovanju kemikalij in ne vsrka vode. Penjeno steklo se ne uporablja za izdelavo izolacijskih plošč, ki imajo izredno visoko tlačno trdnost, zato jih uporabljamo zlasti za toplotno izolacijo ploščadi nad ognjevarnimi prostori, na katerih so predvidene večje obremenitve. Toplotna prevodnost izolacijskega sredstva je od 0,040 do 0,056 W/(mK).



Slika 15: Penjeno steklo (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.3 Sintetična toplotnoizolacijska gradiva

Sintetična toplotnoizolacijska gradiva nastanejo iz organskih surovin v zapletenih tehnoloških procesih v kemičnih tovarnah. V svojem življenjskem ciklusu obremenjujejo okolje in človeka s škodljivimi emisijami in veliko porabo energije. V določeni meri je možno ta gradiva reciklirati, vendar je postopek težko izvedljiv, povzroča emisije, poleg tega pa je energijsko zelo potraten, saj je za razgradnjo gradiva potrebno več energije kot za proizvodnjo novega.

Sintetična toplotnoizolacijska gradiva so:

- polistiren,
- poliuretan,
- fenol-formaldehidna pena.

2.3.3.1 Polistiren

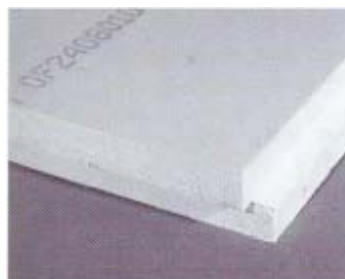
Polistiren je toplotna izolacija na bazi stirena, ki je ekološko in predvsem zdravstveno zelo oporečna substanca. Pri gorenju se sproščajo škodljivi plini, ki so bolj nevarni kakor samo gorenje. Polistiren je osnova za izdelavo dveh tipov toplotne izolacije.

Ekspandirani polistiren (bolj znan pod komercialnim imenom stiropor) je odporen proti delovanju anorganskih kislin, bitumna, alkalij in raztopin soli, ne pa proti delovanju organskih topil in mehčal. Ne sme biti izpostavljen delovanju UV žarkov. Temperaturno je obstojen do temperature 80 °C. Uporablja se za toplotno izolacijo praktično vseh obodnih delov zgradb, predvsem za izolacijo podov, zunanjih zidov in ravnih streh. Toplotna prevodnost izolacijskega sredstva je od 0,035 do 0,040 W/(mK).



Slika 16: Ekspandirani polistiren (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

Ekstrudirani polistiren je iz iste surovine kot ekspandirani polistiren, vendar je izdelan na drugačen način in ima različne lastnosti. Površina plošč ima strukturo zaprtih por. Plošče dajejo videz homogenosti, robovi so ostri, površina gladka. Ta izolacijski material ima veliko tlačno trdnost in praktično ne vpija vode. Uporablja se za toplotno izolacijo ravnih streh, tal proti terenu in sten, ki so v stiku s terenom. Toplotna prevodnost izolacijskega sredstva je od 0,035 do 0,040 W/(mK).



Slika 17: Ekstrudirani polistiren (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.3.2 Poliuretan

Nastane s poliadicijo dvokomponentnih alkoholov z izocianati. Ima zaprte celice, zato sta njegova vodoodbojnost in toplotna prevodnost zelo nizki. Odporen je proti delovanju razredčenih kislin, lugov, kurilnega olja in različnih topil. Ne sme biti izpostavljen delovanju UV žarkov. Vgrajuje se ga v pode, na katerih pričakujemo veliko obremenitev ter v strešne konstrukcije. Sendvič plošče uporabljamo pri izdelavi montažnih objektov in industrijskih hal. Toplotna prevodnost izolacijskega sredstva je od 0,025 do 0,036 W/(mK). Izocianati, ki jih vsebuje, so za zdravje zelo nevarni.



Slika 18: Poliuretan (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.3.3 Fenol-formaldehidna pena

Fenol-formaldehidna pena je toplotna izolacija, ki se pridobiva s kondenzacijo fenol-formaldehidne smole, z dodatki trdilca in penilnega sredstva. Zaradi odprto celične strukture je vsrkavanje vode zelo veliko. Izolacijsko sredstvo je odporno proti delovanju večine topil in razredčenih kislin, ni pa obstojno proti delovanju močnih baz in kislin. Uporablja se za izolacijo zunanjih sten, stropov ter ravnih streh. Toplotna prevodnost izolacijskega sredstva je 0,041 W/(mK). Ekološko je fenol-formaldehidna pena sporen izdelek zaradi vsebnosti formaldehida.

2.3.4 Posebna toplotnoizolacijska gradiva

V to skupino gradiv sta uvrščena dva gradiva, ki se šele uveljavljata na tržišču. Sestavljena sta iz več komponent v posebnih sistemih za toplotno zaščito ter ju ni mogoče uvrstiti v nobeno od navedenih skupin.

Posebno toplotnoizolacijska gradiva sta:

- prosojna toplotna izolacija,
- vakuumaska toplotna izolacija.

2.3.4.1 Prosojna toplotna izolacija

Prosojna toplotna izolacija je sestavljena iz prozornih tankih cevk in je največkrat sestavljena v satovje. Satovje je z zunanje strani zaprto s steklom, z notranje strani pa ima prozorno folijo. Tu zrak miruje in deluje kot toplotni izolator. Sončna energija se ujame v celice satovja in se odbija po njenih stenah, dokler ne preide do temne masivne stene, ki sevanje absorbira in se ne segreva ter prenese toploto v zadaj ležeče prostore.



Slika 19: Prosojna toplotna izolacija (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004)

2.3.4.2 Vakuumska toplotna izolacija

Že samo ime izolacije pove, da gre za izolacijo, ki deluje na principu vakuumu. Ker izločimo zrak, preprečimo konvekcijo toplote, tako dobimo izjemno dober izolativni material. Toplotna prevodnost izolacijskega sredstva je od 0,002 do 0,008 W/(mK). Vakuumska toplotna izolacija se izdeluje v obliki panelov. Vendar zaradi kompleksne izdelave in vgradnje tega sistema je cena izdelave zelo visoka.

V preglednici 1 so navedene toplotne lastnosti, stroški izolacije in porabljena energija izdelave za nekatere naravne in umetne izolativne materiale. Lastnosti teh izolacijskih materialov pa so opisane v poglavju 2.3 Toplotno izolacijski materiali.

Preglednica 1: Lastnosti naravnih in umetnih izolacijskih materialov (AURE, 2003)

Material	Toplotna prevodnost λ v W/mK	Toplotna prehodnost pri 10 cm (k) v W/m ² K	Potrebna debelina za k 0,4 W/m ² K v cm	Relativni strošek za material brez vgradnje za k je 0,4 W/m ² K	Vgrajena energija v proizvodnji v kWh za k je 0,4 W/m ² K
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
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	-
Lesena 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
Lesna volna	0,09	0,9	23	4,53-5,71	45-74
Slama	0,06-0,13	0,9-1,3	23-33	-	-
Mineralna volna - Kamena - Steklena	0,03-0,045	0,3-0,45	8-11	1,00	9 90
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

2.4 TOPLOTNA PREVODNOST OZIROMA IZOLATIVNOST LESNIH KOMPOZITOV

Leseni ploščni kompoziti sodijo med enostavne inženirske lesne materiale, saj lahko z dezintegracijo lesa in integracijo v ploščne kompozite dosežemo želene lastnosti. Osnovni postopek izdelave teh plošč je dezintegracija lesa, torej izdelava osnovnega elementa, sušenje, nanos lepila (oblepljanje), priprava in sestava furnirja, iverne pogače ali vlaknenega tepeha, stiskanje in ohlajevanje ter kondicioniranje izdelanih plošč.

Osnovni element je lahko vlakno, iver ali pa furnir, ki so lahko izdelani iz različnih lesnih vrst in so različnih velikosti ter oblik. Za izdelavo ivernih plošč lahko uporabimo lesno surovino slabše kakovosti, in sicer tako cele lesne (veje, krajnike, očelke) kot tudi drobne lesne ostanke z žagarskih in mizarskih obratov.

Za vezivno sredstvo se uporabljajo urea-formaldehidna (UF), melanin-formaldehidna (MF), melanin-urea-formaldehidna (MUF), fenol-formaldehidna in MDI lepila.

Toplotno prevodnost lesnih ploščnih kompozitov je po ugotovitvah Sondereggerja in Niemza (2009) odvisna od vrste plošče in od njene debeline.

Preglednica 2 : Toplotna prevodnost posameznih lesnih kompozitov (Sonderegger in Niemz, 2009)

Material	Debelina [mm]	Gostota [kg/m ³]	λ 10.suh.pog. [W/mK]
Vezana plošča (bukev), 25 mm	25,7	679	0,1304
OSB, 18mm	18,4	562	0,0959
Iverna plošča, 16mm	16,4	597	0,0965
MDF, 3 mm	2,9	802	0,1104
HDF, 16mm	16,2	696	0,0974
HDF, 7 mm	6,6	785	0,1138

Ugotovila sta, da toplotna prevodnost narašča s povečanjem temperature, vlažnosti in gostote, vendar je naraščanje prevodnosti v veliki meri odvisno tudi od tipa plošče in morfoloških značilnosti gradnika. (Sonderegger in Niemz, 2009).

2.4.1 Furnirane plošče

Od vseh ploščnih kompozitov se je v gradbene namene najdlje uporabljala furnirana plošča. Furnirana plošče je izdelana iz lihega števila furnirskih listov, ki so med seboj zlepljeni pod pravim kotom (pravokotno na prejšnji furnir). Furnir je izdelan iz bukovega, topolovega ali brezovega lesa. Nanos lepila je med 120 in 260 g/m². Stiskanje poteka pri temperaturi med 100 °C in 150 °C pri tlaku 0,5 in 2 N/mm². Izdelane plošče imajo gostoto med 500 in 750 kg/m³ in debelino med 4 in 50 mm.

Lastnosti furniranih plošč so odvisne predvsem od lesa, iz katerega je izdelan furnir, vrste lepila in debeline furnirja, kakor tudi debeline in gostote izdelanih plošč (Medved, 2008).



Slika 20: Vezana plošča (Medved, 2008)

2.4.2 OSB plošče

OSB ali iverna plošča z usmerjenim iverjem je v gradbeništvu skoraj popolnoma zamenjala furnirano in iverno ploščo. Plošča je izdelana iz večjih kosov ploščatih iveri (strandsov). Iveri so velike do 200 mm, široke do 50 mm in debele do 2 mm. Za izdelavo iveri se uporablja predvsem hlodovina iglavcev (smreka, bor).

Oblepljanje iveri poteka v posebnih strojih, kjer se preko šob dovaja lepilo na iveri. Delež dodanega lepila je med 4 in 10 %, odvisen je od vrste lepila in velikosti iveri. Oblepene iveri se natresejo v neprekinjeno iverno pogačo. Iveri so v zunanjih slojih usmerjene v vzdolžni smeri, medtem ko so lahko iveri v srednjem sloju usmerjene vzdolžno (lastnosti podobne masivnemu lesu), prečno (lastnosti podobne furnirnim ploščam) ali naključno (lastnosti podobne ivernim ploščam). Značilnost plošč je tudi razdelitev iveri glede na velikost, in sicer se v zunanjem sloju nahajajo večji delci kakor v srednjem sloju. Taka razporeditev (obratno kakor pri iverni plošči) je posledica usmerjanja iveri v zunanjem sloju. Usmeritev dosežemo s posebnimi usmerjevalnimi krožnimi ploščami ali lamelami.

Plošče stiskamo pri temperaturah od 180 °C do 220 °C in pri tlaku med 3 in 7 N/mm². Plošče imajo gostoto med 550 in 750 kg/m³ in debelino med 6 in 40 mm (Medved, 2008).



Slika 21: OSB plošča (Medved v Kuzman in sod., 2008)

2.4.3 Vlaknene plošče

Pri vlaknenih ploščah opazimo največjo variabilnost glede gostote, saj je lahko gostota med 250 in 1000 kg/m³. Debelina plošč je med 4 in 80 mm. Vlaknene plošče so izdelane iz vlaken, pridobljenih z razvlaknjevanjem sekancev različnih lesnih vrst. Za lahke vlaknene plošče (gostota pod 500 kg/m³) se uporablja predvsem les iglavcev, medtem ko se za gostejše (gostota nad 800 kg/m³) uporablja les trdih listavcev. Delež dodanega lepila je med 2 in 19 %. Lepljenje in stiskanje poteka pri temperaturi od 150 °C do 220 °C in pri tlaku med 3 in 10 N/mm² (Medved, 2008).



Slika 22: Vlaknena plošča (Medved, 2008).

2.4.4 Iverne plošče

Tako kot OSB so tudi iverne plošče izdelane iz treh slojev, in sicer iz dveh finejših zunanjih slojev in grobega srednjega sloja. Za izdelavo iveri lahko uporabimo vse lesne vrste. Proizvajalci plošč pa rajši uporabljajo les iglavcev. Oblepljanje iveri poteka v posebnih strojih za oblepljanje. Delež dodanega lepila je odvisen vrste lepila in velikosti delcev. Pri iverih za zunanji sloj je delež dodanega lepila med 6 in 15 %, za srednji sloj pa je delež dodanega lepila med 2 in 9 %. Lepljenje oziroma stiskanje poteka pri temperaturi od 180 °C do 220 °C in pri tlaku stiskanja, ki znaša med 3 in 7 N/mm². Izdelane plošče imajo gostoto med 550 kg/m³ in 770 kg/m³ in debelino med 4 in 40 mm.

V gradbene namene uporabljamo (stavbno pohištvo) tako imenovane iverne plošče z odprtinami oziroma iverokal plošče. Iveri v teh ploščah so usmerjene skoraj pravokotno na površino (ne vzporedno s površino kot pri navadnih ploščah). Zaradi odprtín so iverokal plošče lažje in imajo tudi dobre akustične lastnosti (Medved, 2008).



Slika 23: Iverne plošče (Medved, 2008).

V spodnji preglednici 3 so primerjalno ocenjene najpomembnejše lastnosti lesnih ploščatih kompozitov.

Preglednica 3: Lastnosti ploščatih kompozitov (Medved, 2008).

	Furnirana plošča	OSB	Iverna plošča	Iverokal	Izolacijska vlaknena plošča	MDF	HDF
Gostota [kg/m ³]	650	650	650	400	300	650	850
Upogibna trdnost	+++	++	-	-	---	+	++
Modlu elastičnosti	+++	++	-	-	---	+	++
Strižna trdnost	++	/	/	/	/	/	/
Razslojna trdnost	/	++	++	-	---	+	++
Sorpcijske lastnosti	++	+	-	--	---	-	0
Toplotna izolacija	0	0	0	+	+++	0	-
Zvočna izolacija	0	0	0	+	+++	0	-

+++	Zelo dobro
++	Dobro
+	Zmerno dobro
0	Nevtralno
-	Zmerno slabo
--	Slabo
---	Zelo slabo

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Les

Za pripravo vzorčnih ivernih plošč smo uporabili industrijske iveri. Delež listavcev v iverih je bil 25 %, delež iglavcev pa je bil 75 %.

3.1.2 Lepilo

Za lepljenje lesnih iveri med seboj smo uporabili melamin-urea-formaldehidno (MUF) lepilo z oznako Meldur MS-1 proizvajalca Melamin Kočevje. Delež lepila je bil v vseh vzorčnih ploščah enak in je znašal 10 %, prav tako delež utrjevalca, ki je znašal 3 %. Delež lepila smo izračunali po naslednji formuli:

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

m_{lep} - masa lepila (g)

m_{mat} - masa iveri (g)

$d.l$ - delež lepila (%)

Delec utrjevalca, ki predstavlja 5 % celotne lepilne mešanice, smo izračunali po naslednji formuli.

$$m_{ut} = m_{lep} \times 0,05 \text{ [g]} \quad \dots(2)$$

m_{ut} - masa utrjevalca (g)

m_{lep} - masa lepila (g)

3.2 METODA DELA

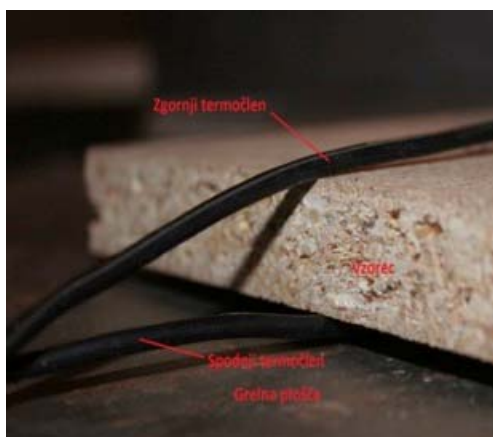
Iveri smo najprej posušili v sušilniku pri temperaturi 70 °C. Sušili smo jih toliko časa, da so dosegle vlažnost 4 %. Nato smo posušene iveri s pomočjo sejalnega stroja presejali na tri različne velikosti. Struktura plošč glede na velikost gradnikov je predstavljena v preglednici 4.

Preglednica 4: Struktura plošč glede na velikost gradnikov

Oznaka plošče	Opis	Ostanek na situ
A	Majhni gradniki	0,273; 0,6; 1 in 1,27 mm
B	Srednji gradniki	1,5 in 2 mm
C	Veliki gradniki	4 in 6,14 mm

Iveri smo nato oblepili s prej pripravljenim MUF lepilom. Oblepljene iveri smo nasuli v kalup velikosti 200x200 mm. Stiskanje je potekalo pri temperaturi 190 °C in tlaku 3 N/mm². Čas stiskanja je bil 3 minute. Po končanem stiskanju smo vzorčne plošče klimatizirali pri temperaturi 20 °C in relativni zračni vlagi 65 % do konstantne mase (7 dni).

Grelna plošča, ki je bila na spodnji strani vzorca, je bila segreta na dve različni temperaturi. Grelna plošča je bila segreta na 40 °C (Razlika v temperaturi 20 °C - glede na okolje) oz. 80 °C (Razlika v temperaturi 60°C - glede na okolje). Merjenje temperature smo opravili s termočleni, ki so bili nameščeni na zgornji in spodnji površini vzorca (Slika 24). Prehod temperature smo merili toliko časa, dokler nismo dosegli konstantne temperature (zgornja površina).



Slika 24: Postavitev termočlenov

3.2.1 Izračun termičnega difuzijskega koeficienta a in naklona premice k

Spremembo temperature smo izračunali po enačbi (Koloini, 1985):

$$\theta = \frac{T_k - T_t}{T_k - T_z} \quad \dots(3)$$

Kjer je:

θ - brezdimenzijska sprememba temperature

T_t - temperatura vzorca v času t ($^{\circ}\text{C}$)

T_k -končna temperatura vzorca ($^{\circ}\text{C}$)

T_z - začetna temperatura vzorca ($^{\circ}\text{C}$)

Nato smo glede na eksperimentalno zasnovo uporabili modificirano enačbo (Koloini, 1985):

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

Kjer je:

a - koeficient termične difuzivnosti (m^2/s ($\times 10^{-7}$))

π - konstanta (3,14)

t - čas (s)

d - povprečna debelina plošče (m)

Matematični model, ki smo ga poenostavili, smo prilagodili eksperimentalnim podatkom za območje $0 \leq \theta \leq 0,5$ s pomočjo linearne zveze med logaritmom brezdimenzijske temperature (θ) in časom eksperimenta (t) za celotno ploščo (Koloini, 1985):

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

Termični difzijski koeficient smo izračunali (a) iz naklona premice (k) po naslednji enačbi (Koloini, 1985):

$$a = \frac{4 \cdot k \cdot d^2}{\pi^2} \quad \text{..(6)}$$

a -koeficient termične difuzivnosti (m^2/s ($\times 10^{-7}$))

k –koeficient naklona premice

d - povprečna debelina plošče (m)

π - konstanta (3,14)

Termični difuzijski koeficient je vrednost, ki nam pove, kako hitro potuje toplota po samem materialu. Neposredno pa je ta vrednost odvisna od gostote in specifične toplote lesa.

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

4 REZULTATI

Vzorci so bili narejeni iz majhnih, srednjih in velikih gradnikov iveri. V spodnji tabeli je prikazana debelina posameznih vzorcev in gostota.

Preglednica 5: Prikaz debeline posameznih vzorcev in njihova gostota

Oznaka vzorcev	Velikost gradnikov	Debelina vzorcev [mm]	Gostota vzorcev [kg/m ³]
A	Majhni	17,43	657
B	Srednji	16,33	814
C	Veliki	16,03	812

Pri vzorcu iz srednjih gradnikov in pri vzoru iz velikih gradnikov je prišlo do manjših odstopanj glede gostote. Pri vzorcu iz majhnih gradnikov je bila gostota precej manjša kakor pri vzorcu iz srednjih in velikih gradnikov. Vidimo, da velikost gradnikov zelo vpliva na gostoto. Večji kot so gradniki, višja je gostota. Rezultati so prikazani v naslednjih poglavjih.

4.1 SEGREVANJE

V preglednici 6 sta prikazani začetna in končna temperatura zgornjega in spodnjega termočlena pri temperaturah grelne plošče 40 °C in 80 °C. Temperatura okolice je bila med 21 in 26 °C.

Preglednica 6: Končna temperatura spodnjega in zgornjega termočlena ter njuna razlika pri temperaturah grelne plošče 40 °C in 80 °C

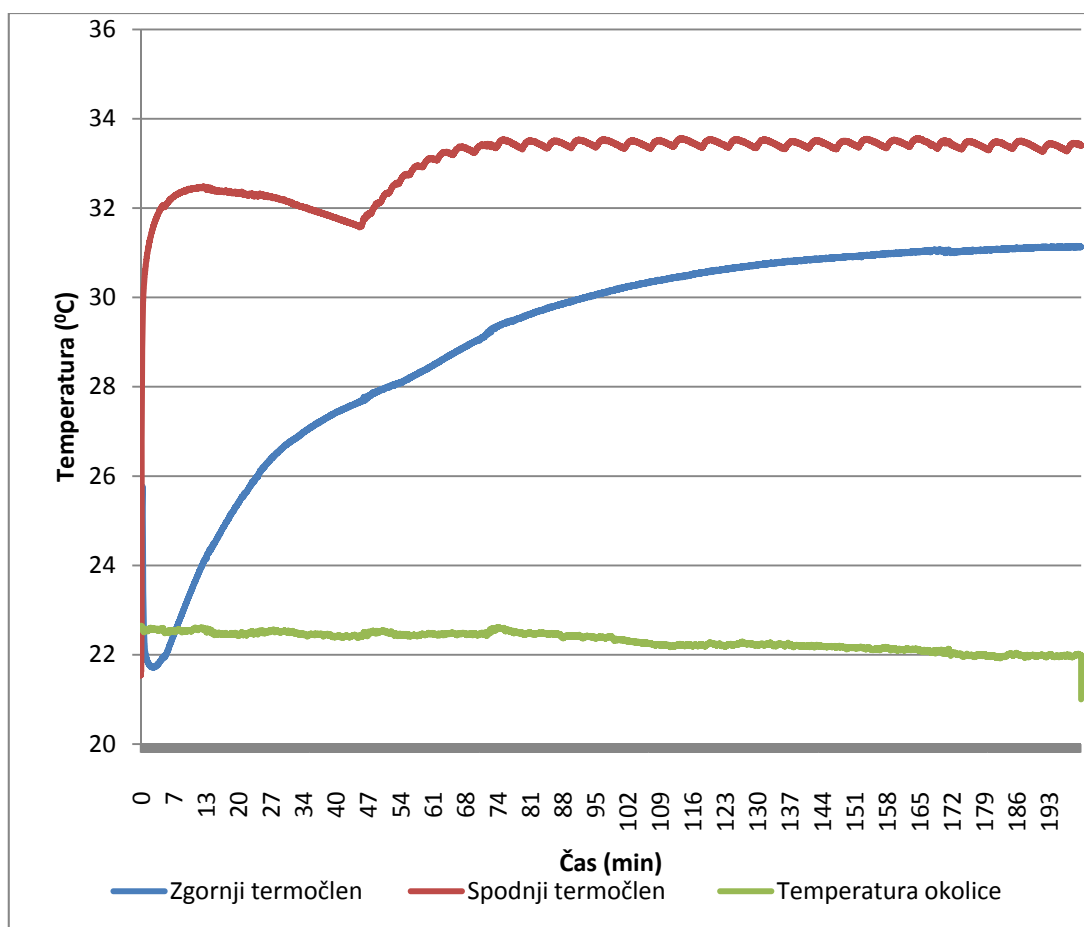
Oznaka vzorcev	Velikost iveri	Temperatura grelne plošče [°C]	Temperatura končna spodnji termočlen [°C]	Temperatura končna zgornji termočlen [°C]	ΔT [°C]
A	Majhne	40	33,6	31,3	2,3
B	Srednje	40	31,5	28,8	2,7
C	Velike	40	33,3	30,6	2,7

A	Majhne	80	74,9	64,2	10,7
B	Srednje	80	74,8	64,0	10,7
C	Velike	80	77,7	62,8	14,9

Pri vseh vzorčnih ploščah zasledimo izolacijski efekt, saj se v nobenem primeru vzorčne plošče niso segrele na temperaturo, katera je bila nastavljena na grelni plošči. Temperatura je bila na zgornji površini vzorca iz majhnih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C za 2,3 °C nižja od temperature na spodnji strani vzorca, pri vzorcu iz srednjih in velikih gradnikov pa za 2,7 °C. Pri meritvah, kjer pa je bila grelna plošča segreta na 80 °C, pa razlika temperatur pri vzorcu iz majhnih gradnikov in pri vzorcu iz srednjih gradnikov znaša isto, in sicer 10,7 °C. Pri vzorcu iz velikih gradnikov je razlika temperatur znašala 14,9 °C. Ugotovimo, da je maksimalna temperatura odvisna od strukture vzorčnih plošč.

4.1.1 Segrevanje plošče iz majhnih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C

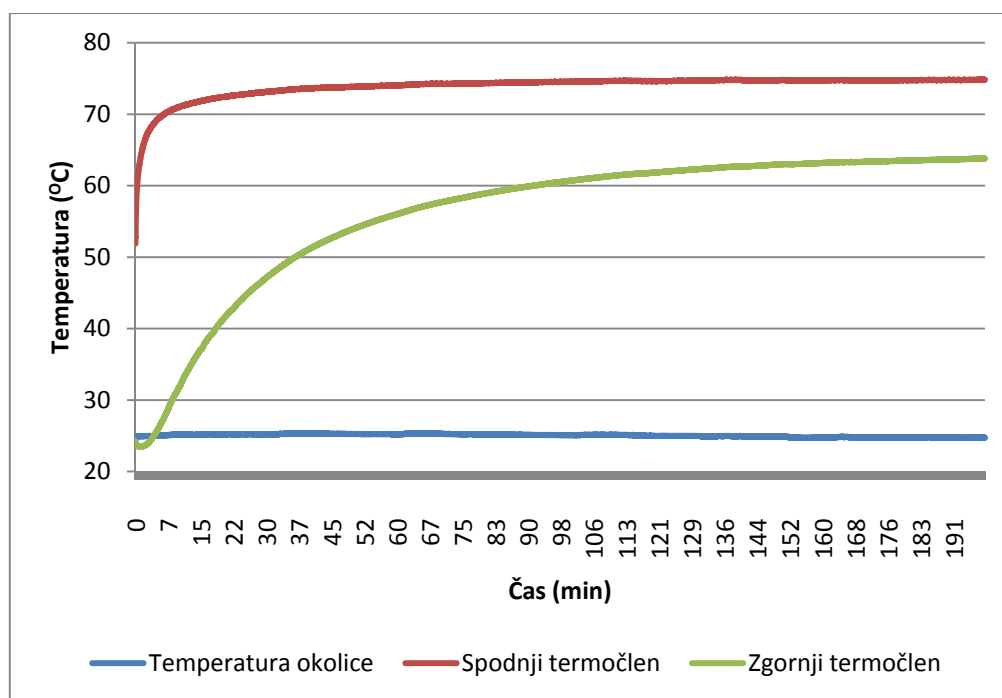
Pri vzorcu iz majhnih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C je zgornji termočlen izmeril maksimalno temperaturo 31 °C. Čas, v katerem je bila dosežena maksimalna temperatura na zgornjem termočlenu, je znašal 14200 s. Povprečna temperatura okolice pa je bila 22 °C (slika 25).



Slika 25 : Graf segrevanja plošče iz majhnih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C

4.1.2 Segrevanje plošče iz majhnih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80 °C

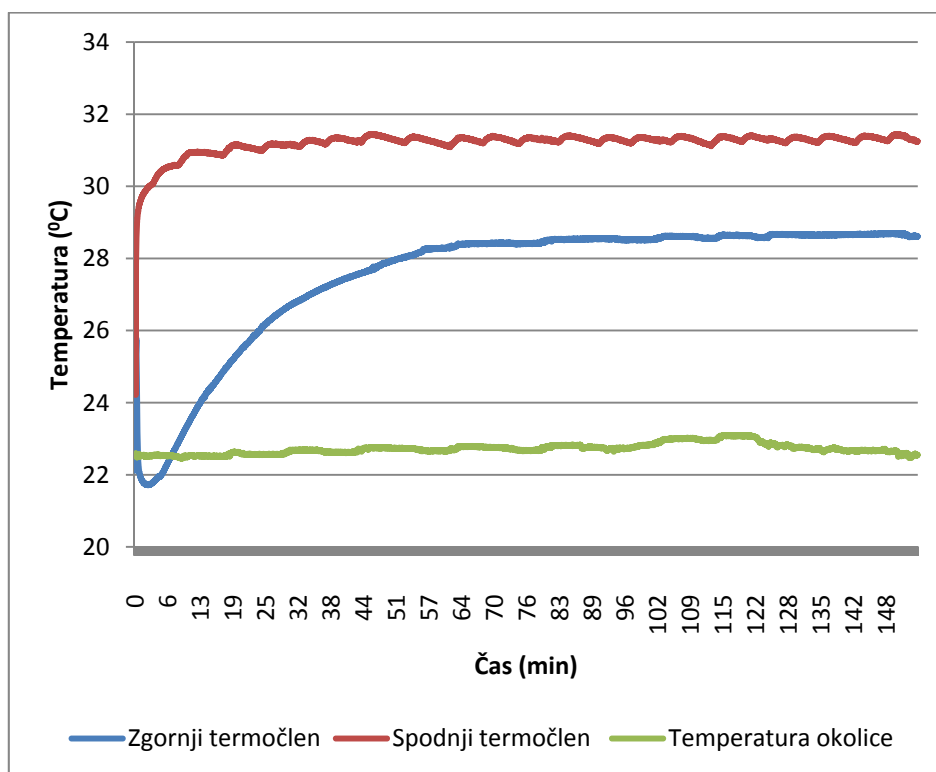
Pri vzorcu iz majhnih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80 °C je zgornji termočlen izmeril maksimalno temperaturo 64 °C. Čas, v katerem je bila dosežena maksimalna temperatura na zgornjem termočlenu, je znašal 14970 s. Povprečna temperatura okolice pa je bila 25 °C (slika 26).



Slika 26 : Graf segrevanja plošče iz majhnih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80 °C

4.1.3 Segrevanje plošče iz srednjih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C

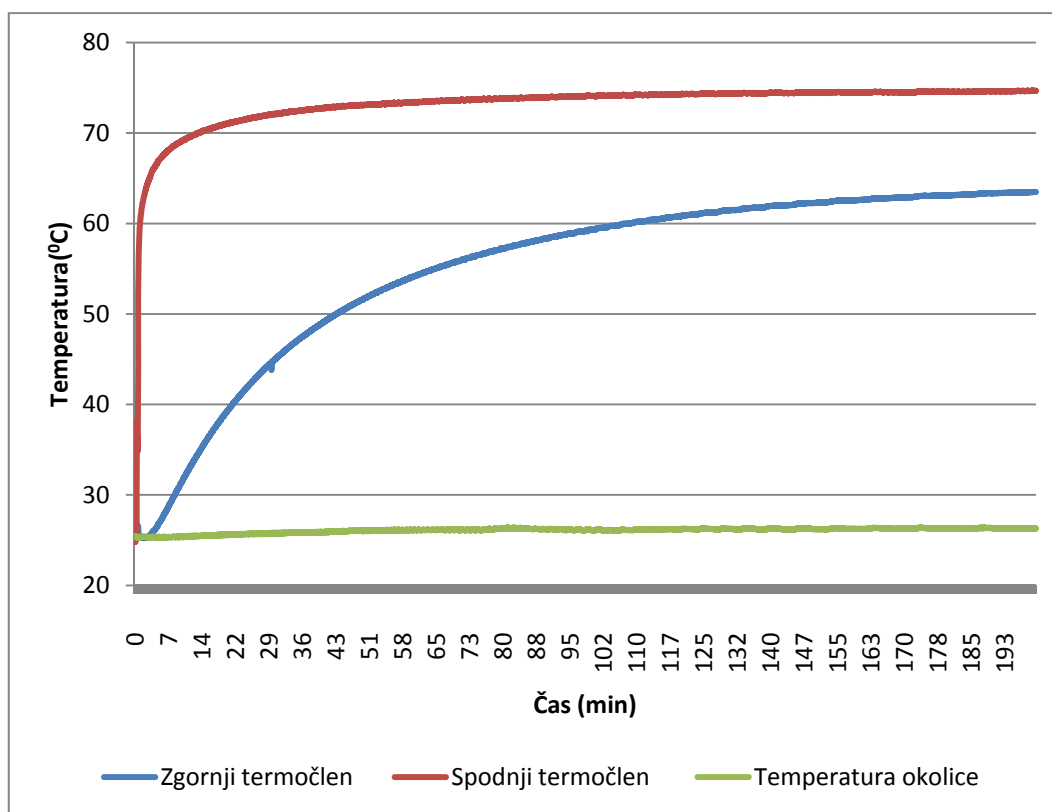
Pri vzorcu iz srednjih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C je zgornji termočlen izmeril maksimalno temperaturo 29 °C. Čas, v katerem je bila dosežena maksimalna temperatura na zgornjem termočlenu, je znašal 13642 s. Povprečna temperatura okolice pa je bila 23 °C (slika 27).



Slika 27 : Graf segrevanja plošče iz srednjih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C

4.1.4 Segrevanje plošče iz srednjih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80 °C

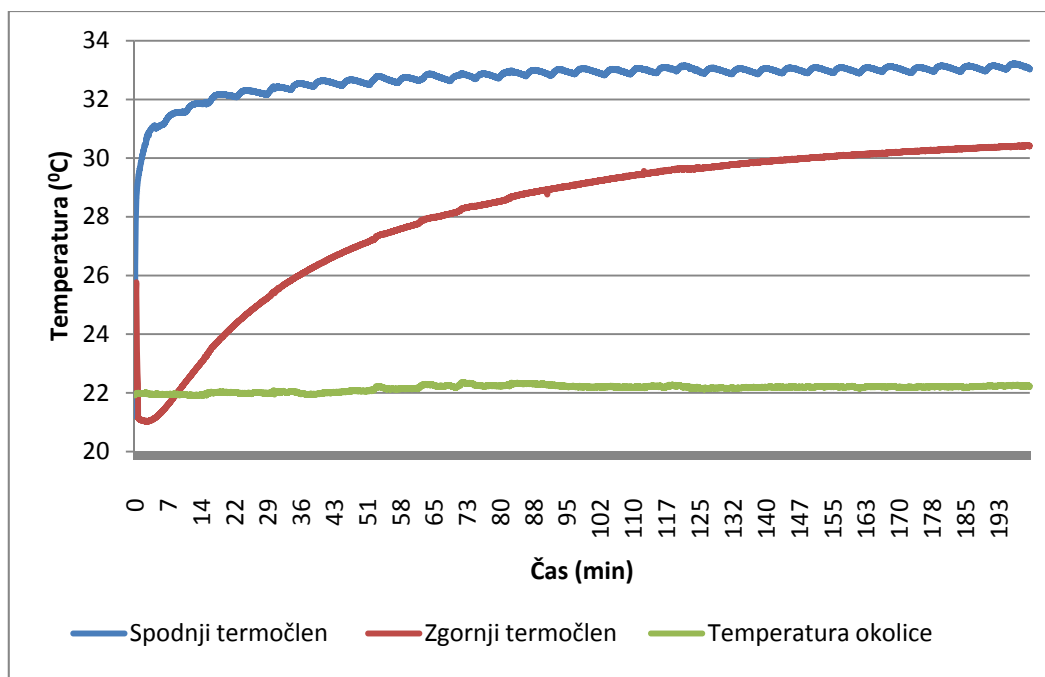
Pri vzorcu iz srednjih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80 °C je zgornji termočlen izmeril maksimalno temperaturo 64 °C. Čas, v katerem je bila dosežena maksimalna temperatura na zgornjem termočlenu, je znašal 14991 s. Povprečna temperatura okolice pa je bila 26 °C (slika 28).



Slika 28: Graf segrevanja plošče iz srednjih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80 °C

4.1.5 Segrevanje plošče iz velikih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C

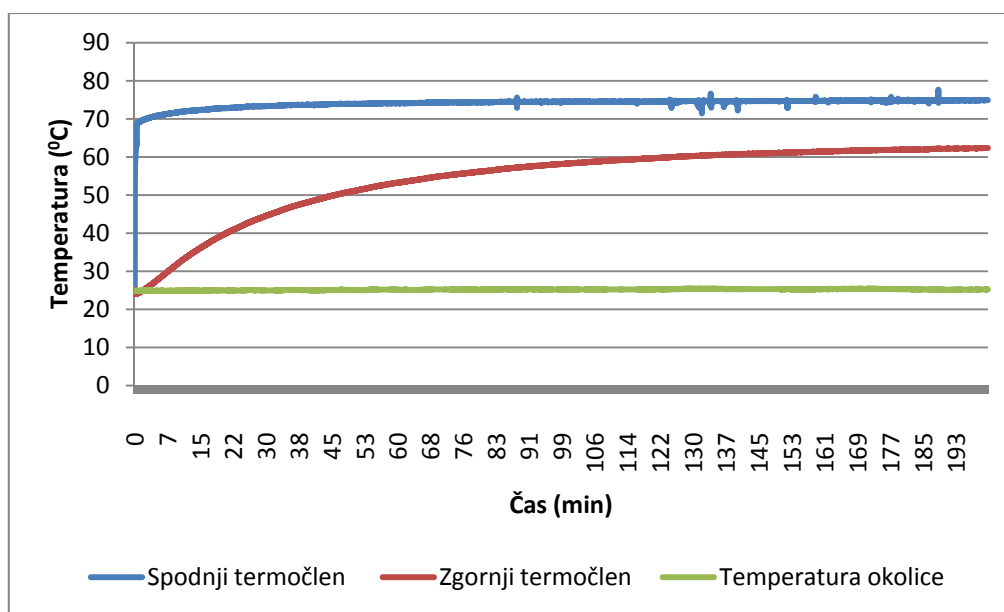
Pri vzorcu z velikih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C je zgornji termočlen izmeril maksimalno temperaturo 31 °C. Čas, v katerem je bila dosežena maksimalna temperatura na zgornjem termočlenu, je znašal 14867 s. Povprečna temperatura okolice pa je bila 22 °C (slika 29).



Slika 29 : Graf segrevanja plošče iz velikih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 40 °C

4.1.6 Segrevanje plošče iz velikih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80 °C

Pri vzorcu iz velikih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80 °C je zgornji termočlen izmeril maksimalno temperaturo 63 °C. Čas, v katerem je bila dosežena maksimalna temperatura na zgornjem termočlenu, je znašal 14839 s. Povprečna temperatura okolice pa je bila 25 °C (slika 30).



Slika 30: Graf segrevanja plošče iz velikih gradnikov pri temperaturi grelne plošče 80 °C

4.2 ANALIZA PODATKOV

Pri temperaturi grelne plošče 40 °C je največ časa za doseganje teperature pri $\theta = 0,5$ potrebovala plošča iz velikih gradnikov. Temperaturo pri $\theta = 0,5$ je dosegla v 1819 s. Plošča iz majhnih gradnikov je dosegla temperaturo pri $\theta = 0,5$ v 1502 s. Najmanj časa je za doseganje temperature pri $\theta = 0,5$ potrebovala plošča iz srednjih gradnikov, ta čas je znašal 984 s. Iz tega je razvidno, da imajo pri temperaturi grelne plošče 40 °C najboljše toplotnoizolacijske lastnosti plošče iz velikih gradnikov.

Pri temperaturi grelne plošče 80 °C je največ časa za doseganje teperature pri $\theta = 0,5$ potrebovala plošča iz srednjih gradnikov. Temperaturo pri $\theta = 0,5$ je dosegla v 1702 s. Plošča iz velikih gradnikov je dosegla temperaturo pri $\theta=0,5$ v 1584 s. Najmanj časa je za doseganje temperature pri $\theta = 0,5$ potrebovala plošča iz majhnih gradnikov, ta čas je znašal 1323 s. Iz tega je razvidno, da imajo pri temperaturi grelne plošče 80 °C najboljše toplotnoizolacijske lastnosti plošče iz srednjih gradnikov.

V preglednici 7 so prikazane vrednosti časa in temperature pri $\theta=0,5$. Te vrednosti smo določili s pomočjo risanja grafov in premic.

Preglednica 7: Izračunane vrednosti časa in temperature pri $\theta=0,5$

Oznaka vzorcev	Velikost gradnikov	Temperatura grelne plošče [°C]	Debelina [m]	Temperatura začetna [°C]	Temperatura pri $\theta=0,5$ [°C]	Čas pri $\theta=0,5$ [s]
A	Majhni	40	0,0087	21,7	26,5	1502
B	Srednji	40	0,0082	21,7	25,2	984
C	Veliki	40	0,0080	21,0	25,8	1819

A	Majhni	80	0,0087	23,5	43,7	1323
B	Srednji	80	0,0082	25,2	44,4	1702
C	Veliki	80	0,0080	24,0	43,2	1584

4.3 TERMIČNI DIFUZIJSKI KOEFICIENT

Vrednosti termičnega difuzijskega koeficienta so odvisne od velikosti uporabljenih gradnikov ter končne temperaturne razlike med spodnjim in zgornjim termočlenom (preglednica 8).

Preglednica 8: Termični difuzijski koeficient za vse tri preiskovane iverne plošče pri segrevanju na 40 in na 80 °C.

Oznaka vzorcev	Velikost gradnikov	Temperatura grelne plošče [°C]	končna temperaturna razlika med spodnjim in zgornjim termočlenom [°C]	Termični difuzijski koeficient [$\text{m}^2/\text{s} (\times 10^{-7})$]
A	Majhni	40	2,3	2,24
B	Srednji	40	2,7	2,7
C	Veliki	40	2,7	1,76

A	Majhne	80	10,7	2,55
B	Srednje	80	10,7	2,03
C	Velike	80	14,9	1,80

Iz preglednice 8 lahko razberemo, da je bil termični difuzijski koeficient pri temperaturi grelne plošče 40 °C najnižji pri vzorcu iz velikih gradnikov in je znašal $1,76 \text{ m}^2/\text{s} (\times 10^{-7})$. Pri vzorcu iz majhnih gradnikov je termični difuzijski koeficient znašal $2,24 \text{ m}^2/\text{s} (\times 10^{-7})$, pri vzorcu iz srednjih gradnikov pa je bil najvišji, znašal je $2,70 \text{ m}^2/\text{s} (\times 10^{-7})$.

Iz preglednice 8 lahko razberemo, da je bil termični difuzijski koeficient pri temperaturi grelne plošče 80 °C najnižji pri vzorcu iz velikih gradnikov in je znašal $1,80 \text{ m}^2/\text{s} (\times 10^{-7})$. Pri vzorcu iz srednjih gradnikov je znašal $2,03 \text{ m}^2/\text{s} (\times 10^{-7})$, pri vzorcu iz majhnih gradnikov pa je bil najvišji, znašal je $2,55 \text{ m}^2/\text{s} (\times 10^{-7})$.

5 RAZPRAVA

Na toplotno prevodnost vpliva velikost gradnikov uporabljenih za izdelavo plošč oziroma sama struktura plošče. Večji kot so bili gradniki vzorčnih plošč, boljše izolacijske lastnosti je vzorčna plošča imela.

Temperatura grelne plošče vpliva na meritve. Ugotovili smo, da se pri nižji temperaturi grelne plošče vzorci bolj segrejejo in se bolj približajo temperaturi, ki je nastavljena na grelni plošči. Pri temperaturi grelne plošče 40 °C je povprečna temperaturna razlika med temperaturo grelne plošče in končno temperaturo znašala 2,1 °C. Pri temperaturi grelne plošče 80 °C pa je povprečna temperaturna razlika znašala 12,1 °C. Ugotovili smo, da vzorci pri temperaturi grelne plošče 80 °C počasneje prevajajo toploto kakor vzorci pri temperaturi grelne plošče 40 °C in so zato boljši toplotni izolator.

Na prevodnost vpliva tudi gostota posamezne vzorčne plošče. Ugotovili smo, da gostota narašča z večanjem gradnikov. Vzorec iz najmanjših gradnikov ima najnižjo gostoto, ki znaša 657 kg/m³. Vzorec iz srednjih gradnikov ima gostoto 814 kg/m³. Vzorec iz velikih gradnikov pa ima gostoto 812 kg/m³. Razlika med srednjimi in velikimi gradniki je zelo majhna, zato jo lahko zanemarimo, saj ne vpliva na meritve.

Termični difuzijski koeficient z večanjem gradnikov pada. Najnižji je pri vzorcu iz velikih gradnikov. Pri temperaturni grelne plošče 40 °C povprečni termični difuzijski koeficient znaša 2,2 m²/s ($\times 10^{-7}$), pri temperaturi grelne plošče 80 °C pa povprečni termični difuzijski koeficient znaša 2,1 m²/s ($\times 10^{-7}$). Ugotovili smo, da se z večanjem velikosti gradnikov in z višanjem temperature grelne plošče izboljšujejo izolacijske lastnosti vzorca.

6 SKLEPI

V diplomskem delu smo preučevali vpliv velikosti ivernih delcev na toplotno prevodnost iverne plošče. Ugotovili smo, da velikost delcev zelo vpliva na čas in hitrost prevajanja toplote. Predpostavljali smo, da bo toplota počasneje prehajala skozi vzorec iz majhnih delcev iveri, ki so med seboj bolj zbiti in potlačeni. Meritve so pokazale ravno nasprotno, in sicer vzorec iz velikih ivernih delcev je imel boljše izolativne lastnosti. Upoštevali smo termični difuzijski koeficient. Večji kot je koeficient, večja je toplotna prevodnost materiala pri enaki gostoti, posledično pa se slabšajo izolativne lastnosti tega materiala. Opravili smo meritve pri grelni plošči segreti na 40 °C in na 80 °C. V obeh primerih smo zabeležili najnižji koeficient termične difuzivnosti pri vzorcu iz velikih delcev iveri, kar kaže na to, da je vzorec iz velikih ivernih delcev počasneje prevajal toploto. Sklepali smo, da so na te rezultate vplivali tudi postopek izdelave vzorcev, material, specifična površina delcev, postopek stiskanja, vrsta in količina lepila ter faktor obljepljenja iveri. Kljub temu iverna plošča ni znana kot zelo dober izolativni material, saj ima visok termični difuzijski koeficient v primerjavi z drugimi izolacijskimi materiali.

7 VIRI

- 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
- Največ energije porabimo za ogrevanje prostorov. *Energija in okolje* 2011. Ljubljana. Delo in dom
<http://www.deloindom.si/najvec-energije-porabimo-za-ogrevanje-prostorov>
(31.mar. 2015)
- 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
- Knez F. 2010. Toplotna izolacija - znana neznanka. *Gradbenik*, 14: 12-13
- Knez F. 2012. Toplotna izolacija ključni element trajnostne gradnje. *Gradbenik*, 16: 8-10
- Knez F. 2013. Nizkoenergijska hiša (Priloga). *Gradbenik*, 17 : 50
- Koloini T. 1985. Prenos toplote in snovi. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja Ljubljani: 331 str.
- Medved S. 2008. Leseni ploščni kompoziti v gradbeništvu. V: *Gradnja z lesom - izziv in priložnost za Slovenijo*. ur. Manja Kitek Kuzman. – Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 90-94
- 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.
- Sonderegger W., Niemz P. 2009. Thermal conductivity and water vapour transmission properties of wood-based materials. *European journal of wood and wood products*, 67, 3: 313-321
- Thermal conductivity, Thermal insulation
<http://en.wikipedia.org>
(31.mar. 2015)
- Učinkovita raba energije. Informacijski list AURE. Ljubljana. Ministrstvo za gospodarsko dejavnost. Agencija za učinkovito rabo energije.
<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/PDFknjiznjicaAURE/IL2-03.PDF>
(31.mar. 2015)

Zbašnik Senegačnik M. 2007. Pasivna hiša. Martina Zbašnik Senegačnik (ur).
Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo : 18

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

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju diplomskega projekta izr. prof. dr. Sergeju Medvedu za usmerjanje in napotke pri pisanju diplomskega projekta ter za pomoč pri praktičnem delu in meritvah.

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

Zahvaljujem se tudi vsem profesorjem in ostalim zaposlenim, ki so prispevali k uspešnemu zaključku tega diplomskega projekta.

Hvaležen sem svoji puncu in prijateljem, ki so mi pomagali pri študiju. Predvsem pa se iskreno zahvaljujem svojim strašem, ki so mi stali ob strani in me podpirali ves čas študija.