

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Martin BUKOVEC

**VPLIV NAČINA STISKANJA FURNIRNIH PLOŠČ NA
NJIHOVE SORPCIJSKE LASTNOSTI**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2007

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Martin BUKOVEC

**VPLIV NAČINA STISKANJA FURNIRNIH PLOŠČ NA
NJIHOVE SORPCIJSKE LASTNOSTI**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**INFLUENCE OF THE PLYWOOD PRESSING METHOD
ON ITS SORPTION PROPERTIES**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2007

Visokošolska diplomska naloga je bila opravljena v laboratoriju na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo BF je za mentorja visokošolske naloge imenoval doc. dr. Sergeja Medveda, za recenzenta pa prof. dr. Željka Goriška.

Mentor: doc. dr. Sergeja Medved

Recenzent: prof. dr. Željko Gorišek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Martin Bukovec

KLJUČNA INFORMACIJSKA DOKUMENTACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*832.281:630*812.239
KG	furnirna plošča/način stiskanja/sorpcija/vlažnost
AV	BUKOVEC, Martin
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	2006
IN	VPLIV NAČINA STISKANJA FURNIRNIH PLOŠČ NA NJIHOVE SORPCIJSKE LASTNOSTI
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	VIII, 32 str., 41 sl., 6 pril., 20 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Prehod toplote v sredino plošče je odvisen od načina stiskanja. Za izdelavo furnirnih plošč uporabljamo klasični in visokofrekvenčni način stiskanja. Različni mehanizmi prehoda toplote v sredino plošče lahko vplivajo na sorpcijske lastnosti. Za ugotavljanje vpliva načina stiskanja na sorpcijske lastnosti smo v laboratorijskih pogojih izdelali 7 slojne furnirne plošče in jih stisnili v klasični in visokofrekvenčni stiskalnici. Pri plošči, izdelani v klasični stiskalnici, se je debelina, masa in vlažnost vzorcev, merjenih gravimetrično, spremenila bolj kakor pri plošči, stisnjeni v visokofrekvenčni stiskalnici. Z merjenjem gostotnega in vlažnostnega profila smo ugotovili, da je vlažnost plošče, stisnjene po klasičnem postopku, večja v zunanem delu, medtem ko je pri plošči, stisnjeni v visokofrekvenčni stiskalnici, vsebnost vlage največja v sredini. Po izpostavitvi vlažni klimi (20 °C in 85%) razlike med ploščama, glede na način stiskanja, niso signifikantne; ugotovili pa smo razlike glede na lego v plošči. Vlažnost zunanjih slojev je bila višja od vlažnosti srednjih.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Vs
DC	UDC 630*832.281:630*812.239
CX	plywood board/pressing method/sorption/moisture
AU	BUKOVEC, Martin
AA	MEDVED, Sergej (supervisor)/GORIŠEK, Željko (co-supervisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2006
TI	INFLUENCE OF THE PLYWOOD PRESSING METHOD ON ITS SORPTION PROPERTIES
DT	Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO	VIII, 32 p., 41 fig., 6 ann., 20 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	Transfer of the heat to the middle of the plywood board depends upon the type of pressing. In a plywood board making process, the use of classical or high frequency heating is used. Different mechanisms of transfer of the heat to the middle of the board affect plywood sorption properties. To find the influence of pressing technique on sorption 7 layer plywood boards were made under laboratory conditions. The boards were pressed using classical or high frequency heating. By gravimetric measuring of density, it was determined that the changes in thickness, mass and moisture of the samples were larger at the boards made in a classical press than in those pressed by high frequency heating. Determining the density and moisture profiles of the boards shows the moisture of the boards made by classical procedure to be higher on the outside, while at the boards pressed by frequency heating the content of moisture is larger at the middle of the boards. The difference between the both types of boards exposed to wet climate (20 °C and 85%) was not significant. The moisture quantity was higher in the outside layers than in the middle ones.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo slik	VII
1 UVOD	1
1.1 UVOD	1
1.2 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.3 DELOVNA HIPOTEZA IN CILJI	2
2 PREGLED LITERATURE	3
2.1 SORPCIJSKE LASTNOSTI LESNEGA TKIVA	3
2.1.1 Higroskopnost, ravnovesna vlažnost in histereza lesnega tkiva	3
2.2 NAČINI LEPLJENJA OZ. STISKANJA	8
2.2.1 Temperatura stiskanja	8
2.2.2 Posredno in neposredno segrevanje lesa	9
3 MATERIALI IN METODA DELA	11
3.1 MATERIALI	11
3.2 METODA DELA	12
3.3 MERITVE in RAZSLOJEVANJE GLEDE NA SLOJ	13
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	14
4.1 SPREMEMBA VLAŽNOSTI	14
4.2 SPREMEMBA DEBELINE	16
4.3 SPREMEMBA VLAŽNOSTI GLEDE NA SLOJ	18
4.4 DOLOČANJE VLAŽNOSTI S POMOČJO MGP- merilnika	22
4.4.1 Gostota merjena z merilnikom gostotnih profilov	22
4.4.2 Sprememba pri vlaženju po slojih	24
4.4.3 Sprememba pri sušenju po slojih	25
4.4.4 Sprememba pri sušenju po slojih	26
4.4.5 Sprememba pri vlaženju po slojih	27

5	SKLEPI	29
6	POVZETEK	30
7	VIRI	31
8	ZAHVALA	
9	PRILOGE	

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1. Sorpcijske izoterme za primarno desorpcijo, adsorpcijo in sekundarno desorpcijo	4
Slika 2. Sorpcijske izoterme za ekstrahirano (- -) in neekstrahirano (-) jedrovino	5
Slika 3. Adsorpcijske izoterme za hemicelulozo, celulozo, lignin in les	5
Slika 4. Histerezna zanka za adsorpcijo in desorpcijo od izolacijske vlaknene plošče in MDF plošče	6
Slika 5. Hidroskopske izoterme za desorpcijo po adsorpciji od iverne plošče in za primerjavo trdo borovo ploščo	7
Slika 6. Hidroskopsko ravnoesje med furnirsko ploščo narejeno iz bukovega furnirja , 45 na 1 cm debeline plošče ali 15	7
Slika 7. Prikazuje izravnave vlažnosti, ki sta jih ugotovila G.N.Christensen in K.E.Kelsey pri 25 °C, a – vlaknena plošča, b – masiva (smrekovina)	8
Slika 8. Shematski prikaz porazdelitve temperature pri klasičnem (a) in dielektričnem (b) segrevanju lesa debeline 150 mm, odvisno od časa	9
Slika 9. Prikaz temperature glede na debelino pri posameznem postopku	10
Slika 10. Vzorci narejeni po klasičnem načinu in oštevilčeni od 1 do 300	11
Slika 11. Vzorci narejeni po visokofrekvenčnem načinu in oštevilčeni od 1 do 300	11
Slika 12. Sedemslojna furnirska plošča	12
Slika 13. Razslojevanje na tri dele po slojih	13
Slika 14,15. Razslojevanje vzorca s kladivom	13
Slika 16. Vlažnost pri relativni zračni vlažnosti 65 ±5%	14
Slika 17. Sprememba vlažnosti pri relativni zračni vlažnosti 85 ±5%	14
Slika 18. Sprememba vlažnosti pri relativni zračni vlažnosti 35 ±5%	14
Slika 19. Primerjava med preizkušanci narejenih po obeh načinih	15
Slika 20. Debelina pri relativni zračni vlažnosti 65 ±5%	16
Slika 21. Sprememba debelinei pri relativni zračni vlažnosti 85 ±5%	16
Slika 22. Sprememba vlažnosti pri relativni zračni vlažnosti 35 ±5%	16
Slika 23. Primerjava med preizkušanci narejenih po obeh načinih	17
Slika 24. Navlaževanje pri preizkušancih narejenih po klasičnem načinu	18
Slika 25. Navlaževanje pri preizkušancih narejenih po visokofrekvenčnem načinu	18
Slika 26. Primerjava med preizkušanci narejenih po obeh načinih	19

Slika 27.	Sušenje pri preizkušancih narejenih po klasičnem načinu	20
Slika 28.	Sušenje pri preizkušancih narejenih po visokofrekvenčnem načinu	20
Slika 29.	Primerjava med preizkušanci narejenih po obeh načinih	21
Slika 30.	Gostota suhega vzorca (klasični način)	22
Slika 31.	Gostota vlažnega vzorca (klasični način)	22
Slika 32.	Gostota suhega vzorca (visokofrekvenčni način)	23
Slika 33.	Gostota vlažnega vzorca (visokofrekvenčni način)	23
Slika 34.	Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po klasičnem načinu	24
Slika 35.	Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po visokofrekvenčnem načinu	24
Slika 36.	Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po klasičnem načinu	25
Slika 37.	Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po visokofrekvenčnem načinu	25
Slika 38.	Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po klasičnem načinu	26
Slika 39.	Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po visokofrekvenčnem načinu	26
Slika 40.	Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po klasičnem načinu	27
Slika 41.	Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po visokofrekvenčnem načinu	27

1 UVOD

1.1 UVOD

Delež lepljenega lesa predstavlja več kot 90% predelanega lesa. Poznavanje in razumevanje procesa lepljenja-stiskanja je zato iz stališča racionalne izrabe lesa, oziroma širše gledano gozda, ključnega pomena. Pri lepljenju lesa govorimo o t.i. hladnem, toplem in vročem lepljenju. Različni avtorji postavljajo različne meje za ločevanje med temi načini. Približne meje so naslednje: hladno lepimo pri temperaturah, ki so nižje od $\sim 35^{\circ}\text{C}$, toplo pri temperaturah do $\sim 90^{\circ}\text{C}$ in nad to temperaturo govorimo o vročem lepljenju.

Ko govorimo o temperaturah lepljenja, pa moramo izpostaviti razliko med klasičnim in visoko-frekvenčnim segrevanjem. Za klasično segrevanje je značilno, da toplota prehaja iz ogrevalnih plošč stiskalnice na izdelek, ki ga lepimo. Ker je suh les dober toplotni izolator, je prenos toplote razmeroma počasen. Kadar lepimo izdelke večjih debelin, se vzpostavi v lepljencu toplotni gradient, posledica katerega je gibanje vode v lepljencu z mesta z višjo temperaturo (bliže ploščam stiskalnice) proti mestom z nižjo temperaturo (sredina lepljenca). Posledično se torej v izdelku vzpostavi vlažnostni gradient, v končni fazi pa se v lepljencu generirajo napetosti. Pri visoko-frekvenčnem (v nadaljevanju VF) segrevanju se izdelek segreva po celotnem prerezu enakomerno, pogoj je enakomerna razporeditev vlažnosti (dejansko so nižje temperature na površini izdelka zaradi toplotnih izgub v okolico). Posledica takšnega segrevanja so veliko krajši časi stiskanja in povsem drugačna razporeditev vlage v lepljencu. Pri visoko-frekvenčnem segrevanju temperature dostikrat nimamo pod kontrolo, le ta pa, v primerjavi s klasičnim lepljenjem, zelo hitro naraste (Resnik, Berčič, Cikač, 1995). Posledica zelo hitrega segrevanja lepilne mešanice v lepilnem sloju, je zelo kratek čas utrjevanja lepila in uparjanja vode.

1.2 OPREDELITEV PROBLEMA

Lepljeni leseni izdelki imajo zaradi svojih lastnosti zelo širok spekter uporabe. Mehanske lastnosti lepljenih lesenih kompozitov so že podrobno raziskane. Relativno slabo raziskano pa je področje, kako vpliva način stiskanja furnir plošč na sorpcijske karakteristike.

Z različnim načinom lepljenja oz. stiskanja je hitrost utrjevanja lepila različna. Zaradi načina stopnje zamreženja, nudi večji zaviralni učinek pri desorpciji in adsorpciji vlage. Le to je lahko v določenih primerih ključnega pomena. Pri ploščah narejenih po klasičnem načinu, kjer prehaja toplota iz plošč na les je prehod temperature počasnejši in lepilo bolj penetrira v les, kot pa pri ploščah narejenih po VF načinu. Vendar pa se pri VF ploščah lepilo hitreje utrdi, zaradi hitrega prehoda temperature. Pri VF ploščah temperatura nastane z gibanjem molekul, katere je spodbudilo prehod električnega toka skozi element. Toplota se tu neposredno razvija v lesu, zato temperatura hitro narašča. Pri vsem tem pa pride do vprašanja kako način lepljenja vpliva na sorpcijskih lastnosti. Kajti pri klasičnem načinu je lepilo bolj penetrirano, s tem ima boljšo adhezijo med lesom in lepilom, kar nudi večji odpor za nabrekanje lesa. Pri VF načinu se lepilo hitreje utrdi in nudi večji odpor proti prodiranju vode v samo lepilo.

1.3 DELOVNA HIPOTEZA IN CILJI

Zaradi različnega postopka izdelave oz. stiskanja plošč, nas zanima katera plošča bolj sprejema vlago iz zraka? Katera plošča bo nudila »večji odpor« na navlaževanje in oddajanje vlage? Kateri sloji (zunani , notranji) se bodo bolj navlažili, v odvisnosti od izdelave plošč? Katera plošča bo imela večji nabrek oz. skrček?

Osnovni cilj naloge je sprotno spremljanje vlažnosti (gravimetrično) in po debelini in ugotoviti kako hitro posamezna plošča sprejema ali oddaja vlago iz okolice, ter katera od plošč je sprejela več oz. manj vlage.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 SORPCIJSKE LASTNOSTI LESNEGA TKIVA

Posledica higroskopnosti lesa je prilagajanje njegove vlažnosti spreminjajoči se relativni zračni vlažnosti, kar se odraža tudi na njegovih dimenzijskih spremembah (krčenje in nabrekanje). Volumensko krčenje in nabrekanje lesa je enako količini sprejete, oziroma oddane vode, ob upoštevanju zgostitve vode v celični steni. Higroskopnost je odvisna od števila sorpcijskih mest, oziroma prostih polarnih hodrifilnih skupin, ki so sposobne vezati molekule vode. Od stenskih sestavin so najbolj higroskopske polioze, sledijo pa jim celuloza in lignin, ter nekateri ekstraktivi.

Kristaliti celuloznega skeleta vežejo vodo le na svoji površini. Molekule, ki so neposredno sorbirane na hidroksilne skupine stenskih komponent, se imenujejo »primarne« in imajo visoko vezalno energijo. Ker les ni homogen, niti strukturno, niti glede sorpcijske energije, tudi vsa sorpcijska mesta nimajo enake možnosti vezanja vodnih molekul.

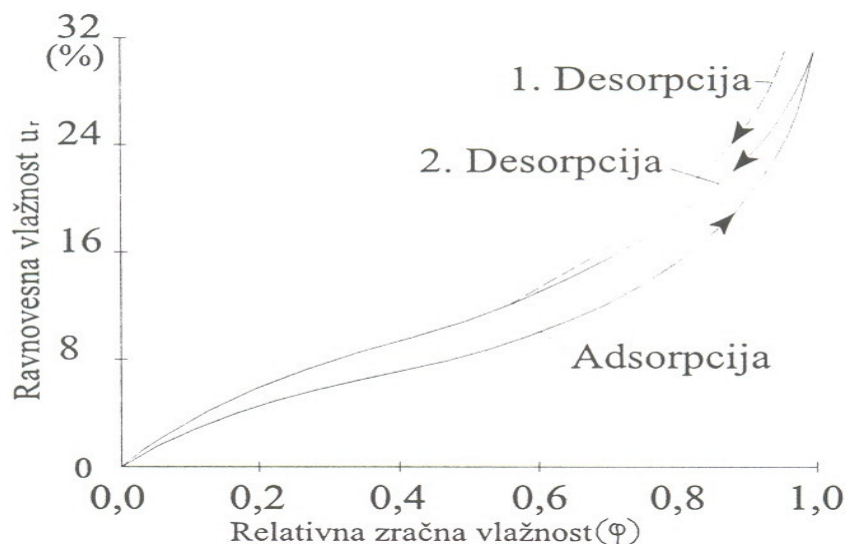
2.1.1 Higroskopnost, ravnovesna vlažnost in histereza lesnega tkiva

Ker je higroskopen, je vselej bolj ali manj vlažen. Vlažnost lesa v stanju higroskopskega ravnovesja je ravnovesna vlažnost lesa (u_r), ki je v kvazilinearnem območju približno proporcionalna relativni zračni vlažnosti okolice, v kateri se les nahaja. Poleg relativne zračne vlažnosti in temperature, ki določata klimo, vplivajo na ravnovesno vlažnost še: sorpcijska zgodovina, sorpcijska histereza, gostota lesa, kemične lastnosti, morebitni predhodni hidrotermični postopki in napetostna stanja lesa.

Sorpcijske izoterme za les, ki jih dobimo s postopnim uravnovešanjem v padajočih (sušenje – desorpcija) oziroma v naraščajočih (navlaževanje – adsorpcija) relativnih zračnih vlažnostih, pri konstantni temperaturi, so sigmoidne in tvorijo zaključeno histerezo zanko. Absolutna vrednost razlike med adsorpcijo in desorpcijo je praviloma največja v sredini higroskopskega območja ($\varphi = 60 - 80\%$). Če ravnovesno lesno vlažnost pri postopku adsorpcije delimo z ravnovesno vlažnostjo lesa pri procesu desorpcije, dobimo razmerje adsorpcija/desorpcija (A/D), ki doseže najnižjo vrednost približno 0,80. Pri višjih temperaturah se ravnovesna vlažnost lesa znižuje, gibljivost vezane vode je čedalje večja, močnejše niha celulozna kristalna rešetka, vezi med molekulami celuloze slabijo in plastičnost je večja, zato so razlike med adsorpcijo in desorpcijo čedalje manjše.

Sorpcijsko histerezo povzroča več dejavnikov. Do razlik med A/D pride zaradi počasne porazdelitve vodnih molekul, ki jim nasprotuje še nabrekovalni tlak zaradi dolgotrajnega uravnovešanja. Klimatski pogoji pa se pogosto spreminjajo še pred doseženim popolnim ravnovesjem (Skaar, 1972). Pri postopnem uravnovešanju na več sorpcijskih intervalih je doseženo večje histerezo razmerje. Sorpcijsko histerezo predpisujejo polarnim hidroksilnim skupinam celuloze, ki vežejo vodo z vodikovo vezjo. V nasičenem stanju so vse hidroksilne skupine stenskih snovi zasičene u adsorbirano vodo.

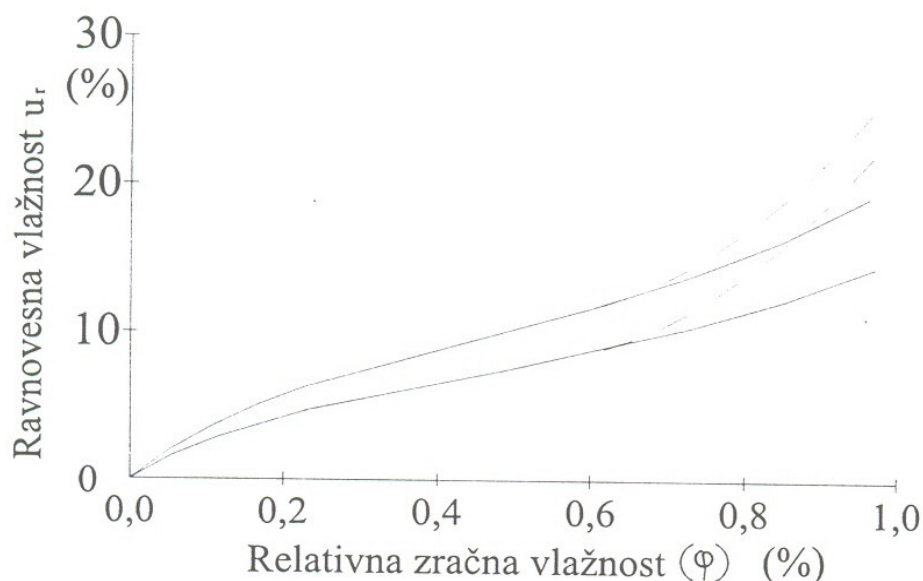
Pri sušenju hidroksilne skupine oddajo vodo, celulozne verige pa se zbližajo in medsebojno povežejo z vodikovimi vezmi. Pri naslednji adsorpciji vse hidroksilne skupine niso takoj sposobne vezati vodo, zato je ravnovesna vlažnost v procesu adsorpcije manjša. Vezi med sosednjimi celuloznimi molekulami so vse šibkejšje in po večkratni desorpciji in adsorpciji se razlike med desorpcijo in adsorpcijo zmanjšujejo (sl.1).



Slika 1: Sorpcijske izoterme za primarno desorpcijo, adsorpcijo in sekundarno desorpcijo (Jene, 2004).

Cit. Barkas (1949) (po Jene, 2004) so histerezo razložili tudi s termodinamičnega vidika. Les kot nabrekajoči gel ni popolnoma elastičen, krčenje in nabrekanje povzročata nastanek različnih deformacij, ki so posledica napetostnih stanj v lesnem tkivu. Zaradi spreminjanja plastične preoblikovanosti z vlažnostjo, se pojavijo energetske izgube pri adsorpciji in desorpciji, ki naj bi bile glavni razlog za pojav histereze.

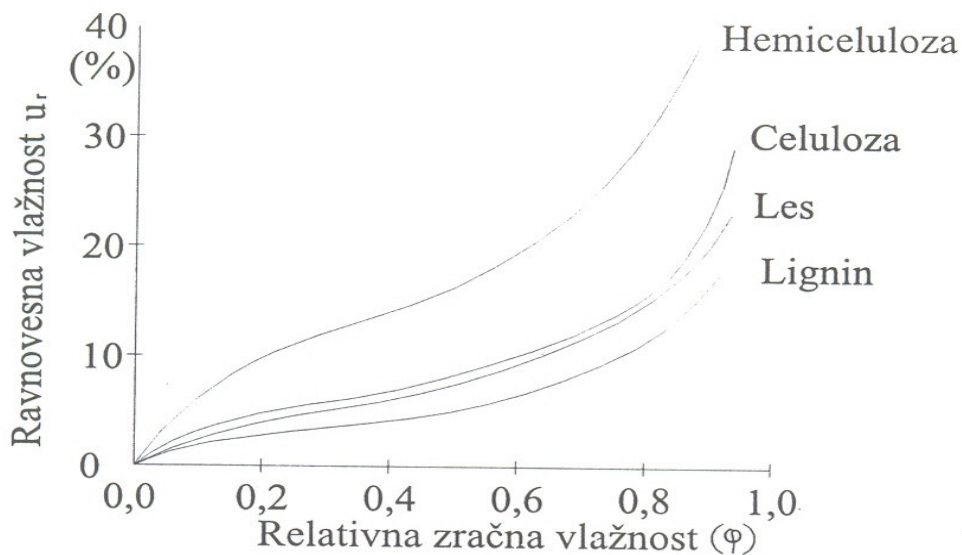
Na sorpcijske lastnosti lesa vplivajo tudi jedrovinske snovi, večinoma polifenoli (flavaoidi, lignani, tanini). Te so inkrustrirane v celično steno in »zasedejo«
prostor, v katerem bi se odložila vezana voda cit. Wangaard in Granados, (1967 in Choong in Achmadi, 1991), kar povzroči nižjo ravnovesno vlažnost jedrovine od celic, kjer niso inkrustrirane jedrovinske snovi. Učinek jedrovinskih snovi na sorpcijo, se kaže v zgornjem območju relativne zračne vlažnosti (nad 60%) (sl.2).



Slika 2: Sorpcijske izoterme za ekstrahirano (---) in neekstrahirano (-) jedrovino (Wangaard in Granados, 1967).

Razlike v higroskopnosti in sorpcijskih izotermah so posledica variabilnosti zgradbe lesne snovi (celuloza, hemiceluloza, pektini, lignini in ekstraktivne snovi), higroskopskega potenciala in anatomske zgradbe lesa. Med lesnimi sestavinami imajo hemiceluloze največjo sorptivno kapaciteto, sledita pa jim celuloza in lignin.

Po Christensenu in Kelseyu (1959) k celotni sorpciji še vedno največ prispeva celuloza (47%), nato je specifično najbolj higroskopna hemiceluloza (37%), najmanj pa prispeva lignin, ki je specifično najmanj higroskopen (17%), (sl.3)



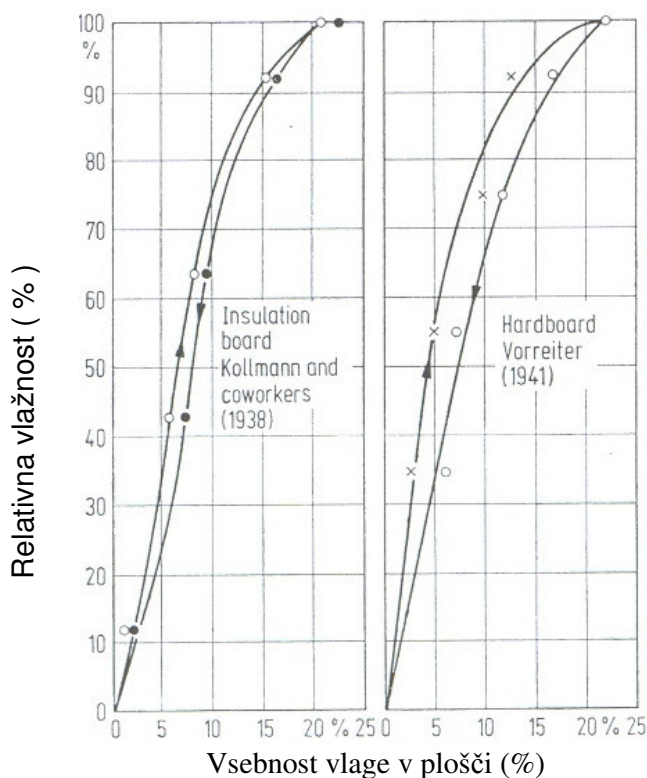
Slika 3: Adsorpcijske izoterme za hemicelulozo, celulozo, lignin in les (po Christensenu in Kelseyu, 1959).

Les je sestavljen v glavnem iz treh sestavin: celuloze, lesnih polioz (v večji meri znanih kot hemiceluloza) in pa lignina. Runkel in Luthgens (1956) sta pri tem prišla do naslednjih splošnih ugotovitev:

1. Hemiceluloze so na podlagi njihovih močnih hidrofilij in njihovih relativno visokih deležev v sestavi lesa, poleg celuloze, glavni nosilec sorpcije
2. Lignin, ki je v glavnem odložen v sestavljeni srednji lameli, je le neznatno propusten in povrh tega pa blokira tam, kjer ga objemajo polisaharidi, ki zavirajo vpojnost
3. Celuloza je znatno sorpcijska, ampak hemiceluloza v nobeni smeri ne dosega njenih vrednosti.

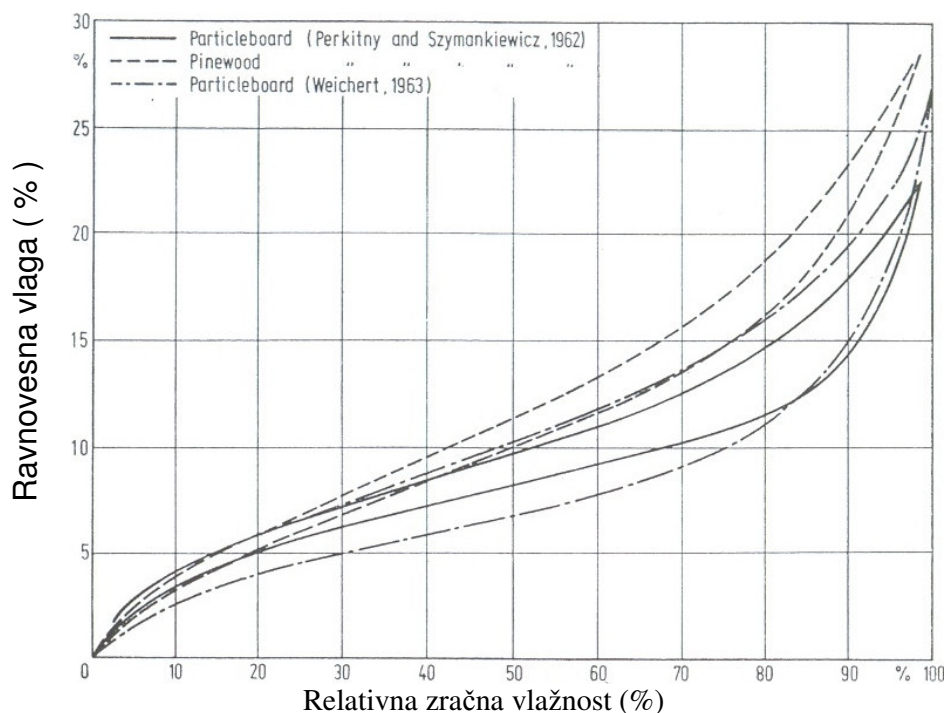
Christensen in Kelsey (1959) citirano po Kollmannu (1963) pri raziskavi jedra iz *Eucalyptus regnans* in od tam izoliranih sestavin sta ugotovila da ima hemiceluloza največjo vpojno zmožnost, lignin pa najmanjšo (sl.7).

Predstavitev lesnih plošč in njihovih vlažnostnih sprememb od vlaknene plošče pa vse do masivnega lesa (sl. 4, 5, 6, 7).



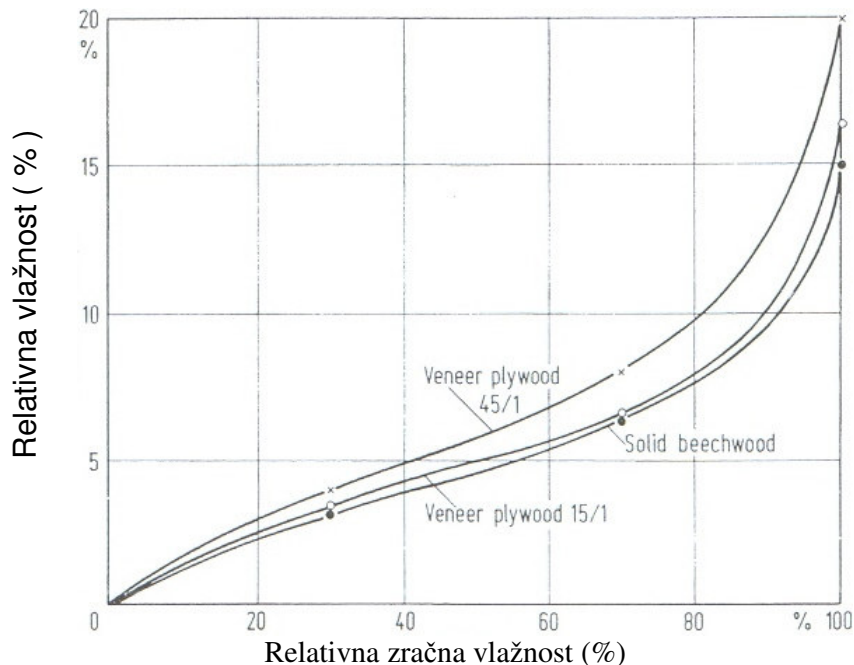
Slika 4: Histerezna zanka za adsorpcijo in desorpcijo od izolacijske vlaknene plošče in MDF plošče (Kollmann, 1938 in Vorreiter, 1941)

Slika 4 prikazuje da ima MDF plošča višjo vlažnost od izolacijske vlaknene plošče.



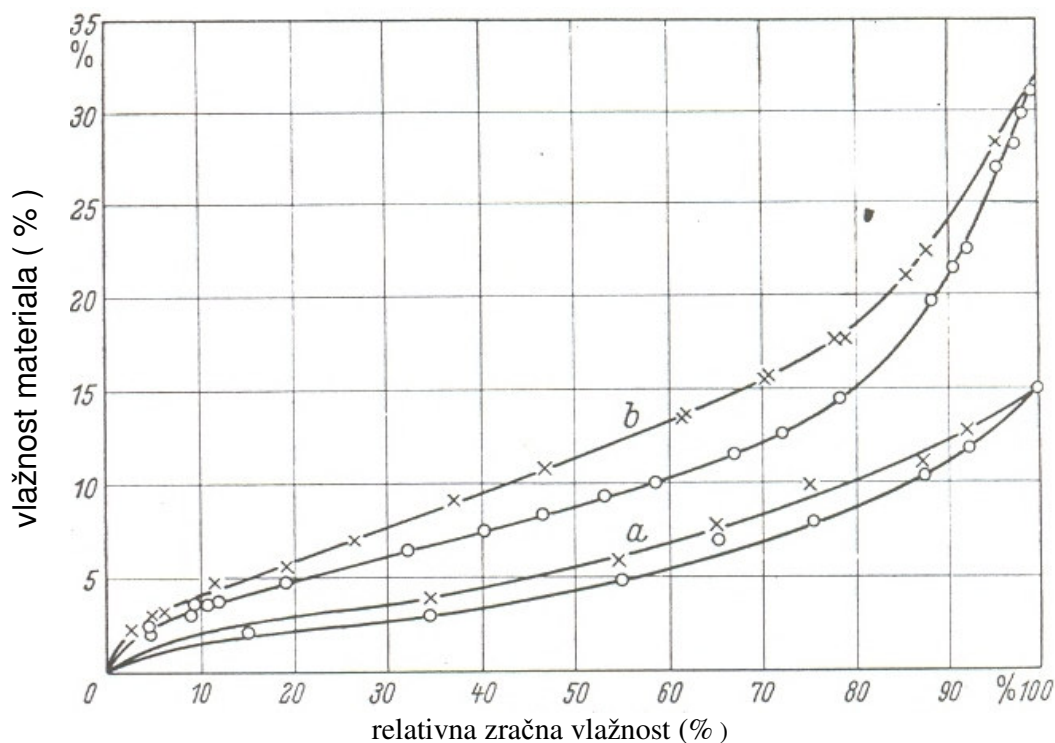
Slika 5: Higroskopske izoterme za desorpcijo po adsorpciji od iverne plošče in za primerjavo trdo borovo ploščo (Perkitny in Szymankiewicz, 1962 in Weichert, 1963)

Slika 5 prikazuje, da ima masivna borova plošča višjo vlažnost od iverne plošče.



Slika 6: Higroskopsko ravnesje med furnirsko ploščo narejeno iz bukovega furnirja in furnirsko ploščo 45 na 1 cm in furnirsko ploščo 15 na 1 cm (Küch, 1936)

Slika 6 prikazuje, da ima furnirska plošča 45 na 1 cm višjo vlažnost od navadne bukove furnirske plošče.



Slika 7: Sorpcijski histerezi za a – vlaknena plošča in b – masivni les smrekovine (Christensen in Kelsey, 1959)

Na sliki 7 vidimo, da ima masivni smrekov les višjo vlažnost od vlaknene plošče.

2.2 NAČINI LEPLJENJA OZ. STISKANJA

2.2.1 Temperatura stiskanja

Pri lepljenju oz. stiskanju lesa govorimo o t.i. hladnem, toplem in vročem stiskanju. Različni avtorji postavljajo različne meje za ločevanje med temi načini. Približne meje so naslednje: hladno lepimo pri temperaturah, ki so nižje od ~ 35°C, toplo pri temperaturah do ~ 90°C in nad to temperaturo govorimo o vročem lepljenju. Vpliv temperature na hitrost utrjevanja oz. čas stiskanja je odvisen od vrste lepila in oblike konstrukcije, ki jo lepimo.

Ko govorimo o temperaturah stiskanja, izpostavimo razliko med klasičnim in visoko-frekvenčnim segrevanjem. Za klasično segrevanje je značilno, da toplota prehaja iz ogrevalnih plošč stiskalnice na izdelek, ki ga lepimo oz. stiskamo. Ker je les dober izolator, je prenos toplote razmeroma počasen. Pri visoko-frekvenčnem segrevanju se izdelek segreva pri konstantni vlažnosti po celotnem preseku enakomerno (dejansko so najnižje temperature na površini izdelka zaradi toplotnih izgub v okolico). Toplota prehaja iz sredine obdelovanca, kjer se zaradi frekvence začno molekule gibati in s tem ustvarjati toploto, ki nato prehaja navzven. Posledica takšnega segrevanja so veliko krajši časi stiskanja in povsem drugačna razporeditev vlage v lepljencu.

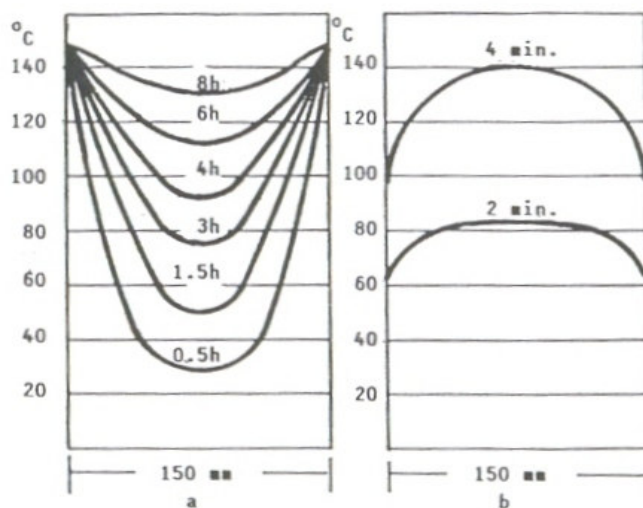
2.2.2 Posredno in neposredno segrevanje lesa

Segretje lesa za tehnološke potrebe je mogoče opraviti bodisi posredno ali neposredno. **Posredno segrevanje** obsega že dolgo časa poznane in uporabljene načine in postopke. Potrebno toploto pri tem načinu je potrebno najprej pridobiti z izgorevanjem ali z drugimi kemijskimi procesi ali pa z električnim tokom, ki segreva ustrezne grelce. Za vse posredne postopke segrevanja velja, da se potrebna toplota proizvaja zunaj predmeta, ki je predmet segrevanja, predmetu pa se nato dovaja oz. se nanj prenaša s prehodom in sevanjem. Postopki, ki se pri tem uporabljajo, so zelo različni in odvisni od segrevanja materiala in vira toplote. Razvoj te oblike segrevanja poteka v zadnjem času predvsem v smeri izpopolnjevanja postopkov in sredstev prenosa, medtem ko obstaja sam princip nespremenjen.

Drug način segrevanja, ki se v lesni industriji veliko uporablja, je **neposredno segrevanje**. Ta način je pri segrevanju lesa zastopan predvsem z dielektričnim ali kapacitivnim segrevanjem lesa, oz. segrevanjem lesa v polju visokofrekvenčne napetosti. Poleg kapacitivnega načina segrevanja poznamo še induktivno segrevanje, ki pa je primerno predvsem za dobre prevodnike električnega toka, kar pa les ni. Kapacitivni način segrevanja temelji na izrabljanju izgube energije pri polnjenju in praznjenju kondenzatorja, ki se izraža v obliki segrevanja dielektrika, v našem primeru lesa, vloženga med plošči kondenzatorja. Ker toplota nastaja v lesu samem, njeno širjenje ni odvisno od toplotne prevodnosti lesa, kot je to pri posrednem načinu segrevanja lesa. Na ta način segrevani les bi moral teoretično imeti enako temperaturo v notranjosti in na površini, vendar je zaradi izgub toplote, ki so posledica sevanja v okolico in prehoda toplote na elektrode, temperatura v notranjosti segrevanca višji kot na površini.

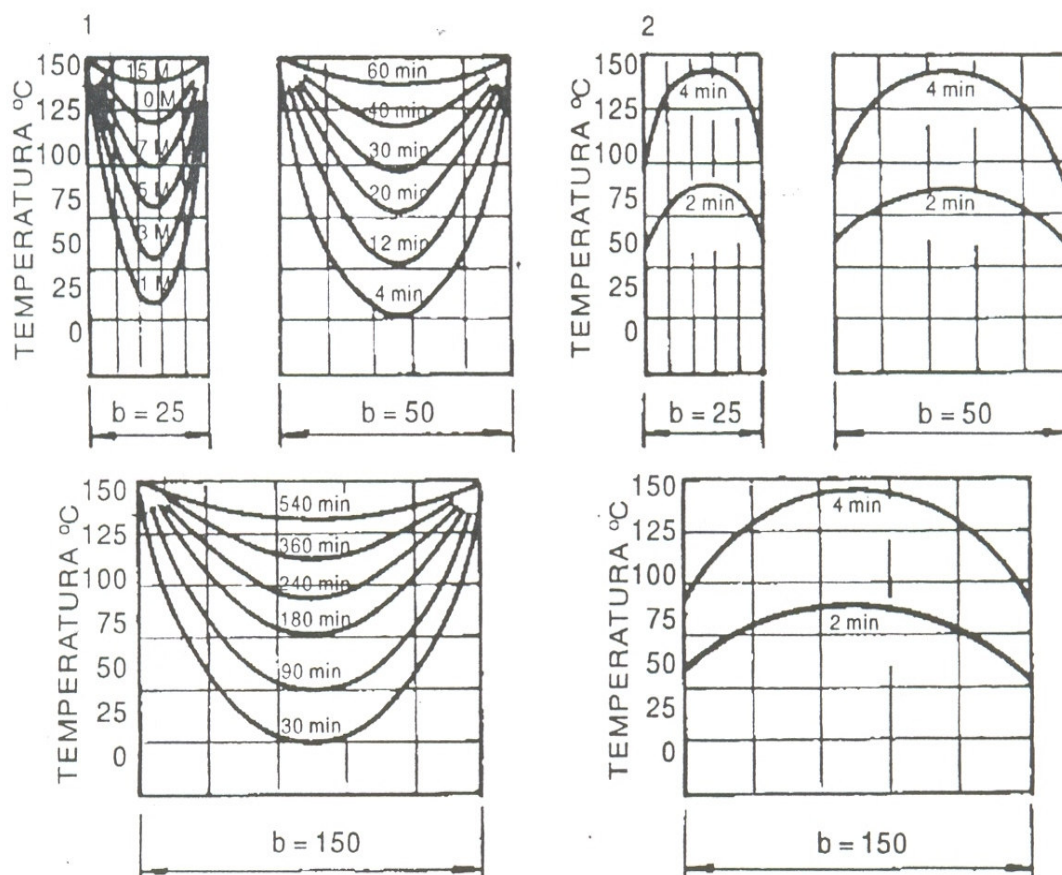
Iz slike 8 je razvidno, da pri konstantnem gretju lesa temperatura raste s površine v notranjost. Gradient temperature po debelini lesa je različen, kar zavisi od debeline lesa, temperatura se s časom gretja približuje temperaturi grelnega telesa, ki oddaja toploto.

Tako npr. pri temperaturi grelnega telesa 150°C in času gretja 540 min. pri debelini 150 mm temperatura v sredini lesa ni dosegla temperature grelnega telesa. To dokazuje, da je kontaktno gretje lesa večjih debelin neracionalno.



Slika 8: Shematski prikaz porazdelitve temperature pri klasičnem (a) in dielektričnem (b) segrevanju lesa debeline 150 mm, odvisno od časa (Resnik, Berčič, Cikač, 1995)

Slika 9 prikazuje primerjavo klasičnega (1) in visokofrekvenčnega lepljenja (2). Čas za doseg potrebne temperature pri klasičnem lepljenju se s debelino povečuje. Pri visokofrekvenčnem lepljenju je čas dosežen pri vseh treh debelinah (25 mm, 50 mm, 150mm) enako hitro (4 minute). Gradient temperature v tem primeru (2) prikazuje da je nasprotno od kontaktnega gretja, da je temperatura v notranjosti višja kot na površini. Na tretjini debeline je temperatura še vedno visoka ali pa tudi enaka. Gradient temperature po debelini prikazuje, da je takšen način gretja zelo homogen in da omogoča gretje velikih debelin lesa pri kratkem času gretja.



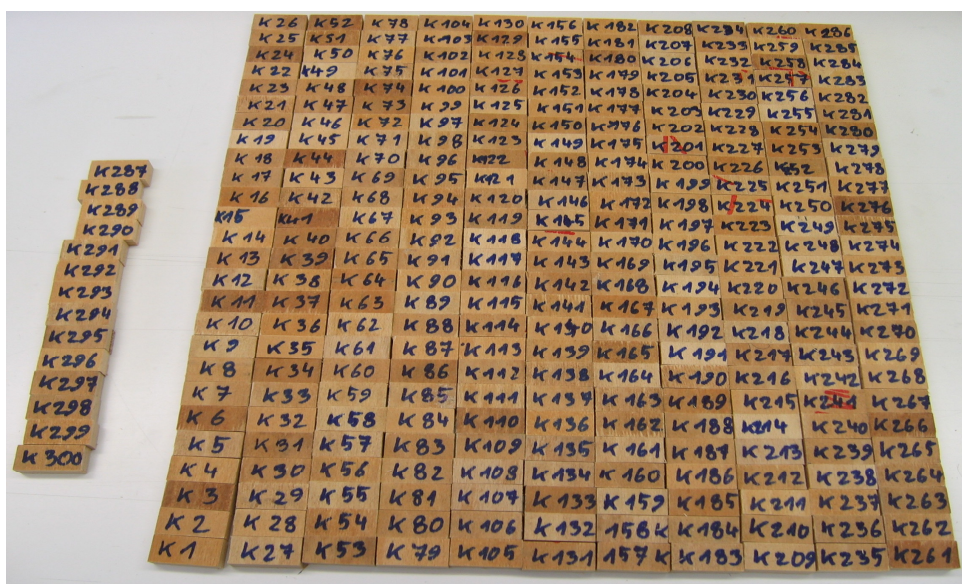
Slika 9: Prikaz temperature glede na debelino pri posameznem postopku (Backović, 1996)

V primeru segrevanju lesa, ki je vzporedna posledica določenega tehnološkega postopka (npr. pri vročem utrjevanju nanesenega lepila), segrevanje ali celo pregretje lesa ni zaželeno, saj so lahko posledica različne napake, kot so obarvanje, pokanje, sprememba dimenzij ali odlike lesa oz. izdelka.

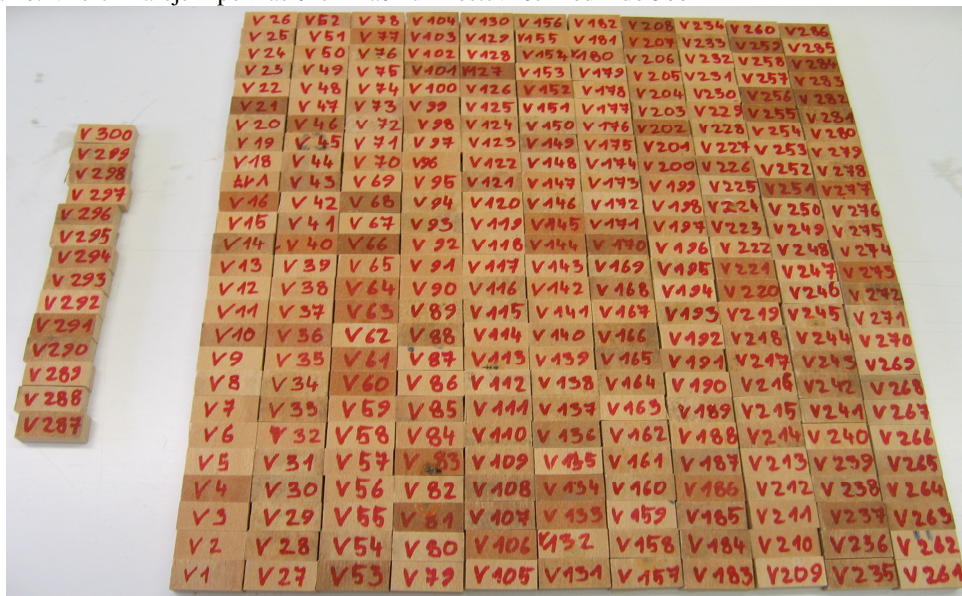
3 MATERIALI IN METODA DELA

3.1 MATERIALI

V eksperimentu smo uporabili bukove (*Fagus sylvatica* L) sedem slojne furnirske plošče debeline 14 mm. Tri plošče so bile zlepljene po klasičnem načinu in tri plošče po visokofrekvenčnem načinu. Za lepljenje je bilo uporabljeno UF (urea-formaldehidno) lepilo. Iz vsake plošče smo izrezali po 100 vzorcev dimenzij 40x20x14 mm. Tako smo dobili 300 vzorcev iz klasičnih plošč in 300 vzorcev iz visokofrekvenčnih plošč. Vzorce smo oštevilčili od 1 do 300 kot prikazuje slika 11 in 12. Vse vzorce smo uravnovesili na sobno klimo $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ in relativna zračna vlažnost $\varphi = 65 \pm 5\%$.



Slika 10: Vzorci narejeni po klasičnem načinu in oštevilčeni od 1 do 300



Slika 11: Vzorci narejeni po visokofrekvenčnem načinu in oštevilčeni od 1 do 300

Vzorci smo na začetku razdelili na dva dela in sicer smo eno serijo najprej izpostavili klimi z višjo (85%) in nato klimi z nižjo relativno zračno vlažnostjo (35%). Pri drugi seriji pa smo vzorce najprej izpostavili nižji in nato višji relativni zračni vlažnosti. Nato smo vzorce razdelili po načinu meritev, polovico vzorcev smo merili gravimetrični, polovico vzorcev pa s pomočjo merilnika gostotnih profilov v nadaljevanju (MGP). Z MGP smo spremljali spreminjanje gostote po posameznem sloju oz. glede na debelino. Iz dobljenih podatkov smo nato izračunali debelino, maso, gostoto in vlažnost posameznega sloja.

Pri gravimetričnem merjenju smo vzorce še dodatno razdelili na dva dela. Na nerazslojene vzorce in na razslojene vzorce. Vzorci so bili vzeti iz plošče tako da so bili eden zraven drugega npr. (št. 2 – nerazslojen, št. 3 – razslojen, št. 4 – nerazslojen in št. 5 - MGP), tako da je meritev čim manj odstopala. Pri obeh načinih gravimetrično merjenih vzorcev smo merili maso, dolžino, širino in debelino vzorcev. Pri nerazslojenih vzorcih smo ugotavljali kako se vzorec spreminja glede na spremembo vlažnosti. Pri razslojenih vzorcih smo ugotavljali kako se spreminjajo zunanji (1,2 in 6,7) in srednji (3,4,5) sloj glede na spremembo vlažnosti.

Sloji 1,2 in 6,7 furnirji so zunanja sloja in 3,4,5 furnirji pa sredinski sloj.



Slika 12: Sedemslojna furnirska plošča

3.2 METODA DELA

Najprej smo vse vzorce izpostavili normalni klimi ($T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$ in $\varphi=65\pm 5\%$). Izpostavljeni so bili tako dolgo dokler nismo dosegli konstantne mase (sprememba mase manjša od 0,1%). Vzorce smo nato izpostavili klimi z višjo ($\varphi = 85\pm 5\%$) oz nižjo ($\varphi = 35\pm 5\%$) relativno zračno vlažnostjo. Temperatura je bila vedno konstantna in sicer $20\pm 2^{\circ}\text{C}$. Vsak dan smo na vzorcih merili maso in debelino (gravimetrično) in gostotni profil na merilniku MGP. Meritev smo izvajali tako dolgo dokler se vzorci niso uravnovesili oz. meritev ni odstopala od prejšnje meritve za 0,1%. Zatem smo vzorce, ki so bili izpostavljeni klimi z višjo relativno zračno vlažnostjo, izpostavili klimi z nižjo, tiste iz klime z nižjo pa v klimi z višjo relativno zračno vlažnostjo. Ponovno smo spremljali spremembo mase, debeline in gostote. Ves postopek z meritvami smo ponovili dokler se vzorci niso uravnovesili in meritev ni odstopala za 0,1%.

Po končanih meritvah smo vzorce posušili do absolutno suhe vlažnosti pri temperaturi $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ do konstantne mase.

3.3 MERITVE in RAZSLOJEVANJE GLEDE NA SLOJ

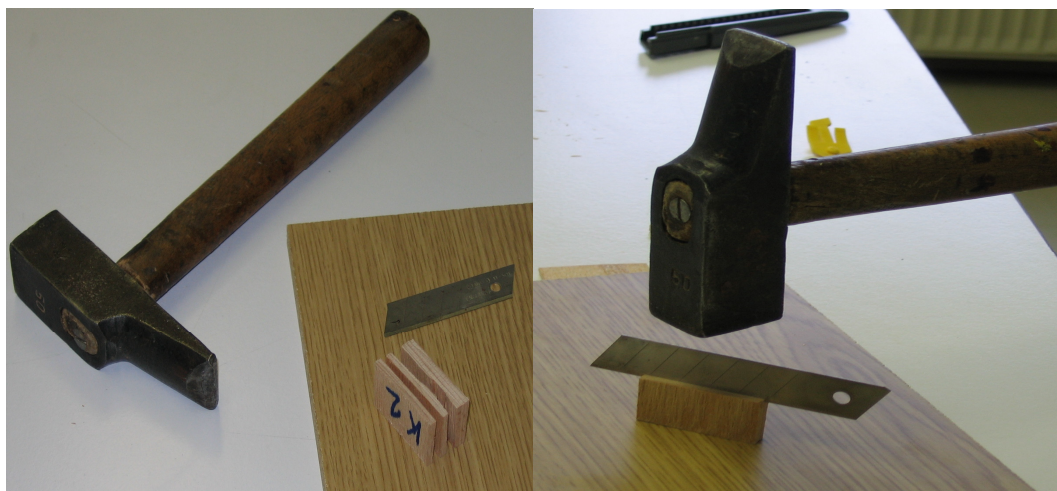
Za določanje vlage glede na sloj v vzorcu smo uporabili dva načina meritve in sicer gravimetrično in z merilnikom gostotnih profilov. Merilnik za merjenje gostotnih profilov je zasnovan na merjenju spremembe intezitete žarkov gama pri prehodu skozi vzorec. Iz dobljenih meritev smo preračunali vsebnost vlage v vzorcu po debelini za vsak sloj posebej.

Pri gravimetričnem določanju smo vzorce predhodno razslojiti na tri sloje (slika 13). Razslojene vzorce smo gravimetrično merili, da smo dobili mase iz katerih smo preračunali vlažnost glede na vsak razslojen delec.



Slika 13: Razslojevanje na tri dele po slojih

Vzorce smo debelinsko razslojili po furnirju na tri dele, na zunanja sloja (1,2) in (6,7) ter na srednji sloj (3,4,5). Razslojitev smo izvajali s kladivom in rezilom kot je vidno s slike (13, 14).



Slika 14, 15: Razslojevanje vzorca s kladivom

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 SPREMEMBA VLAŽNOSTI

Pri normalnih klimatskih pogojih (temperatura $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ in relativna zračna vlažnost $65\pm 5\%$) je imela VF plošča višjo vlažnost od klasične plošče. Po izpostavitvi klimi z povišano relativno zračno vlažnostjo $85\pm 5\%$ je pa klasična plošča sprejela več vlage od VF plošče in po izenačitvi je imela višjo vlažnost od VF plošče. Po izpostavitvi klimi z nižjo relativno zračno vlažnostjo ($35\pm 5\%$) je klasična plošča oddala več vlage in po izenačitvi je imela nižjo vlažnost od VF plošče.

	Klasični način	VF način
Št. vzorcev (n)	25	25
$\bar{u}$	8,0%	8,3%
st. odklon	0,123	0,192
c. v.	0,0147	0,0228
min	7,9%	6,8%
max	8,1%	8,3%

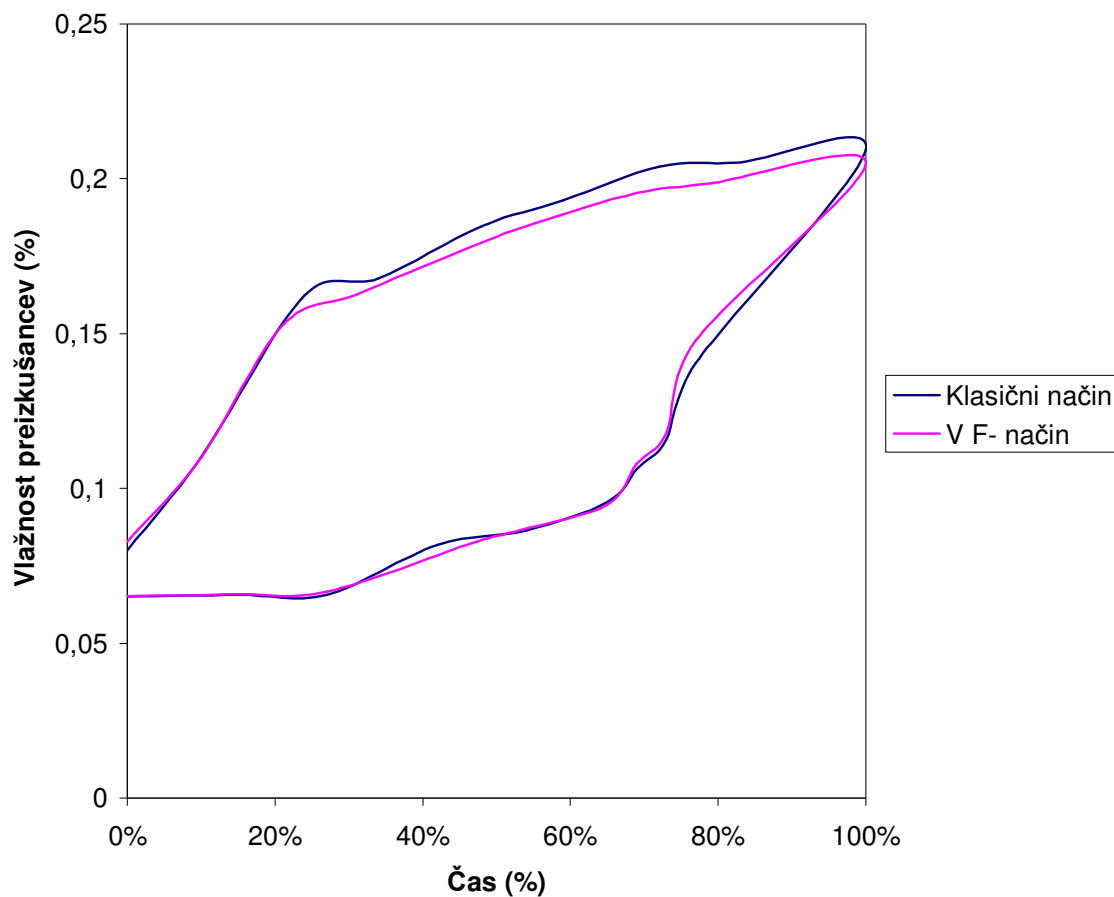
Slika 16: Vlažnosti pri relativni zračni vlažnosti $65\pm 5\%$

	Klasični način	VF način
Št. vzorcev (n)	25	25
$\bar{u}$	20,9%	20,5%
st. odklon	0,143	0,241
c. v.	0,0153	0,0257
min	20,5%	18,2%
max	20,9%	20,9%

Slika 17: Sprememba vlažnosti pri relativni zračni vlažnosti $85\pm 5\%$

	Klasični način	VF način
Št. vzorcev (n)	25	25
$\bar{u}$	6,50%	6,53%
st. odklon	0,121	0,185
c. v.	0,0144	0,0223
min	6,23%	6,5%
max	6,75%	6,7%

Slika 18: Sprememba vlažnosti pri relativni zračni vlažnosti $35\pm 5\%$



Slika 19: Primerjava med preizkušanci

Kot lahko vidimo je vsebnost vlage pri vzorcih pri (85% relativna zračna vlažnost) lepljenih v klasični stiskalnici višja kot pri tistih lepljenih v visokofrekvenčni stiskalnici. Po končane izpostavitvi nižji klimi (35% relativna zračna vlažnost) razlike v načinu lepljenja oz. stiskanja niso vidne oz so minimalne.

4.2 SPREMEMBA DEBELINE

Pri normalnih klimatskih pogojih (temperatura $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ in relativna zračna vlažnost $65\pm 5\%$) je imela VF plošča nižjo debelino od klasične plošče. Po izpostavitvi klimi z povišano relativno zračno vlažnostjo $85\pm 5\%$ se je VF plošči debelina povečala za 0,03 mm več kot klasični plošči. Po izpostavitvi klimi z nižjo relativno zračno vlažnostjo ($35\pm 5\%$) se je VF plošči debelina zmanjšala za 0,03 mm več kot klasični plošči. Tako ocenjujemo da so razlike med ploščama skrčki in nabreki zelo minimalni.

	Klasični način	VF način
Št. vzorcev (n)	25	25
Izhodiščna deb.	14,04	13,96
st. odklon	0,13	0,14
c. v.	0,0095	0,0098
min	13,72	13,71
max	14,55	14,19

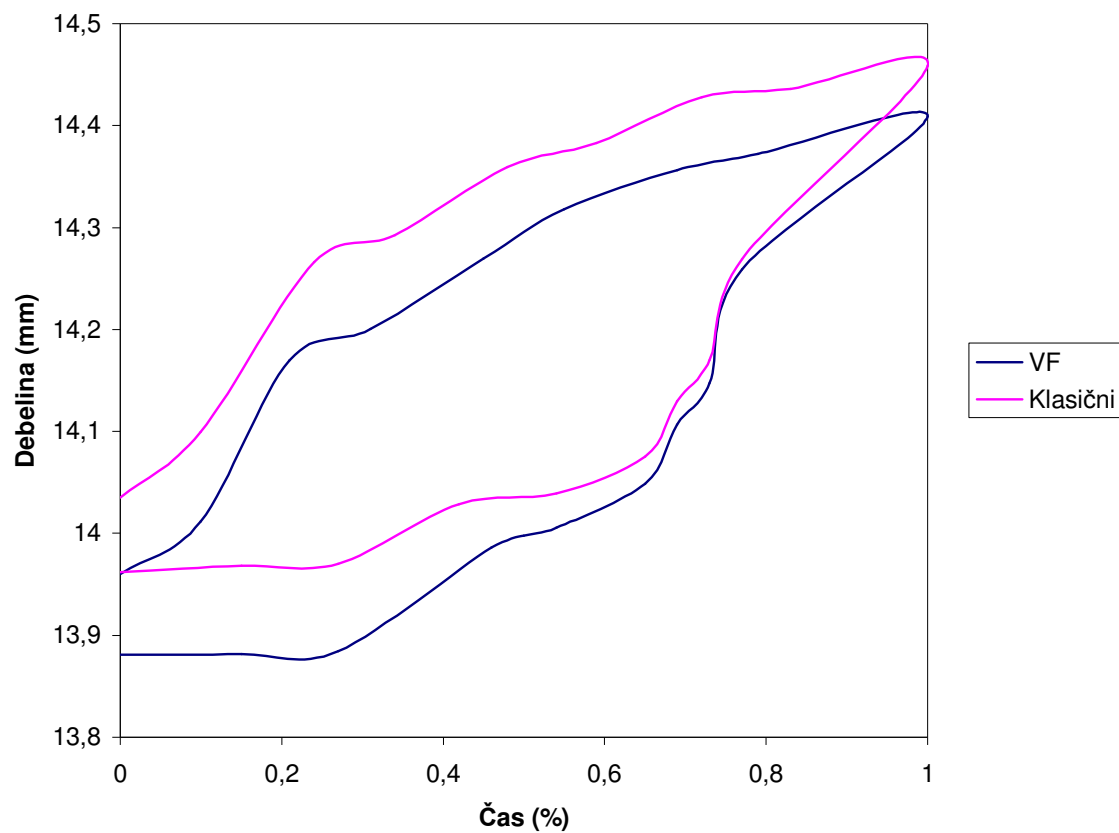
Slika 20: Debeline pri relativni zračni vlažnosti $65\pm 5\%$

	Klasični način	VF način
Št. vzorcev (n)	25	25
Nabrek - α	14,46	14,41
st. odklon	0,11	0,11
c. v.	0,0078	0,0080
min	14,19	14,23
max	14,67	14,64

Slika 21: Sprememba debeline pri relativni zračni vlažnosti $85\pm 5\%$

	Klasični način	VF način
Št. vzorcev (n)	25	25
Skrček - β	13,96	13,88
st. odklon	0,10	0,12
c. v.	0,0072	0,0088
min	13,78	39,54
max	14,12	14,07

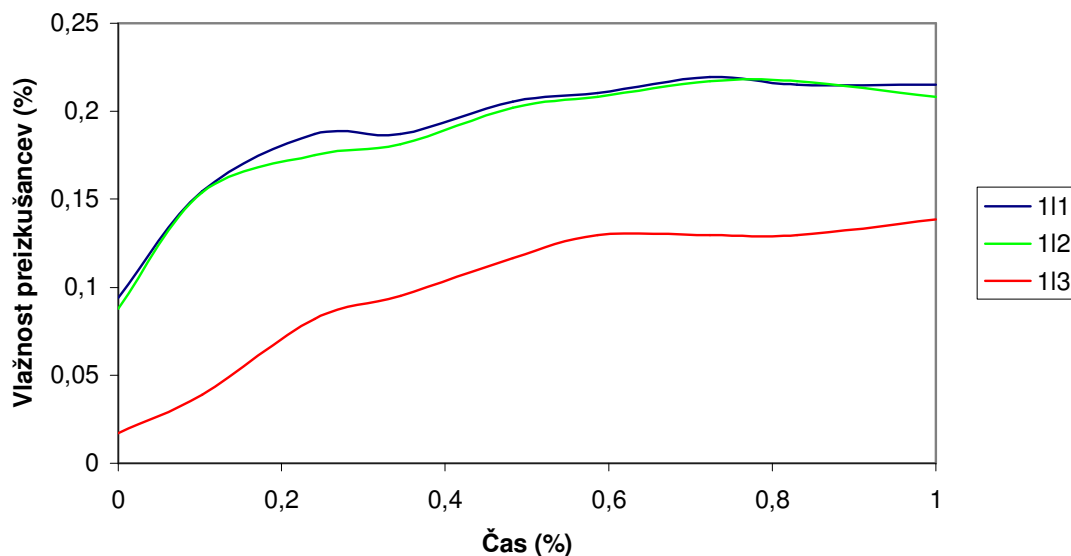
Slika 22: Sprememba debeline pri relativni zračni vlažnosti $35\pm 5\%$



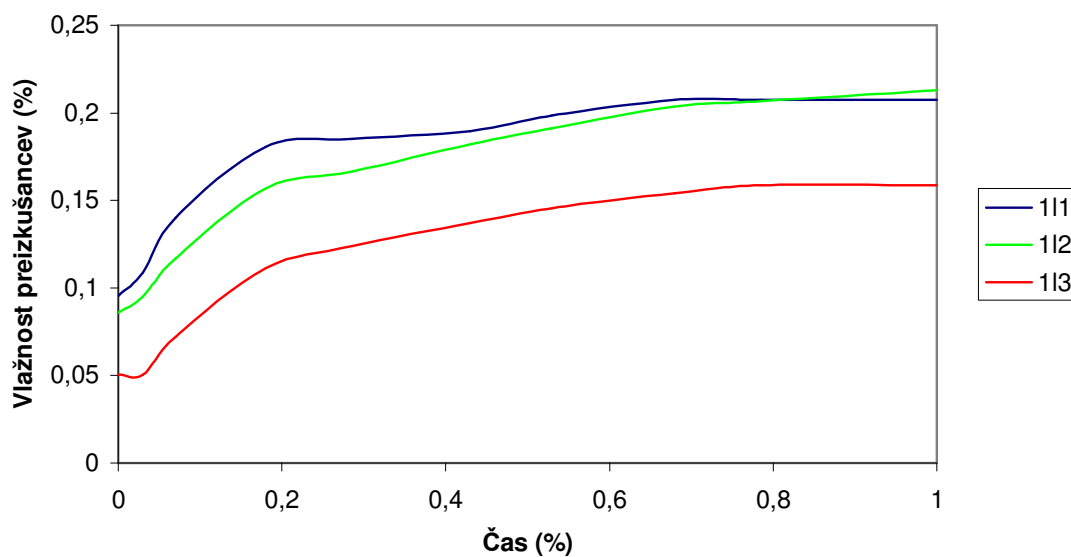
Slika 23: Primerjava med preizkušanci

4.3 SPEMEMBA VLAŽNOSTI GLEDE NA SLOJ

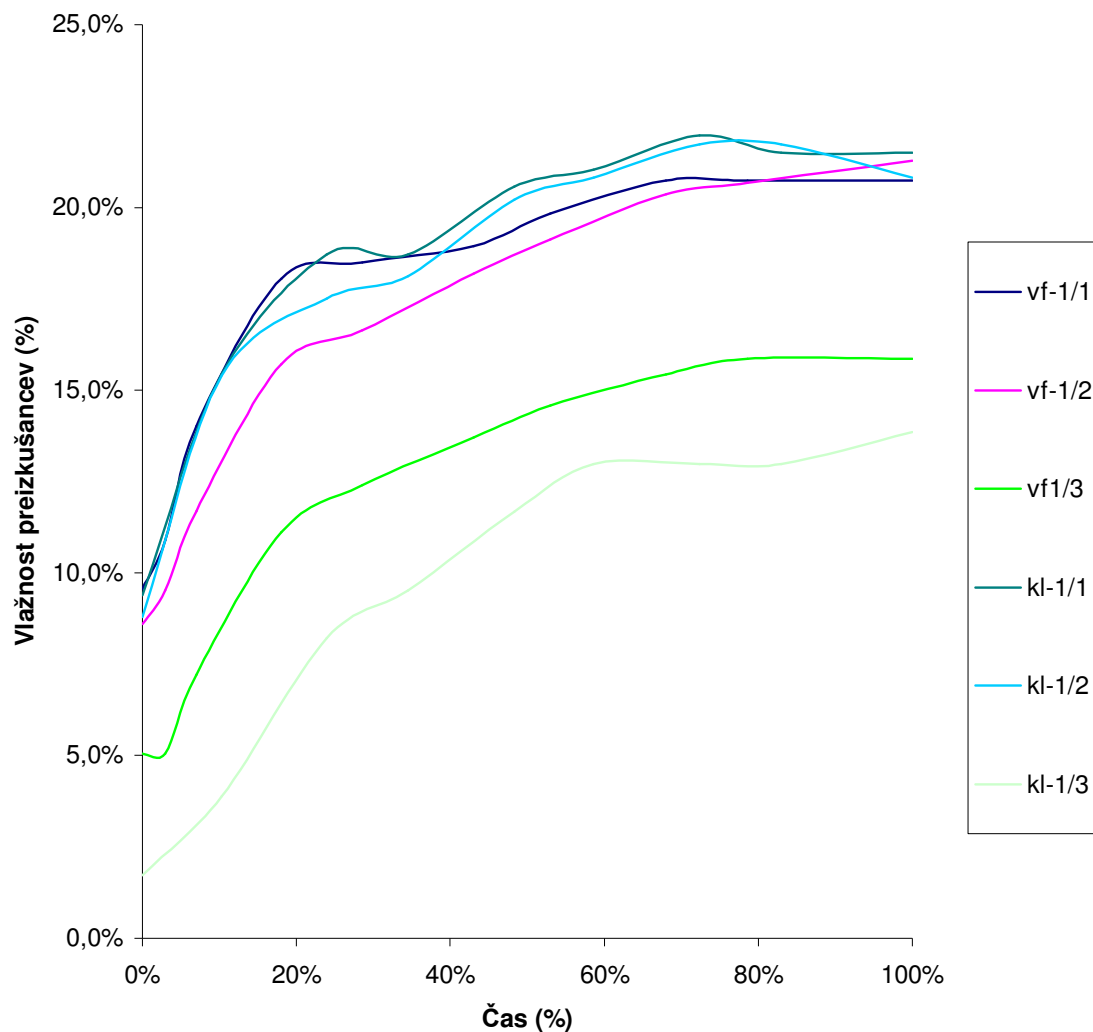
Eno serijo preizkušancev smo najprej izpostavili višji ($85\pm 5\%$) in nato nižji ($35\pm 5\%$) relativni zračni vlažnosti. Zaradi higroskopičnosti lesa in njegovega delovanja zaradi . spremembe vlažnosti okolja je prišlo tudi do spremembe debeline (slike 26, 27 in 28). Številke 1/1 sta 1,2 sloj, 1/2 sta 6,7 in 1/3 so 3,4,5 sloji (sl.10).



Slika 24: Navlaževanje pri preizkušancih narejenih po klasičnem načinu



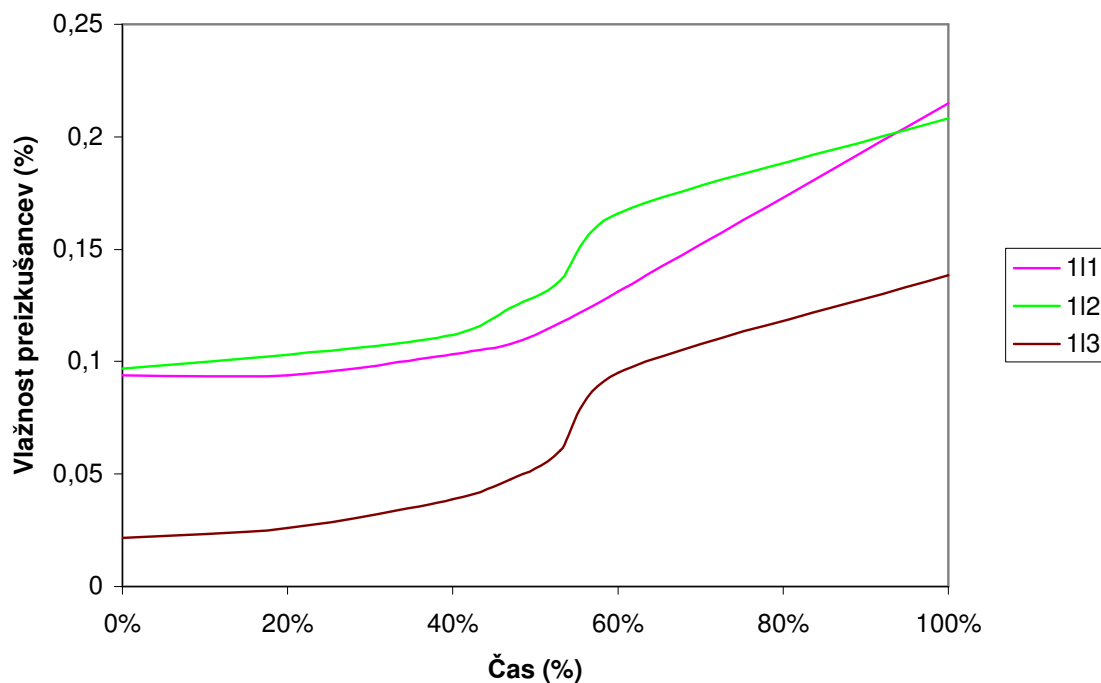
Slika 25: Navlaževanje pri preizkušancih narejenih po visokofrekvenčnem načinu



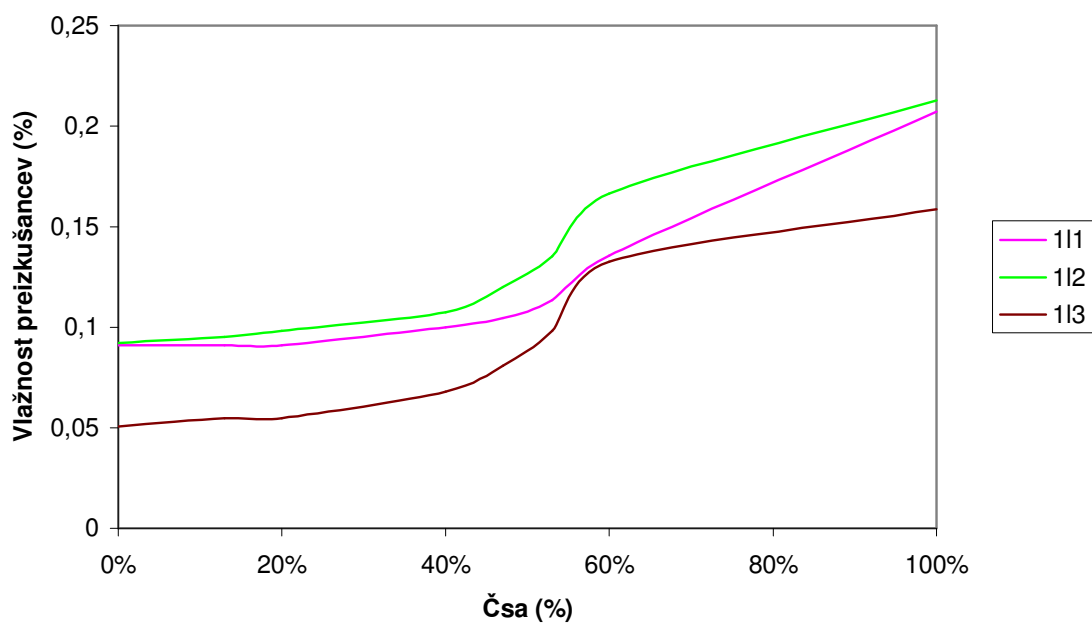
Slika 26: Primerjava med preizkušanci narejenih po obeh načinih

Pri navlaževanju vidimo da se zunanji sloji sorazmerno enako navlažujejo, medtem ko je vlažnost srednjega sloja nižja. Nižja vlažnost srednjega sloja je predvsem posledica počasnejšega prodiranja vlage v sredino.

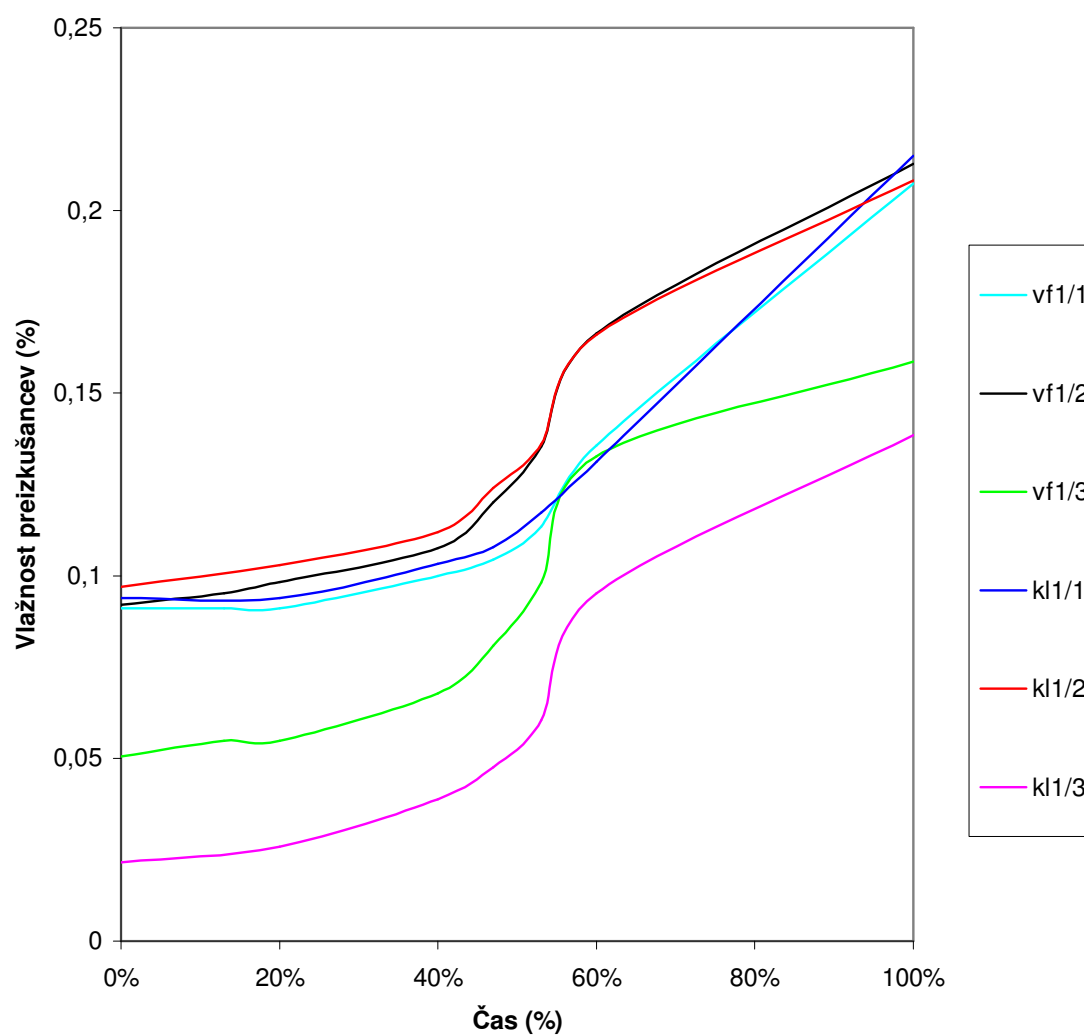
Drugo serijo preizkušancev pa smo najprej izpostavili nižji ($35\pm 5\%$) in nato višji ($85\pm 5\%$) relativni zračni vlažnosti. Zaradi higroskopičnosti lesa in njegovega delovanja je prišlo do spremembe debeline (slike 29, 30 in 31). Številke 1/1 sta 1,2 sloj, 1/2 sta 6,7 in 1/3 so 3,4,5 sloji (sl.10).



Slika 27: Sušenje pri preizkušancih narejenih po klasičnem načinu



Slika 28: Sušenje pri preizkušancih narejenih po visokofrekvenčnem načinu



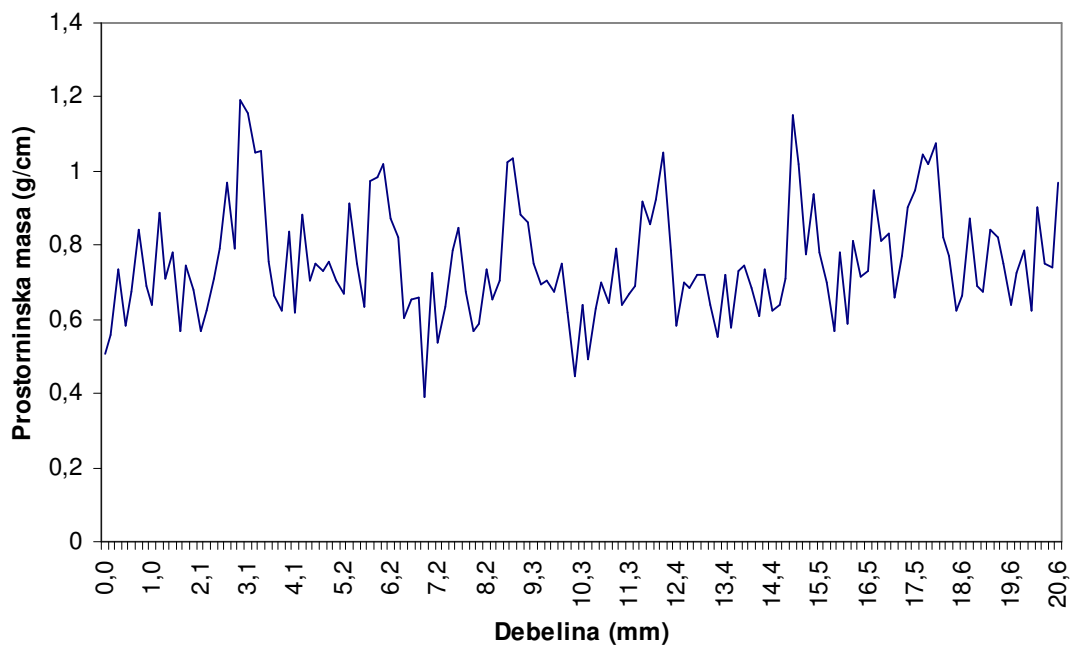
Slika 29: Primerjava med preizkušanci narejenih po obeh načinih

Tudi pri teh preskušancih lahko ugotovimo nižjo vlažnost srednjega sloja v primerjavi z vlažnostjo zunanjih slojev.

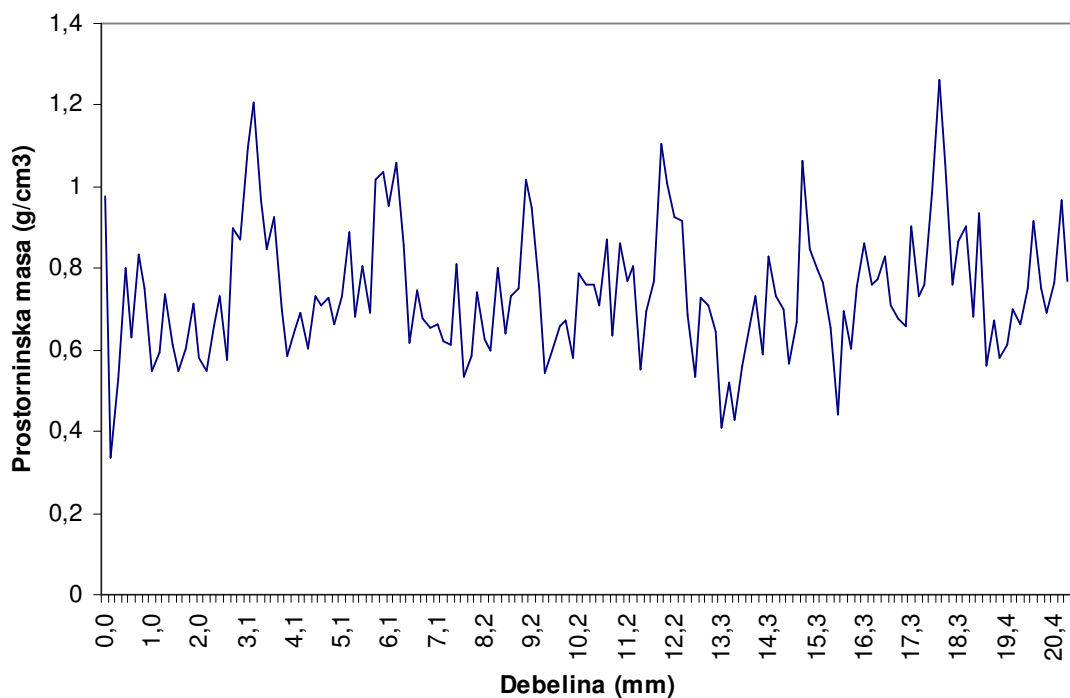
4.4 DOLOČANJE VLAŽNOSTI S POMOČJO MGP- merilnika

4.4.1 Gostota merjena z merilnikom gostotnih profilov

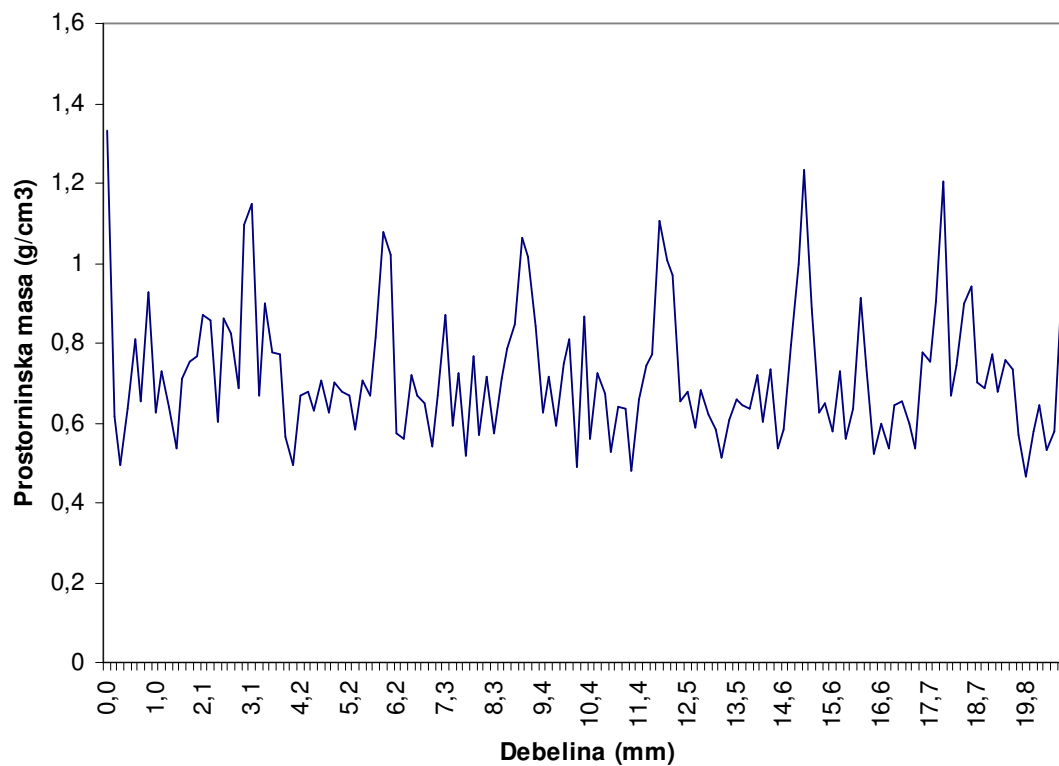
Na slikah 34, 35, 36 in 37 lahko vidimo tipične profile gostot glede na klimo in način lepljenja.



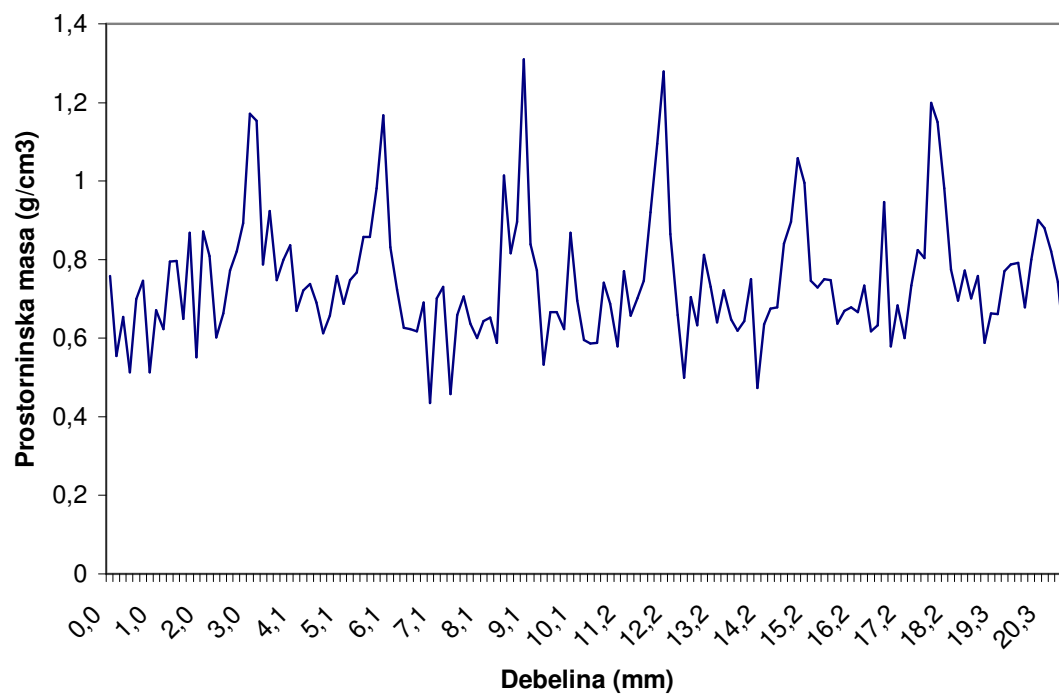
Slika 30: Gostota suhega vzorca (klasični način)



Slika 31: Gostota vlažnega vzorca (klasični način)



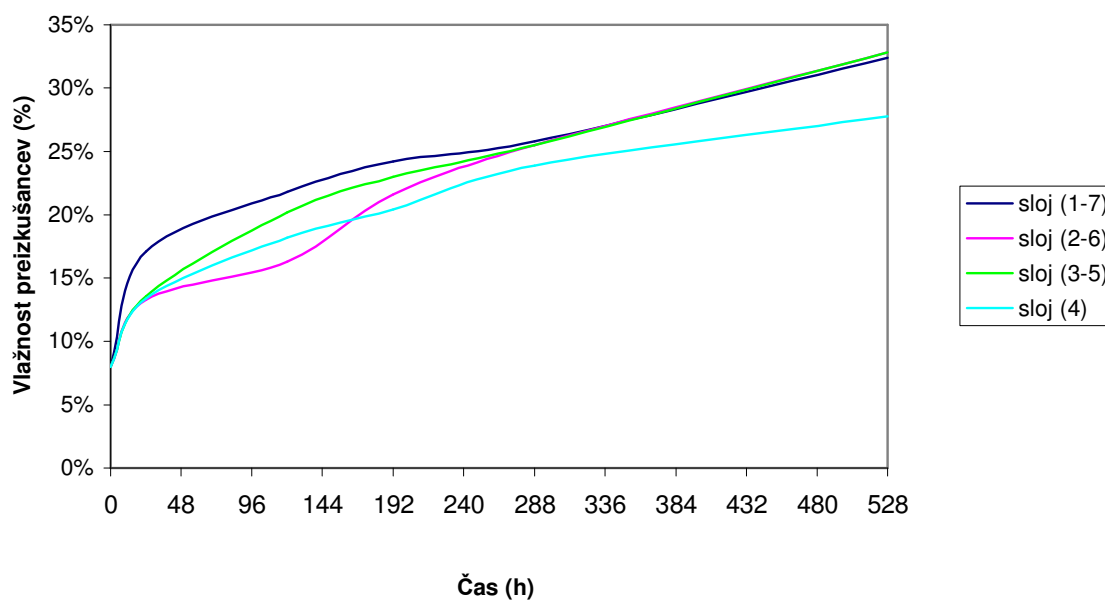
Slika 32: Gostota suhega vzorca (visokofrekvenčni način)



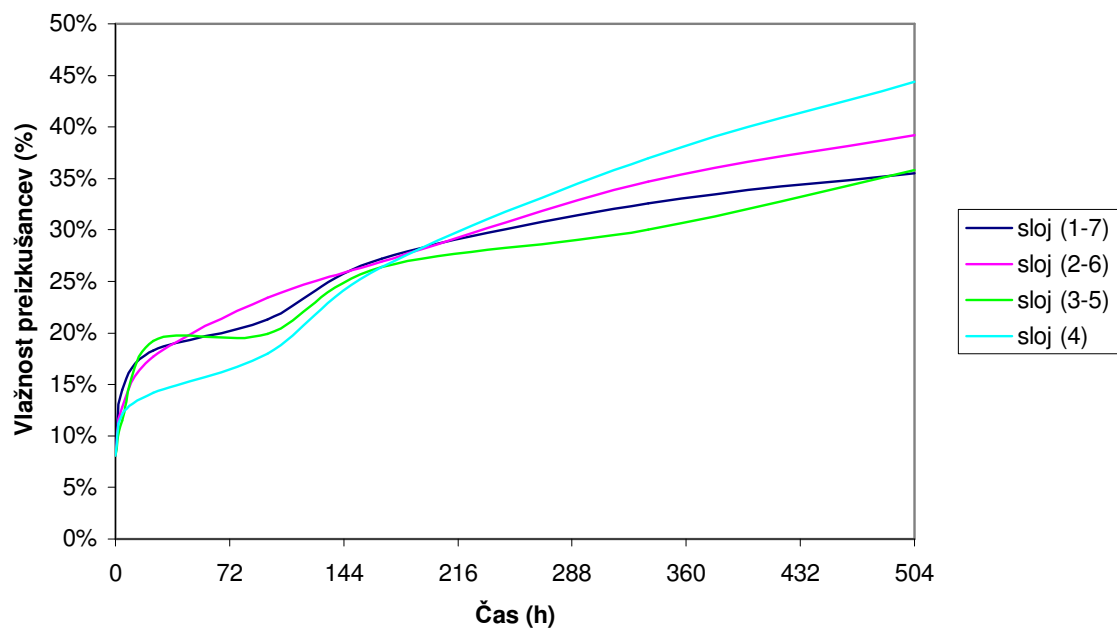
Slika 33: Gostota vlažnega vzorca (visokofrekvenčni način)

4.4.2 Sprememba pri vlaženju po slojih

Preizkušance smo pri temperaturi $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ iz $65\pm 5\%$ relativne zračne vlažnosti zvišali na $85\pm 5\%$ relativno zračno vlažnost. Vsak dan smo merili gostoto s MGP-merilnikom in iz podatkov izračunali vlažnost vzorcev. Meritev smo izvajali vzporedno na vzorcih, ki so bili narejeni klasični in visokofrekvenčno. Iz podatkov meritev smo izračunali povprečje za oboje vzorce.



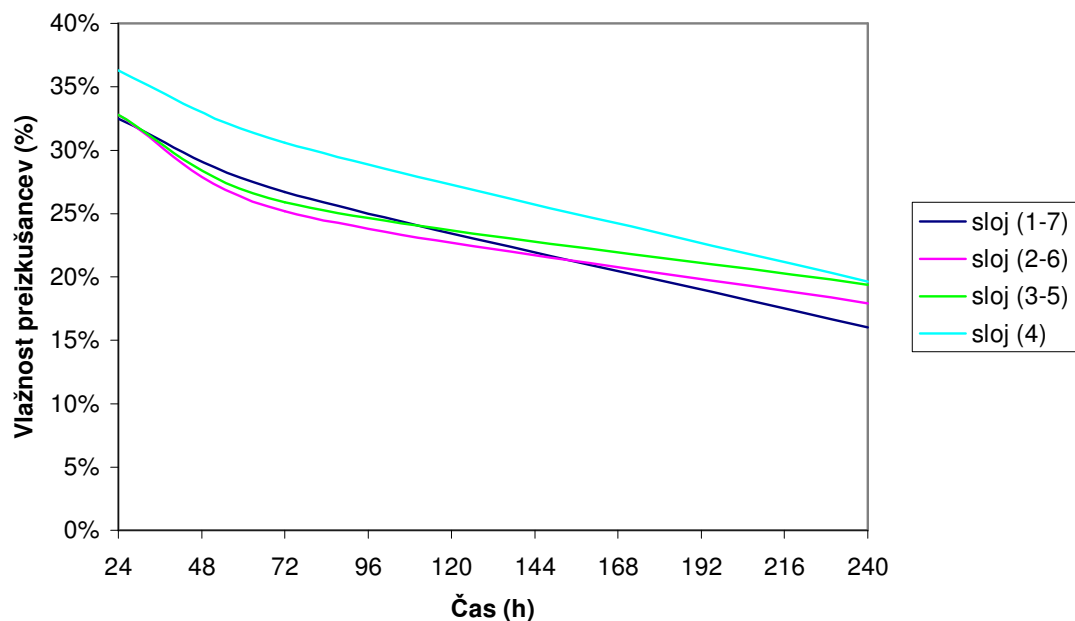
Slika 34: Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po klasičnem načinu



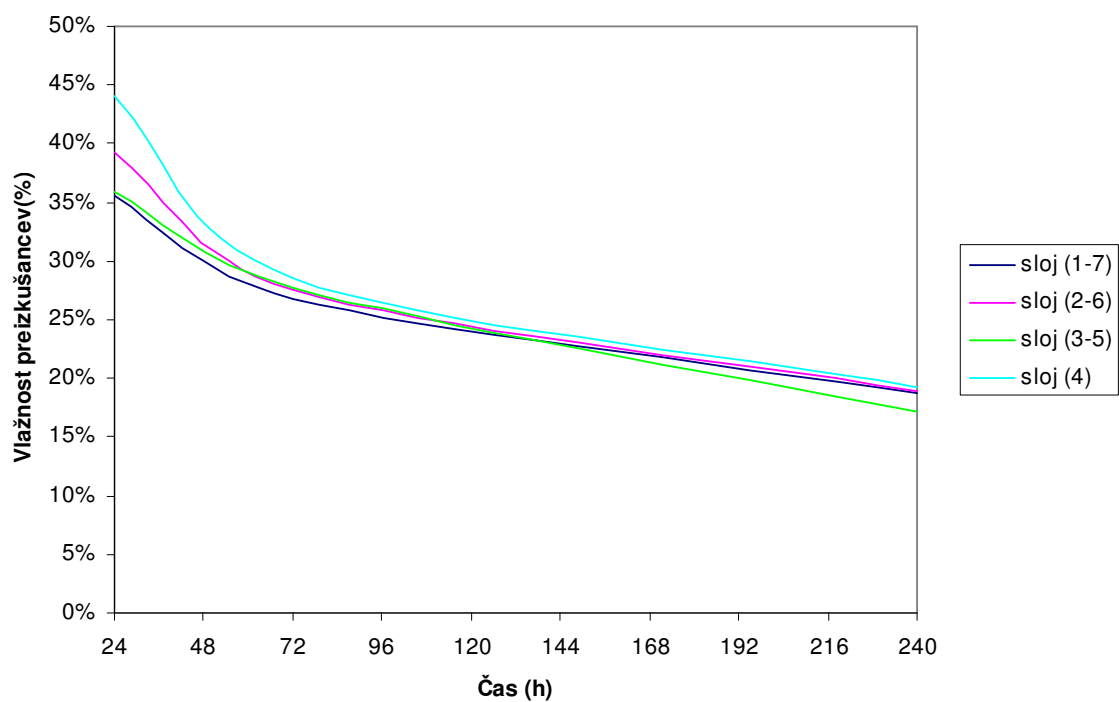
Slika 35: Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po visokofrekvenčnem načinu

4.4.3 Sprememba pri sušenju po slojih

Preizkušance smo pri temperaturi $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ iz $85\pm 5\%$ relativne zračne vlažnosti znižali na $35\pm 5\%$ relativno zračno vlažnost.



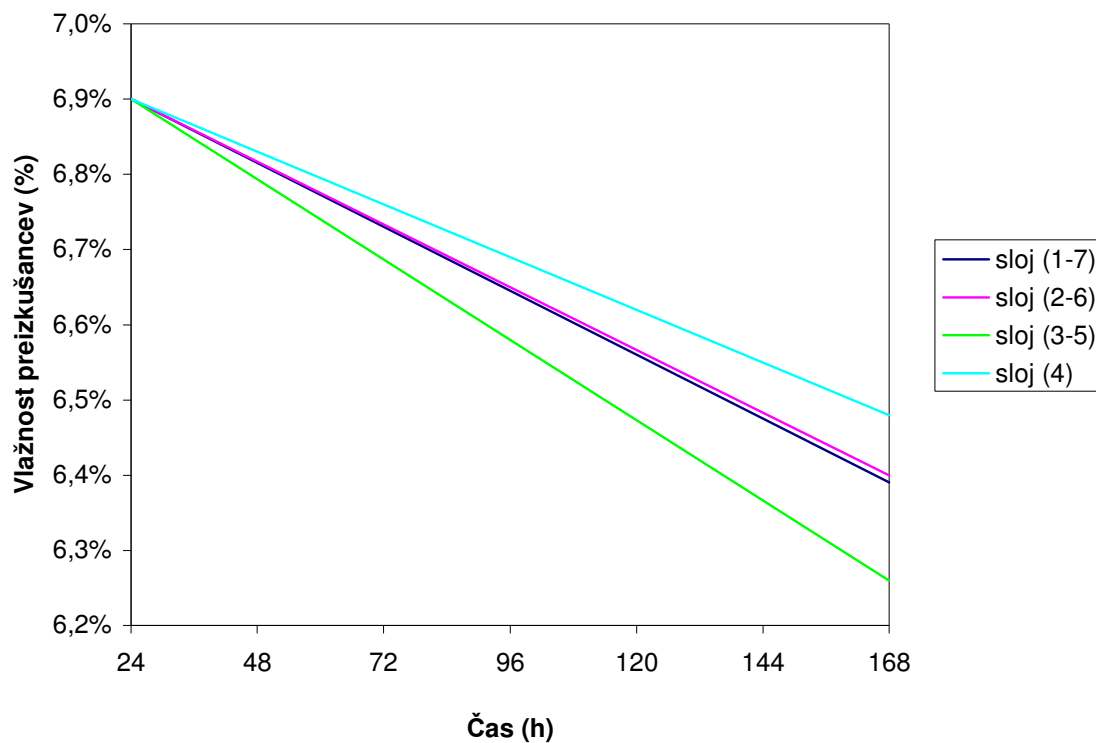
Slika 36: Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po klasičnem nač



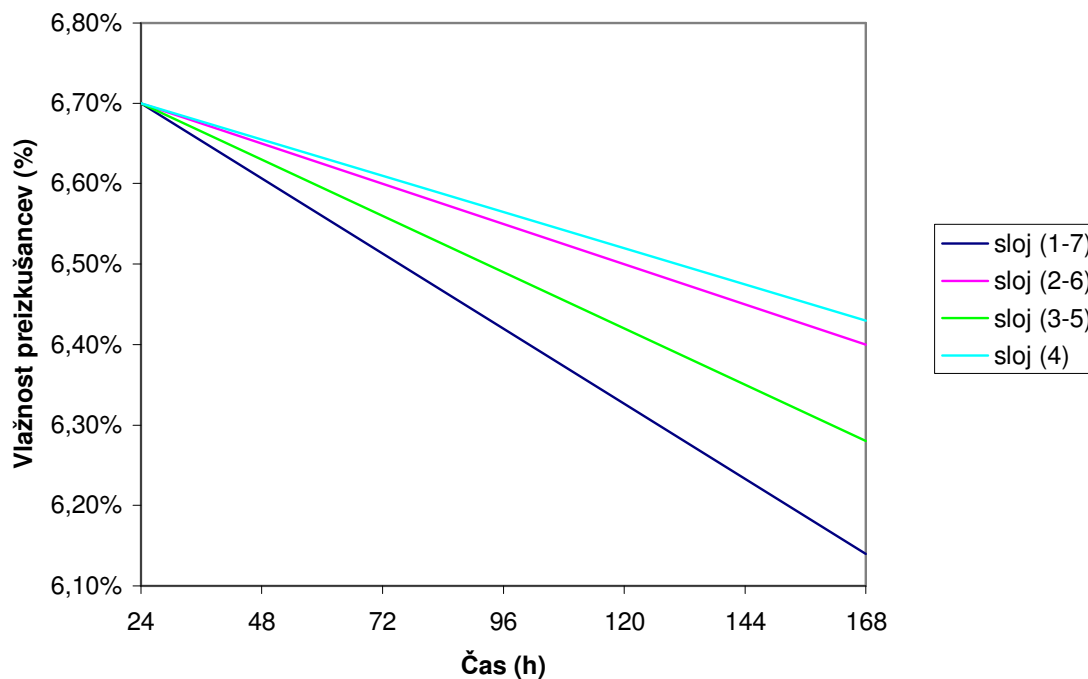
Slika 37: Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po visokofrekvenčnem načinu

4.4.4 Sprememba pri sušenju po slojih

Preizkušance smo pri temperaturi $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ iz $65\pm 5\%$ relativne zračne vlažnosti zvišali na $35\pm 5\%$ relativno zračno vlažnost.



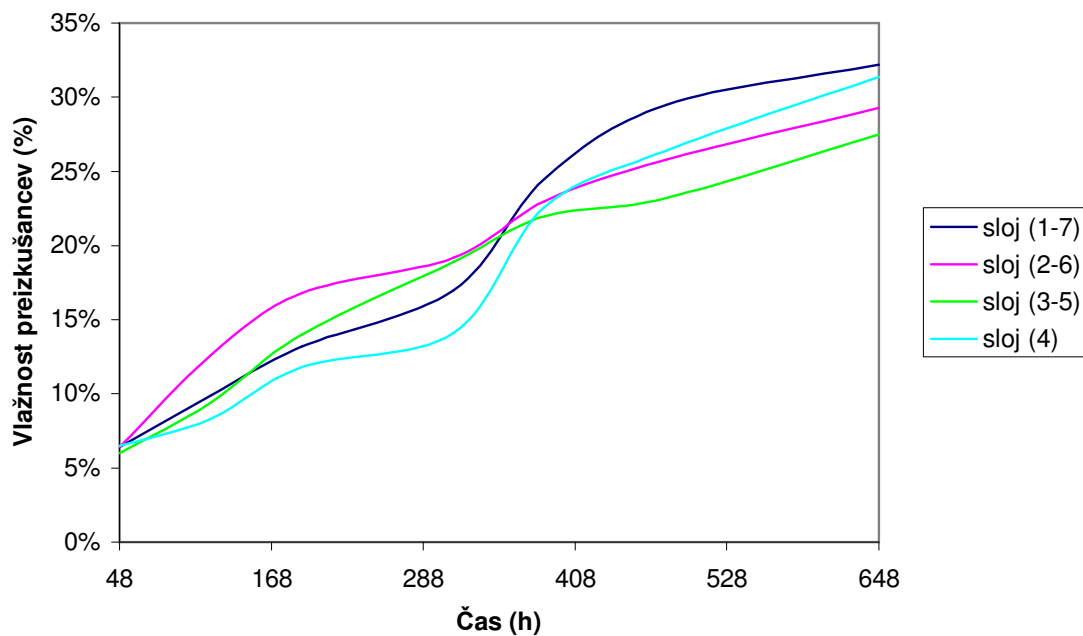
Slika 38: Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po klasičnem načinu



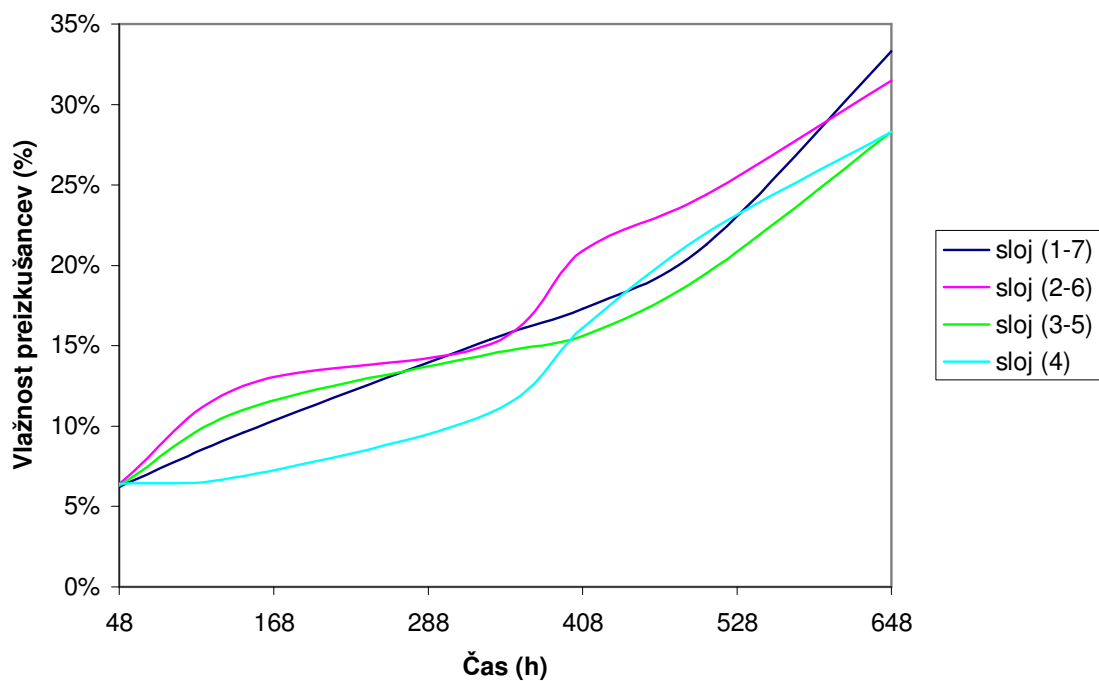
Slika 39: Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po visokofrekvenčnem načinu

4.4.5 Sprememba pri vlaženju po slojih

Preizkušance smo pri temperaturi $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ iz $35\pm 5\%$ relativne zračne vlažnosti zvišali na $85\pm 5\%$ relativno zračno vlažnost.



Slika 40: Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po klasičnem načinu



Slika 41: Sprememba vlažnosti pri preizkušancih narejenih po visokofrekvenčnem načinu

Ugotovili smo da ima klasična plošča proti visokofrekvenčni plošči malce višje meritve glede spremembe vlage v lesu kot tudi debelinski nabrek.

Meritve izvedene s merilnikom gostotnih profilov MGP-201 so nam pokazale, kako se v sami plošči spreminja vlaga. Pri klasični plošči smo ugotovili, da je vlažnost po preseku pri 65⁺-5% relativni zračni vlažnosti v sredinskih slojih nižja kot na zunanjem sloju. Z dviganjem vlage so se zunanji sloji med seboj izenačili, samo sredinski sloj je odstopal z nižjo vlago. Pri visokofrekvenčni plošči so pri začetni relativni zračni vlažnosti 65⁺-5% zunanji sloji imeli višjo vlažnost, samo sredinski sloj je odstopal z nižjo vlago. Z dviganjem relativne zračne vlažnosti je pa sredinski sloj po 504 urah imel višjo vlažnost kot pa ostali zunanji sloji.

Do teh sprememb prihaja zaradi različnega načina segrevanja. Klasični plošči se zunanji sloji bolj navlažijo zaradi tega, ker je toplota prehajala od zunaj navznoter. Zato so bili zunanji sloji bolj izpostavljeni višji temperaturi, kateri sedaj bolj absorbirajo vlago kot sredinski sloj. Pri visokofrekvenčni plošči se notranji sloj bolj navlaži zaradi načina lepljenja, pri katerem je v sredini nastala višja temperatura kakor na zunanjih slojih.

Tako ugotavljamo, da tam kjer je bila pri stiskanju oz. lepljenju najvišja temperatura je na tistem delu tudi pri navlaževanju najvišja vsebnost vlage. Zato je tam obdelovanec bolj dovzeten za sprejemanje vlage.

5 SKLEPI

Na osnovi meritev in analize rezultatov opravljenega sorpcijskega poizkusa lahko oblikujemo naslednje sklepe:

- Plošče narejene po klasičnem načinu bolj vpijajo in oddajajo vlago, kot plošče narejene po visokofrekvenčnem načinu
- Plošče narejene po visokofrekvenčnem načinu imajo večji upor na vlago, zaradi bolj zamreženega lepila
- Debelina se klasični kot tudi visokofrekvenčni plošči enako poveča pri navlaževanju
- Razslojene plošče se manj navlažijo kot ne-razslojene
- Prostorninska masa se pri navlaževanju poveča lesu kot tudi lepilu
- Klasični plošči se zunanji sloji se bolj navlažijo od sredice
- Visokofrekvenčni plošči se sredica bolj navlaži od zunanjih slojev
- Prečni presek navlaževanja pogojuje način stiskanja oz. lepljenja plošče
- Kjer je bila plošča bolj segreta tam je večja adsorpcija vlage

6 POVZETEK

Lepljeni izdelki v današnji industriji predstavljajo velik del predelanega lesa, za katere se uporabljajo različna lepila. Lepilo pri sorpciji predstavlja dodaten upor pri prehodu vlage skozi material.

Zato smo izbrali dve po načinu izdelave različne furnirske plošče za preizkus njunih sorpcijskih lastnosti. Predvidevali smo, da bo imela plošča narejena po visokofrekvenčnem načinu višjo začetno in končno vlažnost od klasične plošče, zaradi večje trdnosti.

Pri izdelavi oz. stiskanju furnirskih plošč je prehajanje toplote pri klasičnem načinu drugače kot pri visokofrekvenčnem načinu. Klasična stiskalnica segreva ploščo preko grelnih plošč s katerih toplota prehaja proti notranjosti. Za prehod iz zunanosti v notranjost potrebujemo višjo toploto plošč, zato je v zunanjem delu plošče lepilo bolj utrjeno kot v notranjosti. Pri visokofrekvenčni stiskalnici pa toploto proizvajajo gibajoče se molekule, zaradi prehoda frekvence skozi les. Frekvenca prihaja z obeh strani in se v sredini plošče združi. Zato je pri visokofrekvenčnem stiskanju toplota najvišja v sredini plošče, kjer se začne s gibanjem molekul ustvarjati toplota. Zato je tu lepilo v sredini bolj utrjeno, kakor pa na zunanjih plasteh.

Da bi ugotovili, kakšna je razlika med zunanjih plasteh in notranjostjo pri posamezni plošči smo vzorce vzpostavili spreminjajoči se klimi.

Celoten postopek je potekal pri $20 \pm 2^\circ\text{C}$ in različni zračni vlagi, ki je v začetku bila $65 \pm 5\%$ nato se je dvignila na $85 \pm 5\%$ in potem spustila na $35 \pm 5\%$. S spreminjanjem zračne vlage smo ustvarili adsorpcijo in desorpcijo v plošči. Vsak dan se je merila masa (gravimetrično) in iz povprečja meritev smo preračunali vlažnost plošče.

Ugotovili smo da ima klasična plošča proti visokofrekvenčni plošči malce višje meritve glede spremembe vlage v lesu kot debelinski nabrek.

Meritve izvedene s merilnikom gostotnih profilov MGP-201 so nam pokazale kako se v sami plošči spreminja vlaga. Merilnik je zasnovan glede na spremembe intenzitete gama žarkov pri prehodu skozi preizkušanece. Iz dobljenih meritev smo dobili zelo različne podatke za posamezno ploščo. Pri klasični plošči smo ugotovili, da je vlažnost po preseku pri $65^{+5}\%$ vlagi v slojih (2-6), (3-5) in sloju (4) nižja kot na zunanjem (1-7) sloju. S dviganjem vlage so se sloji (1-7), (2-6) in (3-5) med seboj izenačili, samo sloj (4) je odstopal z nižjo vlago. Pri visokofrekvenčni plošči so pri začetni vlagi $65 \pm 5\%$ sloji (1-7), (2-6) in (3-5) imeli zelo podobno vlažnost, samo sloj (4) je odstopal z nižjo vlago. S dviganjem vlage je pa sloj (4) po 504 urah imel višjo vlažnost kot pa ostali trije sloji.

Do teh sprememb prihaja zaradi različnega načina segrevanja. Klasični plošči se zunanji sloji bolj navlažijo zaradi tega, ker je toplota prehajala od zunaj navznoter. Zato so bili zunanji sloji bolj izpostavljeni višji temperaturi, kateri sedaj bolj absorbirajo vlago kot sredinski sloj. Pri visokofrekvenčni plošči se notranji sloj bolj navlaži zaradi načina lepljenja, pri katerem je v sredini nastala višja temperatura kakor na zunanjih slojih.

Tako ugotavljamo, da tam kjer je bila pri stiskanju oz. lepljenju najvišja temperatura je na tistem delu tudi pri navlaževanju najvišja vsebnost vlage. Zato je tam obdelovanec bolj dovzeten za sprejemanje vlage.

7 VIRI

- Avramidis ST., Siau J.F. 1987. An investigation on the external and internal resistance to moisture diffusion in wood. *Wood Science and technology*, 21: 249-256
- Backović M. 1965. Lepljenje drveta u polju visoko frekventne električne struje. Sarajevo
- Backović M. 1996. Lijepljenje u tehnologijama prerade drveta. Sarajevo, Bosna public: 395 str.
- Bramhall G. 1979. Sorption diffusion in wood. *Wood Science*, 12, 1: 3-13
- Comstock G.L. 1971. The kinetics of veneer jet drying. *Journal of the Forest Products Research society*, 21, 9: 104-110
- Christensen G. N., Kelsey K.E. 1959. Die sorption Wasserdampf durch die chemischen Bestandteile des Holzes. *Holz als Roh und Werkstoff*, 17, 5: 189 – 204
- Droin A., Taverdet J.L., Vergnaud J.M. 1988. Modeling the kinetics of moisture adsorption by wood. *Wood Science and technology*, 22: 11-20
- Geršak M., Medjugorac N., Velušček V. 1998. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 153 str.
- Jene R. 2004. Vpliv temperature na sorpcijske karakteristike lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo : 43 str.
- Kollmann F., Cote W.A., 1984. Principles of wood science and technology, Volume1: Solid wood. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Springer-Verlag: 592 str.
- Kollmann F., Schneider A. 1963. Über das Sorptionsverhalten wärmebehandelter Hölzer. *Hölz als roh-und werkstoff*, 21, 3: 77-85
- Lang E.M., Loferski J.R. Dolan J.D. 1995. Hygroscopic deformation of wood-based composed panels. *Forest products journal*, 45, 3: 67-70
- Marra A.A. 1992. Technology of wood bonding: principles in practice. New York, Van Nostrand Reinhold: 454 str.
- Medved S., Pirkmaier S. 2000. Praktikum za preizkušanje lesnih tvoriv iz dezintegriranega lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 72 str.
- Resnik J., Berčič S., Cikač B. 1995. Visokofrekvenčno segrevanje in lepljenje lesa, Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 109 str.
- Schultz P., Kelly M.W. 1980. Steady-state diffusion of moisture through plywood. *Wood Science*, 13, 1: 14-17
- Skaar C. 1988. Wood Water relations. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Springer – Verlag: 283 str.

Šega B. 2003. Osnove lepljenja lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 62 str.

Šega B. 2002. Vpliv lepilnega spoja na prečno difuzijo vodne pare. Magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 104 str.

Lepila in lepljenje lesa (Adhesives and gluing of wood): mednarodno posvetovanje, Ljubljana, 8. nov. 1995. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije

8 ZAHVALA

Zahvaljujem se doc. dr. Sergeju Medvedu, za mentorstvo, vso pomoč in koristne napotke ter prizadevnost. Nadalje bi se zahvalil recenzentu prof. dr. Željku Gorišku za opravljeno recenzentsko delo in asistentu Janezu Renku za pomoč pri meritvah.

Zahvaljujem se tudi Juretu Bozovičarju s katerim sva izvajala vzporedno meritve, ter vsem, ki sem jih pozabil omeniti, pa so zaslužni zahvale.

9 PRILOGE

Priloga 1: Povprečni podatki za VF vzorce

Datum	dol. (mm)	šir. (mm)	deb. (mm)	masa (g)	deb. (%)	$\bar{u}$ (%)	ur (%)
11.jan	39,96	20,65	13,960	8,44	0	8,3%	46%
14.jan			14,012	8,65	0,37	11%	62,5%
17.jan			14,170	8,98	1,50	15,3%	78,5%
20.jan			14,201	9,06	1,73	16,3%	82,5%
24.jan			14,270	9,17	2,22	17,7%	84,75%
27.jan			14,318	9,24	2,57	18,6%	87%
31.jan			14,356	9,31	2,84	19,5%	88%
3.feb	41,92	20,71	14,372	9,34	2,95	19,9%	89%
9.feb			14,409	9,39	3,22	20,5%	90%
15.feb			14,259	8,94	2,14	14,8%	77%
16.feb			14,148	8,71	1,34	11,8%	66%
17.feb			14,107	8,63	1,05	10,8%	61%
18.feb			14,049	8,53	0,64	9,5%	54%
21.feb			14,005	8,47	0,33	8,7%	48,0%
22.feb			13,998	8,45	0,27	8,5%	47%
24.feb	38,64	20,64	13,986	8,43	0,19	8,2%	45%
28.feb	39,75	20,65	13,884	8,31	0	6,7%	35,5%
3.mar			13,882	8,30	- 0,02	6,6%	35%
7.mar	39,74	20,64	13,881	8,30	- 0,02	6,5%	34,5%
9.mar			13,988	8,58	0,75	10,1%	57,5%
10.mar			14,044	8,69	1,15	11,6%	64,5%
11.mar			14,086	8,77	1,45	12,6%	69,5%
15.mar			14,202	9,02	2,29	15,8%	80,25%
18.mar			14,222	9,06	2,43	16,3%	82,5%
22.mar			14,249	9,09	2,63	16,7%	83%
25.mar			14,255	9,11	2,67	17%	83%
30.mar			14,305	9,18	3,03	17,9%	85%
4.apr	41,71	20,70	14,333	9,24	3,23	18,7%	87%

Priloga 2: Povprečni podatki za klasične vzorce

Datum	dol. (mm)	šir. (mm)	deb. (mm)	masa (g)	deb. (%)	u (%)	ur (%)
11.jan	39,93	20,65	14,035	8,37	0	8,0%	45%
14.jan			14,099	8,60	0,46	11%	62,5%
18.jan			14,266	9,00	1,65	16,2%	82,5%
21.jan			14,293	9,05	1,83	16,8%	83%
25.jan			14,360	9,18	2,31	18,5%	87%
28.jan			14,383	9,24	2,48	19,3%	87,75%
1.feb			14,428	9,33	2,80	20,4%	90%
4.feb	41,91	20,70	14,436	9,34	2,86	20,5%	90%
9.feb			14,459	9,37	3,02	20,9%	90,25%
15.feb			14,269	8,83	1,67	14%	74,75%
16.feb			14,170	8,64	0,96	11,6%	64,5%
17.feb			14,129	8,57	0,67	10,6%	60%
18.feb			14,075	8,49	0,29	9,5%	54%
21.feb			14,039	8,42	0,03	8,6%	47,5%
24.feb	39,91	20,63	14,029	8,38	- 0,05	8,2%	45%
28.feb	39,78	20,63	13,970	8,25	0	6,6%	35%
3.mar			13,968	8,25	- 0,01	6,6%	35%
7.mar	39,74	20,62	13,962	8,25	- 0,06	6,5%	34,5%
9.mar			14,118	8,63	1,06	11,4%	64%
10.mar			14,185	8,78	1,54	13,3%	72%
11.mar			14,211	8,85	1,72	14,3%	76%
14.mar			14,329	9,07	2,57	17,1%	83,25%
17.mar			14,354	9,11	2,75	17,6%	85%
21.mar			14,389	9,18	3,00	18,5%	87%
24.mar			14,397	9,17	3,06	18,4%	86,75%
29.mar			14,424	9,24	3,25	19,3%	87,75%
4.apr	41,85	20,68	14,434	9,27	3,32	19,7%	88,25%

Priloga 3: Povprečni podatki za VF razslojene vzorce

Datum	dol. (mm)	šir. (mm)	deb. (mm)	masa (g)	deb. (%)	u (%)	ur (%)
12.jan			5,057	2,79	0	7,7%	43,75%
13.jan			5,098	2,82	0,81	8,6%	47,5%
14.jan			5,113	2,88	1,11	11,1%	62,75%
17.jan			5,157	2,98	1,98	14,9%	77%
19.jan	41,02	20,68	5,138	2,98	1,61	15,4%	77%
20.jan			5,151	3,01	1,85	15,9%	80,25%
24.jan			5,174	3,04	2,32	17,1%	83,25%
26.jan	41,46	20,69	5,176	3,05	2,34	17,5%	84,5%
27.jan			5,197	3,06	2,76	18,0%	85,25%
31.jan			5,216	3,09	3,15	19,0%	87,25%
2.feb	41,77	20,70	5,206	3,09	2,94	19,1%	87,25%
3.feb			5,213	3,09	3,09	19,3%	87,75%
9.feb	41,92	20,71	5,228	3,10	3,38	19,5%	87,5%
15.feb			5,188	2,97	2,58	14,6%	76,75%
16.feb			5,146	2,90	1,75	11,8%	66%
17.feb			5,125	2,87	1,34	10,5%	59,5%
18.feb			5,142	2,85	1,68	9,7%	54,75%
21.feb	39,95	39,95	5,086	2,81	0,57	8,4%	46,75%
22.feb			5,079	2,81	0,44	8,2%	45%
23.feb	39,88	20,68	5,070	2,80	0,25	7,8%	42%
24.feb			5,078	2,80	0,42	7,9%	43,75%
28.feb	39,65	20,62	5,056	2,76	0	6,6%	35%
3.mar			5,053	2,76	- 0,04	6,3%	33,5%
7.mar	39,65	20,62	5,049	2,76	- 0,14	6,31%	33,5%
9.mar			5,088	2,85	0,63	9,9%	55,75%
10.mar			5,104	2,90	0,95	11,8%	66%
11.mar			5,125	2,93	1,38	12,9%	70,25%
15.mar			5,165	3,00	2,16	15,8%	80%
16.mar	41,13	20,69	5,136	3,00	1,58	15,7%	80%
18.mar			5,170	3,02	2,26	16,4%	82,5%
22.mar			5,194	3,05	2,75	17,6%	84,5%
23.mar	41,44	20,69	5,152	3,05	1,90	17,5%	84,5%
25.mar			5,197	3,05	2,80	17,6%	84,5%
30.mar			5,171	3,07	2,28	18,2%	85,75%
4.apr	41,65	20,68	5,171	3,08	2,28	18,6%	87%

Priloga 4: Povprečni podatki za klasične razslojene vzorce

Datum	dol. (mm)	šir. (mm)	deb. (mm)	masa (g)	deb. (%)	u (%)	ur (%)
11.jan			5,060	2,77	0	6,9%	37%
14.jan			5,092	2,91	0,63	12,0%	67%
18.jan			5,143	2,99	1,63	15,1%	78,25%
19.jan	41,17	20,64	5,140	2,96	1,58	15,4%	74,5%
21.jan			5,133	3,00	1,43	15,7%	80%
25.jan			5,164	3,06	2,05	17,7%	84,75%
26.jan	41,58	20,64	5,168	3,03	2,12	18,1%	83%
28.jan			5,182	3,07	2,40	18,5%	86,5%
1.feb			5,188	3,09	2,53	19,2%	87,5%
2.feb	41,82	20,66	5,199	3,06	2,73	19,2%	84,75%
4.feb			5,218	3,09	3,11	19,2%	87,5%
9.feb	41,91	20,70	5,195	3,09	2,66	19,2%	87,25%
15.feb			5,155	2,95	1,88	13,5%	73%
16.feb			5,113	2,88	1,04	10,8%	61%
17.feb			5,089	2,85	0,57	9,6%	54%
18.feb			5,075	2,82	0,30	8,6%	47,5%
21.feb	39,97	20,64	5,054	2,80	- 0,13	7,7%	41,75%
23.feb	39,91	20,63	5,055	2,76	- 0,10	6,4%	34%
24.feb			5,041	2,79	- 0,38	7,3%	39,5%
28.feb	39,64	20,61	5,054	2,76	0	6,2%	33,5%
3.mar			5,050	2,76	- 0,08	6,4%	33,5%
7.mar	39,64	20,61	5,036	2,76	- 0,35	6,3%	33,5%
9.mar			5,090	2,88	0,71	11%	62,5%
10.mar			5,118	2,93	1,27	12,9%	70,25%
11.mar			5,132	2,96	1,55	14,1%	75%
14.mar			5,172	3,02	2,33	16,3%	82,5%
16.mar	41,38	20,68	5,186	3,02	2,62	16,5%	82,75%
17.mar			5,186	3,05	2,62	17,4%	84%
21.mar			5,193	3,07	2,76	18,2%	85,75%
23.mar	41,55	20,66	5,195	3,05	2,80	17,6%	84,75%
24.mar			5,170	3,07	2,29	18,2%	85,75%
29.mar			5,202	3,09	2,93	19%	87,25%
4.apr	41,81	20,67	5,202	3,09	2,93	19,3%	87,5%

Priloga 5: Povprečni podatki za VF način po sloju

Datum	1/1	u (%)	1/2	u (%)	1/3	u (%)
0%	2,45	9,6%	3,51	8,6%	2,43	5,1%
3%	2,48	10,9%	3,54	9,5%	2,43	5,1%
7%	2,55	14,0%	3,61	11,7%	2,48	7,2%
18%	2,64	18,0%	3,74	15,7%	2,57	11,1%
29%	2,65	18,5%	3,77	16,6%	2,6	12,4%
43%	2,66	18,9%	3,82	18,2%	2,63	13,7%
53%	2,68	19,8%	3,85	19,1%	2,65	14,6%
68%	2,70	20,7%	3,89	20,4%	2,67	15,4%
79%	2,70	20,7%	3,90	20,7%	2,68	15,9%
100%	2,70	20,7%	3,92	21,3%	2,68	15,9%
60%	2,54	13,6%	3,77	16,6%	2,62	13,3%
53%	2,49	11,3%	3,67	13,5%	2,54	9,8%
47%	2,47	10,4%	3,62	12,0%	2,50	8,1%
40%	2,46	10,0%	3,58	10,8%	2,47	6,8%
20%	2,44	9,1%	3,55	9,8%	2,44	5,5%
13%	2,44	9,1%	3,54	9,5%	2,44	5,5%
0%	2,44	9,1%	3,53	9,2%	2,43	5,1%
0%	2,36	5,5%	3,47	7,4%	2,47	6,8%
9%	2,36	5,5%	3,45	6,7%	2,47	6,8%
20%	2,36	5,5%	3,45	6,7%	2,47	6,8%
26%	2,48	10,9%	3,56	10,1%	2,52	8,9%
29%	2,52	12,7%	3,62	12,0%	2,56	10,7%
31%	2,53	13,1%	3,66	13,2%	2,59	12,0%
43%	2,59	15,8%	3,76	16,3%	2,66	15,0%
51%	2,60	16,3%	3,78	16,9%	2,68	15,9%
63%	2,61	16,7%	3,82	18,2%	2,72	17,6%
71%	2,61	16,7%	3,82	18,2%	2,72	17,6%
86%	2,62	17,2%	3,84	18,8%	2,73	18,0%
100%	2,63	17,6%	3,86	19,4%	2,74	18,5%

Priloga 6: Povprečni podatki za klasični način po sloju

Datum	1/1	u (%)	1/2	u (%)	1/3	u (%)
0%	2,35	9,4%	3,62	8,8%	2,35	1,7%
10%	2,48	15,4%	3,84	15,4%	2,40	3,9%
24%	2,55	18,7%	3,91	17,5%	2,50	8,2%
35%	2,55	18,7%	3,93	18,1%	2,53	9,5%
48%	2,59	20,6%	4,00	20,2%	2,58	11,7%
59%	2,60	21,0%	4,02	20,8%	2,61	13,0%
72%	2,62	22,0%	4,05	21,7%	2,61	13,0%
83%	2,61	21,5%	4,05	21,7%	2,61	13,0%
100%	2,61	21,5%	4,02	20,8%	2,63	13,8%
60%	2,43	13,1%	3,88	16,6%	2,53	9,5%
53%	2,40	11,7%	3,78	13,6%	2,45	6,1%
47%	2,38	10,8%	3,74	12,4%	2,42	4,8%
40%	2,37	10,3%	3,70	11,2%	2,40	3,9%
20%	2,35	9,4%	3,67	10,3%	2,37	2,6%
0%	2,35	9,4%	3,65	9,7%	2,36	2,2%
0%	2,28	6,1%	3,54	6,4%	2,45	6,1%
9%	2,28	6,1%	3,54	6,4%	2,45	6,1%
20%	2,28	6,1%	3,54	6,4%	2,45	6,1%
26%	2,42	12,7%	3,69	10,9%	2,53	9,5%
29%	2,46	14,5%	3,75	12,7%	2,58	11,7%
31%	2,47	15,0%	3,79	13,9%	2,62	13,4%
40%	2,53	17,8%	3,85	15,7%	2,68	16,0%
49%	2,53	17,8%	3,91	17,5%	2,70	16,9%
60%	2,54	18,2%	3,94	18,4%	2,72	17,7%
69%	2,54	18,2%	3,94	18,4%	2,72	17,7%
83%	2,56	19,2%	3,97	19,3%	2,74	18,6%
100%	2,56	19,2%	3,98	19,6%	2,75	19,0%