

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej KURNIK

**LASTNOSTI LAHKIH PLOŠČ S SREDICO IZ SLAME**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

Popravki:

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej KURNIK

**LASTNOSTI LAHKIH PLOŠČ S SREDICO IZ SLAME**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT PANELS WITH CORE FROM  
STRAW**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega 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 vse meritve v laboratoriju za preizkušanje lesnih tvoriv.

Študijska komisija Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenovala doc. dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa izr. prof. dr. Milana Šerneka.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Andrej Kurnik

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

ŠD	Dn
DK	UDK 699.86:677.541
KG	toplotna prehodnost/izolativnost/mehanske lastnosti/slama
AV	KURNIK, Andrej
SA	MEDVED, Sergej (mentor)/ŠERNEK, Milan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2010
IN	LASTNOSTI LAHKIH PLOŠČ S SREDICO IZ SLAME
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	VIII, 45 str., 6 pregl., 26 sl., 10 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	<p>Proučevali smo možnost uporabe slame za izdelavo ploščnega kompozita. Izdelali smo 4 vrste plošč, in sicer z gostoto 200, 300 in 400 kg/m<sup>3</sup>. Pri uporabi plošče iz slame, kot sredice za lahki ploščni kompozit, smo kot zunanji sloj uporabili 8 mm debelo iverno ploščo. Proučevali smo nabrek po 24-urni izpostavitvi vodi, tlačno trdnost, upogibno trdnost in prehod toplote. Ugotavljali smo tudi prehod toplote, in sicer smo plošče izpostavili temperaturam 40, 60 in 80 °C, oziroma temperaturnim razlikam 15, 35 in 55 °C. Ugotovili smo, da ima po 24-urni izpostavitvi vodi plošča z gostoto 200 kg/m<sup>3</sup> večji nabrek od plošče z gostoto 400 kg/m<sup>3</sup>, kar je posledica bolj porozne strukture in lažjega ter hitrejšega prodiranja vode v ploščo. S pomočjo tlačne obremenitve smo ugotovili, da je najgostejša plošča na tlak najbolj odporna. Pri upogibni trdnosti imajo plošče z višjo gostoto višji modul elastičnosti in višjo upogibno trdnost. Najpočasneje je temperatura prehajala skozi ploščo gostote 300 kg/m<sup>3</sup>.</p>

**KEY WORDS DOCUMENTATION**

DN Dn  
DC UDC 699.86:677.541  
CX Heat transfer/insulation/mechanical properties/straw  
AU KURNIK, Andrej  
AA MEDVED, Sergej (supervisor)/ŠERNEK, Milan (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 PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT PANELS WITH CORE FROM STRAW  
DT Graduation Thesis (University studies)  
NO VIII, 45 p., 6 tab., 26 fig., 10 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB We studied the possibility of using straw to manufacture the particle type boards. We made boards with density among 200 and 400 kg/m<sup>3</sup>. A board from straw was used as a core layer for lightweight panel, while 8 mm particleboard as a surface layer. Thickness swelling, compression strength, bending strength and heat conductivity were determined. Heat conductivity was determined by one sided exposure to 40, 60 and 80 °C. The temperature difference between 2 opposite sides was 15, 35 and 55 °C. We have determined that the board with density 200 kg/m<sup>3</sup> swell more then denser boards. The highest resistance towards compression was observed at the boards with higher density, where also the highest bending strength was observed. Slowest increase in temperature was determined at boards with 300 kg/m<sup>3</sup> density.

**KAZALO VSEBINE**

<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....</b>	<b>III</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION .....</b>	<b>IV</b>
<b>KAZALO VSEBINE .....</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>VIII</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA .....	2
1.2 CILJ RAZISKOVANJA .....	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE .....	2
<b>2 PREGLED OBJAV .....</b>	<b>3</b>
2.1 GRADIVA IN NJIHOVE IZOLACIJSKE LASTNOSTI .....	6
2.1.1 Les .....	6
2.1.2 Glina .....	6
2.1.3 Slama .....	6
2.1.4 Trstika .....	7
2.1.5 Ovčja volna .....	7
2.1.6 Celulozni kosmiči .....	7
2.1.7 Konoplja .....	8
2.1.8 Lan .....	8
2.1.9 Bombaž .....	8
2.1.10 Kokosova vlakna .....	8
2.1.11 Pluta .....	8
2.2 MATERIALI ZA LAHKE PLOŠČNE KOMPOZITE .....	9
2.2.1 Iveri .....	9
2.2.2 "Strandsi" .....	9
2.2.3 Lesna vlakna .....	9
2.3 MEHANSKE LASTNOSTI PLOŠČ IZ SLAME .....	10
<b>3 MATERIAL IN METODE .....</b>	<b>12</b>
3.1 PREDSTAVITEV RAZISKAVE .....	12
3.2 MATERIAL .....	12

3.2.1	<b>Slama</b> .....	12
3.2.2	<b>Iverna plošča</b> .....	13
3.2.3	<b>Melaminsko lepilo</b> .....	13
3.3	<b>METODE</b> .....	14
3.3.1	<b>Priprava slame</b> .....	14
3.3.2	<b>Oblepljanje</b> .....	14
3.3.3	<b>Stiskanje plošč</b> .....	15
3.3.4	<b>Stiskanje ploščnih kompozitov</b> .....	15
3.3.5	<b>Ugotavljanje mehanskih lastnosti</b> .....	16
3.3.6	<b>Merjenje sprostitve napetosti ob odprtju stiskalnice – springback (SB)</b> 16	
3.3.7	<b>Merjenje tlačne trdnosti</b> .....	16
3.3.8	<b>Priprava plošč za ugotavljanje toplotne prevodnosti</b> .....	16
3.3.9	<b>Ugotavljanje toplotne prevodnosti</b> .....	16
4	<b>REZULTATI</b> .....	18
4.1	<b>REZULTATI MEHANSKIH LASTNOSTI</b> .....	18
4.1.1	<b>Povprečne mehanske lastnosti LPK</b> .....	18
4.1.2	<b>SB in nabrek po 24-urni izpostavitvi vodi</b> .....	19
4.1.2	<b>Tlačna trdnost</b> .....	19
4.1.3	<b>Upogibna trdnost</b> .....	20
4.2	<b>REZULTATI TOPLOTNO IZOLACIJSKIH LASTNOSTI</b> .....	21
4.2.1	<b>Preglednica s povprečnimi rezultati</b> .....	21
4.2.2	<b>Gostota 400 kg/m<sup>3</sup>, cela slama</b> .....	24
4.2.3	<b>Gostota 400 kg/m<sup>3</sup>, iverena slama</b> .....	27
4.2.4	<b>Gostota 200 kg/m<sup>3</sup>, iverena slama</b> .....	30
4.2.5	<b>Gostota 300 kg/m<sup>3</sup>, iverena slama</b> .....	33
5	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI</b> .....	36
5.1	<b>MEHANSKE LASTNOSTI SLAMNATIH PLOŠČ</b> .....	36
5.1.1	<b>Gostota, SB in nabrek po 24-urni izpostavitvi vodi</b> .....	36
5.1.2	<b>Tlačna trdnost</b> .....	37
5.1.3	<b>Upogibna trdnost</b> .....	38
5.2	<b>TOPLOTNO IZOLATIVNE LASTNOSTI SLAMNATIH PLOŠČ</b> .....	38
5.3	<b>SKLEPI</b> .....	42
6	<b>POVZETEK</b> .....	43
7	<b>VIRI</b> .....	45

**ZAHVALA**



**KAZALO SLIK**

Slika 1: Slama v bali (Grobovšek, 2009).....	3
Slika 2: Slamnata izolacija ostrešja ( <a href="http://www.knaufinsulation.si">http://www.knaufinsulation.si</a> ).....	3
Slika 3: Slamnato ostrešje (Grobovšek, 2009) .....	4
Slika 4: Zvočna izolacija slamnate stene (Dalmeijer R. 2009) .....	4
Slika 5: Vrednost zvočne zaščite v odvisnosti od gostote ( <a href="http://www.xella.si">http://www.xella.si</a> ).....	5
Slika 6: Plošče izdelane iz slame ( <a href="http://www.archicentral.com">http://www.archicentral.com</a> ) .....	10
Slika 7: Stena iz slame v bali (Jung in Himmelsbach, 1989) .....	11
Slika 8: Cela slama .....	14
Slika 9: Priprava, stiskanje in kondicioniranje plošč.....	15
Slika 10: Preizkušanje tlačne trdnosti.....	20
Slika 11: Preizkušanje upogibne trdnosti .....	20
Slika 12: Prehod toplote v odvisnosti od časa, prikaz termočlenov glede na sloj merjenja.....	21
Slika 13: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 40 °C za ploščo št. 2 iz cele slame gostote 400 kg/m <sup>3</sup> .....	24
Slika 14: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 60 °C za ploščo št. 2 iz cele slame gostote 400 kg/m <sup>3</sup> .....	25
Slika 15: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 80 °C za ploščo št. 2 iz cele slame gostote 400 kg/m <sup>3</sup> .....	26
Slika 16: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 40 °C za ploščo št. 4 iz iverene slame gostote 400 kg/m <sup>3</sup> .....	27
Slika 17: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 60 °C za ploščo št. 4 iz iverene slame gostote 400 kg/m <sup>3</sup> .....	28
Slika 18: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 80 °C za ploščo št. 4 iz iverene slame gostote 400 kg/m <sup>3</sup> .....	29
Slika 19: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 40 °C za ploščo št. 5 iz iverene slame gostote 200 kg/m <sup>3</sup> .....	30
Slika 20: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 60 °C za ploščo št. 5 iz iverene slame gostote 200 kg/m <sup>3</sup> .....	31
Slika 21: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 80 °C za ploščo št. 5 iz iverene slame gostote 200 kg/m <sup>3</sup> .....	32
Slika 22: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 40 °C za ploščo št. 8 iz iverene slame gostote 300 kg/m <sup>3</sup> .....	33
Slika 23: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 60 °C za ploščo št. 8 iz iverene slame gostote 300 kg/m <sup>3</sup> .....	34
Slika 24: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 80 °C za ploščo št. 8 iz iverene slame gostote 300 kg/m <sup>3</sup> .....	35
Slika 25: Primerjava prehoda toplote v srednjem sloju pri temperaturi 60 °C za ploščo 200, 300 in 400 kg/m <sup>3</sup> .....	39
Slika 26: Primerjava prehoda toplote v zunanem sloju pri temperaturi 60 °C za ploščo 200, 300 in 400 kg/m <sup>3</sup> .....	40

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Količine in materiali za sestavo plošče.....	15
Preglednica 2: Količine in materiali za sestavo plošče.....	18
Preglednica 3: Povprečne mehanske lastnosti plošč.....	18
Preglednica 4: Povprečni rezultati dosežene temperature in časa prehajanja za temperaturo 40°C. ....	22
Preglednica 5: Povprečni rezultati dosežene temperature in časa prehajanja za temperaturo 60°C. ....	22
Preglednica 6: Povprečni rezultati dosežene temperature in časa prehajanja za temperaturo 80°C. ....	22

## 1 UVOD

Danes se od vseh lesnih ploščnih kompozitov najpogosteje uporablja iverna plošča. Zaradi specifičnih lastnosti se lahko uporablja tako za izdelavo pohištva, kakor tudi v konstrukcijske – gradbene namene. Iverne plošče so izdelane iz naključno usmerjenih iveri. Za izdelavo iverja se uporabljajo krajniki, žagovina, lesni ostanki in tehnološko manjvreden ali odslužen les. To surovino nato iverimo in dobimo majhne delce – iveri, relativno enakih velikosti in oblik. Primerni so tako listavci kot iglavci. Po obliki in velikosti iverja pa so zelo podobne plošče izdelane iz slame, le da imamo v tem primeru slamnato iverje.

Danes vedno iščemo novejša materiale z boljšimi lastnostmi, in čim manjšimi vplivi na okolje. Nekateri materiali pa lahko postanejo zopet aktualni potem, ko so se nekoč že uporabljali. Tako je tudi s slamo. Slama ima dobre toplotno izolativne lastnosti in ima možnost nadaljnje obdelave, kar nam daje možnost uporabe slame za izdelavo plošč, predvsem za lahke ploščne kompozite. Slama ima relativno majhno težo, lahko jo dokaj enostavno pridobivamo, je okolju prijazen material in ima možnost stiskanja in zgoščevanja. Slamo lahko iverimo in tako dobimo delce slame relativno enakih oblik in velikosti, kar je bistveno pri izdelavi kompozitov, saj s tem povečamo enakomernost porazdelitve lastnosti po celotni plošči. Glede na njene neizrazite mehanske lastnosti, ki so potrebne pri ploščah za konstrukcijske namene, je le ta primerna za uporabo z ostalimi materiali kot na primer za oblaganja z drugimi kompoziti ali kot polnilo. Najbolj izrazita lastnost slame je toplotna izolativnost in je zaradi tega najprimernejša za uporabo v izolacijske namene. (Kunič 2009)

Lahki ploščni kompoziti pa imajo še veliko drugih lastnosti zaradi katerih se je njihova uporaba močno povečala. Ena izmed zelo pomembnih lastnosti je dimenzijska stabilnost. Z zmanjšanjem delcev in naključno usmeritvijo le teh dosežemo veliko dimenzijsko stabilnost, problematično je zgolj delovanje v vertikalni smeri oziroma debelinski nabrek. Z izdelavo ploščnih kompozitov dosežemo celovito izrabo lesne mase, kar pomeni, da je zelo dober izkoristek surovine, kjer ni zahtevana visoka kvaliteta. Te plošče imajo relativno homogeno strukturo ter mehanske, fizikalne in reološke lastnosti. Ploščni kompoziti so enostavni za nadaljnjo predelavo in obdelavo, njihova uporaba je primerna tako za pohištvo kot tudi v gradbeništvu.

Danes se vse pogosteje srečujemo s problemi ogrevanja objektov oz. bivalnih prostorov. Problem ni kako ogreti prostor ali s čim, ampak kako to storiti najceneje, konkurenca je tu močna, vendar pa lahko v tej smeri veliko naredimo že v fazi gradnje hiše ali pa ob

adaptaciji. Prav tu pa imajo največjo prednost ravno naravni materiali, kot npr. lesna oz. lignocelulozna vlakna, slama, itd., kar bo vse bolj prihajalo do izraza.

Lahki ploščni kompoziti pa so zaradi svoje relativno nizke gostote primerni tudi kot izolacijski material. Predvsem je pomembno, kateri so gradniki za izdelavo kompozita. Slama ima zelo dobre izolativne lastnosti in ima tudi nizko gostoto. Predvsem so materiali s tako nizko gostoto primerni za sredice ploščnih kompozitov. Zaradi nizke gostote teh materialov so le ti ponavadi tudi relativno lahki, kar je zelo primerno, saj zmanjšamo obremenitev na nosilno konstrukcijo. Z majhno gostoto in relativno malo materiala dosežemo zelo dobre izolativne lastnosti ploščnega kompozita.

## 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Izdelali smo lahke plošče iz slame. Za določitev lastnosti tem ploščam bomo izpostavili dva aspekta in sicer njihove mehanske in izolacijske lastnosti. Slama ima že v svoji naravni obliki zelo dobre izolacijske lastnosti. Slama je ekološko sprejemljiv material, energijsko varčna in lahka. Slamo lahko iverimo in tako dobimo delce relativno enakih velikosti, je lahka, stisljiva in lahko jo brez večjih težav pridobivamo. Ob teh prednostih in slabostih lahko sklepamo, da je zelo primerna za izdelavo lahkih ploščnih kompozitov.

## 1.2 CILJ RAZISKOVANJA

Cilj raziskave je ugotoviti primernost slame za izdelavo ploščnega kompozita z gostoto med 200 in 400 kg/m<sup>3</sup>.

## 1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Različne gostote plošč izdelane iz slame vplivajo na različne rezultate, ki jih bomo dobili. Prav tako na različne rezultate vplivajo različni materiali, ki jih uporabimo. Za slamo je znano, da ima zelo dobre toplotno izolativne lastnosti. V raziskovanju pa bomo poskušali ugotoviti, kako spreminjanje gostote plošč vpliva na prehod toplote. Predpostavljamo, da bo prehod toplote počasnejši skozi presek plošče pri ploščah z višjo gostoto. Izdelane plošče imajo različen gostotni profil po debelini plošče, kar vpliva na različen potek temperature in hitrost prehajanja. Skozi gostejši del temperatura prehaja hitreje kot skozi redkejši del zaradi stika delcev med seboj, posledično s tem manj praznih prostorov, kar zavira hitrost prehoda toplote.

## 2 PREGLED OBJAV

V Franciji in Nemčiji so pred približno desetimi leti pričeli z pridelovanjem industrijske konoplje v namene izdelovanja izolacijskih materialov. (Kymalainen in Sjoberg, 2008) Bili so največji pridelovalci konoplje v Evropi. Tako so za uporabo v izolacijske namene nasadili 1500 ha konoplje. Danes na primer konopljina vlakna za izolacijo predstavljajo v Evropi približno 0.5 %. Razlog za to je previsoka cena, ki je v primerjavi z mineralno volno kar dvakrat višja.



Slika 1: Slama v bali (Grobovšek, 2009)

Slama se kot izolacijski material v gradbeništvu že uporablja in sicer ne samo za kritino (slika 3), ampak tudi za stensko izolacijo predvsem pri skeletni gradnji ter pri izolaciji strehe. (slika 2) Za stensko izolacijo se uporablja slama v balah (slika 1), ki je nato ometana še z glino.



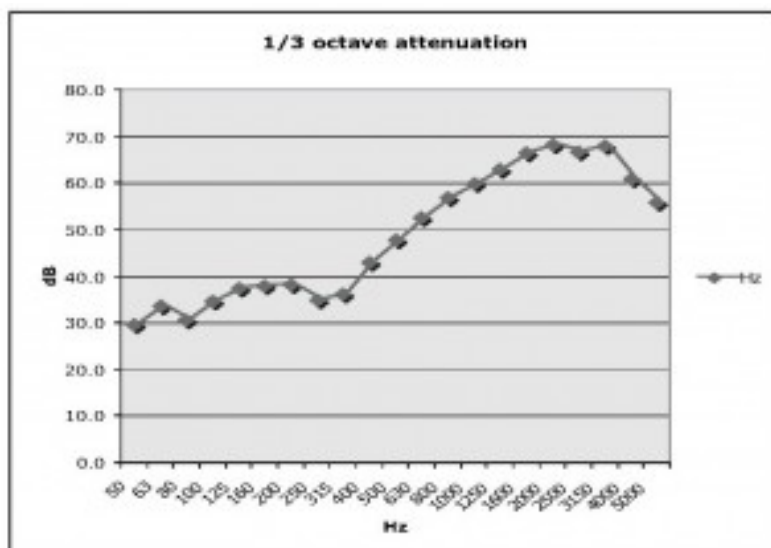
Slika 2: Slamnata izolacija ostrešja (<http://www.knaufinsulation.si>)

Wanek (1978) navaja: »ali so hiše iz slame hiše prihodnosti, če pa so jih delali že stoletja pred nami?« Leta 1980 je bila slama prisotna pri gradnji nekega naselja v Nebraski, kjer so izdelovali skeletne hiše z lesnim ogrodjem, za stene pa so uporabili bale slame. Kot je bilo že dolgo znano, se je spet potrdilo dejstvo, da je slama zelo dober izolator.



Slika 3: Slamnato ostrešje (Grobovšek, 2009)

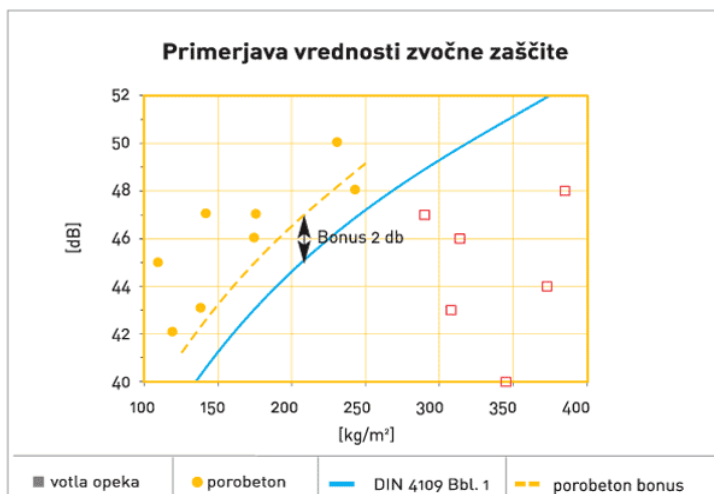
Slama se lahko uporablja tudi kot zvočni izolator. Test je bil izveden v zvočni komori po ISO 140-3 standardu. Stena je bila izdelana iz bal slame in zemlje ter ometana. Bala slame je bila široka 46 cm in je imela gostoto 120 - 130 kg/m<sup>3</sup>. Omet je bil na eni strani debel 25mm, na drugi pa 35 mm. Pokazala se je izredno dobra zvočna izolativnost take stene. Ugotovili so tudi, da je problem pri zvočni izolaciji povsod drugje kot pri stenah in sicer pri oknih, vratih ali ostalih predelih. Pri zelo debelem ometu, 35 mm se je izkazalo, da posebej dobro deluje pri nizkih frekvencah. Rezultat izražajo v dB in sicer 53 dB na to gostoto. Morda se to zdi nizka vrednost, vendar je to zelo dobro. Večina materialov ima višjo gostoto in precej slabšo vrednost dB. (Dalmeijer, 2009)



Slika 4: Zvočna izolacija slamnate stene (Dalmeijer R. 2009)

Gostota ytonga je 400 kg/m<sup>3</sup> in sodi med boljše izolacijske materiale. Standardna izolacija znaša 32 dB, kar pomeni, da se za takšno vrednost zmanjša jakost zvoka. Višji kot je ta faktor, boljša je izolativnost. Slika 4 nam prikazuje zvočno izolativnost slamnate stene. Na osi x (vodoravno) imamo frekvenco v Hz, na osi y (navpično) pa jakost zvoka v dB.

Opazimo lahko povečanje jakosti zvoka s povečanjem frekvence. Meritev je potekala v frekvenčnem pasu širine ene tretjine oktave. Na sliki 5 lahko vidimo zvočno zaščito v odvisnosti od gostote za votlo opeko, porobeton in porobeton bonus. Zvočna zaščita se izboljšuje s povišano gostoto.



Slika 5: Vrednost zvočne zaščite v odvisnosti od gostote (<http://www.xella.si>)

Pri toplotno izolacijskih materialih se je z uporabniškega vidika v praksi uveljavila delitev na tradicionalne materiale in ekološke ali alternativne materiale.

Ekološka ali alternativna gradiva so brez škodljivih emisij (naravna gradiva kot so kamen, les in glina ter nekatera gradiva živalskega ali rastlinskega izvora, ki ne sproščajo hlapov, prahu, vlaken, strupov, radioaktivnih snovi).

Poznamo reciklirana gradiva, ki se lahko predelajo v nove surovine kot so kamen, malta, steklo in regenerativna gradiva, ki se lahko ponovno uporabijo, kot so bloki iz masivnega kamna, polna opeka, steklo, nekateri leseni in kovinski elementi.

Slama se je torej že v preteklosti uporabljala za izolacijske namene, ker je znana po dobrih izolacijskih lastnostih. Obstaja pa še kar nekaj gradiv, ki so jih uporabljali za toplotno izolacijske namene.

Danes poznamo nekaj lahkih kompozitov, kjer pogoj ni velika nosilnost, temveč je v ospredju predvsem nizka teža plošče. Eden od teh materialov je stadur, ki je sestavljen iz dveh tankih trdih kompaktnih plošč in penjene sredice različnih debelin. Plošča enega kvadratnega metra in debeline 10 mm tehta 2,15 kg, primeren je predvsem za grafične postavitve. Poznamo tudi lahke plošče z jedrom iz poliuretanske pene. Namenjene so za ročno ali strojno kaširanje slik, fotografij in plakatov različnih dimenzij. Omogočajo

izdelavo lahkih tabel za notranje namene. Kot lahek ploščni kompozit danes poznamo tudi lahko iverno ploščo, primerno predvsem za izdelavo vratnih kril. Uporaba posebnih mešanic lesov daje plošči relativno visoko gostoto, kar ji zagotavlja dobre mehanske lastnosti. (Koivula, 2005)

## 2.1 GRADIVA IN NJIHOVE IZOLACIJSKE LASTNOSTI

### 2.1.1 Les

Les je zelo uporabno vsestransko naravno gradivo. Uporablja se kot konstrukcijsko gradivo, gradivo za kritine, kot surovina za številne polizdelke (vezane, iverne in vlaknene plošče) in kot toplotno izolacijski material (celulozni kosmiči, lesna vlakna, volna). Les praktično nima neugodnih vplivov na človeka in okolje. Kot surovina se les obnavlja, deluje pozitivno na bivalno klimo v prostoru in po odstranitvi na koncu uporabe ne povzroča škodljivih emisij. To velja za masivni les, ki je pravilno površinsko obdelan. Pri lesnih polizdelkih je več pomislekov, ker lahko lesni odpadki vsebujejo razne kemične substance, ki odvisno od koncentracije, škodujejo človekovemu zdravju. Ekološka osveščenost nekaterih proizvajalcev je pripeljala do tega, da so pričeli izdelovati okolju in človeku prijazne izdelke (sredstva za površinsko obdelavo lesa na vodni osnovi, iverne plošče brez formaldehida itd). (Pirkmaier, 1998)

### 2.1.2 Glina

Je eno prvih gradiv, ki jih je človek uporabil za gradnjo svojih bivališč. Omogoča ugodno klimo v bivalnih prostorih, ker regulira zračno vlago. Glina ne povzroča alergij. V nekaterih evropskih državah (Avstrija, Nemčija, Francija) se gradnja hiš iz gline ponovno uveljavlja. Na tržišču so na razpolago že gotovi polizdelki iz gline (zidaki, malta, plošče, gotov omet, lahka glina z lesom, naravne barve iz gline itd). (Grobovšek, 2009)

### 2.1.3 Slama

Slama je rastlinskega izvora. V preteklosti so jo uporabljali za kritino, danes pa jo je zamenjala opeka, predvsem zaradi požarno varnostnih lastnosti. Danes se slama ponovno vrača na tržišče. Tako poznamo slamnate blazine, ki se uporabljajo kot polnila pri leseni skeletni gradnji. Tako je raziskano, da lesene hiše z izolacijo iz slamnatih blazin, izpolnjujejo vse požarno – varnostne zahteve (B2 – normalna vnetljivost, F90 – devetdeset



minutno požarno obstojnost). Toplotna prevodnost slame je 0,09 do 0,13 W/mK, toplotna prehodnost pri debelini 20 cm pa je 0,45 – 0,66 W/m<sup>2</sup>K. (Grobovšek, 2009)

#### **2.1.4 Trstika**

Uporablja se pri obnovi starih stavb, predvsem tistih, ki so zaščitene kot kulturni spomeniki. Toplotna prevodnost trstike je 0,04 – 0,06 W/mK, toplotna prehodnost pri debelini 10 – 15 cm pa je 0,4 - 0,6 W/m<sup>2</sup>K. Danes iz trstike izdelujejo izolacijske plošče. (Grobovšek, 2009)

#### **2.1.5 Ovčja volna**

Volna je živalskega izvora. Toplotna prevodnost ovčje volne je 0,04 do 0,05 W/mK, toplotna prehodnost pri 10 cm pa je približno 0,4 W/m<sup>2</sup>K. Sodi med zelo dobre izolatorje. Volna lahko sprejme in odda vlago za 33 % svoje mase, ne da bi se bistveno spremenile njene izolacijske sposobnosti. Na polipropilenskih mrežah služi za toplotno izolacijo poševnih streh, stropov, sten in tal. Razpuščena volna je primerna za tesnjenje manjših odprtih v konstrukciji. Kot volnen pramen se uporablja za tesnjenje okenskih in vratnih okvirjev. V obliki trakov pa se uporablja kot izolacija proti udarnemu zvoku. Za zmanjšanje gorljivosti je potrebna posebna obdelava vlaken z borovo soljo, da se doseže samougasljivost. (Malovrh, 2003)

#### **2.1.6 Celulozni kosmiči**

Izdelani so iz starega papirja in se uporabljajo za izolacijo streh, sten in podov. Vgrajujejo se z ročnim vnašanjem ali s strojnim vpihovanjem. Toplotna prevodnost je 0,04 do 0,45 W/mK, toplotna prehodnost pri 10 cm pa je približno 0,45 W/m<sup>2</sup>K. Obdelana je z borovimi solmi, da zmanjšamo gorljivost. (Grobovšek, 2009)

### **2.1.7 Konoplja**

Konoplja je rastlinskega izvora in zelo dobro izravnava vlago v prostoru. Konoplja je vodoodbojna. Posebej je obdelana z neškodljivimi sredstvi za izboljšanje požarne odpornosti. Uporablja se v ploščah in rolah za stene, pode in strehe. (Malovrh, 2003)

### **2.1.8 Lan**

Za toplotno izolacijo se uporabljajo kratka lanena vlakna. Toplotna prevodnost je 0,04 do 0,045 W/mK, toplotna prehodnost pri 10 cm pa je 0,4 - 0,45 W/m<sup>2</sup>K. Iz lanu se izdelujejo izolacijske plošče za strehe, polnila pri lesenih konstrukcijah, ... (Grobovšek, 2009)

### **2.1.9 Bombaž**

Bombaž je dober toplotni izolator, uporablja pa se tudi pri izolaciji proti udarnemu zvoku. Toplotna prevodnost je 0,04 W/mK, toplotna prehodnost pri 10 cm je 0,4 W/m<sup>2</sup>K. (Grobovšek, 2009)

### **2.1.10 Kokosova vlakna**

Iz njih je mogoče izdelati plošče z dobrimi toplotno izolacijskimi lastnostmi. Toplotna prevodnost je 0,05 W/mK. Toplotna prehodnost pri 10 cm pa je približno 0,5 W/m<sup>2</sup>K. Plošče imajo dobro tlačno trdnost, ter so primerne za zaščito pred poletnim pregrevanjem. Uporabljajo se za toplotno izolacijo streh in sten, tesnjenje oken in vrat, ter zvočno zaščito v mokrem in suhem podu. (Malovrh, 2003)

### **2.1.11 Pluta**

Pluta ima že dolgo zgodovino uporabe. Toplotna prevodnost je 0,045 - 0,05 W/mK, toplotna prehodnost pri 10 cm pa je približno 0,45 W/m<sup>2</sup>K. Izolacijske plošče iz plute se uporabljajo na opečnem zidu ali v konstrukciji iz lesa in nudijo poleg dobre toplotne zaščite tudi dobro zvočno zaščito. Zaradi svoje trdnosti, se pluta lahko uporablja tudi za izolacijo tal in za preprečevanje udarnega zvoka. Največje plantaže hrasta plutovca imajo na Portugalskem, v Španiji in v Afriki. Pluta, kot surovina, ima visoko ceno tudi zaradi relativno dolge dobe priraščanja plute, od 8 do 10 let. Vgrajena energija pri proizvodnji

plute za  $U = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  znaša približno 80 kWh, medtem ko vgrajena energija pri stekleni volni znaša približno 15 kWh in pri kameni volni približno 47 kWh. (Grobovšek, 2009)

## 2.2 MATERIALI ZA LAHKE PLOŠČNE KOMPOZITE

### 2.2.1 Iveri

Iveri so osnovni delci, kateri sestavljajo iverno ploščo. Iveri so relativno majhni delci, ki nastanejo v iverilniku (stroj za iverenje). Pridobivamo jih iz različnih lesnih sortimentov, največkrat žagovine, krajnikov, sekancev, skoblancev in ostalih lesnih ostankov. Ob iverenju dobimo različne velikosti iveri, katere s pomočjo sejalne analize razvrstimo glede na velikost. Tako pri iverni plošči uporabimo za zunanji sloj manjše delce, za srednji sloj pa večje delce iveri. Plošča je nato sestavljena iz naključno usmerjenih iveri. Za oblepljanje pa uporabimo UF, MUF, MF, FF in pMDI lepila. Za izdelavo iveri lesa ne ločujemo po lesnih vrstah, ampak uporabimo vse vrste.

### 2.2.2 “Strandsi“

“Strandsi“ so večji delci kot iveri in jih pridobivamo iz hlodovine in celolesnih ostankov, predvsem iglavcev smreke in bora. “Strandsi“ so debeli približno 2 mm, široki 10 – 40 mm in dolgi 50 – 200 mm. Pridobivamo jih lahko tudi iz sekancev, predvsem za večje oz. daljše dimenzije. Izdelujejo se v obročastih iverilnikih. Iz “strandsov“ izdelujemo OSB plošče. Pri izdelavi plošč so delci usmerjeni v smeri ali pravokotno na smer proizvodnje. V zunanjem sloju so delci, ki so tanjši kot v srednjem sloju. Za oblepljanje se uporabljajo MUF, MF, FF in pMDI lepila.

### 2.2.3 Lesna vlakna

Vlakna pridobivamo iz celolesnih ostankov, hlodovine in sekancev. Glede na trdoto vlaknene plošče uporabimo: iglavce za MDF plošče (srednja trdota) in listavce za HDF plošče (trša plošča). Vlaknena plošča je zelo homogena in zelo gladka. V zunanjem sloju so krajša in bolj fina vlakna kot v sredici, kjer je tudi gostota nekoliko nižja. Za oblepljanje se uporabljajo MUF, MF, FF in pMDI lepila. Vlaknena plošča je zelo primerna za oplemenitenje z melaminskim papirjem, za lakiranje in oblaganje s furnirjem. Prednost vlaknenih plošč pred drugimi izolacijskimi materiali je, da so zelo dober organski toplotni

izolator ( $U=0,04 \text{ WK/m}^2$ ) in imajo zaradi velike gostote ( $160 - 260 \text{ kg/m}^3$ ) veliko možnost akumuliranja energije.

### 2.3 MEHANSKE LASTNOSTI PLOŠČ IZ SLAME

Na področju raziskovanja slame ali plošč iz slame se v zadnjih desetih letih veliko raziskuje in preučuje. Slama in plošče iz slame se vse bolj uveljavljajo pri gradnji hiš. Slama je relativno poceni v primerjavi z lesom ali drugimi materiali, okolju prijazna in se lahko pridobiva, poleg tega pa ima odlične izolacijske lastnosti (in tudi nekatere mehanske).

Tako se slama v gradbene namene najbolj uporablja v balah, to pomeni, da celo slamo strojno zložimo v kvader. Z balami slame lahko postavimo stene hiše in služijo kot nosilne stene za streho ter dajejo izolacijo. Plošče iz slame izdelujejo predvsem v severni Ameriki. Postopek za stiskanje plošč iz slame je izumil Theodor Dieden leta 1935 na Švedskem, kar je nato razvil v industrijsko proizvodnjo pod imenom Stramit, slika 6. Do sedaj je bilo s temi ploščami zgrajenih že več kot 250.000 stavb. Stramit tehnologija pa temelji na tem, da se ne dodaja nobenega veziva, torej lepila, stiska se pod visoko temperaturo in sicer  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Robert Glassco (1952) pravi, da toplota naredi slamo še boljšo in ji izboljša lastnosti. Plošče so debele od 50 do 100 mm. Uporabljajo jih pri gradnji hiš in sicer kot eden od slojev stene, ponavadi so obložene z OSB ploščami. (Wilson, 1995)



Slika 6: Plošče izdelane iz slame (<http://www.archicentral.com>)

Na univerzi v Bathu v Veliki Britaniji so leta 2004 raziskovali tlačno trdnost pšenične slame v balah. Na sliki 7 vidimo kako je potekala gradnja. Slama je imela povprečno gostoto  $125 \text{ kg/m}^3$  in povprečno vlažnost 13,7 %. Iz bal slame so postavili steno, katero so

obložili z OSB ploščami in PVC folijo. Slamo so obremenili vertikalno in sicer s silo 16,6 kN. Obremenitev je trajala 90 dni in to tako, da so tedensko povečevali obremenitev z dodatnimi 300 kg. Največji skrček je bil zaznan v prvih dveh dneh in sicer 2 – 5 mm na dan, kasneje pa se je stanje stabiliziralo na približno 0,2 – 0,8 mm na dan.



Slika 7: Stena iz slame v bali (Jung in Himmelsbach, 1989)

Na podlagi eksperimenta so ugotovili, da imajo bale slame zelo dobre nekatere mehanske lastnosti in je tlačna obremenitev v mejah dovoljenih predpisov za gradnjo hiš. Tlačno trdnost bi še izboljšali z zgostitvijo slame in bi bil tako skrček v vertikalni smeri še manjši. (Jung in Himmelsbach, 1989)

### 3 MATERIAL IN METODE

#### 3.1 PREDSTAVITEV RAZISKAVE

Izdelali smo 4 različne plošče, pri katerih je osnovni material predstavljal slama. Pri prvi plošči smo uporabili celo slamo, pri vseh ostalih ploščah pa smo slamo iverili, torej smo imeli manjše delce slame. Iz tako pripravljene slame smo izdelali plošče z gostoto 200, 300 in 400 kg/m<sup>3</sup>. Izdelane plošče smo nato uporabili kot sredico za izdelavo lahkega ploščnega kompozita (LPK), pri katerih smo za zunanji sloj uporabili industrijsko izdelane iverne plošče debeline 8 mm.

Pri izdelavi plošč, ki smo jih uporabili za sredico, torej plošč iz slame gostot 200, 300 in 400 kg/m<sup>3</sup>, smo pri vseh uporabili enak tlak, ki je znašal 90 barov in enako temperaturo, ki je bila 180 °C. Za izdelavo teh plošč smo uporabili melaminsko lepilo. Enoslojne plošče izdelane samo iz slame, smo uporabili za merjenje hitrosti prehajanja temperature skozi plošče, kar posledično vpliva na toplotno izolativnost.

Plošče obložene z iverno ploščo pa smo uporabili za meritve mehanskih lastnosti in sicer tlačne trdnosti, upogibne trdnosti, gostote, povprečne deformacije ob odprtju stiskalnice ali tako imenovani springback efekt (v nadaljevanju SB) ter nabreka po namakanju v vodi.

#### 3.2 MATERIAL

##### 3.2.1 Slama

Slama je eden najstarejših naravnih materialov za prekrivanje streh objekta. Slamo smo dobili v Agroemoni Domžale. Uporabili smo slamo, kakršna je v prvotni obliki, torej veliki delci različnih velikosti in debelin in pa ivereno slamo. To slamo smo iverili na stroju za iverenje in tako dobili manjše delce, približno enakih velikosti.

V raziskavi smo izračunali, koliko slame potrebujemo za izdelavo posamezne plošče. Znan nam je bil format plošče, ki je bil vedno 500 mm x 500 mm, debelina plošč je bila 26 mm, kar smo uravnavali z distančnimi letvicami in pa gostota, ki smo jo želeli doseči. Izdelali smo štiri različne vrste plošč in sicer ploščo iz cele slame z gostoto 400 kg/m<sup>3</sup>, in plošče z ivereno slamo z gostoto 200, 300 in 400 kg/m<sup>3</sup>.

Izračun smo napravili po sledeči formuli:

$$m = \rho * V \text{ [kg]} \quad \dots(1)$$

$m$  – masa slame, ki jo rabimo za izdelavo plošče [kg]

$\rho$  – gostota plošče [kg/m<sup>3</sup>]

$V$  – volumen plošče [m<sup>3</sup>]

### 3.2.2 Iverna plošča

Uporabili smo industrijske iverne plošče debeline 8 mm, njihova gostota je bila približno 650 kg/m<sup>3</sup>. Iverne plošče smo uporabili za sestavo lahkega ploščnega kompozita in sicer smo z njimi obložili sredico, narejeno iz slame. Iverna plošča je bila torej v obeh zunanjih slojih in je tako dajala oporo in zaščito srednjemu sloju, ki je bil izdelan iz slame.

### 3.2.3 Melaminsko lepilo

Tip lepila, ki smo ga uporabili za izdelavo plošč, je bil Meldur MS – 1. Lepilu smo dodali vodo in utrjevalec. Delež lepila, ki smo ga dodali pri vseh ploščah, je bil 10 % glede na maso slame (pri vlažnosti 0%). Masa utrjevalca je bila 5 % glede na maso lepila (pri vsebnosti suhe snovi 100%). Temu smo dodali še 150 ml vode za optimalno viskoznost lepila. Delež lepila smo izračunali po sledečem postopku:

$$m_{lep} = m_{sl} * d.l. \text{ [g]} \quad \dots(2)$$

$m_{lep}$  – masa lepila [g]

$m_{sl}$  – masa slame [kg]

d.l. – delež lepila glede na maso slame [%]

$$m_{ut} = 0.05 * m_{lep} \text{ [g]} \quad \dots(3)$$

$m_{ut}$  – masa utrjevalca [g]

0.05 – delež utrjevalca – 5% [%]

### 3.3 METODE

V našem primeru smo izdelali plošče iz slame in lahke ploščne kompozite. Kot lahek ploščni kompozit smo označili plošče, ki so imele sredico izdelano iz slame, zunanji sloj plošče pa je predstavljala iverna plošča debeline do 8 mm (v našem primeru 8 mm), s katero smo obložili sredico, izdelano iz slame.

#### 3.3.1 Priprava slame

Slamo smo pripravili v laboratorijskem iverilniku, tako da smo celo slamo iverili. Na sliki 8 vidimo celo slamo. Imeli smo slamo, ki je različnih velikosti in iz relativno velikih delcev. S pomočjo stroja za iverenje smo dobili manjše delce slame, dokaj enakih velikosti, primerno za nadaljnje stiskanje.



Slika 8: Cela slama

#### 3.3.2 Oblepljanje

Oblepljanje je potekalo v laboratorijskem stroju za oblepljanje, kjer smo iveri slame oblepili s pripravljeno lepilno mešanico.



### 3.3.3 Stiskanje plošč

Oblepljene delce/iveri smo nato enakomerno natresli na kovinsko ploščo v format 500 mm x 500 mm in stisnili pri tlaku 90 barov. Temperatura stiskanja je bila 180 °C, čas stiskanja pa je bil 5 minut. Pri stiskanju plošč smo uporabljali distančne letvice debeline 26 mm.

Plošče iz slame smo nato 120 minut ohlajali pri sobnih pogojih, nato pa smo jih klimatizirali v normalni klimi do konstantne mase. V preglednici 1 so oznake plošč in njihove osnovne lastnosti.

Preglednica 1: Količine in materiali za sestavo plošče

Št. plošče	vrsta slame	gostota (kg/m <sup>3</sup> )
1,2	cela slama	400
3,4	iverena slama	400
5,6	iverena slama	200
7,8	iverena slama	300

### 3.3.4 Stiskanje ploščnih kompozitov

Za izdelavo lahkih ploščnih kompozitov (LPK) smo uporabili plošče iz slame in 8 mm iverno ploščo. Za lepljenje iverne plošče s ploščo iz slame smo uporabili PVAc lepilo (nanos 150 g/m<sup>2</sup>). Lepljenje je potekalo v laboratorijski stiskalnici. Na sliki 9 je prikazan potek stiskanja plošč; najprej natresanje in oblikovanje plošče, nato stiskanje plošče v stiskalnici ter na koncu ohlajanje in kondicioniranje plošč.



Slika 9: Priprava, stiskanje in kondicioniranje plošč

### 3.3.5 Ugotavljanje mehanskih lastnosti

Lahkim ploščnim kompozitom (SL – 8 mm iverna plošča; CL – enoslojna plošča iz slame) smo ugotavljali:

- upogibno trdnost (SIST EN 310),
- gostoto (SIST EN 323),
- odpornost plošč pri nabrekanju pri 24-urni potopitvi v vodi (SIST EN 317).

### 3.3.6 Merjenje sprostitve napetosti ob odprtju stiskalnice – springback (SB)

Vse plošče smo stiskali z distančnimi letvicami, da bi imeli vedno enako debelino plošč in sicer 26 mm. Ko se stiskalnica odpre, pride do delne sprostitve tlačnih napetosti oz. springback (SB), kar opazimo kot povečanje debeline plošče, glede na debelino stiskanja. SB smo ugotovili tako, da smo izmerili debelino plošče po stiskanju in sicer z enodnevnim zamikom, da so se plošče dimenzijsko stabilizirale. SB smo nato določili na podlagi razlike v debelini med debelino plošče po odprtju stiskalnice in debelino 26 mm.

### 3.3.7 Merjenje tlačne trdnosti

Za merjenje tlačne trdnosti smo uporabili LPK, iz katerih smo izžagali koščke 50 mm x 50 mm in sicer za gostote 200, 300 in 400 kg/m<sup>3</sup>. Za vsako od gostot smo uporabili po osem preizkušancev. Preizkušance smo vpeli v univerzalni testirni stroj Zwick Z100. Preizkušanci so bili izpostavljeni tlačni obremenitvi 40 kN, merili pa smo skrček oz. zmanjšanje debeline ob tej obremenitvi.

### 3.3.8 Priprava plošč za ugotavljanje toplotne prevodnosti

Preizkušance (plošče iz slame) velikosti 200 mm x 200 mm smo uporabili za ugotavljanje temperaturnih sprememb in s tem posledično vplivom na toplotno prevodnost.

### 3.3.9 Ugotavljanje toplotne prevodnosti

Izolativnost smo merili tako, da smo v stiskalnici segrevali spodnjo ploščo na 40, 60 in 80 °C. Temperatura okolice je bila približno 25 °C, torej je bila sprememba temperature 15, 35 in 55 °C. Temperaturo smo merili s termočleni tipa K, ki smo jih namestili na spodnjo stran plošče, kjer je bila ogrevana plošča, približno na sredino plošče ter na zgornjo

površino plošče. S tem smo merili prehod toplote po debelini plošče oziroma spremembo temperature po preseku v časovnem intervalu glede na gostoto plošče. Termočleni so merili temperaturo vsako sekundo. Imeli smo tudi dodatni termočlen, ki je meril temperaturo okolice, ki vpliva na spremembo temperature po preseku plošče. V našem primeru smo merili zgolj spremembo temperature po preseku plošče, iz česar smo sklepali, katera plošča ima boljše toplotno izolativne lastnosti, na podlagi hitrosti prehoda temperature in višini dosežene temperature ob prehajanju skozi debelino plošče.

## 4 REZULTATI

### 4.1 REZULTATI MEHANSKIH LASTNOSTI

V preglednici 2 so zbrani podatki za količine materiala, potrebnega za izdelavo plošče iz slame. Format plošč je bil 500 mm x 500 mm, debelina plošč pa je bila 26 mm, katero smo regulirali z distančnimi letvicami.

Preglednica 2: Količine in materiali za sestavo plošče

Št. plošče	vrsta slame	gostota (kg/m <sup>3</sup> )	m. slame (kg)	m. lep.(g)	m. utr. (g)	voda (ml)	m. lep. meš. (g)
1,2	cela slama	400	2,6	260	13	150	423
3,4	iverena slama	400	2,6	260	13	150	423
5,6	iverena slama	200	1,3	130	6,5	150	286,5
7,8	iverena slama	300	1,95	195	9,75	150	354,75

#### 4.1.1 Povprečne mehanske lastnosti LPK

Variranje gostote izdelane plošče je vplivalo tudi na lastnosti le teh, kar lahko vidimo v preglednici 3, kjer so predstavljene povprečne vrednosti meritev mehanskih lastnosti za plošče 200, 300 in 400 kg<sup>3</sup>. Tlačna trdnost je v tabeli predstavljena kot zmanjšanje debeline oz. skrček, merili smo spremembo v debelini preizkušancev.

Preglednica 3: Povprečne mehanske lastnosti plošč

gostota (kg/m <sup>3</sup> )	SB (mm)	24-urna izpost. vodi (mm)	zmanjšanje deb. oz. skrček (mm)	upogibna trdnost (N/mm <sup>2</sup> )
200	0,79	7,42	25,6	1,11
300	1,34	6,72	23,8	1,14
400	0,064	5,78	22,8	1,36

#### 4.1.2 SB in nabrek po 24-urni izpostavitvi vodi

SB po stiskanju je najmanjši pri najvišji gostoti in največji pri srednji gostoti. Pri gostoti  $400 \text{ kg/m}^3$  je SB povprečno  $0,64 \text{ mm}$ . SB je majhen in sicer zaradi velike stisljivosti in posledično porušitve celičnih sten. Prekoračili smo mejo plastičnosti in tako onemogočili povrnitev slame v prvotno stanje. Pri gostoti  $200 \text{ kg/m}^3$  je SB povprečno  $0,79 \text{ mm}$  in je manjši v primerjavi z gostoto  $300 \text{ kg/m}^3$ , kjer je le ta povprečno  $1,34 \text{ mm}$ . Lahko predvidevamo, da smo v obeh ploščah še v mejah plastičnosti in tako je njun efekt približno premo sorazmeren. Pri plošči, ki je bolj stisnjena, tako pride do večje sprostitve napetosti po stiskanju. Efekt lahko pripišemo tudi večjemu številu praznih prostorov in s tem posledično manj trdnih lepilnih spojev.

Pri izpostavitvi plošč vodi pa so rezultati nekoliko drugačni. Najvišji nabrek je pri najnižji gostoti, kar je posledica bolj porozne strukture oziroma večjega števila praznih prostorov in s tem posledično lažjega prodiranja vode v ploščo, kot pa pri ploščah z višjo gostoto.

#### 4.1.2 Tlačna trdnost

Pri preizkušancih, kjer smo testirali njihovo tlačno trdnost, lahko ugotovimo korelacijo z gostoto plošč. Slika 10 prikazuje stroj za preizkušanje tlačne trdnosti, preizkušavec je vpet med zgornjo in spodnjo čeljust. Tako na primer pri preizkušancih, ki imajo gostoto  $400 \text{ kg/m}^3$ , zasledimo povprečno zmanjšanje debeline  $22,5 \text{ mm}$ , kar je približno za polovico debeline pri sili  $40100 \text{ N}$ . Razlika je opazna pri gostoti  $200 \text{ kg/m}^3$ , kjer se je srednji sloj slame skrčil za povprečno  $25,6 \text{ mm}$ , kar je že kar nekaj več kot polovica. Pri gostoti  $300 \text{ kg/m}^3$  se je sloj slame skrčil za približno  $23,6 \text{ mm}$ . Razlike nastajajo zaradi različnih gostot in višjih ali nižjih stisljivostih ob samem izdelovanju plošč. Plošče z nižjo gostoto imajo nižjo tlačno trdnost in s tem je posledično zmanjšanje debeline ob enakem tlaku večje.



Slika 10: Preizkušanje tlačne trdnosti

### 4.1.3 Upogibna trdnost

Preizkušanci, ki smo jih uporabili za ugotavljanje upogibne trdnosti, so bili dolgi 495 mm, razmak oporišča pa je bil 450 mm. Čas, ko je prišlo do loma, se je gibal med 60 in 70 sekund. Slika 11 prikazuje potek preizkusa upogibne trdnosti.



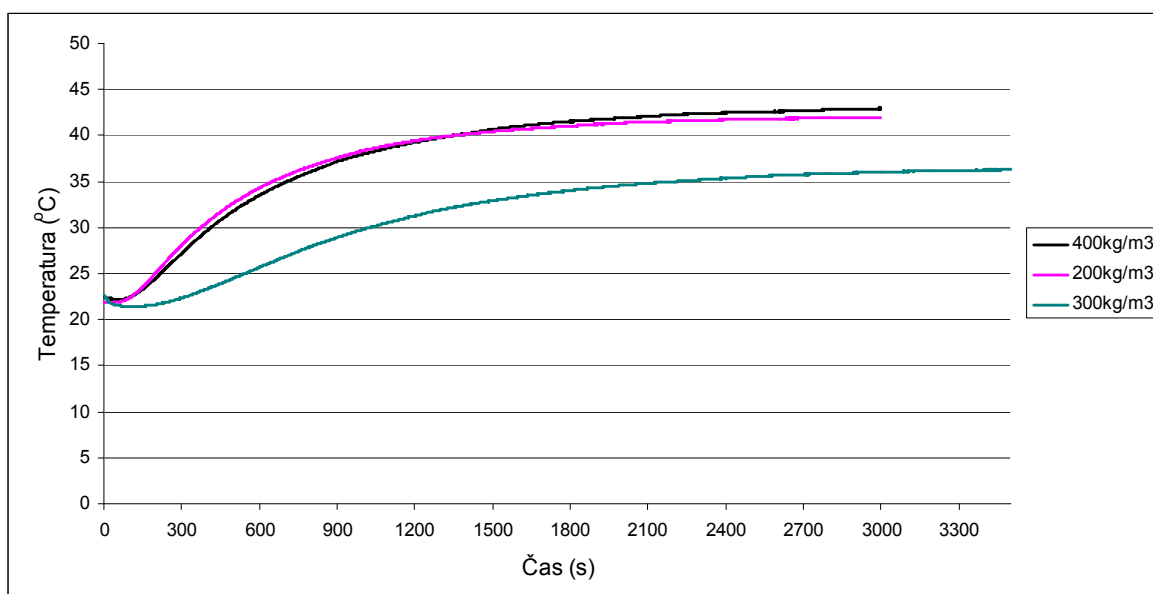
Slika 11: Preizkušanje upogibne trdnosti

Pri vseh treh ploščah smo dobili zelo nizke upogibne trdnosti in sicer med 0,85 in 1,5 N/mm<sup>2</sup>. Najnižjo upogibno trdnost je imela plošča z gostoto 200 kg/m<sup>3</sup> in sicer 1.11 N/mm<sup>2</sup>, podobno upogibno trdnost je imela plošča z gostoto 300 kg/m<sup>3</sup> in sicer 1,14 N/mm<sup>2</sup>, najvišjo upogibno trdnost pa je imela plošča z gostoto 400 kg/m<sup>3</sup> in sicer

1,36 N/mm<sup>2</sup>. Iz dobljenih rezultatov lahko razberemo, da je upogibna trdnost večja z višjo gostoto. Pri gostotah 200 in 300 kg/m<sup>3</sup> sicer ni velikih razlik, pri višji gostoti pa je tudi upogibna trdnost večja.

## 4.2 REZULTATI TOPLOTNO IZOLACIJSKIH LASTNOSTI

Meritve smo opravljali s pomočjo računalnika in programa, ki je meril temperaturo vsako sekundo v treh slojih in sicer v zunanjem sloju, kjer smo segrevali ploščo, v sredini plošče in na zunanjem sloju, kjer ni bilo segrevanja. Imeli pa smo še en termočlen, ki je meril temperaturo okolice. Uporabili smo termočlene tipa K. Temperature segrevanja plošče so bile 40, 60 in 80 °C. Plošče pa so bile gostot 400, 300 in 200 kg/m<sup>3</sup>. Temperatura okolice je bila 25 °C. Točke, kjer smo določali čas sprememb temperatur, smo določali vizualno in sicer s pomočjo grafa in risanja premic. Iz slike 12 vidimo: črna črta predstavlja zunanji sloj, ki je bil izpostavljen segrevanju, roza črta je srednji sloj, zelena črta pa predstavlja zunanji sloj, kjer ni bilo medija segrevanja.



Slika 12: Prehod toplote v odvisnosti od časa, prikaz termočlenov glede na sloj merjenja.

### 4.2.1 Preglednica s povprečnimi rezultati

V preglednici 4, 5 in 6 lahko vidimo povprečne rezultate meritev časa in prehajanja toplote in dosežene temperature v srednjem in zunanjem sloju. V vsaki preglednici so rezultati za vse gostote plošč; 200, 300 in 400 kg/m<sup>3</sup> in rezultati za različne temperature, katerim je bil izpostavljen spodnji sloj plošče; 40, 60 in 80 °C.

Preglednica 4: Povprečni rezultati dosežene temperature in časa prehajanja za temperaturo 40°C.

Vrsta sl.	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	T <sub>srednji sloj</sub> (°C)	T <sub>zunanji sloj</sub> (°C)	Čas srednji sloj (min)
iverena slama	200	30	ni sprememb	17
	300	30,5	ni sprememb	53
	400	30	ni sprememb	26
cela sl.	400	30	ni sprememb	84,5

Preglednica 5: Povprečni rezultati dosežene temperature in časa prehajanja za temperaturo 60°C.

Vrsta sl.	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	T <sub>srednji sloj</sub> (°C)	T <sub>zunanji sloj</sub> (°C)	Čas srednji sloj (min)	Čas zunanji sloj (min)
iverena slama	200	41,5	30	35	25
	300	36	30	55	45
	400	42	30	36,5	38
cela sl.	400	40	29	63	65

Preglednica 6: Povprečni rezultati dosežene temperature in časa prehajanja za temperaturo 80°C.

Vrsta sl.	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	T <sub>srednji sloj</sub> (°C)	T <sub>zunanji sloj</sub> (°C)	Čas srednji sloj (min)	Čas zunanji sloj (min)
iverena slama	200	55,8	34,5	37	21
	300	53	37,5	49	46,5
	400	50	36	41,5	38
cela sl.	400	62,5	ni sprememb	160	ni sprememb

Pri najnižji temperaturi segrevanja 40 °C iz rezultatov vidimo, da se je srednji sloj pri vseh gostotah segrel na 30 °C, ta temperatura je bila najhitreje dosežena pri gostoti 200 kg/m<sup>3</sup> in sicer v 17 minutah. Pri ivereni slami je bil najboljši rezultat dosežen pri gostoti 300 kg/m<sup>3</sup>, kjer je bil čas dosežene konstantne temperature 53 minut. Najboljši rezultat je bil pri celi slami in sicer 84,5 minute. V zunanjem sloju v času našega merjenja v nobeni od plošč nismo zasledili spremembe temperature; kar pomeni, da toplota ni prešla skozi presek plošče. Podatke lahko vidimo v preglednici 4.

Pri temperaturi segrevanja 60 °C (podatki so v vidni v preglednici 5) je najvišjo temperaturo v srednjem sloju dosegla plošča z gostoto 400 kg/m<sup>3</sup> in sicer 42 °C, le ta pa je bila dosežena v času 36,5 minute. Rezultat je zelo podoben pri plošči gostote 200 kg/m<sup>3</sup>, ti



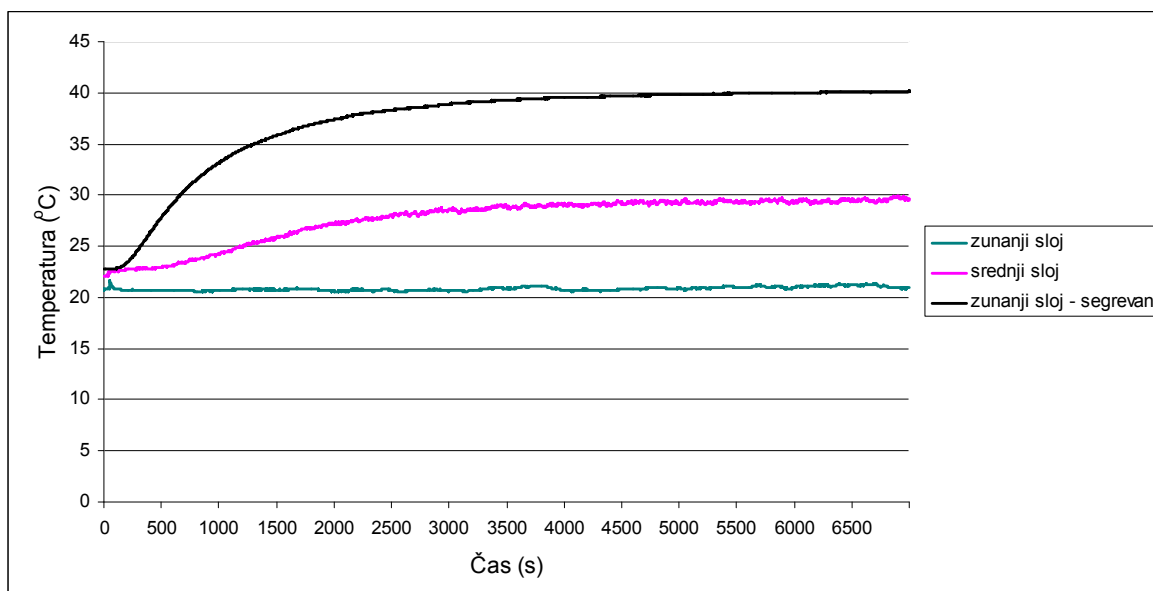
dve plošči sta v sredici tudi najhitreje dosegli konstantno temperaturo. Najnižja dosežena temperatura je bila pri plošči  $300 \text{ kg/m}^3$  in sicer  $36 \text{ }^\circ\text{C}$ , čas potreben za to pa je bil 55 minut. Pri celi slami je bila dosežena temperatura nekoliko višja,  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , čas pa 63 minut, kar je najdlje od vseh plošč. V zunanjem sloju so vse plošče dosegle temperaturo okrog  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , najhitreje pa jo je dosegla plošča z gostoto  $200 \text{ kg/m}^3$  in sicer po 25 minutah, najdlje pri ivereni slami je temperatura prehajala do zunanjega sloja pri plošči gostote  $300 \text{ kg/m}^3$ , pri celi slami gostote  $400 \text{ kg/m}^3$  je bil ta čas 65 minut.

Za temperaturo segrevanja  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  so podatki zbrani v preglednici 6. V srednjem sloju je bila najvišja temperatura dosežena pri plošči s celo slamo in sicer  $62,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , zato pa je bilo potrebnih 160 minut. Pri ivereni slami so se pokazale najslabše lastnosti pri gostoti  $200 \text{ kg/m}^3$  kjer je bila končna temperatura  $55,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , dosežena v času 37 minut. Najdlje je toplota do srednjega sloja prehaja pri plošči gostote  $300 \text{ kg/m}^3$  in sicer 49 minut, dosežena temperatura pa je bila  $53 \text{ }^\circ\text{C}$ . V zunanjem sloju pri celi slami nismo opazili sprememb v temperaturi, pri ivereni slami pa je najhitreje toplota prešla do zunanjega sloja pri gostoti  $200 \text{ kg/m}^3$  in sicer v 21 minutah, najpočasneje pa pri gostoti  $300 \text{ kg/m}^3$  in sicer v 46,5 minute, dosežena temperatura v zunanjem sloju je bila pri vseh treh ploščah okrog  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Če pogledamo rezultate glede na gostoto plošč lahko vidimo, da ima najslabše izolativne lastnosti plošča z gostoto  $200 \text{ kg/m}^3$ , saj je pri vseh temperaturah dosegla najvišjo spremembo temperature tako v zunanjem kot v srednjem sloju, doseženi čas pri tem pa je bil vedno najkrajši. Najboljši rezultat pri ivereni slami zasledimo pri gostoti  $300 \text{ kg/m}^3$ , saj so bile dosežene temperature najnižje ter časi ob tem najdaljši. Kljub vsemu pa opazimo najboljše rezultate pri celi slami, gostote  $400 \text{ kg/m}^3$ , kjer so bili časi najdaljši in najnižje temperature. V primerjavi s ploščo gostote  $300 \text{ kg/m}^3$  in ivereno slamo je pri temperaturi  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  toplota prehajala 20 minut dlje do zunanjega sloja, dosežena končna temperatura pa je bila v obeh primerih približno  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

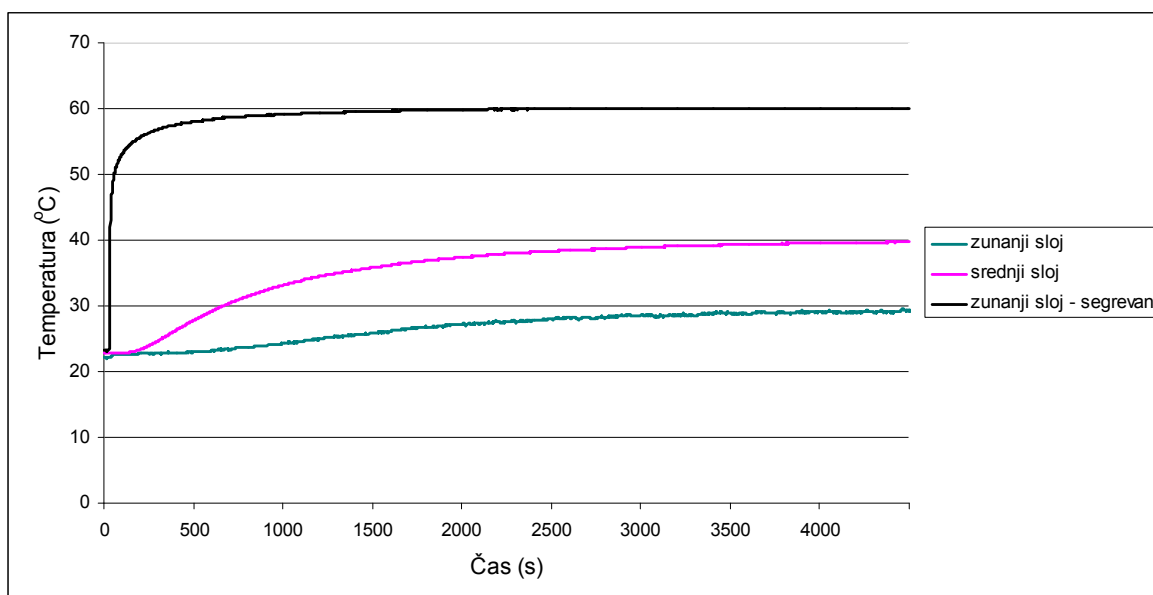
#### 4.2.2 Gostota $400 \text{ kg/m}^3$ , cela slama

Slike 13, 14, 15 nam prikazujejo potek temperature v plošči, ki je bila sestavljena iz cele slame in imela gostoto  $400 \text{ kg/m}^3$ . Temperatura grelne plošče je bila  $40, 60$  in  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ .



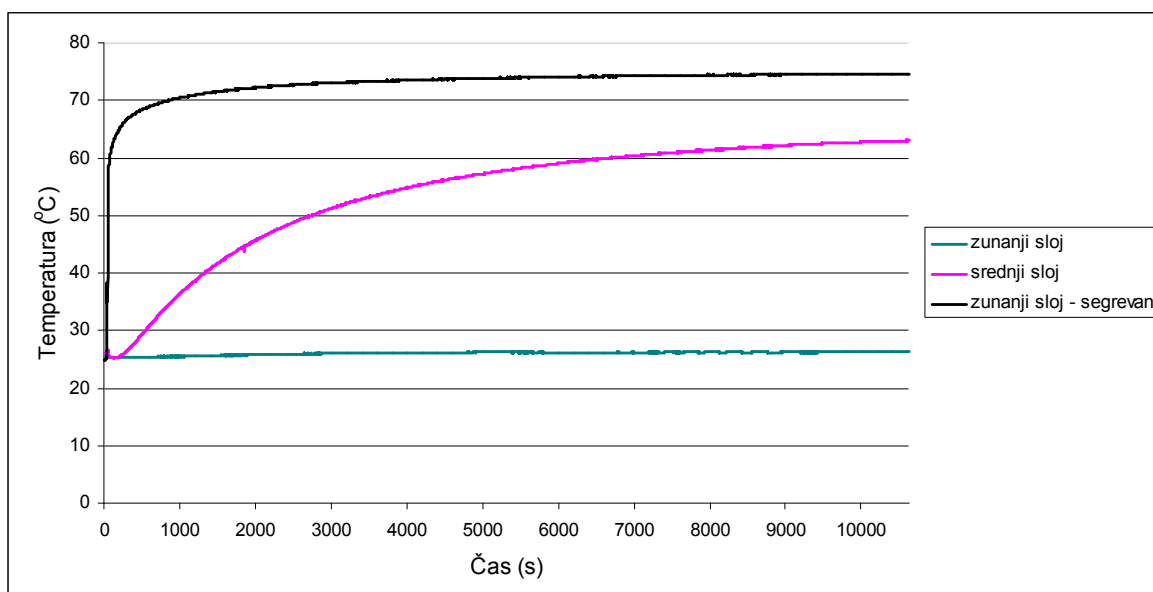
Slika 13: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  za ploščo št. 2 iz cele slame gostote  $400 \text{ kg/m}^3$ .

Slika 13 nam prikazuje potek temperature za ploščo gostote  $400 \text{ kg/m}^3$  iz cele slame, pri temperaturi segrevanja  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Začetna temperatura oziroma temperatura okolice je bila  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Območje najhitrejšega oz. linearnega segrevanja je bilo do 14. minute, ko je zunanji sloj dosegel temperaturo  $32 \text{ }^\circ\text{C}$ . Končna temperatura je bila dosežena po 79 minutah in ta je znašala  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sprememba temperature je bila  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Srednji sloj se je začel segrevati po 6,6 minutah, linearno območje segrevanja je potekalo do 30,5. minute, ko je bila dosežena temperatura  $26,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Končna temperatura je bila dosežena po 84,5 minutah in sicer  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sprememba temperature je bila  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Zunanji sloj, kjer ni bilo neposrednega segrevanja, ni zaznal sprememb v temperaturi in se je ves čas gibal v mejah temperature okolice. Pri tem preizkušancu smo ob enakem času vstavili vzorec v stiskalnico in le to v enakem času začeli tudi segrevati, posledično so bili časi prehajanja toplote skozi ploščo daljši, saj je meritev potekala že v času, ko stiskalnica še ni bila ogreta na končno temperaturo  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Slika 14: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 60 °C za ploščo št. 2 iz cele slame gostote 400 kg/m<sup>3</sup>.

Slika 14 nam prikazuje potek temperature za ploščo gostote 400 kg/m<sup>3</sup> iz cele slame pri temperaturi segrevanja 60 °C. Začetna temperatura oziroma temperatura okolice je bila 25 °C. Območje najhitrejšega oz. linearnega segrevanja je bilo do 70. sekunde, ko je zunanji sloj dosegel temperaturo 51 °C. Končna temperatura je bila dosežena po 27,5 minutah in ta je znašala 60 °C. Sprememba temperature je bila 35 °C. Srednji sloj se je začel segrevati po 3 minutah, linearno območje segrevanja je potekalo do 12,5. minute, ko je bila dosežena temperatura 31 °C. Končna temperatura je bila dosežena po 63 minutah in sicer 40 °C. Sprememba temperature je bila 15 °C. Zunanji sloj, najbolj oddaljen od segrevanja, je zaznal prvo spremembo temperature po 11 minutah, končna temperatura, ki je bila dosežena po 65 minutah, pa je bila 29 °C. Sprememba temperature je bila 4 °C.

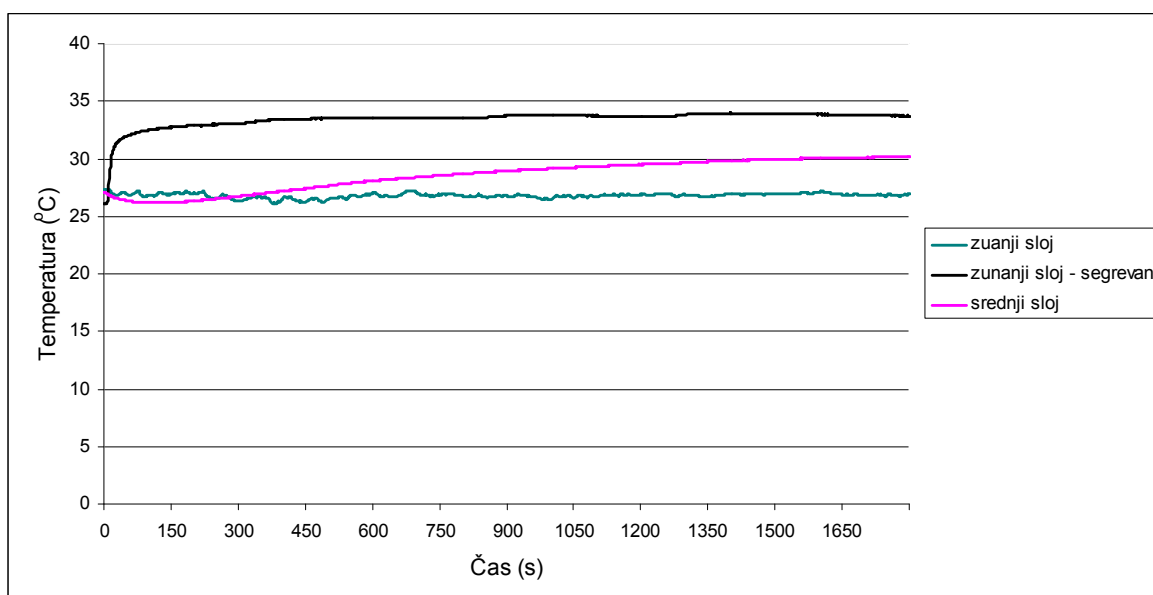


Slika 15: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 80 °C za ploščo št. 2 iz cele slame gostote 400 kg/m<sup>3</sup>.

Slika 15 nam prikazuje potek temperature za ploščo gostote 400 kg/m<sup>3</sup> iz cele slame pri temperaturi segrevanja 80 °C. Začetna temperatura oziroma temperatura okolice je bila 25 °C. Območje najhitrejšega oz. linearnega segrevanja je trajalo 1,5 minute, ko je zunanji sloj dosegel temperaturo 61 °C. Končna temperatura je bila dosežena po 92 minutah in ta je znašala 74 °C. Sprememba temperature je bila 49 °C. Srednji sloj se je začel segrevati po 3 minutah, linearno območje segrevanja je potekalo do 25. minute, ko je bila dosežena temperatura 42 °C. Končno temperaturo je srednji sloj dosegel po 160 minutah in sicer 62,5 °C. Sprememba temperature je bila 37,5 °C. Zunanji sloj, najbolj oddaljen od segrevanja, ni zaznal sprememb temperature v času našega segrevanja in je bil tako ves čas v območju temperature okolice.

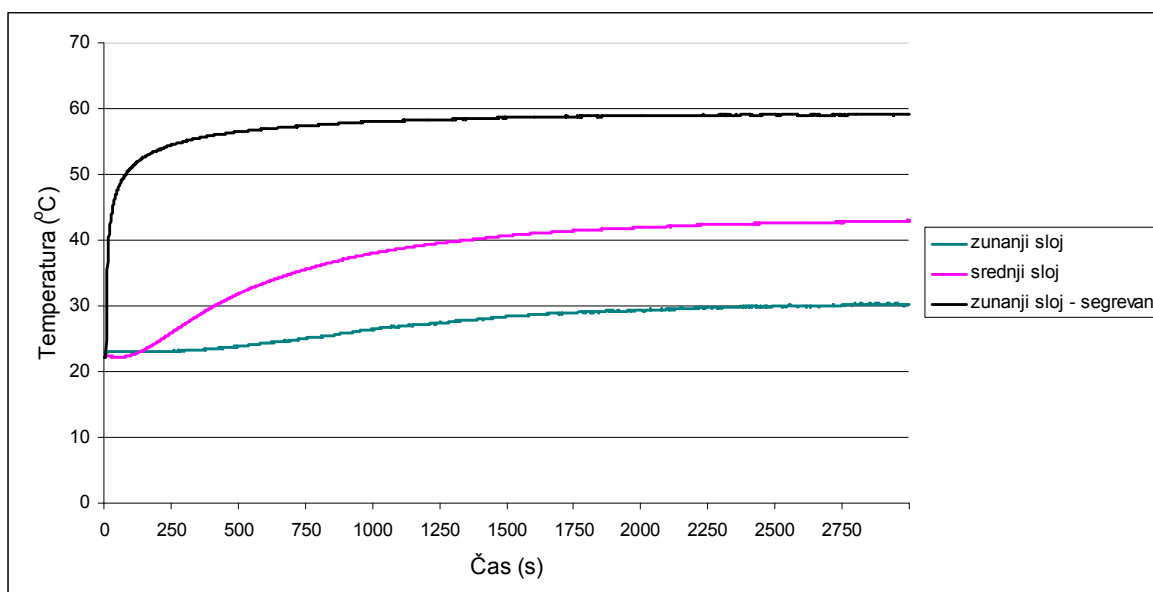
#### 4.2.3 Gostota $400 \text{ kg/m}^3$ , iverena slama

Slike 16, 17, 18 nam prikazujejo potek temperature v plošči, ki je bila sestavljena iz iverene slame in imela gostoto  $400 \text{ kg/m}^3$ . Temperatura grelne plošče je bila 40, 60 in  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ .



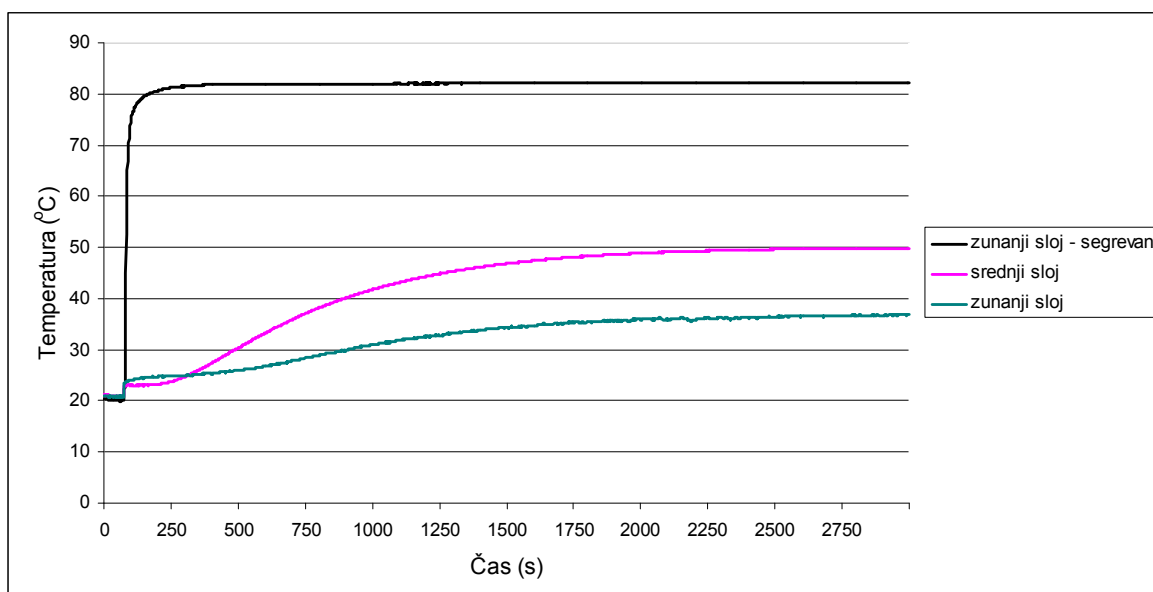
Slika 16: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  za ploščo št. 4 iz iverene slame gostote  $400 \text{ kg/m}^3$ .

Slika 16 nam prikazuje potek temperature za ploščo gostote  $400 \text{ kg/m}^3$  iz iverene slame pri temperaturi segrevanja  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Začetna temperatura oziroma temperatura okolice je bila  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Območje najhitrejšega oz. linearnega segrevanja je trajalo do 23 sekunde, ko je zunanji sloj dosegel temperaturo  $31 \text{ }^\circ\text{C}$ . Končna temperatura je bila dosežena po 6,2 minutah in ta je znašala  $33,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sprememba temperature je bila  $8,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Srednji sloj se je začel segrevati po 3 minutah, linearno območje segrevanja je potekalo do 14,6. minute, ko je bila dosežena temperatura  $29 \text{ }^\circ\text{C}$ . Končno temperaturo je dosegel po 26 minutah in sicer  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sprememba temperature je bila  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Zunanji sloj, najbolj oddaljen od segrevanja, ni zaznal sprememb temperature v času našega segrevanja in je bil tako ves čas v območju temperature okolice. V srednjem sloju smo lahko opazili razliko temperature na začetku in sicer padec temperature, kar je lahko posledica nameščanja termočlena, ki smo ga nameščali ročno, tako je bil lahko prisoten vpliv temperature človeka, kar lahko rečemo tudi za dokaj visoko začetno temperaturo okolice.



Slika 17: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 60 °C za ploščo št. 4 iz iverene slame gostote 400 kg/m<sup>3</sup>.

Slika 17 nam prikazuje potek temperature za ploščo gostote 400 kg/m<sup>3</sup> iz iverene slame pri temperaturi segrevanja 60 °C. Začetna temperatura oziroma temperatura okolice je bila 25 °C. Območje najhitrejšega oz. linearnega segrevanja je trajalo 40 sekund, ko je zunanji sloj dosegel temperaturo 46 °C. Končno temperaturo je dosegel po 26,5 minutah in ta je znašala 59 °C. Sprememba temperature je bila 34 °C. Srednji sloj se je začel segrevati po 1,5 minutah, linearno območje segrevanja je potekalo do 10. minute, ko je bila dosežena temperatura 33,5 °C. Končno temperaturo je dosegel po 36,5 minutah in sicer 42 °C. Sprememba temperature je bila 17 °C. Zunanji sloj, najbolj oddaljen od segrevanja, je zaznal prvo spremembo temperature po 5,5 minutah, končna temperatura, ki je bila dosežena po 38 minutah, pa je bila 30 °C. Sprememba temperature je bila 5 °C.

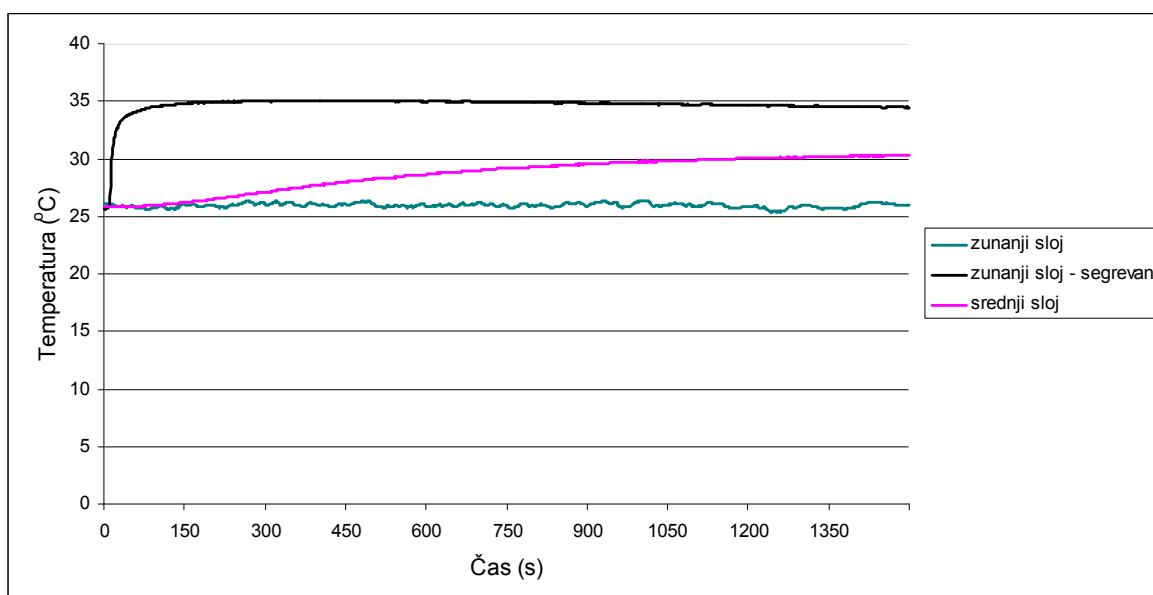


Slika 18: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 80 °C za ploščo št. 4 iz iverene slame gostote 400 kg/m<sup>3</sup>.

Slika 18 nam prikazuje potek temperature za ploščo gostote 400 kg/m<sup>3</sup> iz iverene slame pri temperaturi segrevanja 80 °C. Začetna temperatura oziroma temperatura okolice je bila 25 °C. Območje najhitrejšega oz. linearnega segrevanja je trajalo do 1 minute in 50 sekund, ko je zunanji sloj dosegel temperaturo 76,5 °C. Končno temperaturo je dosegel po 6,3 minutah in ta je znašala 82 °C. Sprememba temperature je bila 57 °C. Srednji sloj se je začel segrevati po 4 minutah, linearno območje segrevanja je potekalo do 15. minute, ko je bila dosežena temperatura 40 °C. Končno temperaturo je dosegel po 41,5 minutah in sicer 50 °C. Sprememba temperature je bila 25 °C. Zunanji sloj, najbolj oddaljen od segrevanja, je zaznal prvo spremembo temperature po 6,5 minutah, končna temperatura, ki je bila dosežena po 38 minutah, pa je bila 36 °C. Sprememba temperature je bila 11 °C. Za spremembo temperature v tem sloju nismo upoštevali preskoka temperature takoj v začetku, kjer na grafu opazimo preskok, ker je bilo le to posledica dotikanja termočlena z roko.

#### 4.2.4 Gostota $200 \text{ kg/m}^3$ , iverena slama

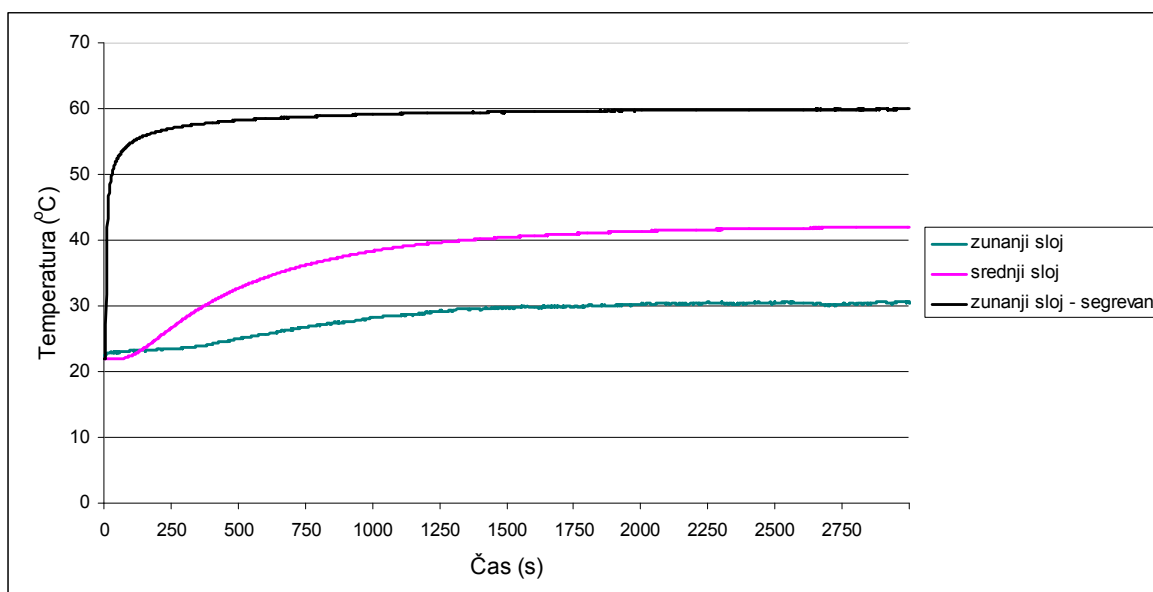
Slike 19, 20, 21 nam prikazujejo potek temperature v plošči, ki je bila sestavljena iz iverene slame in imela gostoto  $200 \text{ kg/m}^3$ . Temperatura grelne plošče je bila 40, 60 in  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Slika 19: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  za ploščo št. 5 iz iverene slame gostote  $200 \text{ kg/m}^3$ .

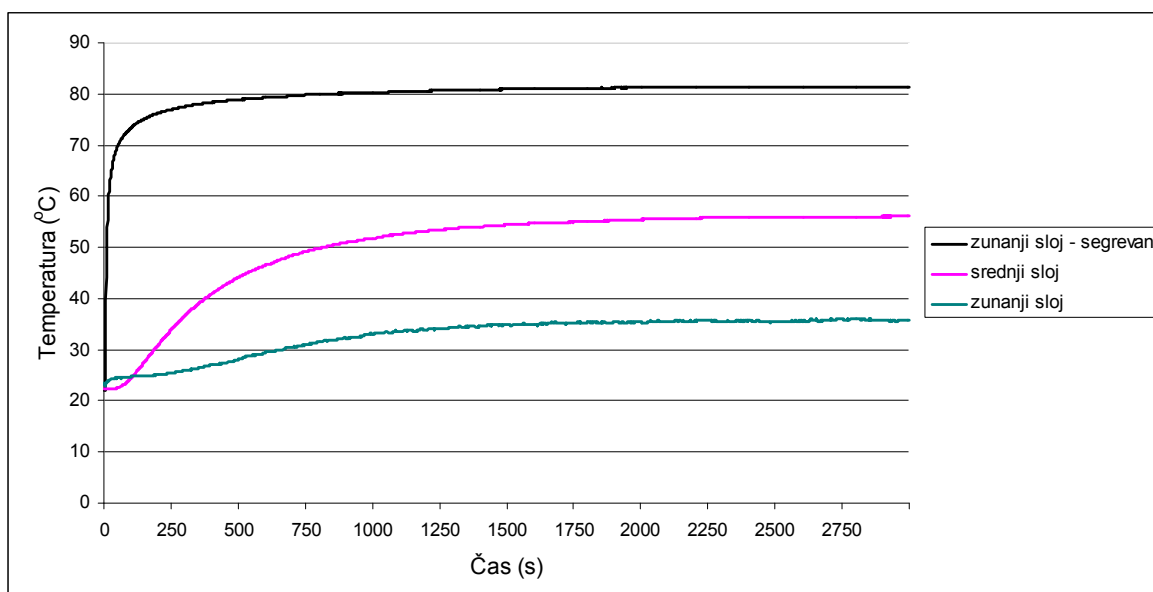
Slika 19 nam prikazuje potek temperature za ploščo gostote  $200 \text{ kg/m}^3$  iz iverene slame pri temperaturi segrevanja  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Začetna temperatura oziroma temperatura okolice je bila  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Območje najhitrejšega oz. linearnega segrevanja je trajalo 26 sekund, ko je zunanji sloj dosegel temperaturo  $32,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Končno temperaturo je dosegel po 3 minutah in ta je znašala  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sprememba temperature je bila  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Srednji sloj se je začel segrevati po 1,5 minutah, linearno območje segrevanja je potekalo do 10. minute, ko je bila dosežena temperatura  $28,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Končno temperaturo je dosegel po 17 minutah in sicer  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sprememba temperature je bila  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Zunanji sloj, najbolj oddaljen od segrevanja, ni zaznal spremembe temperature v času našega segrevanja in je bil tako ves čas v območju temperature okolice.





Slika 20: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 60 °C za ploščo št. 5 iz iverene slame gostote 200 kg/m<sup>3</sup>.

Slika 20 nam prikazuje potek temperature za ploščo gostote 200 kg/m<sup>3</sup> iz iverene slame pri temperaturi segrevanja 60 °C. Začetna temperatura oziroma temperatura okolice je bila 25 °C. Območje najhitrejšega oz. linearnega segrevanja je trajalo 29 sekund, ko je zunanji sloj dosegel temperaturo 50 °C. Končno temperaturo je dosegel po 25 minutah in ta je znašala 60 °C. Sprememba temperature je bila 35 °C. Srednji sloj se je začel segrevati po 1,5 minutah, linearno območje segrevanja je potekalo do 8. minute, ko je bila dosežena temperatura 32 °C. Končno temperaturo je dosegel po 35 minutah in sicer 41,5 °C. Sprememba temperature je bila 16,5 °C. Zunanji sloj, najbolj oddaljen od segrevanja, je zaznal prvo spremembo temperature po 3,5 minutah, končna temperatura, ki je bila dosežena po 25 minutah pa je bila 30 °C. Sprememba temperature je bila 5 °C.

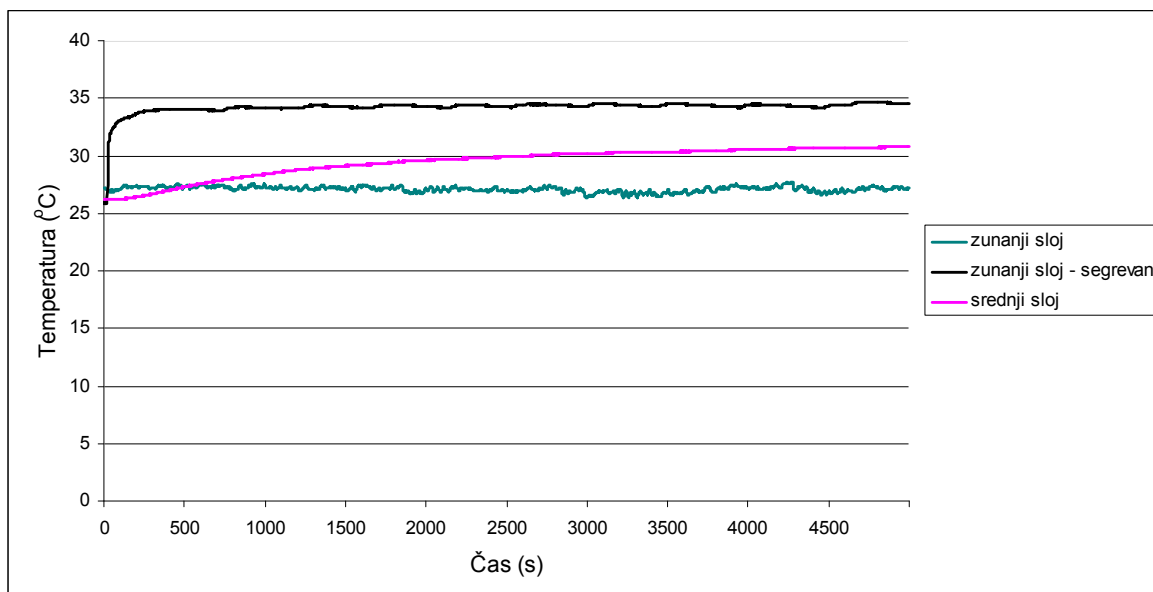


Slika 21: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 80 °C za ploščo št. 5 iz iverene slame gostote 200 kg/m<sup>3</sup>.

Slika 21 nam prikazuje potek temperature za ploščo gostote 200 kg/m<sup>3</sup> iz iverene slame pri temperaturi segrevanja 80 °C. Začetna temperatura oziroma temperatura okolice je bila 25 °C. Območje najhitrejšega oz. linearnega segrevanja je trajalo do 32 sekunde, ko je zunanji sloj dosegel temperaturo 66 °C. Končno temperaturo je dosegel po 25 minutah in ta je znašala 81 °C. Sprememba temperature je bila 56 °C. Srednji sloj se je začel segrevati po 1 minuti, linearno območje segrevanja je potekalo do 7. minute, ko je dosegel temperaturo 41,8 °C. Končno temperaturo je dosegel po 37 minutah in sicer 55,8 °C. Sprememba temperature je bila 30,8 °C. Zunanji sloj, najbolj oddaljen od segrevanja, je zaznal prvo spremembo temperature po 3 minutah, končna temperatura, ki je bila dosežena po 21 minutah, pa je bila 34,5 °C. Sprememba temperature je bila 9,5 °C.

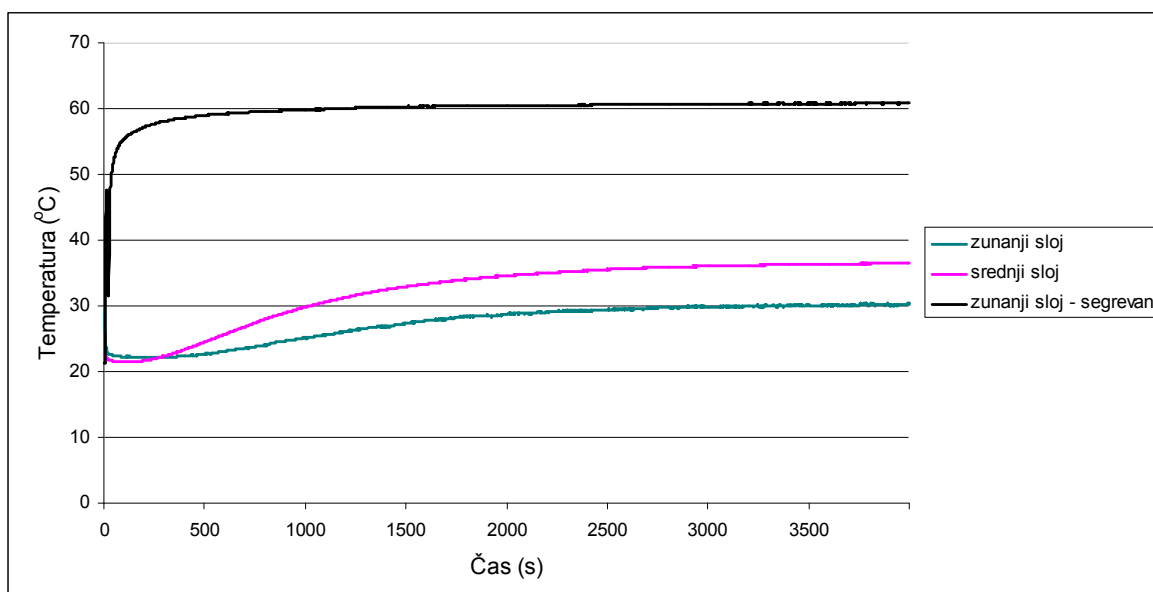
#### 4.2.5 Gostota $300 \text{ kg/m}^3$ , iverena slama

Slike 22, 23, 24 nam prikazujejo potek temperature v plošči, ki je bila sestavljena iz iverene slame in imela gostoto  $300 \text{ kg/m}^3$ . Temperatura grelne plošče je bila 40, 60 in  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ .



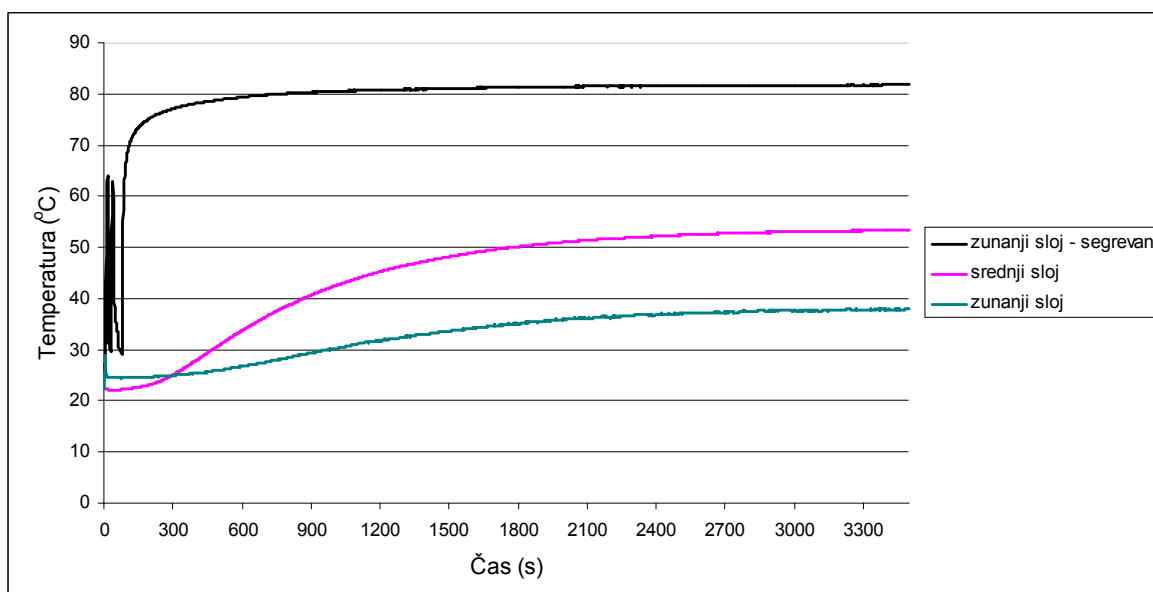
Slika 22: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  za ploščo št. 8 iz iverene slame gostote  $300 \text{ kg/m}^3$ .

Slika 22 nam prikazuje potek temperature za ploščo gostote  $300 \text{ kg/m}^3$  iz iverene slame pri temperaturi segrevanja  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Začetna temperatura oziroma temperatura okolice je bila  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Območje najhitrejšega oz. linearnega segrevanja je trajalo 32 sekund, ko je zunanji sloj dosegel temperaturo  $32 \text{ }^\circ\text{C}$ . Končno temperaturo je dosegel po 6,5 minutah in ta je znašala  $34 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sprememba temperature je bila  $9 \text{ }^\circ\text{C}$ . Srednji sloj se je začel segrevati po 2,5 minutah, linearno območje segrevanja je potekalo do 16,5. minute, ko je bila dosežena temperatura  $28,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Končno temperaturo je dosegel po 53 minutah in sicer  $30,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sprememba temperature je bila  $5,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Zunanji sloj, najbolj oddaljen od segrevanja, ni zaznal spremembe temperature v času našega segrevanja in je bil tako ves čas v območju temperature okolice.



Slika 23: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 60 °C za ploščo št. 8 iz iverene slame gostote 300 kg/m<sup>3</sup>.

Slika 23 nam prikazuje potek temperature za ploščo gostote 300 kg/m<sup>3</sup> iz iverene slame pri temperaturi segrevanja 60 °C. Začetna temperatura oziroma temperatura okolice je bila 25 °C. Območje najhitrejšega oz. linearnega segrevanja je trajalo do 50 sekunde, ko je zunanji sloj dosegel temperaturo 52 °C. Končno temperaturo je dosegel po 18 minutah in ta je znašala 60 °C. Sprememba temperature je bila 35 °C. Srednji sloj se je začel segrevati po 4 minutah, linearno območje segrevanja je potekalo do 16,5. minute, ko je bila dosežena temperatura 30 °C. Končno temperaturo je dosegel po 55 minutah in sicer 36 °C. Sprememba temperature je bila 11 °C. Zunanji sloj, najbolj oddaljen od segrevanja, je zaznal prvo spremembo temperature po 7,5 minutah, končna temperatura, ki jo je dosegel po 45 minutah, pa je bila 30 °C. Sprememba temperature je bila 5 °C.



Slika 24: Prehod toplote v odvisnosti od časa, temperatura grelne plošče je 80 °C za ploščo št. 8 iz iverene slame gostote 300 kg/m<sup>3</sup>.

Slika 24 nam prikazuje potek temperature za ploščo gostote 300 kg/m<sup>3</sup> iz iverene slame pri temperaturi segrevanja 80 °C. Začetna temperatura oziroma temperatura okolice je bila 25 °C. Območje najhitrejšega oz. linearnega segrevanja je trajalo do 2. minute, ko je zunanji sloj dosegel temperaturo 71 °C. Končno temperaturo je dosegel po 18,5 minutah in ta je znašala 81 °C. Sprememba temperature je bila 56 °C. Srednji sloj se je začel segrevati po 1,5 minuti, linearno območje segrevanja je potekalo do 14. minute, ko je bila dosežena temperatura 40 °C. Končno temperaturo je dosegel po 49 minutah in sicer 53 °C. Sprememba temperature je bila 28 °C. Zunanji sloj, najbolj oddaljen od segrevanja, je zaznal prvo spremembo temperature po 6,5 minutah, končna temperatura, ki je bila dosežena po 46,5 minutah, pa je bila 37,5 °C. Sprememba temperature je bila 12,5 °C. V zunanjem sloju, ki je bil izpostavljen segrevanju, smo lahko zaznali velike skoke temperature, kar je bila posledica dotikanja termočlena z roko oziroma nameščanja v ploščo.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Cilj raziskave je bil proučiti mehanske in predvsem toplotno izolativne lastnosti plošč, narejenih iz slame z gostoto 200, 300 in 400 kg/m<sup>3</sup>. Pri toplotni izolativnosti smo merili spremembo temperature in hitrost prehajanja toplote. Na podlagi teh rezultatov smo se lahko odločali o tem, plošča katere gostote ima najprimernejše lastnosti za toplotno izolacijske namene.

### 5.1 MEHANSKE LASTNOSTI SLAMNATIH PLOŠČ

#### 5.1.1 Gostota, SB in nabrek po 24-urni izpostavitvi vodi

Gostota je bila najpomembnejša spremenljivka v našem preizkusu, saj se je večina rezultatov odražala ravno na podlagi sprememb gostote. Gostota cele slame je bila približno 80 kg/m<sup>3</sup>, mi pa smo jo v našem primeru zgostili in sicer z namenom, da smo dobili čim bolj kompakten ploščni kompozit s čim boljšimi lastnostmi. S povišanjem gostote smo dobili tudi boljše rezultate z vidika mehanskih lastnosti.

Pri ploščah z ivereno slamo smo poleg visoke gostote dosegli tudi zelo visoko stopnjo homogenosti plošče zaradi majhnih delcev slame, kar je pripomoglo k boljši dimenzijski stabilnosti in enakomernosti lastnosti po celotni plošči. Ob dobljenih rezultatih lahko sklepamo, da je bila meja elastičnosti za zgostitev slame v ploščni kompozit pri 300 kg/m<sup>3</sup>. Pri plošči gostote 400 kg/m<sup>3</sup> smo presegli to mejo, kar vidimo pri meritvah za SB in nabrek po 24-urni izpostavitvi vodi. SB je bil tako v našem primeru najmanjši pri plošči z najvišjo gostoto in največji pri srednji gostoti, kar je posledica velikosti praznih prostorov med slamo in porušitve celic v nekaterih primerih. V tem primeru govorimo o mejah elastičnosti oziroma plastičnosti. SB je bil tako največji v tistem primeru, kjer smo dosegli takšno gostoto in stisljivost, ki je bila ravno na meji elastičnosti, tik pred porušitvijo celic. Takšne celice so imele največjo zmožnost povrnitve v prvotno stanje.

O podobnih lastnostih lahko govorimo tudi v primeru, kjer je bila plošča izpostavljena vodi. Pri najvišji zgostitvi je bil nabrek najmanjši, kot že omenjeno zaradi prekoračitve meje plastičnosti oz. poškodovanja celičnih sten in s tem posledično onemogočenja povrnitve celičnih sten v prvotno stanje.

Vzroke za dobljene rezultate tako pri mehanskih lastnostih kot pri toplotno izolativnih, smo iskali v fazi stiskanja plošč. Če razdelimo zgoščevanje plošče po zaprtju stiskalnice v

več faz, ugotovimo, da takrat proces zgostitve ne miruje. Tako se je ob večjih gostotah pričel zunanji sloj bolj zgoščevati in sicer je iz ene strani nanj pritiskala plošča stiskalnice, iz druge strani pa srednji sloj, kjer so sile delovale proti ploskvam plošče. Ob tem smo dobili gostotni profil, ki ni enak po celotnem preseku plošče. Zunanji sloj je bil bolj zgoščen kot srednji. Do katere faze zgoščevanja je prišlo, pa je bilo odvisno predvsem od količine materiala (slame) in kakšna je bila gostota plošče. Ob višjih gostotah je zgoščevanje potekalo dlje oziroma je prišlo do višje faze.

Pri gostoti  $200 \text{ kg/m}^3$  smo imeli gostoto slame približno enako po celotnem preseku plošče. Gostotni profil je bil po debelini dokaj konstanten. Zgoščevanje plošče se je hitro ustavilo, saj smo imeli malo materiala. Pri gostoti  $400 \text{ kg/m}^3$  smo imeli več materiala in se je plošča močneje zgostila v primerjavi z gostoto  $200 \text{ kg/m}^3$ . Prišlo je do efekta, da se je zunanji sloj močneje zgostil kot srednji sloj. Ob zaprtju stiskalnice je začel srednji sloj pritiskati navzven in tako zgoščevati zunanji sloj. Pri gostoti  $300 \text{ kg/m}^3$  pa smo imeli podoben efekt, saj se je zunanji sloj prav tako močneje zgostil kot srednji sloj, vendar manj kot v primerjavi z gostoto  $400 \text{ kg/m}^3$ .

Do porušitve oz. prekoračitve mej elastičnosti je prišlo predvsem v zunanjem sloju, kjer se je plošča bolj zgostila kot v srednjem sloju. Glede na ta dejstva, da gostotni profil ni bil enak po celotnem preseku plošče, lahko sklepamo, da tudi ostale mehanske lastnosti plošč niso bile enake po celotnem preseku plošče. Glede na slabe mehanske lastnosti plošč, izdelanih iz slame, je le te smiselno obložiti z materiali, ki so za to primernejši in dajo končnemu kompozitu boljše lastnosti in širši spekter uporabe. Poleg same zgostitve plošče pa lahko višjo gostoto dosežemo tudi z uporabo drugih surovin za izdelavo sredice. Mehanske lastnosti kompozitov so v zelo močni povezavi z gostoto, ob tem se izboljšajo upogibna, tlačna in natezna trdnost ter tudi ostale mehanske lastnosti. Ravno zaradi tega danes izdelujemo ploščne kompozite, kjer materialom izboljšamo lastnosti na podlagi zgoščevanja tudi pri materialih, ki sami po sebi nimajo najboljših lastnosti.

### 5.1.2 Tlačna trdnost

Tudi v primeru tlačne trdnosti je glavno vlogo igrala ravno gostota. Čim nižja je bila gostota plošče, večja je bila njena stisljivost, tlačna trdnost pa manjša. Pri višji gostoti pa je bila tlačna trdnost večja, kar je bila posledica manjšega števila praznih prostorov med delci slame in je tako onemogočala večjo stisljivost. V tem primeru smo vzeli ploščo s čim večjo tlačno trdnostjo, torej ploščo z gostoto  $400 \text{ kg/m}^3$  in sicer zato, ker je bila tlačna trdnost te plošče največja in je bilo tako zmanjšanje debeline glede na ostali dve gostoti ob enakem tlaku najmanjše.

### 5.1.3 Upogibna trdnost

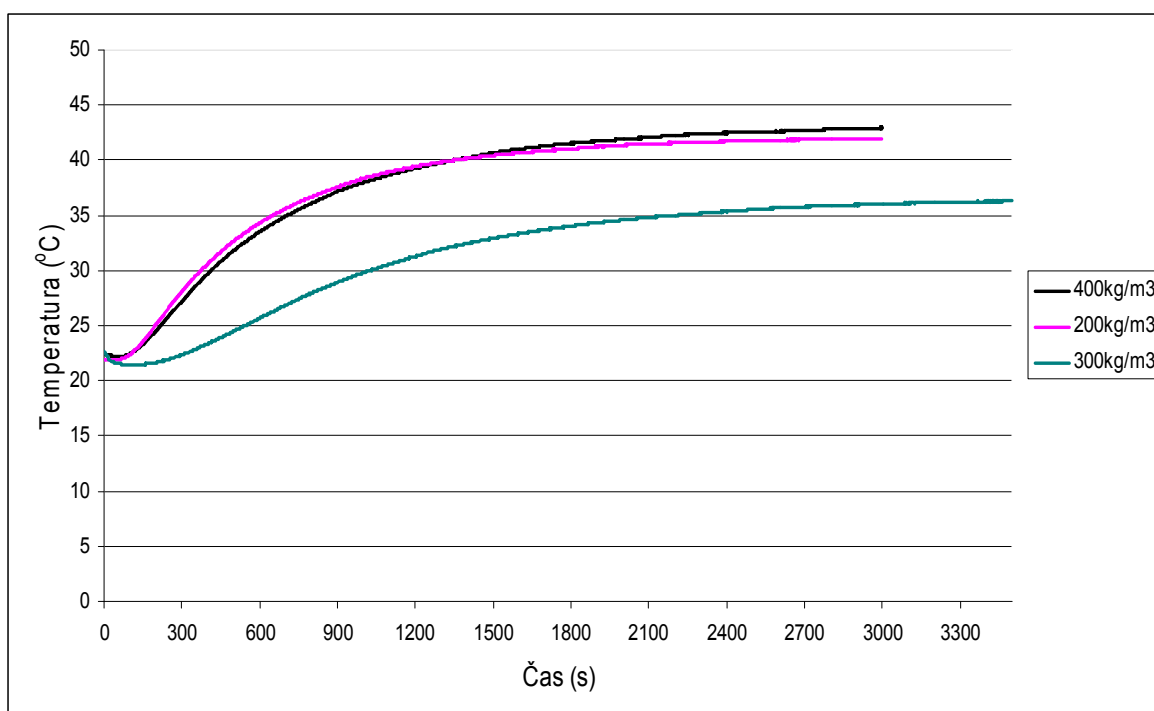
Pri vseh ploščah v našem primeru smo dobili nizke vrednosti upogibne trdnosti, vendar se moramo zavedati, da slama ni konstrukcijski material in so njene upogibno trdnostne lastnosti slabe. Lahko pa smo ugotovili povezavo med upogibno trdnostjo in gostoto. Plošča z višjo gostoto je imela večjo upogibno trdnost v primerjavi s ploščo z nižjo gostoto. Korelacija je bila takšna zaradi zgradbe slame oziroma samih celic. Slama je imela v razmerju z deležem celične stene veliko več lumnov. Za boljšo upogibno trdnost potrebujemo debelejšo celično steno, kar lahko dosežemo le s povišanjem gostote in porušenjem celičnih sten, tako da se znebimo praznih prostorov in povečamo odstotek celične mase. Pri upogibni trdnosti sta najpomembnejša zunanja sloja. V primeru nosilnega elementa, ki je obremenjen na upogib, je spodnja stran obremenjena na nateg, zgornja stran pa na tlak. Tudi v tem primeru smo izbrali ploščo z gostoto  $400 \text{ kg/m}^3$ . Kljub temu pa se moramo zavedati, da so bile vrednosti še vedno zelo nizke, ne glede na gostoto.

## 5.2 TOPLOTNO IZOLATIVNE LASTNOSTI SLAMNATIH PLOŠČ

Najpomembnejša lastnost pri naših ploščah, ki smo jo merili, je bila hitrost prehajanja toplote skozi debelinski presek plošče in dosežena temperatura pri tem. Uporabili smo štiri vrste plošč in sicer celo slamo gostote  $400 \text{ kg/m}^3$  in ivereno slamo gostot 200, 300 in  $400 \text{ kg/m}^3$ . Plošče smo izpostavili neposrednemu segrevanju z ene strani, tako da se je grelna telo dotikalo ene strani plošče. Izpostavili smo jih temperaturam 40, 60 in  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Termočlene smo namestili na obe površini plošče, kjer je bila plošča izpostavljena povišani temperaturi in na nasprotno stran ter v sredino plošče. Imeli smo še en člen in sicer za merjenje temperature okolice.

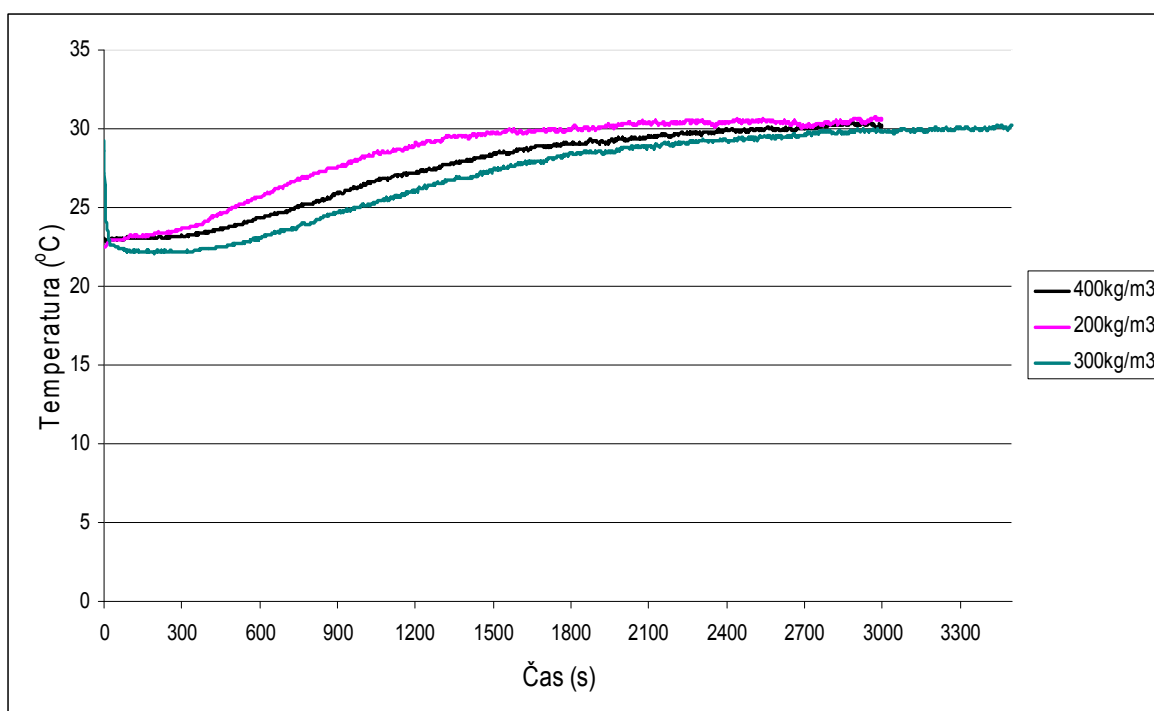
V sloju, ki je bil neposredno izpostavljen segrevanju, je relativno hitro prišlo do končne temperature, posebej smo to opazili pri višjih temperaturah. Najhitrejši je bil skok v prvih 3-5 minutah. Najpomembnejša pa sta bila za nas srednji sloj in zunanji sloj, ki je bil najbolj oddaljen od medija segrevanja.





Slika 25: Primerjava prehoda toplote v srednjem sloju pri temperaturi 60 °C za ploščo 200, 300 in 400 kg/m<sup>3</sup>.

Na sliki 25 lahko nazorno vidimo prehod toplote do srednjega sloja. Spodnja zelena črta prikazuje ploščo z gostoto 300 kg/m<sup>3</sup>, ki je dosegla najnižjo temperaturo in je trajalo najdlje, da se je temperatura v sredici ustalila. Pri ploščah 400 in 200 kg/m<sup>3</sup> pa je bila razlika minimalna in se ni razlikovala bistveno, vendar je bila dosežena temperatura v sredici višja in dosežena hitreje kot pri gostoti 300 kg/m<sup>3</sup>.



Slika 26: Primerjava prehoda toplote v zunanem sloju pri temperaturi 60 °C za ploščo 200, 300 in 400 kg/m<sup>3</sup>.

Na sliki 26 vidimo prehod toplote do zunanje površine, torej kolikšen je bil čas in temperatura pri prehodu le te skozi celoten presek. Končna temperatura je bila pri vseh treh gostotah enaka in sicer 30 °C. Najhitreje pa je bila ta temperatura dosežena pri plošči gostote 200 kg/m<sup>3</sup> in sicer v 25 minutah. Najpočasneje je toplota prešla skozi ploščo gostote 300 kg/m<sup>3</sup>. Pri ostalih temperaturah so bili rezultati zelo podobni, tako je pri vseh treh temperaturah toplota najhitreje prešla preko plošče z gostoto 200 kg/m<sup>3</sup> in najpočasneje pri plošči gostote 300 kg/m<sup>3</sup>.

Iz dobljenih rezultatov nazorno vidimo, da pri vseh treh ploščah pri temperaturi 40 °C toplota nikoli ni prešla na zunanjo stran plošče, torej ni šla skozi celoten presek. Pri temperaturi 60 in 80 °C pa je do zunanje površine prešlo zgolj 45 – 50 % toplote. V praksi je najpogostejša temperatura nižja od 40 °C, recimo v bivalnih prostorih ali obratno v okolici. Torej lahko rečemo, da imajo plošče izdelane iz slame zelo dobre izolacijske lastnosti, saj dobro zadržujejo toploto in s tem pripomorejo k boljšim toplotnim izkoristkom in manjši porabi energije za ogrevanje.

Plošče izdelane iz slame so primerne predvsem v izolacijske namene. Imajo izrazito dobre toplotno izolacijske lastnosti. Uporabljajo se lahko pri gradnji hiš in ostalih objektov kot izolacija sten in strehe. Glavni problem pri teh ploščah je, kako jih trajnostno zaščititi pred škodljivci in plesnijo, slaba lastnost je tudi požarna odpornost. Vendar se vse te negativne lastnosti da močno izboljšati s pravilno vgradnjo in obdelavo teh plošč.

Dobljene rezultate si lahko razlagamo na podlagi poznavanja stiskanja plošč in poteka zgoščevanja po posameznih fazah. Od gostotnega profila so odvisne toplotno izolativne lastnosti plošč. Znano nam je, da toplota hitreje prehaja skozi material, kjer so delci bolj skupaj, torej kjer je bolj zgoščeno (zunanji sloj). Iz teh dejstev sklepamo, da je bil pri gostoti  $300 \text{ kg/m}^3$  gostotni profil najboljši in je toplota najdlje prehajala skozi presek plošče. Pri gostoti  $400 \text{ kg/m}^3$  je bil zunanji sloj že tako močno zgoščen, da je skozi ta sloj toplota zelo hitro prehajala. Pri plošči z gostoto  $300 \text{ kg/m}^3$  pa je bil zunanji sloj manj zgoščen in je bil tudi dimenzijsko manjši, tako je bilo več srednjega sloja, kjer se je hitrost prehoda toplote upočasnila. Pri gostoti  $200 \text{ kg/m}^3$  pa smo imeli zelo konstanten gostotni profil po preseku in so bili delci v ravno pravšnji razdalji, da so omogočali najhitrejši prehod toplote skozi ploščo.

Pri plošči s celo slamo gostote  $400 \text{ kg/m}^3$  pa smo imeli velike delce slame, različnih dimenzij, med katerimi je bilo relativno veliko praznih prostorov. Kljub veliki gostoti so bile celice slame še nepoškodovane in cele. Tako je bil v lumnih celic slame ujet zrak in posledično je bila poroznost večja. Glede na ta dejstva je toplota počasneje in težje prehaja skozi presek plošče, saj je bilo vmes veliko praznih prostorov, ki so upočasnili prehod toplote. Toplota je nekoliko hitreje prehajala skozi ploščo v zunanjem sloju, ki je bil bolj zgoščen in lahko predvidevamo, da je prišlo do porušitve nekaterih celic in je bilo manj praznih prostorov. Glavni razlog se skriva v srednjem sloju, kjer se pretok toplote močno upočasni v primerjavi z ivereno slamo, kjer so delci bolj skupaj in je plošča manj porozna.

### 5.3 SKLEPI

Na osnovi raziskave smo ugotovili:

- Mehanske in fizikalne lastnosti plošč narejenih iz slame so odvisne od gostote plošče.
- Najboljše mehanske lastnosti ima plošča z najvišjo gostoto  $400 \text{ kg/m}^3$ .
- Debelinski nabrek je bil najnižji pri plošči z najvišjo gostoto  $400 \text{ kg/m}^3$
- Pri izpostavitvi plošč temperaturi  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  toplota ne preide preko debelinskega preseka pri nobeni od plošč.
- Pri vseh treh temperaturah in ploščah do sredice plošče preide od  $65 - 75 \%$  toplote.
- Pri temperaturah  $60$  in  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  pri vseh treh gostotah plošč z ivereno slamo do zunanje strani plošče preide od  $45 - 50 \%$  toplote.
- Najboljše toplotno izolativne lastnosti ima plošča s celo slamo gostote  $400 \text{ kg/m}^3$ .
- Najboljše toplotno izolativne lastnosti iverene slame ima plošča z gostoto  $300 \text{ kg/m}^3$ .

## 6 POVZETEK

Raziskovali smo mehanske in toplotno izolacijske lastnosti lahkih izolacijskih plošč izdelanih iz slame. Toplotno izolacijske lastnosti plošč smo raziskovali na podlagi sprememb temperature in hitrosti prehajanja skozi presek plošče. Izdelali smo plošče različnih gostot in sicer 200, 300 in 400 kg/m<sup>3</sup> iz iverene slame ter eno ploščo gostote 400 kg/m<sup>3</sup>, narejeno iz cele slame. Debelina plošč je bila v vseh primerih 26 mm. Za lepljenje smo uporabili melaminsko lepilo, plošče pa smo stiskali v laboratorijski stiskalnici. Za vsako gostoto smo izdelali po dve plošči za merjenje mehanskih lastnosti in toplotne izolativnosti oz. sprememb temperature v plošči.

Za merjenje mehanskih lastnosti smo plošče izdelane iz slame obojestransko obložili z iverno ploščo debeline 8 mm za lažje merjenje in pridobivanje rezultatov. Tako smo v prvem delu merili fizikalne in mehanske lastnosti in sicer gostoto, sprostitev napetosti po končanem stiskanju - springback (SB), nabrek po 24-urni izpostavitvi vodi, tlačno trdnost in upogibno trdnost. Iz meritev mehanskih lastnosti smo ugotovili, da so vse lastnosti posledica gostote, torej na mehanske lastnosti bistveno vpliva sprememba gostote. V splošnem sicer lahko rečemo, da imajo plošče izdelane iz slame slabe mehanske lastnosti in niso primerne za konstrukcijske namene.

Drugo polovico plošč pa smo porabili za merjenje toplotno izolativnih lastnosti in sicer smo merili hitrost prehoda toplote skozi debelino plošč pri temperaturah 40, 60 in 80 °C. Meritve smo opravili v laboratorijski stiskalnici tako, da smo segrevali eno stran plošče in tako s pomočjo termočlenov tipa K merili hitrost prehoda toplote in spremembo temperature ob prehodu. Termočlene smo namestili na tri mesta in sicer na obe površini plošče ter v sredino plošče, imeli pa smo še dodatni člen za merjenje temperature okolice.

V raziskavi smo pri vseh vrstah plošč ugotovili, da pri temperaturi 40 °C toplota v nobenem primeru ni prešla skozi celotno debelino plošč, sredica pa se je pri vseh gostotah segrela na 30 °C v različnih časih seveda.

Ob pregledu rezultatov vseh plošč smo ugotovili, da je temperatura najpočasneje prehajala skozi ploščo gostote 300 kg/m<sup>3</sup> in najhitreje pri plošči gostote 200 kg/m<sup>3</sup>. Razlika je bila najbolj nazorno videna pri temperaturi 60 °C, kjer se zunanji sloj v vseh primerih ni segrel na 30 °C, sprememba temperature je bila v tem primeru povsod 7,5 °C.

Pri gostoti 300 kg/m<sup>3</sup> je toplota potrebovala 45 minut, da je prešla do zunanjšega sloja, pri gostoti 400 kg/m<sup>3</sup> 38 minut in pri gostoti 200 kg/m<sup>3</sup> 25 minut, kar je bilo najhitreje. Podobne korelacije smo dobili pri vseh treh temperaturah in tako lahko iz podatkov nazorno razberemo, da je imela plošča z gostoto 300 kg/m<sup>3</sup> najboljše toplotno izolacijske

lastnosti pri ivereni slami, saj je toplota najdlje prehajala preko debelinskega preseka plošče.

Pri celi slami pa smo opazili najboljše rezultate pri prehodu toplote zaradi velike poroznosti. Cela slama je imela relativno malo poškodovane celice in posledično je bil večji delež lumnov oz. praznih prostorov, ki so upočasnili prehod toplote. V lumnih je bil mirujoči zrak, ki bistveno zmanjša hitrost prehoda toplote, kar je tudi vplivalo na najboljše toplotno izolativne lastnosti pri plošči s celo slamo gostote  $400 \text{ kg/m}^3$ .

## 7 VIRI

Dalmeijer R. 2009. Straw-bale Sound Isolation and Acoustics. TLS, 53

<http://www.thelaststrawblog.org/2009/07/strawbale-sound-isolation-acoustics/>

Grobovšek B. Ekološki gradbeni materiali. 2009

[http://www.evip.si/index.php?option=com\\_content&task=view&id=188&Itemid=169](http://www.evip.si/index.php?option=com_content&task=view&id=188&Itemid=169)

(15.1.2010)

Jung HJ., Himmelsbach DS. 1989. Isolation and Characterization of Wheat Straw Lignin. Journal of agricultural and food chemistry, 37, 1: 81-87

Koivula M., Kymalainen HR., Virta J., Hakkarainen H., Hussein T., Komulainen J., Koponen H., Hautala M., Hameri K., Kanerva P., Pehkonen A., Sjoberg AM. 2005. Emissions from thermal insulations—part 2: evaluation of emissions from organic and inorganic insulations. Building and Environment, 40: 803-814

Kunič R. Mehanizmi prehoda toplote. 2009

<http://varcevanje-energije.si/termoizolacije/mehanizmi-prehoda-toplote.html>

(17.11.2009)

Kymalainen RH., Sjoberg AM. 2008. Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations. Building and Environment, 43: 1261-1269

Malovrh M., Oberžan D. 2003. Toplotno izolacijski materiali. Za učinkovito rabo energije. 2/03. 4 str.

Pirkmaier S. 1998. Izbrana poglavja pri predmetu vlakninska in iverna lesna tvoriva (univerzitetni študij). 49 str.

Tavakoli M., Haghayegh G. 2009. Comparison of Mechanical Properties Between Two Varieties of Rice Straw. Advance Journal of Food Science and Technology, 2, 1: 50 -54

Wilson A. The next great Building Material. 1995

<http://www.buildinggreen.com/auth/article.cfm/1995/5/1/Straw-The-Next-Great-Building-Material/>

## **ZAHVALA**

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Sergeju Medvedu za pomoč in usmerjanje pri pisanju diplomske naloge.

Zahvala recenzentu izr. prof. dr. Milanu Šerneku za strokovno recenzijo diplomskega dela.

Zahvaljujem se vsem ostalim zaposlenim na Oddelku za lesarstvo, ki so mi v času študija in izdelave diplomske naloge na kakršenkoli način pomagali.

Hvala mami Bernardi Kurnik za lektoriranje diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi svoji družini in Anji za podporo v času mojega študija in ob pisanju diplomske naloge.