

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Nejc JAN

**VPLIV GOSTOTE POSAMEZNEGA SLOJA
TRISLOJNE IVERNE PLOŠČE NA NJENO
TOPOLOTNO IZOLATIVNOST**

Diplomski projekt
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2011

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Nejc JAN

**VPLIV GOSTOTE POSAMEZNEGA SLOJA TRISLOJNE IVERNE
PLOŠČE NA NJENO TOPOLOTNO IZOLATIVNOST**

Diplomski projekt
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

**INFLUENCE OF THE INDIVIDUAL LAYER DENSITY OF A THREE
LAYERED PARTICLE BOARD ON ITS THERMAL INSULATION**

B. Sc. THESIS
Professional study programmes

Ljubljana, 2011

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva – 1. stopnja. Opravljen je bil na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bile opravljene laboratorijske analize v laboratoriju za preizkušanje lesnih tvoriv.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela 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 raziskovalnega 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.

Nejc Jan

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dv1

DK UDK 630*862

KG lesna plošča/iverna plošča/toplotna izolacija

AV JAN, Nejc

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 2011

IN VPLIV GOSTOTE POSAMEZNEGA SLOJA TRISLOJNE IVERNE PLOŠČE NA
NJENO TOPLOTNO IZOLATIVNOST

TD Diplomski projekt (visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)

OP VII, 26 str., 3 pregl., 15 sl., 11 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI Iverna plošča je široko uporabna tako v gradbeništvu (pregrade, talne in stenske obloge, itd.) kot v pohištveni industriji. Zaradi relativno nizke toplotne prevodnosti jo lahko izkoristimo tudi za izboljšanje izolativnostnih lastnosti sten. Pri tem pa moramo paziti, kakšna je gostota izbrane plošče. Na toplotno izolativnost vpliva predvsem gostota plošče, ki jo lahko spreminjamo z deležem srednjega sloja. Želeli smo ugotoviti vpliv posameznega sloja iverne plošče na njeno toplotno izolativnost. Izdelali smo 3 iverne plošče z različnim deležem srednjega sloja. V 1. primeru je bil delež srednjega sloja 30 %, v 2. 45 % in v 3. 60 %. Iverne plošče smo postavili na grelno ploščo. Temperatura okolja in grelne plošče se je v 1. primeru razlikovala za 15 °C, v 2. za 25 °C in v 3. za 35 °C. Najvišjo spremembo temperature med sredino plošče in zgornjo površino je imela plošča s 30 % deležem srednjega sloja in temperaturo grelne plošče 60 °C, najnižjo pa plošča s 30 % deležem srednjega sloja pri temperaturi grelne plošče 40 °C.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Dv1
- DC UDC 830*862
- CX wood-based panel/particleboard/thermal insulation
- AU JAN, Nejc
- 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 2011
- TI INFLUENCE OF THE INDIVIDUAL LAYER DENSITY OF A THREE LAYERED PARTICLE BOARD ON ITS THERMAL INSULATION
- DT B. Sc. Thesis (Professional study programmes)
- NO VII, 26 p., 3 tab., 15 ann., 11 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Particle board is widely used in building industry (bars, floor and wall coverings, etc.) as it is in furniture industry. Due to the relatively low thermal conductivity it can also be used to improve the properties of the wall insulation. In doing so, we must watch what the density of the selected panel is. The density of the layer that can be changed by the share of the middle layer, has the main impact on the thermal insulation. We wanted to determine the influence on an individual layer of the particle board on its thermal insulation. We designed 3 particle boards with different shares of the middle layer. In 1st case the share was 30 %, in 2nd 45 % and in 3rd 60 %. We placed the particle boards on a hot plate. The temperature of the environment and the hot plate in 1st case deviated for 15 °C, in 2nd 25 °C and in 3rd 35 °C. The highest temperature change between the middle layer and the upper surface had a board with a 30 % share of the middle layer and the hot plate temperature of 60 °C, the lowest temperature change had a board with a 30 % share of the middle layer and the hot plate temperature of 40 °C.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VI
Kazalo slik	VII
1 UVOD	1
1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA	2
1.2 DELOVNA HIPOTEZA	2
1.3 CILJ NALOGE	2
2 PREGLED LITERATURE	3
2.1 TOPLOTNE IZGUBE	3
2.2 PRENOS TOPLOTE	4
2.2.1 Toplotna prevodnost	4
2.2.2 Konvekcija toplote	4
2.2.3 Sevanje	4
2.3 GOSTOTA IN IZOLATIVNOST	5
2.3.1 Gostota	5
2.3.2 Izolativnost	5
2.4 LESNI KOMPOZITI IN TOPLOTNA PREVODNOST OZ. IZOLATIVNOST	6
3 MATERIALI IN METODE	7
3.1 MATERIALI	7
3.1.1 Iveri	7
3.1.2 Urea-formaldehidno lepilo (UF)	7
3.1.3 Dodatki	7
3.2 METODE	7
3.2.1 Izračun koeficienta termične difuzivnosti a in razpolovnega časa t	9
4 REZULTATI	11
4.1 PLOŠČA S 30 % SREDNJEGA SLOJA PRI 40 °C	12
4.2 PLOŠČA S 30 % SREDNJEGA SLOJA PRI 50 °C	13
4.3 PLOŠČA S 30 % SREDNJEGA SLOJA PRI 60 °C	14
4.4 PLOŠČA S 45 % SREDNJEGA SLOJA PRI 40 °C	15
4.5 PLOŠČA S 45 % SREDNJEGA SLOJA PRI 50 °C	16
4.6 PLOŠČA S 45 % SREDNJEGA SLOJA PRI 60 °C	17
4.7 PLOŠČA S 60 % SREDNJEGA SLOJA PRI 40 °C	18
4.8 PLOŠČA S 60 % SREDNJEGA SLOJA PRI 50 °C	19
4.9 PLOŠČA S 60 % SREDNJEGA SLOJA PRI 60 °C	20
5 RAZPRAVA	21
6 SKLEPI	24
7 VIRI	25

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Toplotne prevodnosti posameznih lesnih kompozitov.....	6
Preglednica 2: Pregled podatkov posamičnih plošč.....	11
Preglednica 3: Gostota posameznega sloja glede na strukturo plošče.....	22

KAZALO SLIK

Slika 1: Povprečne toplotne izgube stanovanjske hiše.....	3
Slika 2: Prikaz pozicije termočlenov v plošči.....	8
Slika 3: Graf spremembe temperature pri 30 % deležu srednjega sloja in 40 °C.....	12
Slika 4: Graf spremembe temperature pri 30 % deležu srednjega sloja in 50 °C.....	13
Slika 5: Graf spremembe temperature pri 30 % deležu srednjega sloja in 60 °C.....	14
Slika 6: Graf spremembe temperature pri 45 % deležu srednjega sloja in 40 °C.....	15
Slika 7: Graf spremembe temperature pri 45 % deležu srednjega sloja in 50 °C.....	16
Slika 8: Graf spremembe temperature pri 45 % deležu srednjega sloja in 60 °C.....	17
Slika 9: Graf spremembe temperature pri 60 % deležu srednjega sloja in 40 °C.....	18
Slika 10: Graf spremembe temperature pri 60 % deležu srednjega sloja in 50 °C.....	19
Slika 11: Graf spremembe temperature pri 60 % deležu srednjega sloja in 60 °C.....	20
Slika 12: Graf gostotnih profilov posameznih plošč (A – 30 % delež srednjega sloja, B – 45 % delež srednjega sloja, C – 60 % delež srednjega sloja).....	21
Slika 13: Graf vpliva gostote od koeficienta termične difuzivnosti za celotno ploščo.....	22
Slika 14: Graf vpliva gostote od koeficienta termične difuzivnosti za zunanji sloj.....	22
Slika 15: Graf vpliva gostote od koeficienta termične difuzivnosti za srednji sloj.....	23

1 UVOD

Les kot naravni material bo zaradi globalnega segrevanja v prihodnosti vedno bolj uporabljan material. Ljudje se zavedamo, da zaradi prekomernih izpustov plinov v ozračje najbolj škodujemo samim sebi. V zadnjih letih se sicer ozaveščanje ljudi o okoljski problematiki povečuje, kar se odraža predvsem pri varčevanju z vodo in energijo, ločevanju odpadkov, uporabo okolju prijaznih materialov, itn.. Velik korak k temu lahko storimo z uporabo naravnih materialov, med katere spada tudi les, ki jih lahko recikliramo in ponovno uporabimo.

Veliko energije se porablja predvsem pri segrevanju in ohlajanju bivalnih prostorov. Stanovanja moramo znova in znova segrevati ali ohlajati, velikokrat pa se vprašamo: "Kam gre vsa ta energija?". Odgovor je sila preprost: pride do toplotnih izgub skozi vsako površino stavbe, predvsem toplotnih mostov. Zaradi tega problema ima toplotna izolativnost zelo velik pomen pri zmanjšanju emisij v okolje. Zato moramo v bodoče ljudje vedno bolj uporabljati materiale, s katerimi bomo znatno znižali izgube energije in s tem veliko prispevali k izboljšanju našega podnebja.

Les je že dolgo poznan kot dobro izolativni material, z izdelavo različnih kompozitov pa njegovo izolativnost lahko še povečamo. Kompoziti imajo relativno dobre fizikalne in mehanske lastnosti, med katerimi so najpomembnejše: povečanje površinske trdote, dimenzijska stabilnost in toplotna izolativnost. Iverne plošče so eden najpogosteje uporabljenih lesnih materialov, namenjene številnim možnostim nadaljnje obdelave za namene pohištvene in gradbene industrije. Plošče odlikujejo relativno kvalitetna površinska struktura, relativno dobre mehanske lastnosti, homogena zunanja površina, možnost nadaljnje obdelave ter nenazadnje tudi dobra toplotna izolativnost.

Na toplotno izolativnost vplivata predvsem gostota in delež posameznega sloja. Pri višji gostoti je izolativnost nižja, pri nižji gostoti pa višja. Iverna plošča je sestavljena iz treh slojev, kjer ima sredica nižjo gostoto kot zunanja sloja.

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Iverna plošča ima relativno enostavno strukturo. Izdelana je iz treh slojev, in sicer dveh zunanjih in enega srednjega sloja. Gradniki v srednjem sloju so večji kot v zunanjih dveh slojih, zato so delci med seboj manj zbiti. Posledično je gostota v srednjem sloju nižja, kar pa pomeni boljšo toplotno izolativnost v primerjavi z gostejšim zunanjim slojem.

V diplomskem projektu bomo predstavili vpliv deleža zunanjega oziroma srednjega sloja trislojne iverne plošče na njeno toplotno izolativnost.

1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Struktura plošče vpliva na toplotno prehodnost. Predvidevamo, da se s spreminjanjem deleža posameznega sloja spreminja tudi njegova gostota, kar bo povzročilo tudi spremembo toplotne izolativnosti plošče. Pri povečevanju deleža srednjega sloja bo več delcev v plošči večjih dimenzij in s tem tudi večji delež zraka.

1.3 CILJ NALOGE

Cilj naloge je ugotoviti, kakšen delež posameznega sloja bo najprimernejši za uporabo ivernih plošč v toplotno izolacijske namene. Plošče se bodo razlikovale glede na delež srednjega sloja, ki bo 30 %, 45 % ter 60 %.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 TOPLOTNE IZGUBE

Les se že od nekdaj uporablja za izolacijo. V zadnjem času se povečuje poraba lesnih kompozitov v toplotno izolacijske namene. V Sloveniji so gospodinjstva v letu 2009 porabila kar 66 % energije za ogrevanje prostorov. Zaradi velikih toplotnih izgub je še toliko bolj pomembna dobra toplotna izolacija. Deleže izgub v stanovanju prikazuje slika 1. (Največ energije porabimo ..., 2011)



Slika 1: Povprečne toplotne izgube stanovanjske hiše (Ogrevanje, prezračevanje ..., 2011)

Iz slike vidimo, da preko 50 % energije izgubimo bodisi skozi stene, okna, preko kleti ali preko strehe. V veliki meri lahko na izgube vplivamo z zmanjšanjem števila toplotnih mostov, izboljšanjem izolativnosti stanovanja, s čimer prihranimo veliko denarja za ogrevanje ter dobro vplivamo na okolje z zmanjšanjem izpustov toplogrednih plinov.

Ljudje večino svojega življenja preživimo v zaprtih prostorih. Zato je počutje v veliki meri odvisno od zraka v prostorih, s katerim je povezana izoliranost zaprtih prostorov. Klepeis in sod. (2001) so izvedli raziskavo, s katero so ugotovili, da kar 87 % časa prebivalci preživijo v zaprtih prostorih. Od tega naj bi skoraj 70 % časa preživeli v svojih domovih. Podobno raziskavo sta izvedla tudi Brasche in Bischof (2004), pri kateri sta ugotovila, da prebivalci preživijo povprečno kar 15.7 ur na dan v svojem domu. Očitno ljudje res veliko

časa preživimo v zaprtih prostorih, zato je še bolj pomembno, da so stene toplejše in ljudem prijazne temperature, saj s tem izboljšamo svoje dnevno počutje.

2.2 PRENOS TOPLOTE

2.2.1 Toplotna prevodnost

Toplotna prevodnost je lastnost, ki je opredeljena kot prenesena energija s temperaturno razliko in se pojavlja v trdnih snoveh, tekočinah in plinih. Toplota se prenaša iz mesta z višjo temperaturo na mesto z nižjo temperaturo (Aguilar, 2006). Pri prevodnosti se energija prenaša preko atomov ali molekul z višjim proti nižjim energijskim območjem. Toplotna prevodnost pri suhem lesu je lahko zelo različna, vrednost naj bi varirala med 0.07 – 0.17 W/mK (Thoemen in sod., 2010).

2.2.2 Konvekcija toplote

S pojmom toplotne konvekcije se srečamo pri obravnavanju prenosa toplote med površino trdnega telesa in tekočino, ki tako površino obdaja. Preprosto povedano je konvekcija toplote prenos toplote z gibanjem makroskopskih delcev tekočine ter z mešanjem toplejših delcev tekočine s hladnejšimi (Koloini, 1985).

2.2.3 Sevanje

Prenos energije z elektromagnetnim valovanjem v območju valovnih dolžin 10^{-4} m do 10^{-7} m imenujemo termično sevanje ali radiacija (Koloini, 1985). Povzročeno sevanje potuje iz vročega telesa s hitrostjo svetlobe in se absorbira tako v trdne snovi kot v tekočine. Pri določeni valovni dolžini se nekateri materiali obnašajo kot steklo in zato bolj vroči grelniki ne proizvajajo višjih stopenj prenosa energije (Thoemen in sod., 2010).

2.3 GOSTOTA IN IZOLATIVNOST

Gostota v veliki meri vpliva na izolativnost. Znano je, da je les oz. kompozit z nižjo gostoto boljši toplotni izolator kot tisti z višjo gostoto.

2.3.1 Gostota

Iverna plošča po obdelavi ima ponavadi 50 % višjo gostoto kot je naravna gostota lesa. Torej, če ima vhodna surovina gostoto 400 kg/m^3 , potem ima končna plošča gostoto 600 kg/m^3 . Tako je visok tlak pomemben za doseg dobre povezanosti med ivermi (Thoemen in sod., 2010).

2.3.2 Izolativnost

Za toplotno izolacijo so najbolj primerni materiali, ki imajo toplotno prevodnost λ med $0,035$ in $0,040 \text{ W/mK}$. Znak λ nam pove, kolikšen toplotni tok teče skozi 1 m^2 homogene plasti gradiva debeline 1 m , pri temperaturni razliki 1 K , ki je enako $1 \text{ }^\circ\text{C}$. Čim manjši je λ , tem boljša je toplotna izolativnost določenega gradiva (Zbašnik-Senegačnik in Kresal, 2004).

2.4 LESNI KOMPOZITI IN TOPLOTNA PREVODNOST OZ. IZOLATIVNOST

Eno bolj pomembnih raziskav o toplotni prevodnosti oz. izolativnosti lesnih kompozitov sta izvedla Sonderegger in Niemz (2008). Preizkus sta opravila na različnih lesnih kompozitih kot so vezane plošče, OSB plošče, iverne plošče in vlaknene plošče. Ugotavljala sta, kako različna temperatura in vlažnost vplivata na toplotno prevodnost. Vzorci so bili velikosti 500 x 500 mm in različnih debelin (Sonderegger in Niemz, 2009), kar je razvidno iz Preglednice 1.

Preglednica 1: Toplotne prevodnosti posameznih lesnih kompozitov (Sonderegger in Niemz, 2009)

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

V svoji raziskavi sta ugotovila različne odvisnosti med toplotno prevodnostjo na eni in gostoto, vsebnostjo vlage, temperaturo in debelino plošče na drugi. Toplotna prevodnost narašča s povečanjem temperature, vlažnosti in gostote, vendar je naraščanje prevodnosti v veliki meri odvisno tudi od lesnega tvoriva. Primerjava različnih materialov s približno enako gostoto pokaže zmanjšanje toplotne prevodnosti z zmanjševanjem delcev (Sonderegger in Niemz, 2009).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Iveri

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

3.1.2 Urea-formaldehidno lepilo (UF)

Za lepljenje iverne plošče smo uporabili urea-formaldehidno lepilo proizvajalca Nafta Lendava. Gostota lepila je bila $1,27 \text{ g/cm}^3$, vrednost pH 8 in delež suhe snovi 65 %.

3.1.3 Dodatki

Kot trdilec oziroma utrjevalec smo uporabili 20 % raztopino amonijevega sulfata. Vode smo dodali toliko, da je bila vlažnost oblepljenega iverja v zunanjem sloju 13 %, v srednjem sloju pa 10 %.

3.2 METODE

Za izdelavo ivernih plošč smo uporabili industrijske iveri različnih velikosti (za srednji sloj večje, za zunanji manjše) in vlažnosti 2-4 %. Iveri smo v bobnu oblepili z UF lepilom. Delež dodanega lepila za iveri za srednji sloj je bil 6,5 %, za iveri za zunanji sloj pa 10,5 %. Oblepljene iveri smo nato natresli v okvir velikosti 500 x 500 mm. Izdelali smo tri različne iverne plošče glede na delež srednjega sloja. V prvem primeru je bil delež 30 %, v drugem 45 % ter v tretjem 60 %. Nominalna debelina ivernih plošč je bila 16 mm, nominalna gostota pa $0,5 \text{ g/cm}^3$.

Ko smo pripravili pogačo, smo jo postavili v stiskalnico. Tlak pri stiskanju je bil 3 N/mm^2 in temperatura stiskanja $180 \text{ }^\circ\text{C}$. Po treh minutah stiskanja smo ploščo vzeli iz stiskalnice ter počakali, da se klimatizirajo pri normalni klimi (temperatura $20 \text{ }^\circ\text{C}$, relativna zračna

vlažnost 65 %). Nato smo ploščo razrezali na tri preizkušance velikosti 150 x 150 mm, tako da smo skupno imeli devet vzorcev.

Na vsak preizkušanec smo namestili dva termočlena. Eden je bil postavljen na zgornjo površino vzorca, drugi pa v sredino, kamor smo izvrtali luknjo. Poleg tega smo imeli še en termočlen na spodnji grelni plošči stiskalnice, drugi pa je meril temperaturo zraka v prostoru. S termočleni smo merili segrevanje plošče na različnih lokacijah toliko časa, dokler ni bila konstantna temperatura na lokacijah, ki smo jih merili. Na grelni plošči smo imeli tri različne temperature (40 °C, 50 °C in 60 °C), razlika temperature glede na temperaturo zraka v prostoru je bila 15 °C, 25 °C in 35 °C. Čas, po katerem je bila dosežena maksimalna temperatura vzorca, smo dobili iz enačbe, ki smo jo pomnožili s številom 5 – pri tem je 99,9 % verjetnost, da dosežemo maksimalno temperaturo (Koloini, 1985):

$$\tau = \frac{1}{k} \quad \dots (1)$$

Kjer je:

τ – čas

k – koeficient naklona premice



Slika 2: Prikaz pozicije termočlenov v plošči

3.2.1 Izračun koeficienta termične difuzivnosti a in razpolovnega časa t

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

$$\theta = \frac{T_k - T_t}{T_k - T_z} \quad \dots (2)$$

Kjer je:

θ – brezdimenzijska sprememba temperature

T_t – temperatura vzorca v času t

T_k – končna temperatura vzorca

T_z – začetna temperatura vzorca

Nato smo uporabili modificirano enačbo za celotno ploščo (Koloini, 1985):

$$1 - \theta = \frac{4}{\pi} \times e^{-\left(\frac{\pi \times at}{4 \times d^2}\right)} \quad \dots (3)$$

Za izračun sredine plošče pa smo uporabili enačbo (Koloini, 1985):

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

(4)

Kjer je:

a – koeficient termične difuzivnosti

π – konstanta (3,14)

t – čas

d – povprečna debelina plošče

Model smo uporabili v območju $0 \leq \theta \leq 0,5$ s pomočjo linearne zveze med logaritmom θ in časom eksperimenta t za celotno ploščo (Koloini, 1985):

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

(5)

Za izračun sredine plošče pa smo uporabili enačbo (Koloini, 1985):

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

(6)

k – koeficient naklona premice

Koeficient termične difuzivnosti a smo izračunali iz naslednje enačbe (Koloini, 1985):

$$a = \frac{4 \times k \times d^2}{\pi^2} \quad \dots$$

(7)

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

Termična difuzivnost je torej vrednost, ki nam pove, kako hitro potuje toplota po samem materialu. Neposredno je odvisna od gostote in specifične toplote lesa.

4 REZULTATI

S pomočjo termočlenov in računalniškega programa smo merili prehod toplote skozi iverne plošče z različnimi deleži srednjega sloja. Grelno ploščo smo segreti na tri različne temperature (40 °C, 50 °C in 60 °C). Preko termočlenov smo merili temperaturo v sredini plošče in na površini plošče vzorca dimenzij 150 x 150 mm.

V preglednici so prikazani podatki posameznih plošč za njihovo debelino, gostoto, koeficient naklona premice ter koeficienta termične difuzivnosti (enota: °C/mm debeline). Podatki so prikazani za sredino plošče ter za celotno ploščo.

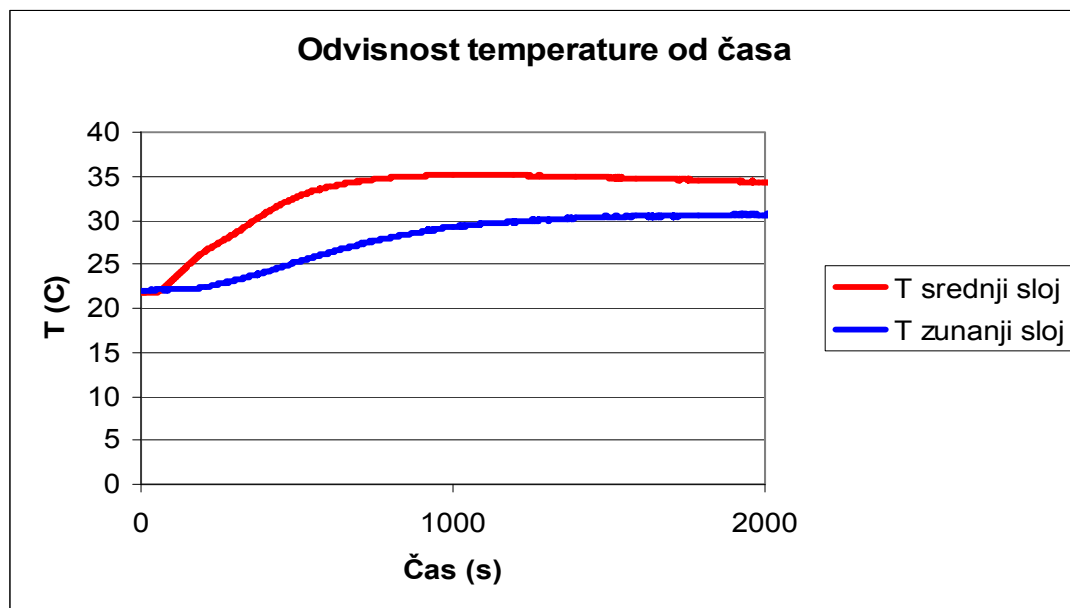
Preglednica 2: Pregled podatkov posamičnih plošč

Delež srednjega sloja	Temperatura	Debelina t (mm)	Povprečna gostota ρ (kg/m ³)	Sredina plošče		Celotna plošča	
				k	a	k	a
30%	40°C	16,87	582	0,0053	0,153	0,0024	0,277
30%	50°C	16,86		0,0023	0,066	0,0019	0,219
30%	60°C	16,90		0,0026	0,075	0,0023	0,267
45%	40°C	16,71	625	0,0015	0,042	0,0014	0,159
45%	50°C	16,73		0,0026	0,074	0,0021	0,238
45%	60°C	16,62		0,0025	0,070	0,0021	0,235
60%	40°C	16,80	560	0,0034	0,097	0,0026	0,298
60%	50°C	16,72		0,0042	0,119	0,0025	0,284
60%	60°C	16,84		0,0032	0,092	0,0028	0,322

Povprečne debeline plošč so približno enake, povprečna gostota je najvišja pri plošči z deležem srednjega sloja 45 %. Koeficient termične difuzivnosti je največji pri 60 % deležu srednjega sloja.

4.1 PLOŠČA S 30 % SREDNJEGA SLOJA PRI 40 °C

Na sliki 2 imamo prikaz segrevanja iverne plošče pri 40 °C. Delež srednjega sloja pri tem vzorcu je bil 30 %.



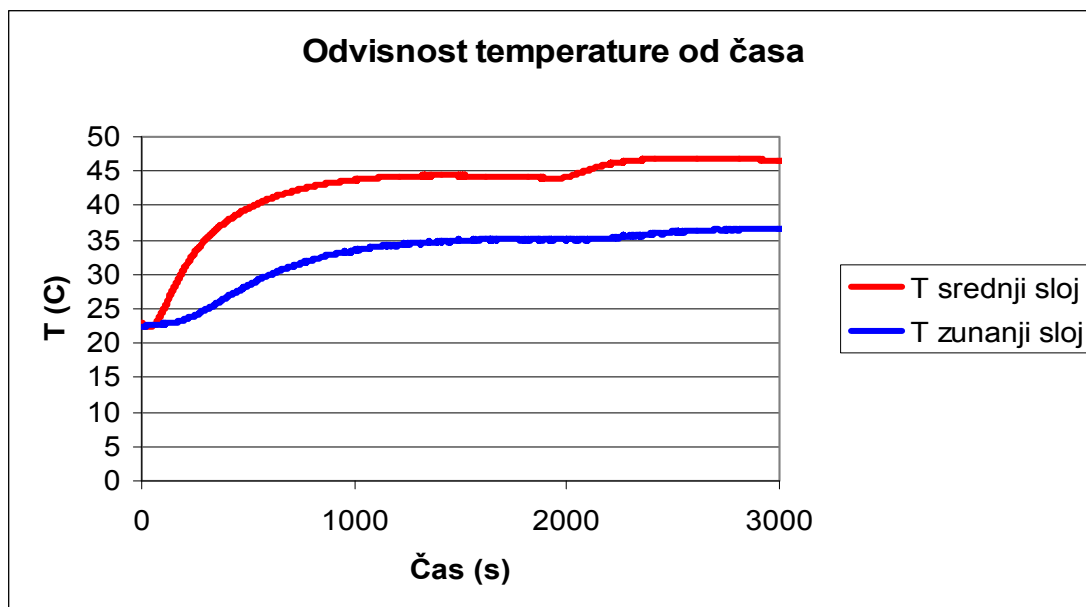
Slika 3: Graf spremembe temperature pri 30 % deležu srednjega sloja in 40 °C

Iz grafa vidimo, da je temperatura v sredini plošče višja kot na površini plošče. Maksimalna temperatura v sredini je bila 35,2 °C in je bila dosežena po približno šestnajstih minutah. Po petintridesetih minutah je bila dosežena tudi maksimalna temperatura na površini, ki je znašala 30,8 °C. Začetna temperatura plošče je bila približno 22 °C, tako da se je sredica segrela za dobrih 13 °C, površina pa za 9 °C. Najvišji temperaturi sta se razlikovali za 4,4 °C. Razlika med temperaturo zraka in temperaturo grelne plošče je bila 15 °C.

Koeficient termične difuzivnosti do sredine plošče znaša 0,153 m²/s, za celotno ploščo pa 0,277 m²/s.

4.2 PLOŠČA S 30 % SREDNJEGA SLOJA PRI 50 °C

Na sliki 3 vidimo spremembe temperature pri temperaturi grelne plošče 50 °C ter deležu srednjega sloja 30 %.



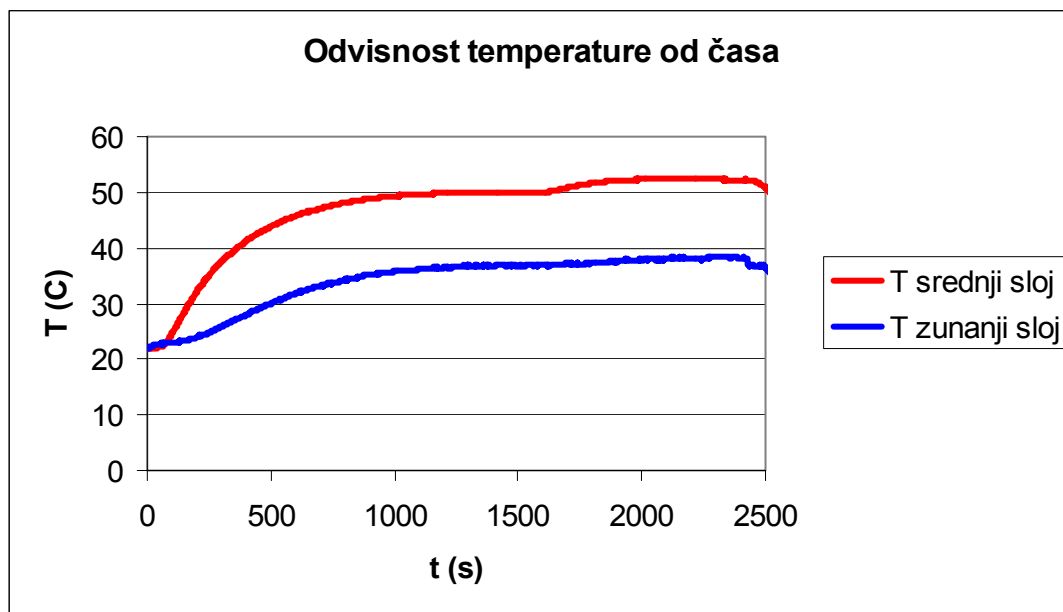
Slika 4: Graf spremembe temperature pri 30 % deležu srednjega sloja in 50 °C

Na grafu vidimo, da je temperatura v srednjem sloju višja kot na površini plošče. Maksimalna temperatura v srednjem sloju je bila dosežena po šestintridesetih minutah in je znašala 46,9 °C, na površini pa 36,8 °C po štiriinštiridesetih minutah. Od začetne do maksimalne temperature se je sredica segrela za skoraj 25 °C, površina plošče pa za skoraj 15 °C. Najvišja temperatura v sredici je za 10,1 °C višja od temperature na površini plošče. V tem primeru je bila razlika temperature med temperaturo zraka in grelno ploščo približno 25 °C.

Koeficient termične difuzivnosti do sredine plošče znaša 0,066 m²/s, za celotno ploščo pa znaša 0,219 m²/s.

4.3 PLOŠČA S 30 % SREDNJEGA SLOJA PRI 60 °C

Slika 4 prikazuje spremembo temperature pri 30 % deležu srednjega sloja ter temperaturi grelne plošče 60 °C.



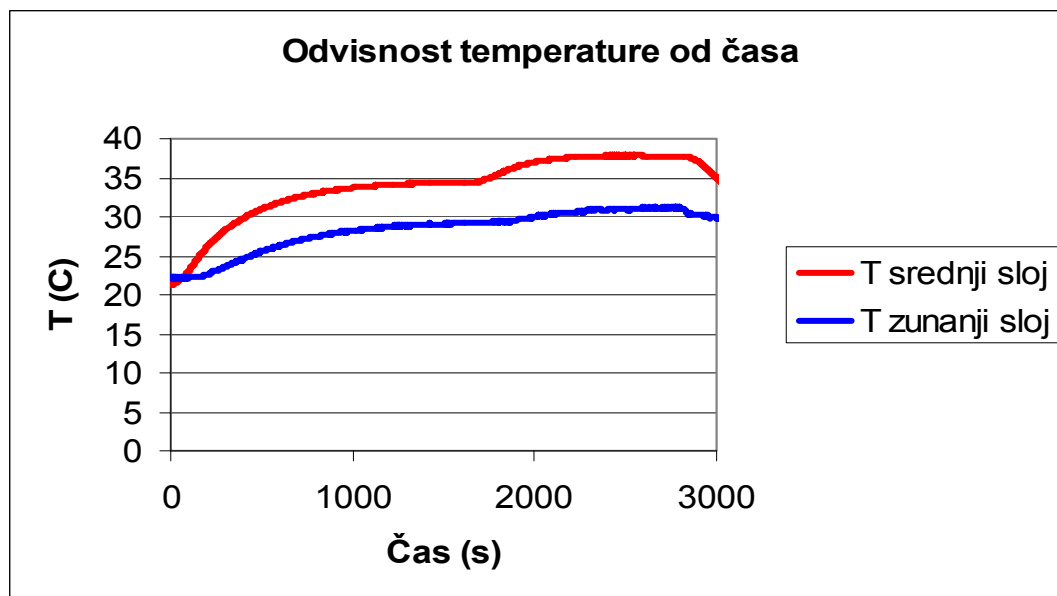
Slika 5: Graf spremembe temperature pri 30 % deležu srednjega sloja in 60 °C

Iz grafa vidimo, da je temperatura v sredici višja kot na površini. Maksimalna temperatura v sredini je bila dosežena po dvaintridesetih minutah in je znašala 52,5 °C. Na površini plošče je termočlen največ izmeril po šestintridesetih minutah in sicer 38,6 °C. Sredica se je od začetka segrela za dobrih 30 °C, medtem ko se je površina segrela za dobrih 16 °C. Razlika med obema maksimalnima temperaturama znaša 13,9 °C. V tem primeru imamo največjo temperaturno razliko med zrakom v prostoru in grelno ploščo, ta znaša 35 °C.

Koeficient termične difuzivnosti v sredini plošče znaša 0,075 m²/s, celotne plošče pa znaša 0,267 m²/s.

4.4 PLOŠČA S 45 % SREDNJEGA SLOJA PRI 40 °C

Slika 5 prikazuje spremembe temperatur pri deležu srednjega sloja 45 % ter temperaturi grelne plošče 40 °C.



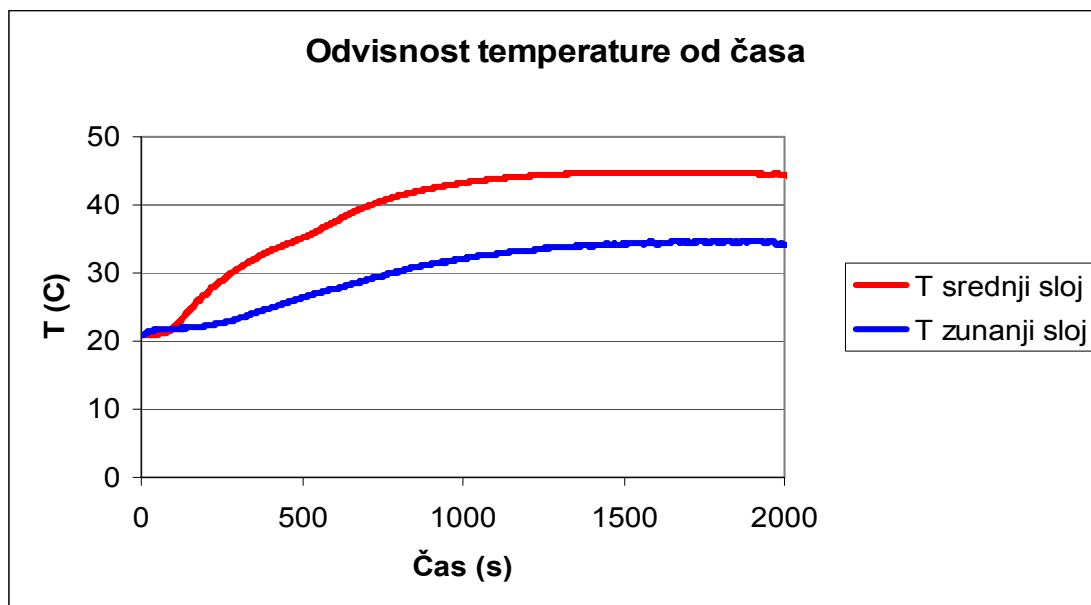
Slika 6: Graf spremembe temperature pri 45 % deležu srednjega sloja in 40 °C

Iz grafa je razvidno, da je temperatura v sredici višja kot na površini plošče. Maksimalna temperatura v srednjem sloju je bila 37,8 °C in je bila dosežena po dobrih petinpetdesetih minutah, slabih pet minut kasneje pa je maksimum dosegla površina plošče, in sicer 31,3 °C. Sredica se je v primerjavi z začetno temperaturo segrela za skoraj 16 °C, medtem ko se je površina plošče segrela za dobrih 9 °C. Maksimalni temperaturi sta se razlikovali za 6,5 °C. Razlika temperature okolja in grelne plošče je bila 15 °C.

Koeficient termične difuzivnosti v sredini plošče znaša 0,042 m²/s, za celotno ploščo pa znaša 0,159 m²/s.

4.5 PLOŠČA S 45 % SREDNJEGA SLOJA PRI 50 °C

Slika 6 prikazuje spremembe temperatur pri deležu srednjega sloja 45 % in temperaturi grelne plošče 50 °C.



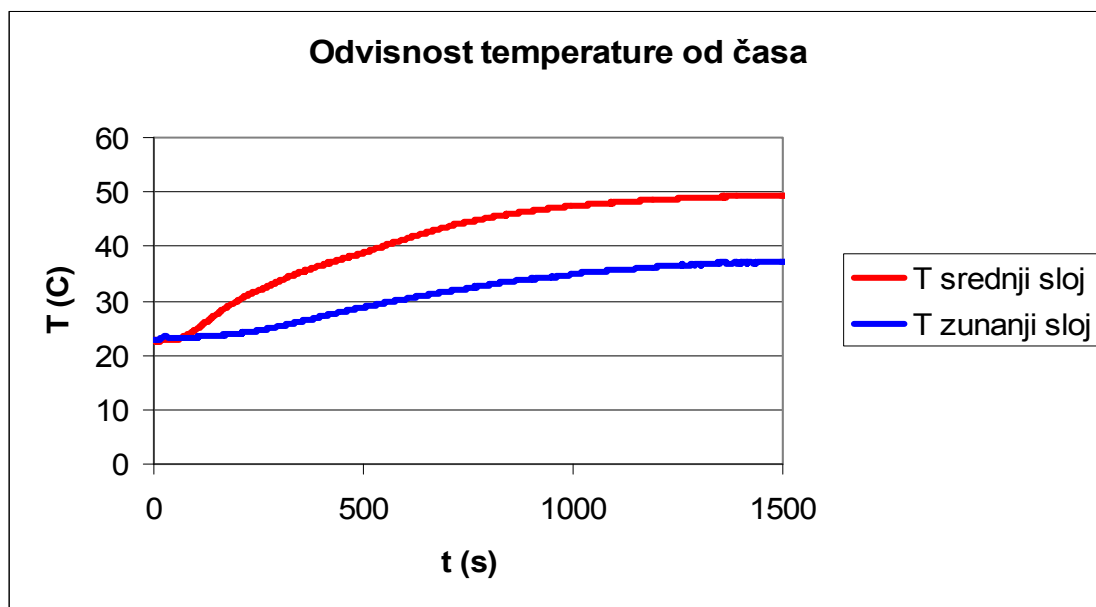
Slika 7: Graf spremembe temperature pri 45 % deležu srednjega sloja in 50 °C

Iz grafa vidimo, da je temperatura v sredini plošče višja kot na površini. Maksimalna temperatura sredine plošče je bila dosežena po dvaintridesetih minutah in je znašala 44,8 °C. Po štiridesetih minutah je najvišjo temperaturo dosegla površina, znašala je 34,8 °C. Sredina plošče se je od začetka segrela za približno 25 °C, termočlen na površini plošče pa je pokazal skoraj 15 °C višjo temperaturo. Pri maksimalnih temperaturah se je sredica za 10 °C bolj segrela. V tem primeru je razlika med temperaturo zraka in grelne plošče 25 °C.

Koeficient termične difuzivnosti sredine plošče je malenkost višji in znaša 0,074 m²/s, za celotno ploščo pa je znašal 0,238 m²/s.

4.6 PLOŠČA S 45 % SREDNJEGA SLOJA PRI 60 °C

Slika 7 prikazuje spremembo temperature pri 60 °C in deležu srednjega sloja 45 %.



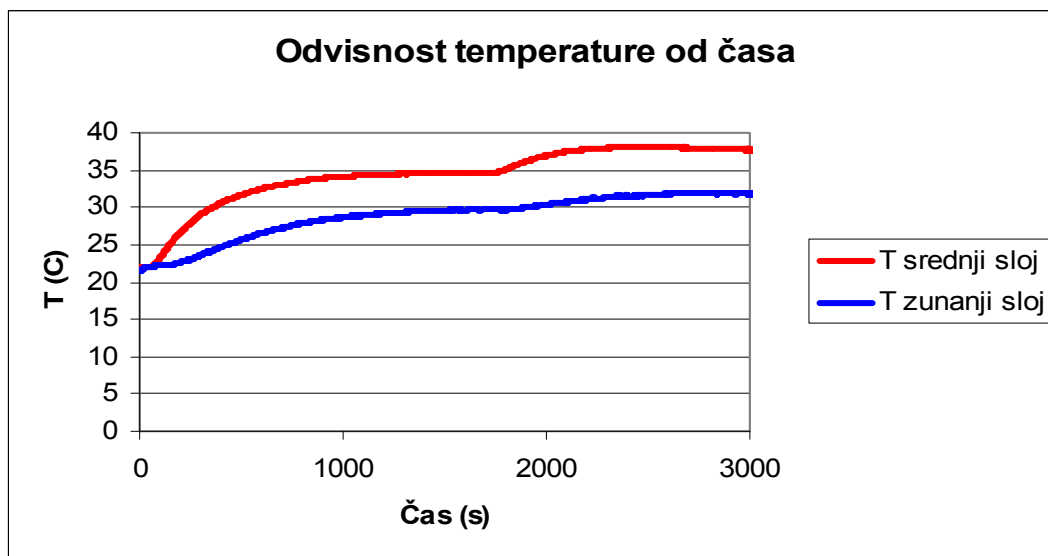
Slika 8: Graf spremembe temperature pri 45 % deležu srednjega sloja in 60 °C

Temperatura v sredini plošče je višja in tudi hitreje narašča kot na površini. Maksimalna temperatura v sredini znaša 49,5 °C in je bila dosežena po triintridesetih minutah. Po štiridesetih minutah je tudi površina plošče dosegla najvišjo temperaturo, ki znaša 37,7 °C. Sredina plošče se je od začetka segrela za največ 27 °C, površina pa za približno 15 °C. Maksimalna temperatura sredine plošče je bila 11,7 °C višja kot na površini. Razlika med temperaturo zraka in grelne plošče je znašala 35 °C.

Koeficient termične difuzivnosti sredine plošče znaša 0,070 m²/s, celotne plošče pa znaša 0,235 m²/s.

4.7 PLOŠČA S 60 % SREDNJEGA SLOJA PRI 40 °C

Na sliki 8 imamo prikaz segrevanja iverne plošče z deležem srednjega sloja 60 % pri temperaturi grelne plošče 40 °C.



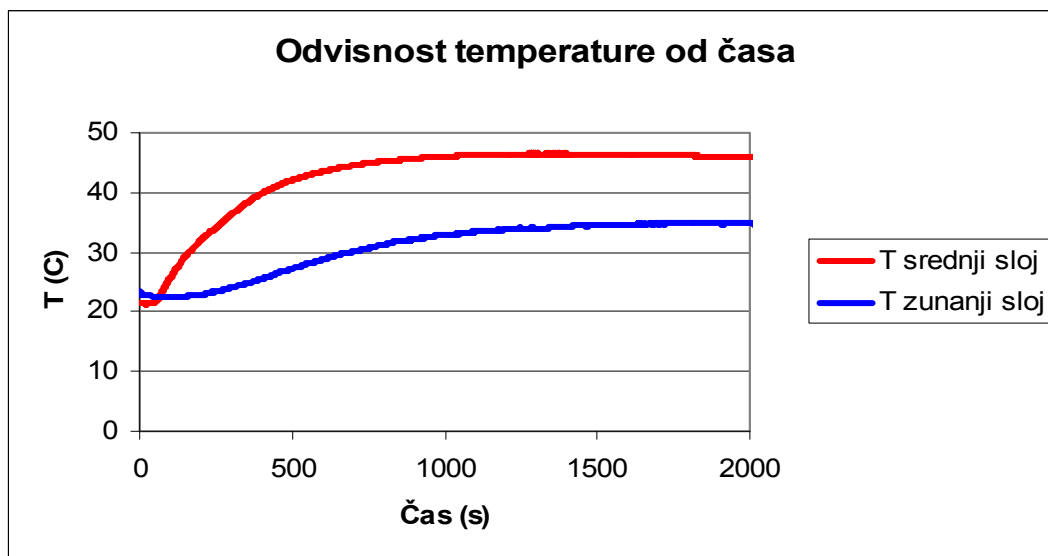
Slika 9: Graf spremembe temperature pri 60 % deležu srednjega sloja in 40 °C

Iz grafa vidimo, da je bila temperatura v sredini plošče višja kot na površini. Maksimalna temperatura v sredini je bila dosežena po štiriindvajsetih minutah in je znašala 34,6 °C. Površina plošče je maksimalno temperaturo dosegla po dvaintridesetih minutah in je znašala 29,8 °C. Od začetne temperature plošče do maksimalne je v sredini plošče narasla za dobrih 14 °C, na površini vzorca pa za približno 8 °C. Razlika med maksimalno temperaturo sredine in površine plošče je 4,8 °C. V tem primeru sta se temperaturi okolja in grelne plošče razlikovali za 15 °C.

Koeficient termične difuzivnosti sredine plošče znaša 0,097 m²/s, celotne plošče pa 0,298 m²/s.

4.8 PLOŠČA S 60 % SREDNJEGA SLOJA PRI 50 °C

Na sliki 9 vidimo spremembo temperature iverne plošče s 60 % deležem srednjega sloja pri temperaturi grelne plošče 50 °C.



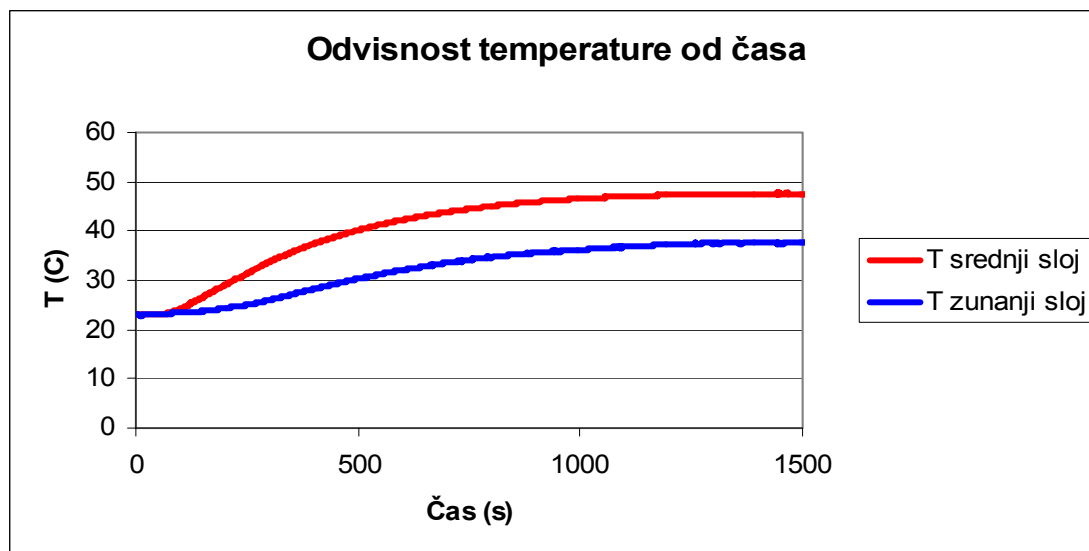
Slika 10: Graf spremembe temperature pri 60 % deležu srednjega sloja in 50 °C

Na grafu vidimo, da je temperatura v sredini plošče višja kot na površini. Najvišja temperatura v sredini je bila dosežena po dvajsetih minutah in znaša 46,5 °C, površina plošče pa se je najbolj segrela po triintridesetih minutah in je bila segreta na 35 °C. Sredina se je največ segrela za približno 25 °C, površina pa za 12 °C. Razlika med obema maksimalnima temperaturama znaša 11,5 °C. Razlika med temperaturo okolja in grelno ploščo je znašala 25 °C.

Koeficient termične difuzivnosti v sredini plošče znaša 0,119 m²/s, celotne plošče pa 0,284 m²/s.

4.9 PLOŠČA S 60 % SREDNJEGA SLOJA PRI 60 °C

Na sliki 10 vidimo spremembo temperature pri temperaturi grelne plošče 60 °C in deležem srednjega sloja 60 %.



Slika 11: Graf spremembe temperature pri 60 % deležu srednjega sloja in 60 °C

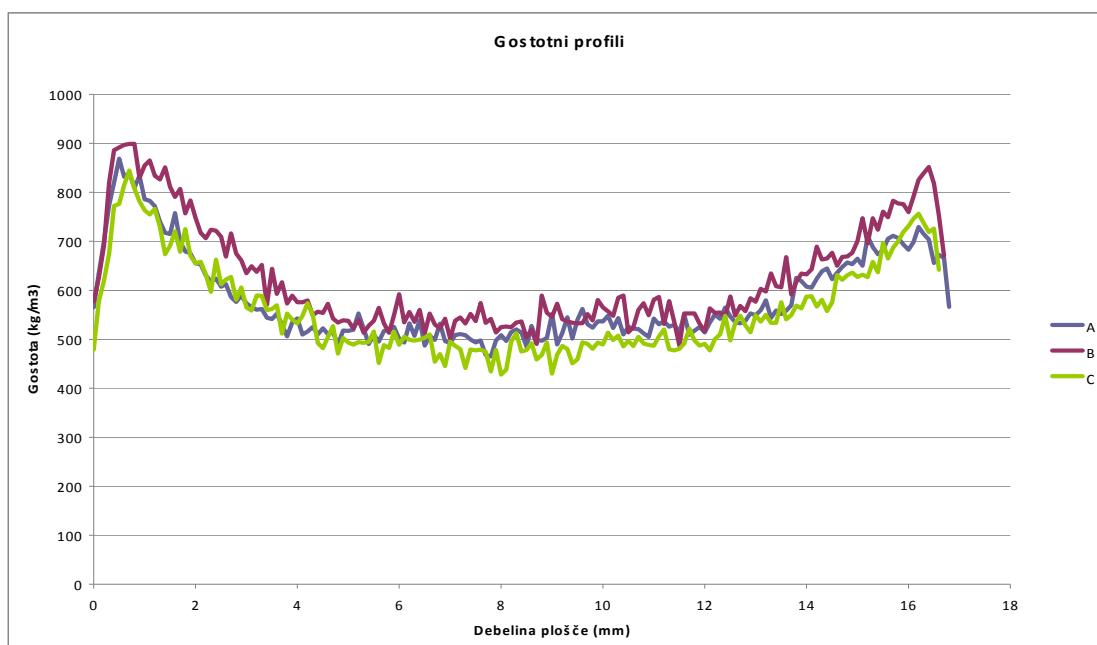
Iz grafa vidimo, da je temperatura v sredini plošče višja kot temperatura na površini. Najvišja temperatura v sredini je bila izmerjena po šestindvajsetih minutah in znaša 47,7 °C. Na površini plošče je bila maksimalna temperatura 38 °C in je bila izmerjena po tridesetih minutah. Sredina plošče se je največ segrela za skoraj 24 °C, površina pa za 15 °C. Maksimalni temperaturi se razlikujeta za 9,7 °C. V tem primeru je bila razlika med temperaturo grelne plošče in temperaturo okolja 35 °C.

Koeficient termične difuzivnosti sredine plošče znaša 0,092 m²/s, za celotno ploščo pa 0,322 m²/s.

5 RAZPRAVA

Iz grafov odvisnosti temperature od časa je razvidno, da je temperatura v sredini višja od temperature na površini. Višja kot je bila temperatura grelne plošče, večja je bila razlika med najvišjo in najnižjo temperaturo na sredini in površini plošče.

Zaradi različnih deležev posameznega sloja je prišlo do razlik tudi v gostotnem profilu (Slika 12), ter gostoti posameznih slojev (Preglednica 3).

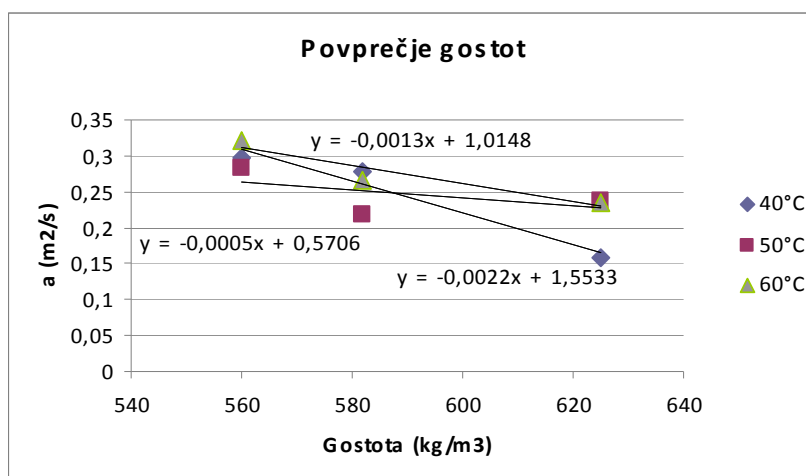


Slika 12: Graf gostotnih profilov posameznih plošč (A – 30 % delež srednjega sloja, B – 45 % delež srednjega sloja, C – 60 % delež srednjega sloja)

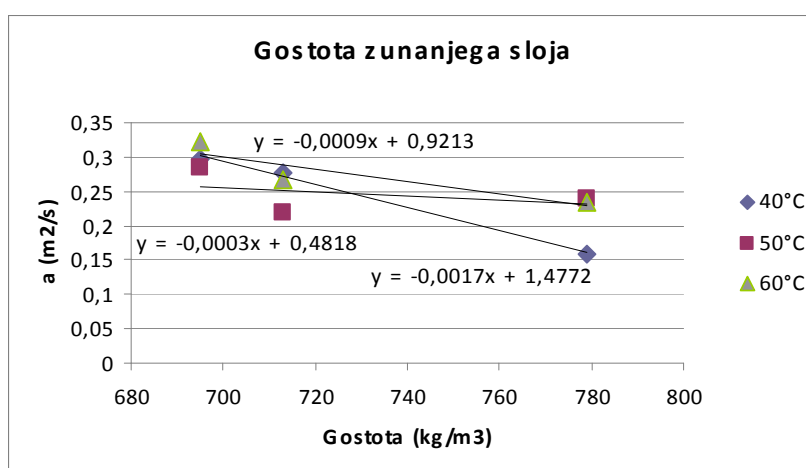
Preglednica 3: Gostota posameznega sloja glede na strukturo plošče

Plošča	Delež CL	Gostota SL [kg/m ³]	Gostota CL [kg/m ³]
A	30 %	713	538
B	45 %	779	574
C	60 %	695	515

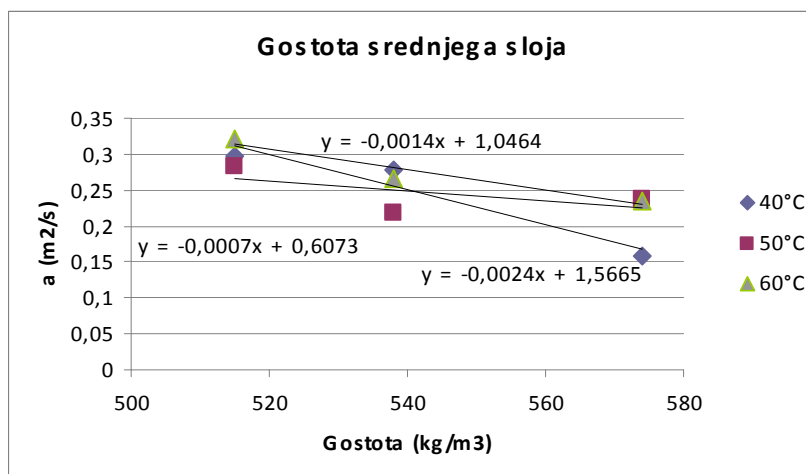
Korelacija med gostoto plošče in koeficientom termične difuzivnosti je prikazana na slikah 13, 14 in 15.



Slika 13: Graf vpliva gostote od koeficienta termične difuzivnosti za celotno ploščo



Slika 14: Graf vpliva gostote od koeficienta termične difuzivnosti za zunanji sloj



Slika 15: Graf vpliva gostote od koeficienta termične difuzivnosti za srednji sloj

Ugotavljamo, da z naraščanjem gostote koeficient termične difuzivnosti pada. Glede na spremembo koeficienta termične difuzije v odvisnosti od gostote lahko ugotovimo, da je vpliv srednjega sloja bolj izrazit kakor vpliv zunanega sloja. Kljub najvišji gostoti smo opazili najmanjši koeficient termične difuzije pri plošči s 45 % deležem srednjega sloja. Pri tej plošči lahko ugotovimo največjo razliko med gostoto zunanega in srednjega sloja. Iz gostotnega profila (Slika 12) lahko predvidimo, da je delež praznih prostorov najvišji pri plošči s 45 % deležem srednjega sloja, kar pripomore k upočasnitvi segrevanja.

Ob upoštevanju enačbe 8 lahko ugotovimo korelacijo med koeficientom termične difuzivnosti in toplotno prevodnostjo:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \times c_p} \quad \dots$$

(8)

Kjer je:

λ – toplotna prevodnost

a – koeficient termične difuzivnosti

ρ – gostota

c_p – specifična toplota

Iz enačbe vidimo, da večji kot je koeficient termične difuzivnosti, večja je toplotna prevodnost.

6 SKLEPI

Ugotovili smo, da zgradba plošče oz. delež srednjega sloja vpliva na segrevanje plošče oz. koeficient termične difuzivnosti.

Vpliv strukture (deleža srednjega sloja) je bolj razviden pri nižjih temperaturah.

S povišanjem gostote se koeficient termične difuzivnosti zmanjšuje, zmanjšuje pa se tudi toplotna prevodnost.

Najnižji koeficient termične difuzivnosti ima plošča s 45 % deležem srednjega sloja.

7 **VIRI**

Aguilar H. 2006. Study of the rheology of deformable porous media: application to paper production. PhD Thesis in Chemical Engineering. Porto, Faculty of Engineering from University of Porto

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

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

Koloini T. 1985. Prenos toplote in snovi. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani: 331 str.

Največ energije porabimo za ogrevanje prostorov. Energija in okolje. 2011. Ljubljana, Delo in Dom.
<http://www.deloindom.si/najvec-energije-porabimo-za-ogrevanje-prostorov>
(24. jul. 2011)

Ogrevanje, prezračevanje in nadzor. Prezračevanje prostorov. 2011. Ljubljana, EA ELEKTRONIKA d.o.o.
<http://www.eaelektronika.com/?prezracevalna-naprava-z-do-90-rekuperacije-toplote,71>
(19. jul. 2011)

Siau J.F. 1995. Wood. Influence of moisture on physical properties. NY, 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>

Thoemen H., Irle M., Sernek M. 2010. *Wood-Based Panels – An Introduction for Specialists*. Brunel University Press: 124-126

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 pomoč pri izvedbi eksperimenta in za neprestano pomoč in napotke pri pisanju diplomskega projekta.

Zahvalil bi se tudi rad prof. dr. Željku Gorišku za strokovno recenzijo diplomskega projekta. Zahvaljujem pa se tudi vsem profesorjem in ostalim zaposlenim, ki so v času mojega študija pripomogli k uspešnemu zaključku le tega.

Zahvaljujem se tudi mojima staršema za finančno in moralno podporo tekom mojega študija.