

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jure BOZOVIČAR

**VPLIV VRSTE LEPILA NA SORPCIJSKE  
LASTNOSTI IVERNE PLOŠČE**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jure BOZOVIČAR

**VPLIV VRSTE LEPILA NA SORPCIJSKE LASTNOSTI IVERNE  
PLOŠČE**

DIPLOMSKO DELO  
Visokošolski strokovni študij

**IMPACT OF ADHESIVE TYPE ON THE SORPTION PROPERTIES  
OF PARTICLEBOARD**

GRADUATION THESIS  
Higher professional studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za žagarstvo in lesna tvoriva Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Sergeja Medveda in za recenzenta prof. dr. Željka Goriška.

Mentor: doc. dr. Sergej Medved

Recenzent: prof. dr. Željko Gorišek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Jure Bozovičar

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*862.2:630*824.85
KG	iverna plošča/lastnosti/sorpcija/vlažnost/debelina/ireverzibilna sprememba debeline/urea/fenol
AV	BOZOVIČAR, Jure
SA	MEDVED, Sergej (mentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2010
IN	VPLIV VRSTE LEPILA NA SORPCIJSKE LASTNOSTI IVERNE PLOŠČE
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	IX, 44 str., 6 preg., 18 sl., 44 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Iverna plošča je zaradi svoje narave higroskopičnega materiala dimenzijsko nestabilna, kadar jo izpostavimo višji ali nižji relativni zračni vlažnosti in/ali vodi. Najpomembnejša posledica, ki jo povzroča povišanje relativne vlažnosti plošč je sprememba debeline, ki povzroča nabrekanje in krčenje lignoceluloznih iveri in sproščanje notranjih napetosti dodanih v procesu stiskanja ivernih plošč. Spremembo debeline smo merili gravimetrično in s pomočjo vertikalne porazdelitve prostorninskih mas. Primerjali smo rezultate sorpcijskih sprememb vzorcev izdelanih z urea in fenol-formaldehidnimi smolami. Klimatizirane vzorce smo izpostavili enemu ciklu vlaženja pri $85\pm 5\%$ in sušenja pri $35\pm 5\%$ relativni zračni vlažnosti s konstantno temperaturo $20\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ . Cikel vlaženja je trajal 648 ur, cikel sušenja pa 240 ur. Pri primerjavi rezultatov UF in FF vzorcev smo ugotovili, da je na koncu uravnovešanja v vlažni klimi relativna sprememba vlažnosti in debeline FF vzorcev znašala 18,15 % in 11,32 %; pri UF vzorcih pa 15,50 % in 4,98 %. Sprememba vlažnosti in debeline je v zunanem sloju (ZS) pri FF vzorcih znašala 8,48 % in 6,60 % ter 17,78 % in 6,43 % pri UF vzorcih. Sprememba vlažnosti in debeline je v srednjem sloju (SS) pri FF vzorcih znašala 28,92 % in 10,44 % ter 28,92 % in 10,44 % pri UF vzorcih. Ireverzibilna sprememba debeline je na koncu enega cikla nihajoče klime pri FF vzorcih znašala 0,73 mm in 0,3 mm pri UF vzorcih. Izmerjena prostorninska masa absolutno suhih FF vzorcev je znašala $0,707\text{ g/cm}^3$ , za ZS $0,842\text{ g/cm}^3$ in $0,621\text{ g/cm}^3$ za SS. Pri UF vzorcih je znašala izmerjena prostorninska masa $0,664\text{ g/cm}^3$ , za ZS $0,821\text{ g/cm}^3$ in SS $0,577\text{ g/cm}^3$ .

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs  
DC UDC 630\*862.2:630\*824.85  
CX particleboard/sorption properties/thickness swelling/springback/urea/phenol  
AU BOZOVIČAR, Jure  
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 2010  
TI IMPACT OF ADHESIVE TYPE ON THE SORPTION PROPERTIES OF PARTICLEBOARDS  
DT Graduation thesis (Higher professional studies)  
NO IX, 44 p., 6 tab. 18 fig., 44 ref.  
LA sl  
AL sl/en  
AB Because of the nature of hygroscopical material particleboards are dimensionally unstable when exposed to relative humidity or water. The most significant effect, caused by increasing moisture content of the boards, is the change in its thickness. The change of the thickness induces swelling of lignin-cellulose particles and releases imparted compressive stress in the process of pressing. The change of the thickness was measured gravimetrically, and with help of vertical distribution of density. Urea-formaldehyde (UF) and phenol-formaldehyde (PF) particleboard samples were studied and compared. Samples were exposed to 1 cycle of moisturising at  $85\pm 5\%$  and drying at  $35\pm 5\%$  of relative humidity with constant temperature at  $20\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ . The cycle of moisturising took 648 and drying 240 hours. It was found that relative swelling of FF samples added up to 11.32 % and 4.98 % for UF samples. It was also found that relative moisture change of FF samples was 18.15 % and 15.50 % for UF samples. Moisture change of outer layer of FF samples was 8.48 % and 17.78% for UF samples. Its relative thickness swelling of FF samples was 6.60 % and 6.43 % for UF samples. Moisture change of inner layer of FF samples was 28.92 % and 28.92 % for UF samples. Its relative thickness swelling of FF samples was 10.44 % and 10.44 % for UF samples. At the end of oscillating humidity the springback of FF samples was 0.73 mm and 0.3 mm for UF samples. Measured absolute dry density of FF samples was 0.707 g/cm<sup>3</sup>, for outer layer 0.842 g/cm<sup>3</sup> and 0.621 g/cm<sup>3</sup> for inner layer. The measurements of UF samples were 0.664 g/cm<sup>3</sup>, for outer layer 0.281 g/cm<sup>3</sup> and 0.577 g/cm<sup>3</sup> for inner layer.

## KAZALO VSEBINE

	Str.
<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>VII</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>VIII</b>
<b>OKRAJŠAVE IN SIMBOLI .....</b>	<b>IX</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA.....	1
1.2 DELOVNA HIPOTEZA .....	2
<b>2 PREGLED OBJAV .....</b>	<b>3</b>
2.1 PARAMETRI IZDELAVE IN NJIHOV VPLIV NA SORPCIJSKE ZNAČILNOSTI IVERNIH PLOŠČ .....	3
2.1.1 Uvod.....	3
2.1.2 Ravnovesna vlažnost .....	3
2.1.3 Prostorninska masa .....	4
2.1.4 Oblika iveri.....	5
2.1.5 Delež smole in parafinske emulzije .....	6
2.1.6 Pogoji stiskanja .....	7
2.1.7 Drevesna vrsta lesa .....	8
2.1.8 Ireverzibilna sprememba debeline.....	8
2.1.9 Vrsta vezivnega sredstva.....	9
2.2 VEZIVNO SREDSTVO.....	10
2.2.1 Uvod.....	10
2.2.2 Lastnosti UF – urea formaldehidne smole .....	10
2.2.3 Lastnosti FF – fenol formaldehidne smole .....	12
2.2.4 Odpornost lepilnih spojev proti vlagi .....	13
2.2.5 Dejavniki, ki vplivajo na trdnost lepilnega spoja .....	13
2.2.6 Prevodnost lepilnih spojev .....	14
<b>3 MATERIALI IN METODE .....</b>	<b>15</b>
3.1 MATERIALI .....	15
3.1.1 Vzorci iverne plošče.....	15
3.2 METODA .....	15
3.2.1 Klimatiziranje vzorcev .....	15
3.2.2 Spremljanje in merjenje mase in dimenzij .....	16
3.2.3 Relativna sprememba debeline .....	17
3.2.4 Določanje relativne spremembe vlažnosti.....	17
3.2.5 Merjenje vertikalne porazdelitve prostorninskih mas (VPPM) .....	18
3.2.6 Določanje debelin slojev iverne plošče.....	19
<b>4 REZULTATI IN RAZPRAVA.....</b>	<b>23</b>
4.1 GRADIENT GOSTOTE OZ. GOSTOTNI PROFIL IVERNE PLOŠČE.....	23
4.2 SPREMEMBA MASE .....	24
4.2.1 Vzorci izdelani z urea – formaldehidno (UF) smolo.....	24

<b>4.2.2</b>	<b>Vzorci izdelani s fenol – formaldehidno (FF) smolo.....</b>	<b>25</b>
4.3	SPREMEMBA DEBELINE .....	26
<b>4.3.1</b>	<b>Vzorci izdelani z urea – formaldehidno (UF) smolo.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Vzorci izdelani s fenol– formaldehidno (FF) smolo.....</b>	<b>27</b>
4.4	SPREMEMBA VLAŽNOSTI PO SLOJIH.....	29
<b>4.4.1</b>	<b>Adsorpcija .....</b>	<b>29</b>
4.4.1.1	Vzorci izdelani z urea – formaldehidno (UF) smolo .....	29
4.4.1.2	Vzorci izdelani s fenol – formaldehidno (FF) smolo .....	30
<b>4.4.2</b>	<b>Desorpcija.....</b>	<b>31</b>
4.4.2.3	Vzorci izdelani z urea – formaldehidno (UF) smolo.....	31
4.4.2.4	Vzorci izdelani s fenol – formaldehidno (FF) smolo .....	32
4.5	SPREMEMBA DEBELINE PO SLOJIH .....	33
<b>4.5.1</b>	<b>Nabrekanje.....</b>	<b>33</b>
4.5.1.5	Vzorci izdelani z urea – formaldehidno (UF) smolo .....	33
4.5.1.6	Vzorci izdelani s fenol – formaldehidno (FF) smolo .....	34
<b>4.5.2</b>	<b>Krčenje .....</b>	<b>35</b>
4.5.2.7	Vzorci izdelani z urea – formaldehidno (UF) smolo.....	35
4.5.2.8	Vzorci izdelani s fenol – formaldehidno (FF) smolo .....	36
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI.....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>POVZETEK.....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>VIRI .....</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>ZAHVALA</b>	

## KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Strukturna formula zamreženosti utrjene UF smole (Kollmann s sod., 1975).....	11
Slika 2: Strukturna formula rezita oz. utrjene FF smole (Kollmann s sod., 1975).....	12
Slika 3: Strukturna formula rezola (Kollmann s sod., 1975).....	12
Slika 4: Primer vzorca plosko stisnjene več slojne iverne plošče izdelane z FF smolo ....	15
Slika 5: Območje testiranja med dvema ravnovesnima legama nihajoče klime.....	16
Slika 6: Primer vertikalne porazdelitve prostorninskih mas brušene večslojne plosko stisnjene iverne plošče zlepljene z FF lepilom. ....	23
Slika 8: Povprečna sprememba debeline fenol – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama nihajoče klime. ....	26
Slika 9: Povprečna sprememba debeline urea – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama nihajoče klime. ....	27
Slika 10: Povprečna sprememba debeline fenol – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama nihajoče klime. ....	28
Slika 11: Povprečna relativna sprememba ravnovesne vlažnosti urea – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama vlažne klime ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$ in $T = 20 \pm 2 ^\circ\text{C}$ ).....	30
Slika 12: Povprečna relativna sprememba ravnovesne vlažnosti fenol – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama vlažne klime ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$ in $T = 20 \pm 2 ^\circ\text{C}$ ).....	30
Slika 13: Povprečna relativna sprememba ravnovesne vlažnosti urea – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama suhe klime ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$ in $T = 20 \pm 2 ^\circ\text{C}$ ).....	32
Slika 14: Povprečna relativna sprememba ravnovesne vlažnosti fenol – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama suhe klime ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$ in $T = 20 \pm 2 ^\circ\text{C}$ ).....	32
Slika 15: Povprečna relativna sprememba debeline urea – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama vlažne klime ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$ in $T = 20 \pm 2 ^\circ\text{C}$ ).....	34
Slika 16: Povprečna relativna sprememba debeline fenol – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama vlažne klime ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$ in $T = 20 \pm 2 ^\circ\text{C}$ ).....	35
Slika 17: Povprečna relativna sprememba debeline urea – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama suhe klime ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$ in $T = 20 \pm 2 ^\circ\text{C}$ ).....	36
Slika 18: Povprečna relativna sprememba debeline fenol – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama suhe klime ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$ in $T = 20 \pm 2 ^\circ\text{C}$ ).....	37



## KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Povprečna masa UF in FF vzorcev v nihajoči klimi .....	24
Preglednica 2: Povprečna debelina UF in FF vzorcev v nihajoči klimi .....	26
Preglednica 3: Relativna sprememba vlažnosti UF in FF vzorcev po slojih v vlažni klimi.....	29
Preglednica 4: Relativna sprememba vlažnosti UF in FF vzorcev po slojih v suhi klimi....	31
Preglednica 5: Relativna sprememba debeline UF in FF vzorcev po slojih v vlažni klimi .	33
Preglednica 6: Relativna sprememba debeline UF in FF vzorcev po slojih v suhi klimi.....	35

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

FF	fenol – formaldehid
UF	urea – formaldehid
ISD	ireverzibilna sprememba debeline
ZS	zunanji sloj
SS	srednji sloj
RZV	relativna zračna vlažnost
VPPM	vertikalna porazdelitev prostorninske mase
$u_r$	ravnovesna vlažnost
$\Delta t$	delež spremembe povprečne debeline

## 1 UVOD

Iverna plošča je izdelana iz iveri in vlaken lignoceluloznega materiala oz. lesa. Iveri so med seboj povezane s sintetičnim vezivom. Zaradi svoje narave higroskopskega materiala je dimenzijsko nestabilna kadar jo izpostavimo nihajoči relativni zračni vlažnosti ali vodi. Sprememba debeline klasično plosko stisnjenih ivernih plošč je veliko večja kot bi pričakovali od lesa kot materiala samega.

Delovanje ivernih plošč (krčenje in nabrekanje) se izraža v spremembi dimenzij, ki je v vzdolžni smeri manjša od tangencialne spremembe in večja od longitudinalne spremembe dimenzij lesa. Glede na orientacijo iveri v pogači plošče to ni presenetljivo.

### 1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Sprememba debeline je tako najpomembnejša posledica, ki jo povzroča sprememba relativne zračne vlažnosti in/ali izpostavljenost vodi. Prekomerna sprememba debeline je lahko za v izdelek vgrajeno iverno ploščo destruktivna. Za pravilno rabo ivernih plošč moramo pravilno izbrati vrsto iverne plošče glede na mesto vgradnje in preprečiti navlaževanje. Zato jih delimo glede na odpornost proti vlagi, katere lastnosti so odvisne od uporabe v splošne ali gradbene namene.

Na spremembo debeline vplivajo parametri kot so drevesna vrsta, oblika iveri, gostota plošče, vsebnost lepila, mešanja pogače in pogojev stiskanja kateri vplivajo na dve komponenti. Pri izpostavitvi iverne plošče visoki vlažnosti povzroča nabrekanje lesa in sproščanje notranjih napetosti dodanih v procesu stiskanja ivernih plošč in sta komponenti katerih vsota daje skupno količino spremembe debeline. Pri sušenju navlažene plošče se sprememba debeline skrči za delež nabreklih iveri. Sproščanje notranjih napetosti je ireverzibilen proces in se kaže v nepovratni spremembi debeline oz. ireverzibilni spremembi debeline.

Od spremembe debeline je odvisna trdnost in trajnost iverne plošče. Najboljši način kontroliranja spremembe debeline je pravilna izbira vrste in vsebnosti vezivnega sredstva.

Rezultat povečevanja deleža smole v določeni iverni plošči pozitivno vpliva na stabilnost debeline. Povečevanje stabilnosti je posledica izboljšane oblepljenosti iveri. Kakorkoli obstaja meja, ko povečan delež smole ne vpliva več na boljšo povezanost iveri, ampak služi le še kot impregnacija le teh (Kelly, 1977).

Posledica odpornosti proti lezenju oz. manjšega deleža elastične zadržanosti, se v lepilnih spojih urea – formaldehidnih smol generirajo dodatne napetosti, ki so v primerjavi s fenol-formaldehidno smolo lahko od 2 do 4 krat večje. Povečana napetost v lepilnih spojih UF smol vpliva na formiranje razpok v spoju in tako na mehanski razkroj vezi smola – les, le ta pa na popuščanje notranjih napetosti, ki so bile dodane v procesu stiskanja plosko stisnjenih ivernih plošč.

## 1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Zaradi različne izbire lepilnega sredstva predpostavljamo, da bodo nastale razlike v higroskopski različnih plošč, odvisnost dimenzijskih sprememb od debeline plošč in posameznih slojev.

Namen raziskave je ugotoviti kako izbira vrste smol vpliva na sorpcijske lastnosti trislojnih plosko stisnjenih ivernih plošč. Klimatizirane zorce ( $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  in  $\varphi = 65 \pm 5 \%$ ) komercialnih ivernih plošč zlepljenih z UF in FF smolami bomo izpostavili visoki ( $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  in  $\varphi = 85 \pm 5 \%$ ) in nizki relativni zračni vlažnosti ( $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  in  $\varphi = 35 \pm 5 \%$ ) pri konstantni temperaturi. S sprotnim merjenjem debeline in vertikalne porazdelitve prostorninske mase bomo ugotovili vpliv vrste lepila na spremembo debeline, spremembo debeline zunanega in srednjega sloja, ravnovesno vlažnost in ravnovesno vlažnost zunanega in srednjega sloja vzorcev.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 PARAMETRI IZDELAVE IN NJIHOV VPLIV NA SORPCIJSKE ZNAČILNOSTI IVERNIH PLOŠČ

#### 2.1.1 Uvod

Iverna plošča se zaradi higroskopne lastnosti materiala, kadar jo izpostavimo nihajoči relativni zračni vlažnosti ali tekoči vodi, razteza in krči. Prekomerna sprememba debeline je lahko za iverno ploščo destruktivna. Zato jih delimo glede na odpornost proti vlagi, katere lastnosti so odvisne od uporabe iverne plošče v splošne ali gradbene namene.

Sprememba debeline je najpomembnejša posledica, ki jo povzročata sprememba relativne zračne vlažnosti in/ali izpostavljenost vodi. Trdnost iverne plošče je odvisna od spremembe debeline in najboljši način kontroliranja le te je visoka vsebnost vezivnega sredstva.

Na spremembo debeline vplivajo parametri, kot so: drevesna vrsta, oblika iveri, gostota plošče, vsebnost lepila, mešanja pogače in pogojev stiskanja. Le ti vplivajo na dve komponenti, katerih vsota daje skupno količino spremembe debeline in sicer nabrekanje lesa in sproščanja notranjih napetosti dodanih v procesu stiskanja ivernih plošč. Sprostitev notranjih napetosti je ireverzibilen proces in se kaže v nepovratni spremembi debeline oz. ireverzibilni spremembi debeline (v nadaljevanju ISD).

#### 2.1.2 Ravnovesna vlažnost

Ker so iverne plošče izdelane iz higroskopičnega materiala, bodo pri izpostavljenosti visoki/nizki vlažnosti vedno ad-/desorbirale vlago. Ravnovesna vlažnost določene iverne plošče pri določeni relativni zračni vlažnosti (RVZ) ni tako pomembna kot je njena posledica v spremembi debeline, ki se pojavi zaradi difuzije vlage v strukturo iverne plošče.

Johnson (1964) je navlažil 26 različnih vzorcev komercialnih ivernih plošč od 30 % do 90 % RZV katerih debelina se je od 7 do 8 krat bolj spremenila kakor plošče katere je navlažil od 30 % do 65 % RVZ.

Jorgensen in Odell (1961) sta objavila, da je do 16 % ravnovesni vlažnosti (ravnovesna vlažnost pri 83 % RZV in 32 °C) sprememba debeline naglo naraščala. Nad to točko je zaradi sproščanja notranjih napetosti strmo naraščala ireverzibilna sprememba debeline.

Suchsland (1972) je določil adsorpcijske in desorpcijske izoterme desetih komercialnih ivernih plošč za notranjo (verjetno iverne plošč izdelane z UF lepilom) in zunanjo (verjetno iverne plošče izdelane s FF lepilom) uporabo. Pri vseh ploščah je opazil visoko sorpcijsko histerezo in, da so izoterme nižje od tistih, katere daje lesna masa sama. Vsi

vzorci ivernih plošč za notranjo uporabo so imeli vedno višjo vlažnost od tistih za zunanjo uporabo. Souchsland-ova teorija je, da visoka temperatura pri izdelavi ivernih plošč znižuje higroskopičnost iverne plošče v primerjavi z naravnim lesom. Poudaril je tudi, da je temperatura pri izdelavi ivernih plošč za zunanjo uporabo (FF) višja od temperature izdelave ivernih plošč za notranjo uporabo (UF) in, da je verjetno higroskopičnost ivernih plošč za zunanjo uporabo manjša zaradi tega.

### 2.1.3 Prostorninska masa

Večja kot je zahtevana gostota iverne plošče, večje sile stiskanja so potrebne ne glede na uporabljeno drevesno vrsto. Večji kot je tlak stiskanja ivernih plošč večje so akumulirane notranje napetosti. Večje kot so akumulirane notranje napetosti, večja je sprememba debeline pri spremembi ravnovesne vlažnosti.

Prostorninska masa je odvisna od:

- velikosti in usmerjenosti iverja oz. vlaken. Finejši delci se lahko bolj stisnejo in med njimi ni veliko praznih prostorov, zato je prostorninska masa pri uporabi finejših delcev nižja kot je pri uporabi bolj grobih delcev.
- uporabljene drevesne vrste. Lesne vrste z nižjo prostorninsko maso imajo večjo stisljivost, zato lahko z njihovo uporabo dosežemo višje prostorninske mase, kot pri lesnih vrstah z višjo prostorninsko maso.
- tipa plošč. Plošče, ki jih uporabljamo v konstrukcijske namene imajo običajno višjo prostorninsko maso kot plošče, ki jih uporabljamo v pohištveni industriji ali za splošne namene.
- debeline plošč. Pri večslojni iverni plošči se z večanjem debeline prostorninska masa manjša.
- tlak stiskanja. Z večanjem tlaka stiskanja se večja prostorninska masa.

Gatchell (1966), Halligan in Schniewind (1972) in Hse (1975) so navedli, da z naraščajočo gostoto iverne plošče narašča sprememba debeline. Vendar se s to izjavo ne strinjajo vsi. Drugi avtorji so navajali rahlo ali sploh brez sprememb stabilnosti debelinske (Lehmann in Hefty, 1973). Z nekaj izjemami se je z večanjem gostote iverne plošče sprememba debeline zmanjševala. Razlog za to je manjša adsorpcija vlage in boljša medsebojna povezanost iveri ter posledično manjša poroznost, ki preprečuje sproščanje kompresijskih sil.

Suchsland (1973) je določil spremembo debeline desetim komercialnim ivernim ploščam s cikličnim testom in ni odkril povezave med gostoto in spremembo debeline. Stopnja spremembe debeline je na začetku testa manjša od prostornine adsorbirane vode. Razloge za to je pripisal notranjemu nabrekanju. Z nadaljnjim vlaženjem vzorcev pa je bila stopnja spremembe debeline celo večja od količine adsorbirane vode. Razlog za to je pripisal sprostitvi notranjih napetosti v srednjem sloju (SS). Predlagal je, da bi za zmanjšanje količine spremembe debeline morali zmanjšati horizontalno razliko porazdelitve gostote med zunanjim slojem (ZS) in SS tako, da med njima ne bi bilo večje gostotne razlike. Ideja takšne izdelave ivernih plošč z ivermi ni izvedljiva ampak z zmanjševanjem velikosti delcev do velikosti vlaken.

Klauditz in sod. (1958) so opazili povečanje spremembe debeline pri izoliranih vzorcih pri spremembi gostote od 0,25 do 0,50 g/cm<sup>3</sup>. Pripravili so vzorce treh različnih drevesnih vrst in jih testirali s testom potapljanja v vodi. Sprememba debeline je z naraščanjem gostote plošč iz 0,25 na 0,50 g/cm<sup>3</sup> narasla za 91 % pri smrekovih, 73 % pri borovih in za 25 % pri bukovih vzorcih.

Klauditz (1955) je dobil linearno povezavo med gostoto (v razponu 0,4 do 0,8 g/cm<sup>3</sup>) in spremembo debeline pri vzpostavitvi vzorcev visoki vlažnosti. Sprememba debeline ivernih plošč se zmanjša s kombinacijo visoke vsebnosti smole in z impregnacijo iveri s smolo. Pri testu potapljanja v vodi se je sprememba debeline povečala vendar ne z linearnim trendom.

Clad (1967) je raziskoval medsebojni vpliv med vlažnostjo iveri (pred stiskanjem), gostoto iverne plošče in deležem smole. Uporabil je vzorce z deležem fenol formaldehidne smole od 4 do 15 % in gostoto od 0,4 do 0,8 g/cm<sup>3</sup> ter jih ovrednotil po 24 urnem testu potapljanja v vodi. Z visokim deležem lepila in impregnacijo iveri s smolo se je sprememba debeline zmanjšala. Visoka gostota iverne plošče povečuje vpliv smole in tako zmanjšuje spremembo debeline.

Gatchell in sod. (1966) so izpostavili iverne plošče z gostoto 0,48, 0,64 g/cm<sup>3</sup> in 0,8 g/cm<sup>3</sup> iz 30 % na 90 % relativne zračne vlažnosti (RZV). Sprememba debeline se je povečala za 10, 11 in 13,8 %.

#### 2.1.4 Oblika iveri

Na spremembo debeline vplivata dva vidika geometrije iveri. Razmerje med dolžino in debelino ( $l/t$ ) in debeline same.

Kelly (1977) je zapisal, da je vsa literatura soglasna s tem, da z uporabo tanjših iveri dosežemo boljšo debelinsko stabilnost v primerjavi z uporabo debelejših iveri. Z uporabo manjše mase posamezne iveri in večjim številom medsebojnih stikajočih površin med ivermi verjetno dosežemo boljšo higroskopično in širjenje iveri v prazne prostore med ivermi. Širjenje iveri v makroskopsko velike prazne prostore pripomore k manjši spremembi debeline.

Veliko manjše soglasje je glede vpliva dolžine iveri na spremembo debeline. V splošnem nastopa povečevanje dolžine iveri na izboljšanje debelinske stabilnosti. Razlog stabilnosti spremembe debeline zaradi daljših iveri je verjetno povezanost iveri na daljšem območju iverne plošče s katerim omogoča porazdelitev lokalnega nabreka iveri na širše območje. Na ta način zmerno vpliva na zmanjšanje spremembe debeline v gostejših območjih iverne plošče.

Heebink in Hann (1959) sta pri uporabi iveri severnega rdečega hrasta opazila, da je stabilnost debeline iverne plošče boljša pri iverih z dolžino 25,4 mm kakor z uporabo 6,35 mm dolgih iveri.

Post (1961) pravi, da pri uporabi 0,3 mm debelih iveri dolžina iveri nima vpliva na stabilnost debeline. Pri iverih debelejših od 0,3 mm se je stabilnost povečala s povečevanjem dolžine iveri.

Jorgensen in Odell (1961) sta opazila tri krat večjo spremembo debeline pri uporabi 1,27 mm debelih iveri v primerjavi z 0,23 mm debelih iveri ko sta jih navlažila iz 15 % na 92 % RZV pri 32 °C.

Post (1961) je opazoval spremembo debeline glede na dolžino iveri in pravi, da je sprememba debeline večja z uporabo debelejših iveri. Iverne plošče izdelane iz 1,27 mm debelih in 25,4 mm dolgih iveri so imele 50 % večjo spremembo debeline kot plošče izdelane iz 1,27 mm debelin in 101,6 mm dolgih iveri. Pri uporabi tanjših iveri razlike niso bile očitne.

Turner (1959) je bil eden prvih, ki so sistematično raziskovali ta parameter. Pravi, da geometrija iveri (razmerje med dolžino in debelino) ni tako pomembna kot debelina iveri ampak le ta postane pomembna nad 0,3 mm debelimi ivermi.

Debelina iveri z gostoto ivernih plošč vpliva na spremembo debeline (Mottet, 1967). Pri iverih debeline 0,23 mm in ploščah z gostoto od 0,6 do 0,75 g/cm<sup>3</sup> je sprememba debeline enaka. Sprememba debeline se pri debelejših iverih in ploščah z nižjo gostoto do neke mere znižuje preden začne naraščati medtem, ko sprememba debeline postopno narašča pri ploščah z večjo prostorninsko maso in debelejšimi ivermi.

### **2.1.5 Delež smole in parafinske emulzije**

Kelly (1977) pravi, da z večanjem deleža smole v ivernih ploščah izboljša povezavo med ivermi in tako tudi spremembo debeline. Kakorkoli obstaja meja, ko povečevanje deleža smole ne vpliva več na izboljšavo povezanosti iveri, ampak služi le še kot impregnacija le teh. To je osnova katera delež smole vpliva na higroskopičnost iveri, vendar ekonomičnost industrije tega ne dopušča.

Lehmann (1965) trdi, da mora biti nanos smole učinkovit; tako, da postanejo stopnja zamreženosti, porazdelitev smole in mešanje pogače ravno tako parametri, ki vlivajo na fizikalne lastnosti ivernih plošč. Lehmann (1965) je zaključil, da sta kvalitetna stopnja zamreženosti in primerna uporaba smol najpomembnejša parametra katere je raziskoval. Za zmanjševanje spremembe debeline moramo poskrbeti za kvaliteten spoj z utrjevanjem smole in glede na drevesno vrsto optimalno količino katalizatorja. Kakršno koli dodajanje in spreminjanje parametrov za boljše utrjevanje smole bo zmanjšalo spremembo debeline.

Gatchellin in sod. (1966) so zaključili, da je delež smole v ivernih ploščah najpomembnejši samostojni parameter s katerim lahko vlivamo na spremembo debeline. Absolutno suhe vzorce so navlažili na 90 % RZV in so pri spremembi deleža smole iz 4 % na 12 % opazili zmanjšanje spremembe debeline od 16,4 % do 11,6 %.



Stegmann in Durst (1965) sta po 24 urah potapljanja vzorcev v vodi objavila veliko zmanjšanje adsorpcije vode in spremembe debeline z uporabo parafinske emulzije. Heebink in Hann (1959) sta nakazala, da dodatek parafinske emulzije zmanjšuje stopnjo spremembe debeline v procesu vlaženja vzorcev iverne plošče v povišani RZV in potopitvi v vodi. Prekomeren dodatek nad 1 % trdne parafinske emulzije glede na količino absolutno suhega deleža lesa iverne plošče, vpliva na adhezivnost smole in zmanjšuje trdnostne lastnosti iverne plošče.

Uporaba parafinske emulzije je v industriji pri izdelavi urea – formaldehidnih in fenol – formaldehidnih ivernih plošč široko uporabljena (Gatchell in sod., 1966 ter Heebink in Hann, 1959). Z uporabo parafinske emulzije pri daljši izpostavitvi vzorcev vodni pari niso opazili zmanjšanja spremembe debeline.

Kehr (1967) je po dveh urah potopitve vzorcev iverne plošče zlepljene z UF smolo opazil zmanjšanje spremembe debeline iz 17 % na 7 %, ko je povečal delež smole iz 4 % na 12 %.

### **2.1.6 Pogoji stiskanja**

V procesu izdelave ivernih plošč je operacija stiskanja kritičen parameter. Na fizikalne lastnosti iverne plošče skozi postopek stiskanja vplivajo številni dejavniki še posebej tisti, ki vplivajo na vertikalno porazdelitev prostorninske mase plošč. Najpomembnejši dejavniki, ki v procesu stiskanja vplivajo na fizikalne lastnosti ivernih plošč so tako vlažnost pogače, hitrost zapiranja ter čas in temperatura stiskanja.

Strickler (1959) je opisal, da so najmanjše spremembe debeline po testu potapljanja dosegli z zmerno hitrimi cikli stiskanja. Buschbeck in Kehr (1960) sta opisala študijo vpliva površinske omočitve pogače z vodo. Z vlaženjem pogače sta opazila rahlo zmanjšanje spremembe debeline. Za izboljšanje dimenzijske stabilnosti priporočata pravilno kombinacijo temperature, stiskanja, časa in dodajanja vlage.

Maku in Hamada (1955) sta opazila zmanjševanje spremembe debeline in adsorpcijo vode, ko sta povišala vlažnost iveri. Strickler (1959) je opisal, da se čas, ki je potreben za ogrevanje sredice pogače zmanjšuje z višanjem vlažnosti zunanjšega sloja pogače. Z visoko vlažnostjo zunanjšega sloja (nad 15 %) zmanjšamo mehanske lastnosti ivernih plošč vendar se je z naraščanjem vlažnosti zunanjšega sloja pogače povečala stabilnost spremembe debeline.

Rice (1960) pravi, da se z zmanjševanjem časa zapiranja izboljšajo mehanske lastnosti ivernih plošč vendar sta ireverzibilna sprememba debeline in sprememba debeline neodvisna od časa zapiranja.

Bismarck (1977) je razvil tehniko stiskanja v kateri je hitrost zapiranja v razmerju s koeficientom stiskanja in koeficientom odpornosti stiskanja plošče dokler ne dosežemo zelene debeline iverne plošče. Tehnika preprečuje hitro stiskanje pogače z nizko odpornostjo proti stiskanju, ki se pojavlja pri ustaljenih normah stiskanja. Testi tehnike so

pokazali od 5 % do 9 % izboljšanje mehanskih lastnosti, 10 % znižanje spremembe debeline in 16 % zmanjšanje časa stiskanja. Tehnika po vsej verjetnosti zmanjšuje gradient vertikalne porazdelitve prostorninske mase vendar so za potrditev tehnike potrebna nadaljnje raziskave.

### 2.1.7 Drevesna vrsta lesa

Na spremembo debeline vpliva prostorninska masa izbrane drevesne vrste lesa. Za pripravo pogače pri izdelavi iverne plošče določene gostote je potrebna zadostna količina iveri. Zato je od vrste lesa in njegove prostorninske mase odvisen potreben tlak stiskanja. Za vrste lesa z nizko prostorninsko maso je potrebna večja sila stiskanja kot pri vrstah z višjo prostorninsko maso. Izbira vrste lesa je pomembna zaradi sproščanja notranjih napetosti katere vplivajo na količino spremembe debeline pri visoki vlažnosti. Primerna izbira drevesne vrste in visok tlak stiskanja pogače izboljša porazdelitev in učinkovitost smole in tako poveča stabilnost spremembe debeline (Carroll in McVey, 1962).

Na utrjevanje UF smol vpliva pH lesa, ki se spreminja z uporabljeno drevesno vrsto. Da UF lepilo utrdi v relativno kratkem času potrebuje kislo okolje. Višji kot je pH drevesne vrste večjo količino kislega utrjevalca moramo dodati (Halligan, 1969). Neustrezno dodajanje utrjevalca se lahko pokaže kot nezadostno utrjena smola in zmanjšana stabilnost spremembe debeline.

V večina primerih so fizikalne lastnosti ivernih plošč, odvisne od drevesne vrste, primerjane z lesom bora. Splošno jelša, beli gaber, smreka, breza in trepetlika vplivajo negativno na stabilnost spremembe debeline medtem, ko hrast, bukev in jesen vplivajo podobno kot les bora.

### 2.1.8 Ireverzibilna sprememba debeline

Ireverzibilna sprememba debeline (ISD) ali nepovratna sprememba debeline nastane, ko končano iverno ploščo izpostavimo visoki RZV ali vodi nato jo vrnemo v začetno izhodišče vlažnosti in temperature. Razlika med izhodiščno in debelino po vlaženju predstavlja ISD. Iverna plošča je v smeri debeline veliko bolj nestabilna kot bi pričakovali od raztezanja in krčenja lesnih iveri. Dodatna sprememba debeline iverne plošče izpostavljeni visoki vlažnosti v primerjavi z lesom samim je posledica sproščanja notranjih napetosti, ki so bile dodane v procesu stiskanja. Za izdelavo iverne plošče se v procesu stiskanja vsaj delno deformirajo iveri. Zniževanje vlažnosti kontrolirane pogače v procesu stiskanja zmanjšuje plastičnost iveri in se pokaže kot dodatek delno trajnih notranjih napetosti. V času dodatnega navlaževanja iverne plošče visoka vlažnost sprosti notranje napetosti, ki so najbolj izrazite v spremembi debeline. Sprememba debeline se s povišanjem vlage izraža tudi z nabrekanjem higroskopičnih iveri. Sprememba debeline ob povečanju vlažnosti je vsota teh dveh komponent. Nadaljnja desorpcija deluje na iverno ploščo v smislu skrčka in le za toliko kolikor se skrčijo iveri. Sproščene notranje napetosti se ne povrnejo v prejšnje stanje. Vsako nadaljnje navlaževanje in sušenje dodatno sprošča notranje napetosti in z vsakim ciklom ISD narašča vendar z vsakim manj (Kelly, 1977).

Childs (1956) je preučeval širino iveri, deleža smole, in gostote iverne plošče na ISD. Uporabil je iveri ambrovca in UF smolo. Kot je pričakoval je ISD naraščal z naraščanjem gostote plošče in se zmanjševal z naraščanjem deleža smole. Z naraščanjem prostorninske mase naraščajo notranje napetosti ter posledično tudi ISD. Z večjim deležem smole izboljšamo oblepljenost in stabilnost iveri ter ugodno vplivamo na ISD. ISD je neodvisen od širine iveri.

Saito (1972) je preučeval ISD komercialnih ivernih plošč izdelanih z UF in FF smolo po testu namakanju v vodi do konstantne debeline. Stabilnost FF plošč je bila boljša od UF plošč. Opazili so tudi znatno zmanjšanje ISD s povečanjem deleža smole iz 9 % na 12 %. Razlika je nastala zaradi boljše povezanosti in stabilnosti iveri. Delež ISD zaradi popuščanja smole je bil zanemarljiv v primerjavi z deležem zaradi popuščanja notranjih napetosti.

Halligan in Schniewind (1972) sta odkrila linearno povezavo med ISD in spremembo debeline za z UF smolo izdelane iverne plošče izpostavljene različni RZV. Zaključila sta s tem, da teh dveh parametrov ni potrebno preučevati posamezno. Njuni rezultati temeljijo na spremljanju ISD v enem ciklu vlaženja in sušenja, bi dodatni cikli zmanjšali ISD in, da bi bila povezava med tema dvema parametroma verjetno drugačna.

ISD je značilna lastnost vseh plosko stisnjenih ivernih plošč (Kelly, 1977). Popravki procesnih parametrov zmanjšujejo ISD vendar glede na naravo izdelka ga ni mogoče izničiti. Kadarkoli iverne plošče izpostavimo razmeram katere povečujejo plastičnost lesa (visoka vlažnost, ali visoka vlažnost in temperatura skupaj) lahko predvidimo glede na adsorpcijo vode, velikost ISD.

### **2.1.9 Vrsta vezivnega sredstva**

Zaradi nabrekanja in krčenja (Šega, 2002), ki je posledica adsorpcije oz. desorpcije vode se v polimernemu materialu generirajo napetosti. Med nabrekanjem prevladujejo na površini materiala tlačne v notranjosti pa natezne napetosti. Penetracija vode v polimer je odvisna od difuzivnosti in površinske napetosti med vodo in površino polimera.

Posledica vodnega koncentracijskega gradienta v matrici polimera je torej nastanek higroelastičnih napetosti (Hamid in sod., 1992). Če polimer obremenimo z neko zunanjo silo, le ta vpliva na hitrost difuzije v matrici. Hitrost difuzije je odvisna od relativnega zmanjšanega volumna (relative reduced volume RRV). Hitrost difuzije narašča z naraščanjem RRV, ki je posledica delovanja nateznih napetosti in pada z zmanjševanjem RRV, ki je posledica delovanja tlačnih napetosti in higroelastičnega nabrekanja.

Dviganje vlažnosti povzroča nabrekanje polimera v amorfnih področjih, kristalinična področja pa so nepermeabilna. Zaradi razlik v amorfnih in kristaliničnih področjih se na vmesnih površinah pojavijo dodatne napetosti, zaradi katerih lahko nastanejo mikrovzeli, ki omogočajo dodaten navzem vode

Walter (1961), Heebink (1968) in Hefty (1968) pravijo, da so trdnostne lastnosti ivernih plošč odvisne od vrste uporabljene smole (UF, FF) medtem ko je vpliv vrste lepila po nekaj ciklih vlaženja na spremembo debeline neodvisna (cit. po Halligan, 1970).

O. Suchsland (1966) je opisal rezultate testiranja komercialnih ivernih plošč izdelanih z UF in FF smolo izpostavljenih 95 % RZV in 26 °C (po kondicioniranju vzorcev v 65 % RZV in 21 °C) in opazil, da je izbira smole sekundarnega pomena pri vplivanju na stabilnost spremembe debeline. Do podobnih rezultatov je prišel tudi O. Liiri (1968) pri izpostavljenosti vzorcev visoki RZV UF in FF ivernih plošč medtem so vzorci izdelani s FF smolo v testu potopitve v vodi dali boljše rezultate kot vzorci izdelani z UF smolo.

## 2.2 VEZIVNO SREDSTVO

### 2.2.1 Uvod

Vezivno sredstvo oz. lepilo je tekočina, ki ima sposobnost spremeniti se v trdno snov oz. v inetrakciji les – lepilo – les tvori lepilni spoj. Na lastnosti utrjenega spoja vpliva več dejavnikov, ki so povezani z okoljem v katerem se nahaja. Njegove lastnosti pa so odvisne od utrjenega lepila samega in od tega kako se lepilni spoj odziva na obremenitve in degradacije.

Dejavnike, ki vplivajo na lepljenje, glede na njihov izvor je Marra (1992) v svoji raziskavi razdelil na šest skupin. V prvi je predstavil dejavnike zgradbe lepila, drugi dejavnike lastnosti lesa, tretji dejavnike priprave lesa, četrti dejavnike aplikacije lepila, peti dejavnike geometrije lesa in zadnji šesti dejavnike uporabe lepljenega izdelka.

V lesno predelovalnih industrijah izdelujejo iverne plošče glede na namembnost in v kakšnih pogojih se bodo uporabljale. Z izborom določenega oz. pravilnega lepila lahko izdelujejo plošče namenjene za splošne oz. za uporabo v pohištvene namene in za uporabo v gradbeništvu. Največkrat uporabljena lepila so UF (splošni nameni), MF (splošni in gradbeniški nameni), FF (gradbeniški nameni) in izocianatna lepila.

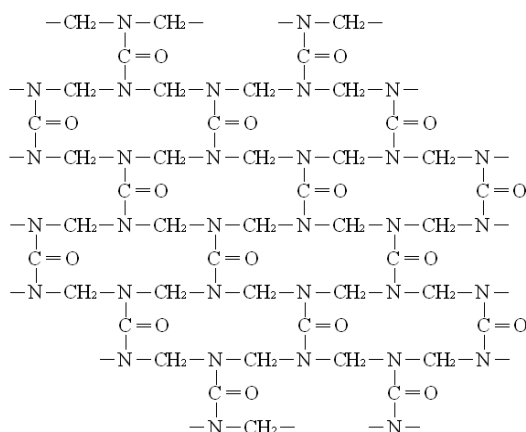
### 2.2.2 Lastnosti UF – urea formaldehidne smole

Urea smole sodijo v nižji trajnostni razred ker so občutljive na delovanje toplote in vode. Za razpad UF lepila je glavni krivec hidroliza (Šega, 2002), ki je pri višjih temperaturah še izrazitejša.

Utrjevanje UF smol običajno sprožimo z dodatkom kislih katalizatorjev. Prav te kisline pa katalizirajo tudi hidrolitičen razpad smole, ker je rast in razvejitev molekulske verige, ki je posledica povezovanja metilolov in/oz. metilolov in amidov, reverzibilen proces (Myers, 1982). Jakost hidrolize utrjene smole je odvisna od kemizma in stopnje zamreženja polimera.

V vlažnih pogojih torej prihaja do šibke hidrolize UF smol, le ta pa postane v prisotnosti kislin in/oz. pri višjih temperaturah izrazitejša.

Čista utrjena smola je trda, krhka in odporna proti lezenju. Zaradi krčenja, ki je posledica utrjevanja, smole rade razpokajo in zato niso primerne za zapolnjevanje. Pri režah, ki so debelejšje od 0,4 mm UF lepilo povsem odpove.



**Slika 1: Strukturna formula zamreženosti utrjene UF smole (Kollmann s sod., 1975)**

UF smole so občutljiva na delovanje toplote in vode. Za razpad teh lepil je glavni za hidrolizo lepila, ki je pri povišani temperaturi in vlagi še izrazitejša

Razlog za hidrofobne lastnosti UF smol je lahko prisotnost prostih –anolnih skupin. Študije kažejo na pomembnost prostih reaktivnih skupin, katere imajo nenavadno podobnost v primerjavi s celulozno strukturo (Kollmann in sod., 1975).

Med samim utrjevanjem UF smol pada pH vrednost. Proste fenolne in amino skupine v molekulah lepila v začetni fazi polimerizacije medsebojno reagirajo in kondenzirajo v zamreženo makromolekulo. Približno strukturo utrjenega UF lepila prikazuje slika 3 (Kollmann in sod., 1975).

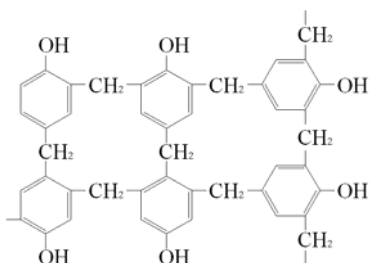
V procesu utrjevanja se smola krči oz. povzroča ožjenje tridimenzionalne strukture utrjene smole, zaradi izhajanja vode, ki nastane kot stranski produkt polikondenzacije. Ker je smola trda, krhka in odpona proti lezenju je podvržena pokanju. Take nastale vrzeli omogočajo prosto pot vodnim molekulam do prostih hidroksilnih skupin v celulozni strukturi iveri.

Pri uporabi UF lepila dobimo plošče z nižjo prostorninsko maso, nekoliko slabšimi mehanskimi lastnostmi in večjim debelinskim nabrekom oz. odpornostjo proti vlagi, kot pri uporabi FF lepila.

### 2.2.3 Lastnosti FF – fenol formaldehidne smole

Pizzi (1989) je zapisal, da so fenolna jedra med seboj povezana preko metilenskih mostičkov. To so kovalentne vezi med dvema ogljikovima atomoma in predstavljajo najtrdnjšo in najtrajnejšo vez med dvema organskima molekulama, ki je odporna proti hidrolizi.

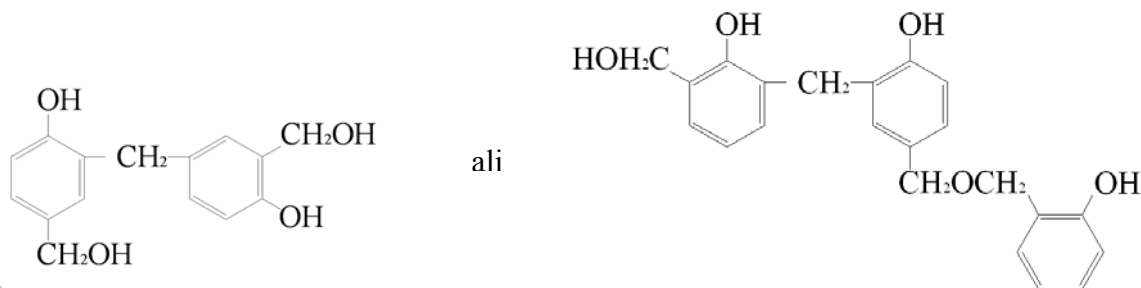
Za pravilno utrjeno fenolno smolo je značilno, da je termoneplastična, da ne nabreka v topilih in je netopna, kar je posledica visoko zamrežene strukture. Popolnoma utrjena smola je stekleno trda in krhka. Med utrjevanjem se krči, zaradi oddajanja vode, ki je sestavni del lepila in nastane kot produkt polikondenzacije. Dodatno krčenje molekulske strukture povzroči še nastajanje metilenskih mostičkov. Zaradi močnega krčenja, ki lahko povzroči pokanje lepila, FF lepila niso primerna za zapolnjevanje večjih vrzeli oz. tam kjer nastajajo debelejši lepilni spoji (sl., 2).



Slika 2: Strukturna formula rezita oz. utrjene FF smole (Kollmann s sod., 1975)

Fenolna jedra so med sabo povezana preko metilenskih mostičkov oz. kovalentnih vezi med dvema ogljikovima atomoma. Tako nastalo organsko molekulo povezujejo najtrdnjše in najtrajnejše vezi, ki so odporne proti hidrolizi.

Pri pripravi rezit termoutrjujočega lepila je trifunkcionalen formaldehid potreben za nastanek tridimenzionalne zamrežene molekularne strukture (Kollmann in sod., 1975). Stopnja kemičnega povezovanja in zamreževanja rezita je tako velika, da predstavlja eno samo molekulo (sl. 3).



Slika 3: Strukturna formula rezola (Kollmann s sod., 1975)

Lastnosti pravilno utrjenega lepilnega spoja se ne bodo spremenile niti pod naslednjimi pogojem (Kollmann in sod., 1975): izpostavljenosti vroči in mrzli vodi, cikličnem navlaževanju in sušenju, ekstremnim temperaturam in relativno zračno vlažnostjo, temperaturo blizu in včasih nad temperaturo zогlenitve lesa, delovanju kemikalij in napadi bakterij, glivam in ostalim mikroorganizmom ter termitom.

#### **2.2.4 Odpornost lepilnih spojev proti vlagi**

Lepila za les so polarna in so zato sposobna adsorbirati določeno količino vode (Šega, 2002). Voda, ki prodre v lepilo, deluje v njem kot plastifikator, lahko pa povzroči hidrolitičen razpad vezi. Vodne molekule se lahko adsorbirajo na vmesni površini med lepilom in podlago ter ju na ta način ločijo.

Wake (1976) pravi, da na mestih kjer obstajajo sekundarne valentne vezi, voda »odmakne« lepilo od podlage, zaradi česar so kemične vezi, ki so manj številne, dodatno obremenjene. Pri sistemih kjer je adhezija posledica delovanja samo sekundarnih Van der Waalsovih sil je ločitev lepila od podlage, ki je posledica delovanja vode, reverzibilen proces (ob pogoju, da adsorpcija vode ne povzroči ireverzibilnih sprememb na površini podlage). Pri spojih, kjer se med lepilom in podlago oblikujejo kemijske vezi (neposredne vezi med lepilom in podlago oz. posredna povezava preko povezovalnega sredstva), se lahko voda vrine med lepilo in podlago in ju loči šele po predhodni hidrolizi primarnih vezi.

Skeist (1990) navaja, da vodoodpornost lepilnih spojev ni odvisna od oblikovanja kovalentnih vezi med lepilom in lesom oz., da zadostno vodoodpornost zagotavljajo že fizikalne privlačne sile (Van der Waalsove sile in vodikove vezi) med molekulami lesa in lepila. Topnost polimera je odvisna od molekulske zgradbe, kemične sestave in molekulske mase in je z njo povezana tudi stopnja polarnosti, ki vpliva na privlačnost med molekulami.

Fizikalne lastnosti materialov (topnost, permeabilnost in difuzija) so odvisne tudi od: polarnosti, molekulske organizacije polimernih verig in njihove gibljivosti, deleža amorfnega polimera, stopnje zamreženosti, prisotnosti dodatkov, plastifikatorjev in prisotnosti drobnih luknjic in mikrovrzeli v materialu.

#### **2.2.5 Dejavniki, ki vplivajo na trdnost lepilnega spoja**

Rowell (1996) je ugotovil, da na lom oz. porušitev lepilnega spoja vpliva več dejavnikov. Pomembnejši so predvsem slabe kemične in fizikalne interakcije med lepilom in lesom ter različno nabrekanje lepila in lesa pri sorpciji vlage, sledijo pa vplivi okolja in slaba distribucija napetosti. Adhezija ima poleg lastnosti lepila največji vpliv na zagotovitev kvalitetnega lepilnega spoja. V mehanizmu adhezije so vključeni kemijski in fizikalni dejavniki. Med temi so najpomembnejši dipolna interakcija, vodikova vez, disperzijske sile, ionska vez, kovalentna vez, fizično prepletanje in razvoj polimera v porozno površino. V sistemu lepilo – les je adhezija predvsem odvisna od omočitve površine, penetracije

lepila, kemijske reakcije, poroznosti, pH, vlažnosti, ekstraktivov, kemijskih interakcij, površinske napetosti, stanja površine in anatomske smeri.

### **2.2.6 Prevodnost lepilnih spojev**

Shultz in Myron (1980) sta raziskovala vpliv polivinilacetatnih (PVAc), urea - formaldehidnih (UF) in resorcinol – formaldehidnih (RF) lepilnih spojev na prečno difuzijo vodne pare skozi vezano ploščo izdelano iz luščenega furnirja tulipanovca (yellow-poplar). Za določitev difuzijskih koeficientov sta uporabila stacionarno metodo čaše. Upornost lepilnih filmov sta izračunala tako, da sta od upornosti vezane plošče odštela upornost furnirjev. Najnižji prevodnostni oz. difuzijski koeficient sta izmerila pri ploščah zlepljenih z RF lepili, najvišjega pa pri ploščah zlepljenih z UF lepili. Ugotovila sta, da tlak pri lepljenju ne vpliva značilno na prevodnost plošč, ki so bile zlepljene z RF lepili; da pa na prevodnost vpliva temperatura utrjevanja lepila. Nižjo prevodnost sta izmerila pri ploščah, ki so bile zlepljene pri visokih temperaturah (100 °C).

Na in sod. (1996) so skušali z merjenjem difuzivnosti helija in dušika skozi lepilni spoj ugotoviti vpliv hidrolitičnega staranja na lastnost spoja. Razvili so metodo s katero so želeli ovrednotiti kako vpliv kemičnih sprememb hidrolize lepila kot tudi geometrijskih sprememb, ki so posledica delovanja lesa. Izvedli so eksperiment pri katerem so tanke lističe jelovine (20 × 20 × 0,25 mm), ki so jih zlepili z UF lepilom. Difuznost so merili s klasičnim Wiele – Kallenbach-ovim aparatom. Koncentracijo helija in dušika v dveh komorah, ki jih je ločeval zlepljen preskušavec, so določevali s pomočjo plinske kromatografije. Na podlagi najmanjših premerov por izračunanih iz Knudsen-ovih difuzijskih koeficientov in molekularnih premerov helija in dušika so zaključili, da UF lepilni spoji niso porozni. Ugotovili so, da največji del hidrolitičnega razkroja lepila poteče že med začetnim navlaževanjem, takrat je padec pH najizrazitejši. Mehanski razkroj vezi pa se z večanjem števila ciklov navlaževanja in sušenja preskušancev povečuje.



### 3 MATERIALI IN METODE

#### 3.1 MATERIALI

##### 3.1.1 Vzorci iverne plošče

Vzorci, ki smo jih uporabili v eksperimentu so tri slojne plosko stisnjene brušene iverne plošče. Uporabili smo komercialne iverne plošče zlepljene iz UF in FF smolo.

Iz vsake iverne plošče smo s pomočjo krožnega žagalnega stroja izrezali 60 vzorcev 50×20 mm (dolžina × širina, sl. 5). Vzorci UF iverne plošče so bili debeline 18 mm in FF 19mm.



Slika 4: Primer vzorca plosko stisnjene več slojne iverne plošče izdelane z FF smolo

Obleplejnost iveri v UF vzorcih je 11,5 % za zunanji sloj (ZS) in 7,5 % za srednji sloj (SS) in pri FF vzorcih 12,5 % za ZS in 8 % za SS.

Vse vzorce smo klimatizirali v standardni klimi pri temperaturi  $20 \pm 2$  °C in relativni zračni vlažnosti (RZV)  $65 \pm 5$  %.

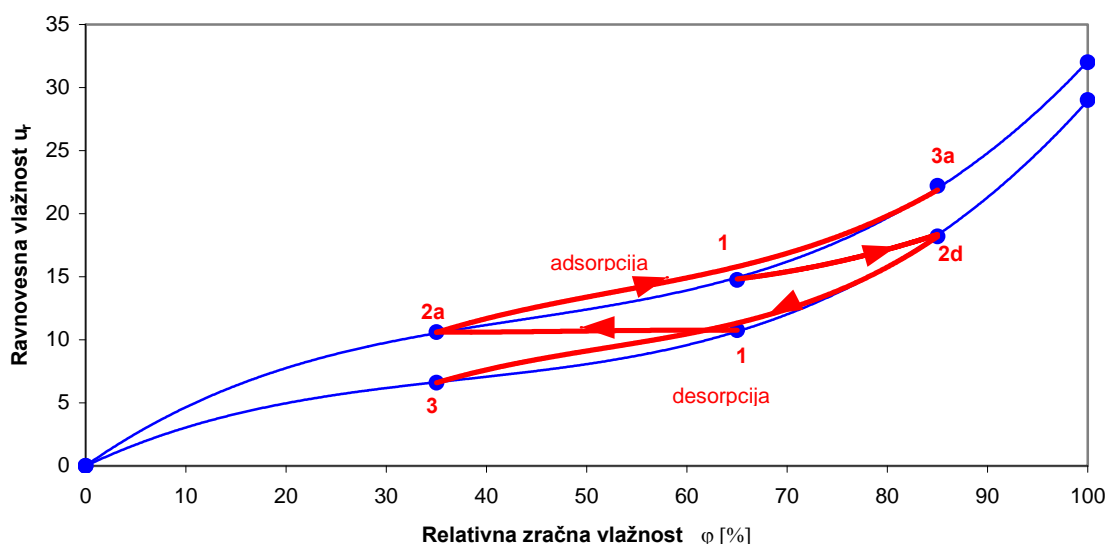
#### 3.2 METODA

##### 3.2.1 Klimatiziranje vzorcev

Izpostavo nihajoči klimi omogoča zaprta posoda, ki je povezana s komoro z vzorci. Za vzpostavitev vlažne klime smo v posodo nalili več litrov destilirane vode. Zrak, ki je krožil skozi posodo z destilirano vodo v komoro se je navlažil do relativne zračne vlažnosti  $\varphi = 85 \pm 5$  % (vlažna klima). Za vzpostavitev suhe klime  $\varphi = 35 \pm 5$  % pa smo v posodo natresli magnezijevo sol (magnezijev klorid;  $\text{MgCl}_2$ ), katera je navzemala vlažnost iz zraka. V celotnem času eksperimenta smo ohranjali temperaturo pri  $T = 20 \pm 2$  °C.

Komora za spreminjanje mikroklimje je opremljena z računalniško vodeno kontrolo klimatskih razmer katera krmili pretok zraka in ravnovesje temperature v komori.

### 3.2.2 Spremljanje in merjenje mase in dimenzij



Slika 5: Območje testiranja med dvema ravnovesnima legama nihajoče klime

Klimatizirane vzorce v standardni klimi ( $\phi = 65 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) sl. 5 smo testirali v dveh poizkusih.

V prvem poizkusu smo klimatizirane vzorce v standardni klimi (sl. 5, točka 1a) izpostavili suhi klimi ( $\phi = 35 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , sl. 5, točka 2a) in spremljali spremembo mase do 0,1% razlike med zaporednima meritvama. Uravnovešene vzorce v suhi klimi smo izpostavili vlažni ( $\phi = 85 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , sl. 5, točka 3a) in spremljali spremembo mase do enake razlike med zaporednima meritvama.

V drugem poizkusu smo klimatizirane vzorce v standardni klimi (sl. 5, točka 1d) izpostavili vlažni klimi (sl. 5, točka 2d) in spremljali spremembo mase do 0,1% med zaporednima meritvama. Tako uravnovešene vzorce smo nato izpostavili še suhi klimi (sl. 5, točka 3d) do enake razlike mas med dvema zaporednima meritvama.

V prvem poizkusu smo spremljali adsorpcijo in v drugem desorpcijo.

Maso vzorcev smo merili na laboratorijski tehtnici na 1/100 g.

Vzporedno z meritvami mase vzorcev smo spremljali debelino vzorcev s pomočjo mikrometra na 1/1000 mm ter dolžino in širino s kljunastim merilom na 1/100 mm natančno.

### 3.2.3 Relativna sprememba debeline

Povprečne podatke meritev smo izračunali po naslednji formuli za aritmetično sredino:

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n T_i \quad \dots(1)$$

Kjer je  $\bar{\quad}$

- $n$  število podatkov v vrsti
- $t_i$  posamezna vrednost debeline

Za določanje relativne spremembe debeline v času ad/desorpcije smo si pomagali s povprečnimi podatki meritev debeline vzorcev v času uravnovešanja vzorcev v nihajoči klimi.

Relativno spremembo debeline vzorcev v % smo izračunali po enačbi:

$$\Delta T = \frac{\bar{T}_t - \bar{T}_0}{\bar{T}_0} \cdot 100[\%] \quad \dots(2)$$

Kjer je:

- $\bar{T}_0$  povprečna debelina uravnovešenih vzorcev pred vzpostavitvijo pred spremembo klime v 1/10 mm
- $\bar{T}_t$  povprečna debelina uravnovešenih vzorcev v določenem času izpostavljenosti nihajoči klimi v 1/10 mm

### 3.2.4 Določanje relativne spremembe vlažnosti

Povprečne podatke meritev smo izračunali po naslednji formuli za aritmetično sredino:

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n m_i \quad \dots(3)$$

Kjer je  $\bar{\quad}$

- $n$  število podatkov v vrsti
- $m_i$  posamezna vrednost mase

Določanje ravnovesne vlažnosti v času ad/desorpcije smo izračunali s pomočjo povprečnih podatkov gravimetričnih meritev vzorcev tekom časa izpostavljenosti nihajoči klimi:

Ravnovesno vlažnost ( $u_r$ ) smo izračunali po enačbi in je izražena v %:

$$u_r = \frac{\bar{m}_t - \bar{m}_0}{\bar{m}_0} \cdot 100[\%] \quad \dots(4)$$

Kjer je:

- $\bar{m}_0$  uravnovešena poprečna masa absolutno suhih vzorcev v 1/100 g
- $\bar{m}_t$  uravnovešena povprečna masa vzorcev v določenem času izpostavljenosti nihajoči klimi v 1/100 g

Iz dobljenih podatkov ravnovesne vlažnosti vzorcev smo izračunali relativno spremembo ravnovesne vlažnosti vzorcev izražena v % po enačbi:

$$\Delta u = \frac{u_{rt} - u_{r1}}{u_{r1}} \cdot 100[\%] \quad \dots(5)$$

Kjer je:

- $u_{r1}$  uravnovešena povprečna ravnovesna vlažnost vzorcev pred spremembo klime v 1/100 %
- $u_{rt}$  povprečna ravnovesna vlažnost vzorcev v določenem času izpostavljenosti nihajoči klimi v 1/100 %

Z razvrščanjem povprečnih podatkov spremembe ravnovesne vlažnosti v obdobju izpostavljenosti vzorcev nihajoči klimi smo dobili sigmoidni krivulji adsorbirane in desorbirane vode.

### 3.2.5 Merjenje vertikalne porazdelitve prostorninskih mas (VPPM)

VPPM smo določevali z merilnikom gostotnih profilov MGP 201, ki je zasnovan na merjenju spremembe intenzitete žarkov gama pri prehodu skozi vzorec. Kot vir sevanja je uporabljen radioaktiven izotop americija Am-241 z energijo žarkov gama 60 keV in aktivnostjo 3,7 GBq. Miza z vzorci se je premikala s hitrostjo 0,1 mm/s in tako se v eni sekundi izmeri intenziteta žarkov pri prehodu skozi preskušanece na pasu dolžine  $b_1$ , širine  $b_2$  in debeline 0,1 mm (Medved in Pirkmaier, 2000).

Vir sevanja je nameščen v svinčenem ovoju, ki ima v smereh proti preskušancu in fotopomnoževalki reži s širino 0,1 mm in višino 50 mm. Ko pričnemo z meritvami, se zaslanka odpre. Žarki gredo nato skozi snov in skozi fotopomnoževalko s scintilatorjem. Fotopomnoževalka je v povezavi s scintilatorjem, v katerem fotoni (žarki gama) sprožijo svetlobne sunke (scintilacije). Nastale scintilacije zazna fotokatoda, ki se nahaja v fotopomnoževalki, kjer se pomnožijo v elektronski plaz. Signale iz fotopomnoževalke obdelamo z jedrsko elektroniko in zbiramo v računalniku za nadaljnjo uporabo (Medved in Pirkmaier, 2000).

Pred določevanjem VPPM smo določili masni atenuacijski koeficient tako, da smo najprej izmerili intenziteto prehoda žarkov skozi zrak, intenziteto žarkov pri prehodu skozi kovino ter skozi vzorec. Čas izpostavitve enega odseka je bila ena sekunda. Iz razlike v intenziteti ter povprečne širine vzorca smo izračunali masni absorpcijski koeficient po enačbi:

$$\mu_{odsek} = \frac{\ln\left(\frac{I - I_b}{I_0 - I_b}\right)}{t_{ods.} \cdot b_l^{-1}} \quad \dots(6)$$

kjer je :

- $\mu_{odsek}$  masni absorpcijski koeficient 0,1 mm debelega odseka v  $\text{cm}^2/\text{g}$  za izbrano različico plošče
- $I$  intenziteta sevanja po prehodu skozi preskušane
- $I_0$  intenziteta sevanja po prehodu skozi zrak
- $I_B$  intenziteta sevanja po prehodu skozi kovino
- $t_{ods.}$  debelina odseka v cm (0,01 mm)
- $b_l$  povprečna širina preskušanca

Na osnovi izračunanega masnega absorpcijskega koeficienta v izmerjenem odseku, povprečnega masnega absorpcijskega koeficienta in povprečne prostorninske mase preskušanca v  $\text{g}/\text{cm}^3$  določene gravimetrično, lahko izračunamo prostorninsko maso v 0,1 mm debelom odseku preskušanca,  $\rho_{odsek}$  v  $\text{g}/\text{cm}^3$  v določenem času vlaženja/ sušenja vzorcev po enačbi:

$$\rho_{odsek} = \frac{\mu_{odsek}}{\frac{\mu}{\rho}} \quad \dots(7)$$

Kjer je:

- $\rho_{odsek}$  prostorninska masa 0,1 mm debelega odseka v  $\text{g}/\text{cm}^3$  za izbrano različico plošče
- $\rho$  povprečna prostorninska masa preskušanca v  $\text{g}/\text{cm}^3$  določena gravimetrično
- $\mu$  povprečni masni absorpcijski koeficient na debelino izmerjenega vzorca

### 3.2.6 Določanje debelin slojev iverne plošče

Za določitev povprečne debeline zunanega in srednjega sloja smo si pomagali s podatki merjenja vertikalne porazdelitve prostorninskih mas. Iz rezultatov določevanja povprečne prostorninske mase smo lahko izračunali povprečno maso 0,1 mm debelega sloja.

Z izračunom povprečne mase 0,1 mm debelega sloja smo lahko izračunali povprečno maso celotnega vzorca iverne plošče.

Za izračun smo uporabili naslednje enačbe pri določevanju povprečne mase zunanega (ZS) in srednjega sloja (SS).

$$i_{ZS} = \frac{m_i^{ZS}}{m_i} = 0,4 \quad \dots(8)$$

$$i_{SS} = \frac{m_i^{SS}}{m_i} = 0,4 \quad \dots(9)$$

Kjer je:

- $i_{ZS}$  utežni delež iveri za ZS v atro stanju
- $i_{SS}$  utežni delež iveri za SS v atro stanju
- $m_i^{ZS}$  masa iveri za ZS v atro stanju
- $m_i^{SS}$  masa iveri za SS v atro stanju

$$f_0^{ZS} = \frac{m_s^{ZS}}{m_i^{ZS}} = 0,117 \quad \dots(10)$$

$$f_0^{SS} = \frac{m_s^{SS}}{m_i^{SS}} = 0,075 \quad \dots(11)$$

Kjer je:

- $m_s^{ZS}$  masa smole za ZS v atro stanju
- $m_s^{SS}$  masa smole za SS v atro stanju
- $f_0^{ZS}$  utežni delež smole za ZS v atro stanju
- $f_0^{SS}$  utežni delež smole za SS v atro stanju

$$e_{ZS} = \frac{m_e^{ZS}}{m_i^{ZS}} = 0,01 \quad \dots(12)$$

$$e_{SS} = \frac{m_e^{SS}}{m_i^{SS}} = 0,01 \quad \dots(13)$$

Kjer je:

- $m_e^{ZS}$  masa parafinske emulzije za ZS v atro stanju
- $m_e^{SS}$  masa parafinske emulzije za SS v atro stanju
- $e_{ZS}$  utežni delež parafinske emulzije za ZS v atro stanju
- $e_{SS}$  utežni delež parafinske emulzije za SS v atro stanju

s pomočjo utežnih delov iveri, smole in parafinske emulzije lahko izračunamo povprečno maso slojev in celotnega vzorca oz. plošče.

$$m_{ZS} = m_i^{ZS} + m_s^{ZS} + m_e^{ZS} \quad \dots(14)$$

$$m_{ZS} = 0,4 \cdot m_i + 0,0468 \cdot m_i + 0,004 \cdot m_i \quad \dots(15)$$

$$m_{ZS} = 0,4508 \cdot m_i \quad \dots(16)$$

$$m_{SS} = m_i^{SS} + m_s^{SS} + m_e^{SS} \quad \dots(17)$$

$$m_{SS} = 0,6 \cdot m_i + 0,045 \cdot m_i + 0,006 \cdot m_i \quad \dots(18)$$

$$m_{SS} = 0,651 \cdot m_i \quad \dots(19)$$

$$m_p = m_p^{ZS} + m_p^{SS} \quad \dots(20)$$

Kjer je:

- $m_p$  masa plošče v atro stanju v g
- $m_p^{ZS}$  masa plošče ZS v atro stanju v g
- $m_p^{SS}$  masa plošče SS v atro stanju v g

$$m_p = 0,4508 \cdot m_i + 0,651 \cdot m_i = 1,1018 \cdot m_i \quad \dots(21)$$

iz enačbe lahko izpeljemo maso iveri v atro stanju

$$m_i = \frac{m_p}{1,1018} \quad \dots(22)$$

ker poznamo povprečno maso plošče oz. vzorcev lahko z enačbo izračunamo:

povprečno maso zunanjšega sloja

$$m_{ZS} = \frac{0,4508 \cdot m_p}{1,1018} \quad \dots(23)$$

in

povprečno maso srednjega sloja

$$m_{SS} = \frac{0,651 \cdot m_p}{1,1018} \quad \dots(24)$$

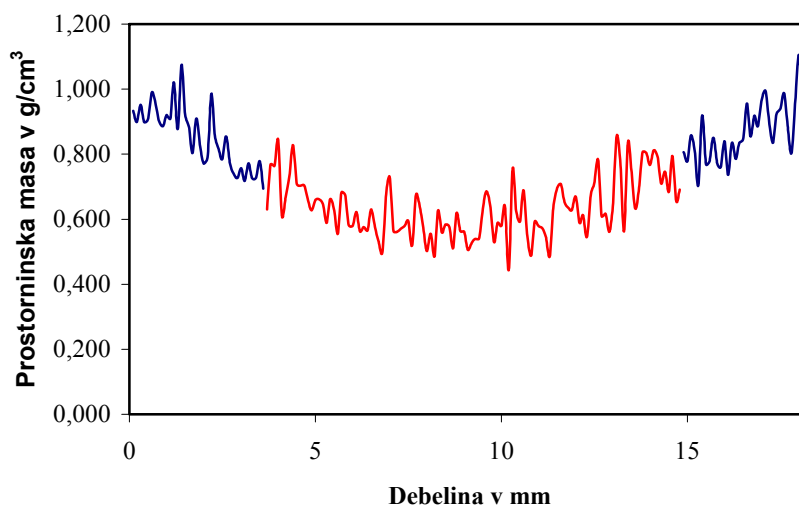
S seštevanjem povprečnih mas posameznih odsekov smo dobili povprečno maso in debelino posameznega sloja vzorcev.



## 4 REZULTATI IN RAZPRAVA

### 4.1 GRADIENT GOSTOTE OZ. GOSTOTNI PROFIL IVERNE PLOŠČE

Porazdelitev povprečne prostorninske mase absolutno suhih fenol – formaldehidnih (FF) vzorcev je razviden s slike 6. Prostorninska masa srednjega sloja (SS) je manjša (znaša pri FF vzorcih v povprečju  $0,621 \text{ g/cm}^3$ ) od zunanjskega sloja (ZS) katerega povprečna prostorninska masa znaša  $0,842 \text{ g/cm}^3$ . Povprečna prostorninska masa urea – formaldehidnih (UF) vzorcev v absolutno suhem stanju znaša za ZS  $0,821 \text{ g/cm}^3$  in za SS  $0,577 \text{ g/cm}^3$ . Povprečna prostorninska masa FF vzorcev je bila  $0,707 \text{ g/cm}^3$  in UF vzorcev  $0,664 \text{ g/cm}^3$ .



Slika 6: Primer vertikalne porazdelitve prostorninskih mas brušene večslojne plosko stisnjene iverne plošče zlepljene z FF lepilom.

## 4.2 SPREMEMBA MASE

**Preglednica 1: Povprečna masa UF in FF vzorcev v nihajoči klimi**

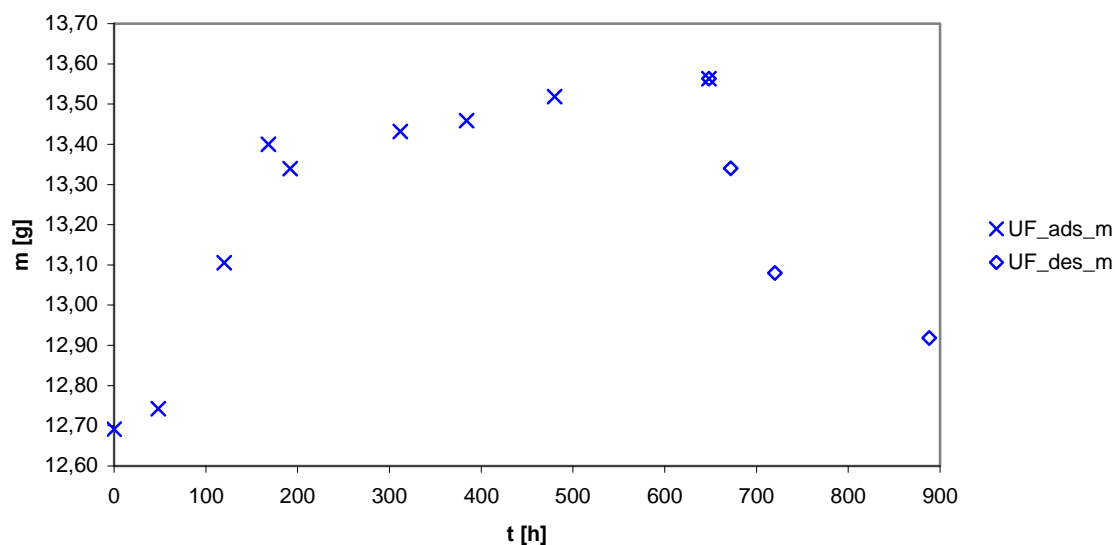
Klima	Čas	UF	FF
	<i>t [h]</i>	<i>m [g]</i>	<i>m [g]</i>
$\varphi = 85 \pm 5 \%$ , $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$	0	12,69	14,39
	48	12,74	14,39
	120	13,11	
	144		15,15
	168	13,40	15,37
	192	<b>13,34</b>	
	312	13,43	
	336		15,46
	384	13,46	
	408		15,41
	480	13,52	
	504		15,47
	648	13,56	15,64
	$\varphi = 35 \pm 5 \%$ , $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$	648	13,65
672		13,34	
673			14,79
719			13,85
720		13,08	
888		12,92	13,24

### 4.2.1 Vzorci izdelani z urea – formaldehidno (UF) smolo

Slika 7 prikazuje povprečno spremembo mase UF vzorcev v času uravnovešanja med ravnovesnima legama nihajoče klime. Opazili smo, da je čas uravnovešanja v vlažni klimi ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) trajal 648 ur in, da je uravnovešanje v suhi klimi ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) trajalo komaj 240 ur. Iz slike je razvidno, da je bila hitrost sušenja, v začetku obdobja uravnovešanja v suhi klimi, večja kot hitrost vlaženja na začetku obdobja uravnovešanja v vlažni klimi.

Variabilnost meritev je bila skozi celoten cikel majhna kar je posledica, da so bili vsi vzorci izrezani iz iste plošče in imajo zato podobne vrednosti.

Poprečna masa vzorcev je bila na začetku 12,69 g in na koncu obdobja uravnovešanja med ravnovesnima legama v vlažni klimi 13,56 g. Na koncu uravnovešanja vzorcev v suhi klimi je povprečna masa vzorcev znašala 12,92 g. Iz slike 7 je razvidna razlika v masi na začetku uravnovešanja v vlažni in na koncu uravnovešanja v suhi klimi. Razlika je znašala 0,23 g in je bila večja od izhodiščne na začetku vlaženja.



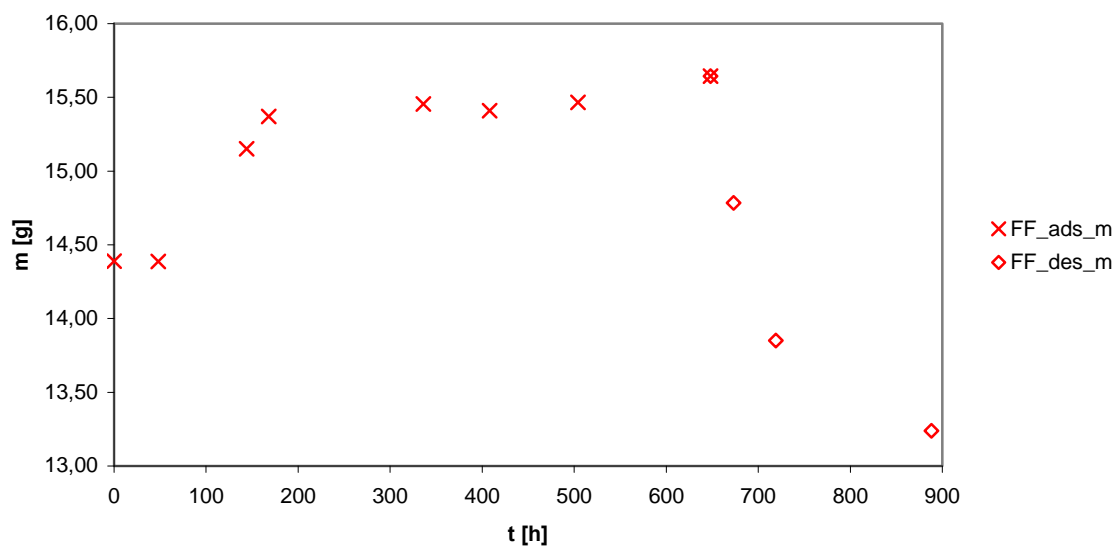
Slika 7: Povprečna sprememba mase urea – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama nihajoče klime.

#### 4.2.2 Vzorci izdelani s fenol – formaldehidno (FF) smolo

Slika 8 prikazuje povprečno spremembo mase FF vzorcev v času uravnovešanja med ravnovesnima legama nihajoče klime. Opazili smo, da je čas uravnovešanja v vlažni klimi ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) trajal 648 ur in, da je uravnovešanje v suhi klimi ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) trajalo komaj 240 ur. Hitrost sušenja je bila v začetku obdobja uravnovešanja v suhi klimi veliko večja kot hitrost vlaženja na začetku obdobja uravnovešanja v vlažni klimi.

Variabilnost meritev je bila skozi celoten cikel majhna kar je posledica, da so bili vsi vzorci izrezani iz iste plošče in imajo zato podobne vrednosti.

Iz slike 8 je razvidno, da je bila vrednost poprečne mase vzorcev 14,39 g na začetku in 15,64 g na koncu obdobja uravnovešanja med ravnovesnima legama v vlažni klimi. Na koncu uravnovešanja vzorcev v suhi klimi je povprečna masa vzorcev znašala 13,24 g. Iz slike je razvidna razlika v masi na začetku uravnovešanja v vlažni in na koncu uravnovešanja v suhi klimi. Razlika je znašala 1,15 g in je bila manjša od izhodiščne na začetku vlaženja.



Slika 8: Povprečna sprememba debeline fenol – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama nihajoče klime.

#### 4.3 SPREMEMBA DEBELINE

Preglednica 2: Povprečna debelina UF in FF vzorcev v nihajoči klime

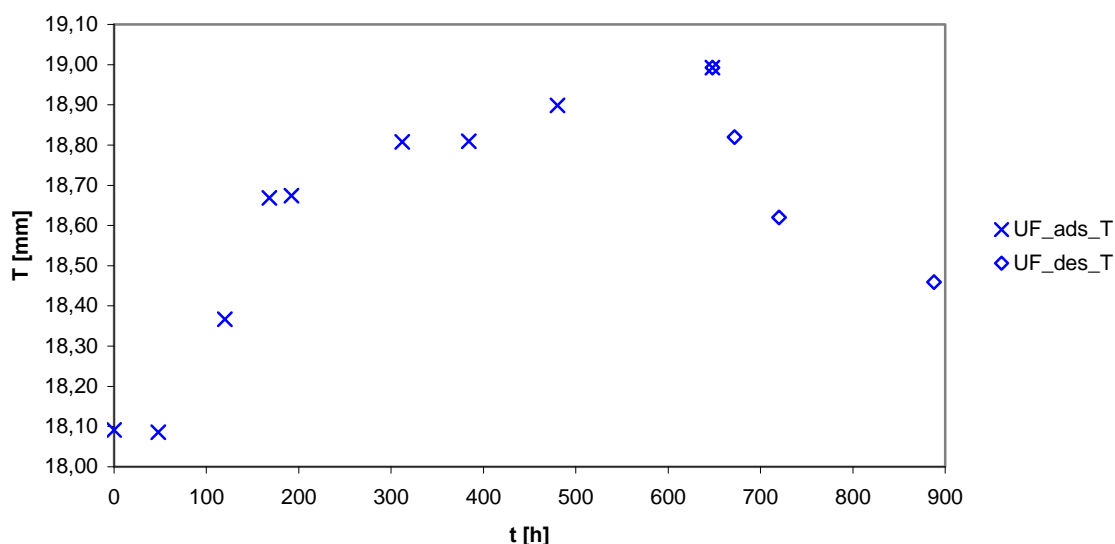
Klima	Čas	UF	FF
$\varphi = 85 \pm 5 \%$ $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$	$t$ [h]	$\bar{T}$ [cm]	$\bar{T}$ [cm]
	0	1,809	1,850
	48	1,809	1,913
	120	1,837	
	144		1,940
	168	1,867	1,971
	192	1,867	
	312	1,881	
	336		1,943
	384	1,881	
	408		1,950
	480	1,890	
	504		2,014
	648	1,899	2,059
$\varphi = 35 \pm 5 \%$ $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$	648	1,899	2,059
	672	1,882	
	673		2,008
	719		1,952
	720	1,862	
	888	18,46	1,923

#### 4.3.1 Vzorci izdelani z urea – formaldehidno (UF) smolo

Slika 9 prikazuje povprečno spremembo debeline UF vzorcev v času uravnovešanja med ravnovesnima legama nihajoče klime. Hitrost krčenja je bila na začetku obdobja uravnovešanja v suhi klimi ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) veliko večja kot nabrekanje vzorcev na začetku obdobja uravnovešanja v vlažni klimi ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Variabilnost meritev je bila skozi celoten cikel majhna kar je posledica, da so bili vsi vzorci izrezani iz iste plošče in imajo zato podobne vrednosti.

Iz slike 9 je razvidno, da je bila vrednost poprečne debeline vzorcev 18,09 mm na začetku in 18,99 mm na koncu obdobja uravnovešanja med ravnovesnima legama v vlažni klimi. Na koncu uravnovešanja vzorcev v suhi klimi je povprečna debelina vzorcev znašala 18,46 mm. Razlika debeline je bila, med začetkom uravnovešanja vzorcev v vlažni in koncem uravnovešanja v suhi klimi za 0,37 mm večja.



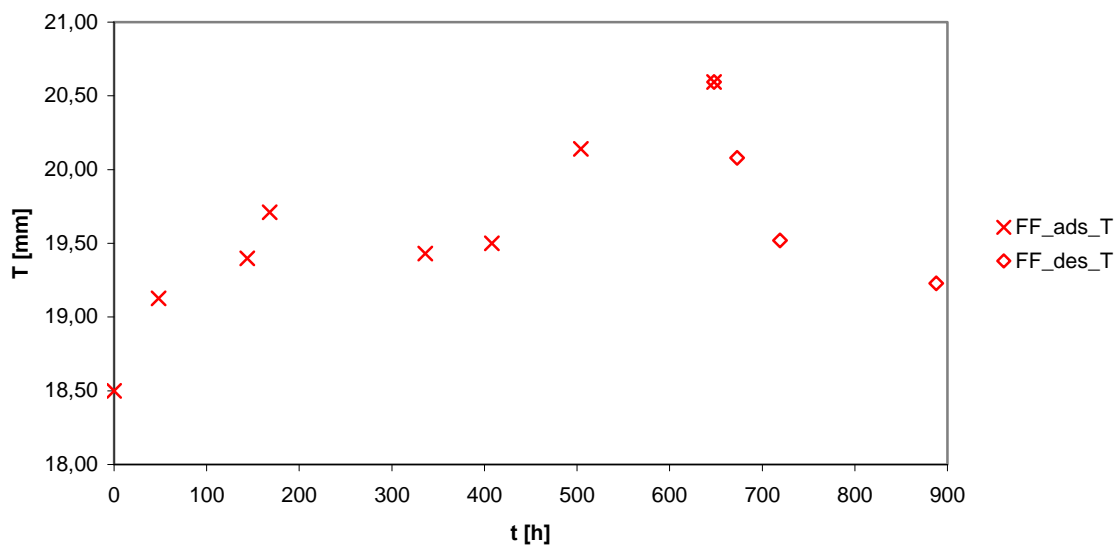
Slika 9: Povprečna sprememba debeline urea – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama nihajoče klime.

#### 4.3.2 Vzorci izdelani s fenol– formaldehidno (FF) smolo

Slika 10 prikazuje povprečno spremembo debeline FF vzorcev v času uravnovešanja med ravnovesnima legama nihajoče klime. Iz slike je razvidno, da je bila hitrost krčenja, v začetku obdobja uravnovešanja v suhi klimi ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ), veliko večja kot nabrekanje vzorcev na začetku obdobja uravnovešanja v vlažni klimi ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Variabilnost meritev je bila skozi celoten cikel majhna kar je posledica, da so bili vsi vzorci izrezani iz iste plošče in imajo zato podobne vrednosti.

Vrednost povprečne debeline vzorcev je bila na začetku 18,50 mm in 20,59 mm na koncu obdobja uravnovešanja med ravnovesnima legama v vlažni klimi. Na koncu uravnovešanja vzorcev v suhi klimi je povprečna debelina vzorcev znašala 19,23 mm. Razvidna je tudi razlika v debelini na začetku uravnovešanja v vlažni in na koncu uravnovešanja v suhi klimi. Razlika je bila večja in je znašala 0,73 mm.



**Slika 10: Povprečna sprememba debeline fenol – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama nihajoče klime.**

#### 4.4 SPREMEMBA VLAŽNOSTI PO SLOJIH

**Preglednica 3: Relativna sprememba vlažnosti UF in FF vzorcev po slojih v vlažni klimi**

Klima	Čas	UF	UF-SS	UF-ZS	FF	FF-SS	FF-ZS
$\varphi = 85 \pm 5 \%$ $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$	$t$ [%]	$\bar{u}$ [%]	$\bar{u}$ [%]	$\bar{u}$ [%]	$\bar{u}$ [%]	$\bar{u}$ [%]	$\bar{u}$ [%]
	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	7	5,6	2,7	6,3			
	19	45,4	21,9	50,9			
	22				50,8	33,8	26,6
	26	77,6	37,4	87,0	65,0	41,1	37,5
	30	71,0	34,2	79,7			
	48	81,2	39,1	91,0			
	52				74,9	46,2	40,5
	59	84,1	40,5	94,3			
	63				75,2	47,4	43,2
	74	90,6	43,7	101,6			
	78				81,0	49,2	44,4
100	95,5	46,0	107,1	90,4	55,7	49,7	

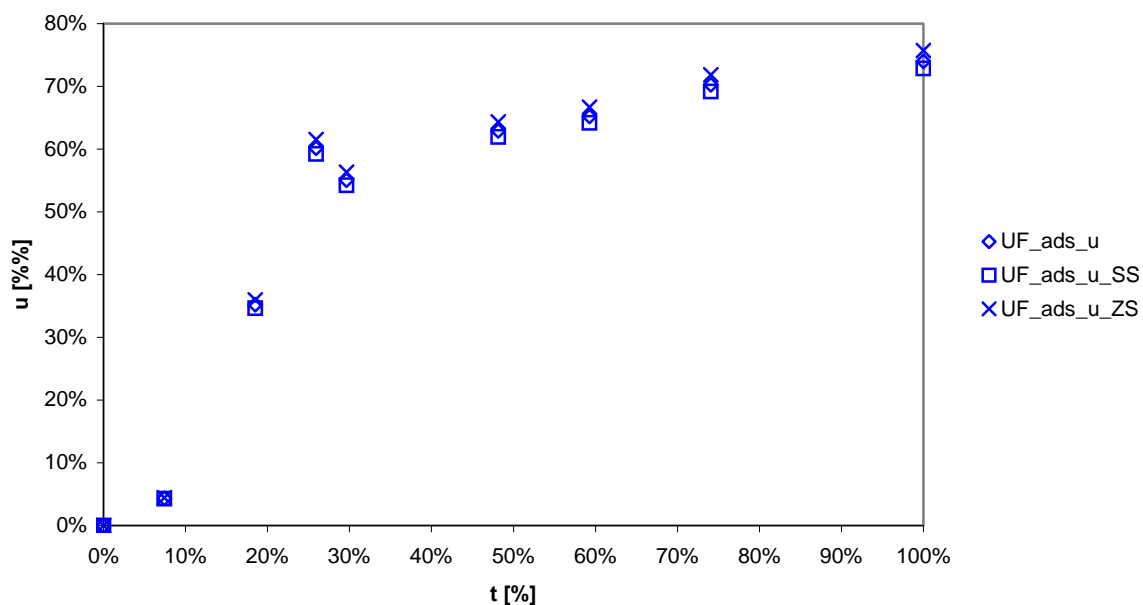
##### 4.4.1 Adsorpcija

###### 4.4.1.1 Vzorci izdelani z urea – formaldehidno (UF) smolo

Slika 11 prikazuje povprečno relativno spremembo ravnovesne vlažnosti UF vzorcev v času uravnovešanja v vlažni klimi ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

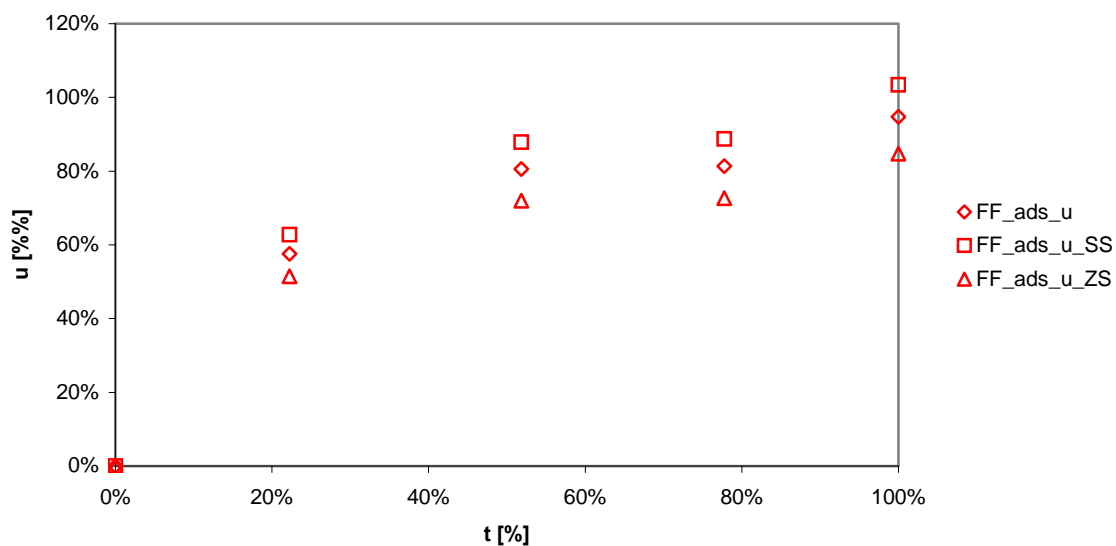
Povprečne vrednosti ravnovesne vlažnosti so na začetku uravnovešanja v vlažni klimi za UF vzorce znašale 7,75 %, za srednji sloj (SS) 6,11 % in za zunanji sloj (ZS) 10,21%. Na koncu uravnovešanja v vlažni klimi so bile vrednosti za vzorce 15,15 %, za SS 13,39 % in za ZS 17,78 %.

Na sliki 11 smo ravnovesno vlažnost zaradi lažjega medsebojnega primerjanja predstavili v relativnih vrednostih in jih predstavili v % na abscisni in ordinatni osi. Na abscisni osi smo predstavili relativno spremembo časa in na ordinatni relativno spremembo vlažnosti. Relativna sprememba vlažnosti UF vzorcev je na koncu uravnovešanja v vlažni klimi znašala 74,00 %, vrednost SS je znašala 72,87 % in pri ZS 75,69 %.



Slika 11: Povprečna relativna sprememba ravnovesne vlažnosti urea – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama vlažne klime ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

#### 4.4.1.2 Vzorci izdelani s fenol – formaldehidno (FF) smolo



Slika 12: Povprečna relativna sprememba ravnovesne vlažnosti fenol – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama vlažne klime ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).



Slika 12 prikazuje povprečno relativno spremembo ravnovesne vlažnosti FF vzorcev v času uravnovešanja v vlažni klimi ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Povprečne vrednosti ravnovesne vlažnosti so na začetku uravnovešanja v vlažni klimi za FF vzorce znašale 8,67 %, za srednji sloj (SS) 18,57 % in za zunanji sloj (ZS) 0,01 %. Na koncu uravnovešanja v vlažni klimi so bile vrednosti za vzorce 18,15 %, za SS 28,91 % in za ZS 8,48 %.

Na sliki 12 smo ravnovesno vlažnost zaradi lažjega medsebojnega primerjanja predstavili v relativnih vrednostih in jih predstavili v % na abscisni in ordinatni osi. Na abscisni osi smo predstavili relativno spremembo časa in na ordinatni relativno spremembo vlažnosti. Relativna sprememba vlažnosti FF vzorcev je na koncu uravnovešanja v vlažni klimi znašala 94,77 %, pri SS je ta vrednost znašala 103,40 % in pri ZS 84,72 %.

#### 4.4.2 Desorpcija

**Preglednica 4: Relativna sprememba vlažnosti UF in FF vzorcev po slojih v suhi klimi**

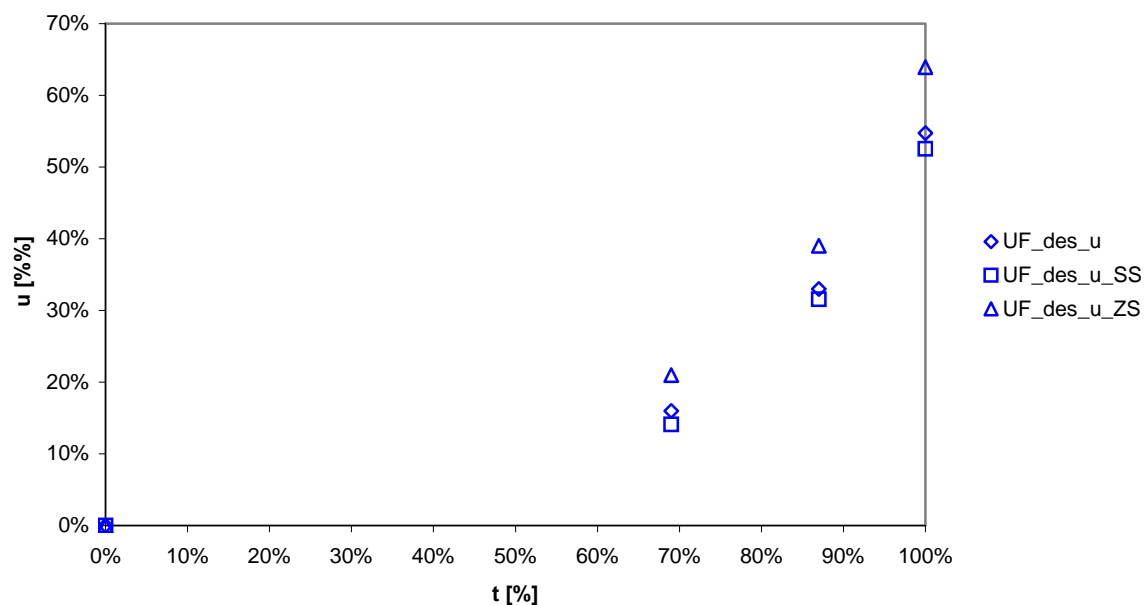
Klima	Čas	UF	UF-SS	UF-ZS	FF	FF-SS	FF-ZS
$\varphi = 35 \pm 5 \%$ , $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$	$t$ [%]	$\bar{u}$ [%]	$\bar{u}$ [%]	$\bar{u}$ [%]	$\bar{u}$ [%]	$\bar{u}$ [%]	$\bar{u}$ [%]
	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	66				52,0	43,3	39,0
	69	18,9	8,9	30,5			
	89				79,0	58,8	52,4
	90	41,0	19,9	55,0			
	100	70,6	33,2	90,4	173,1	117,3	104,9

##### 4.4.2.3 Vzorci izdelani z urea – formaldehidno (UF) smolo

Slika 13 prikazuje povprečno relativno spremembo ravnovesne vlažnosti UF vzorcev v času uravnovešanja v suhi klimi ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

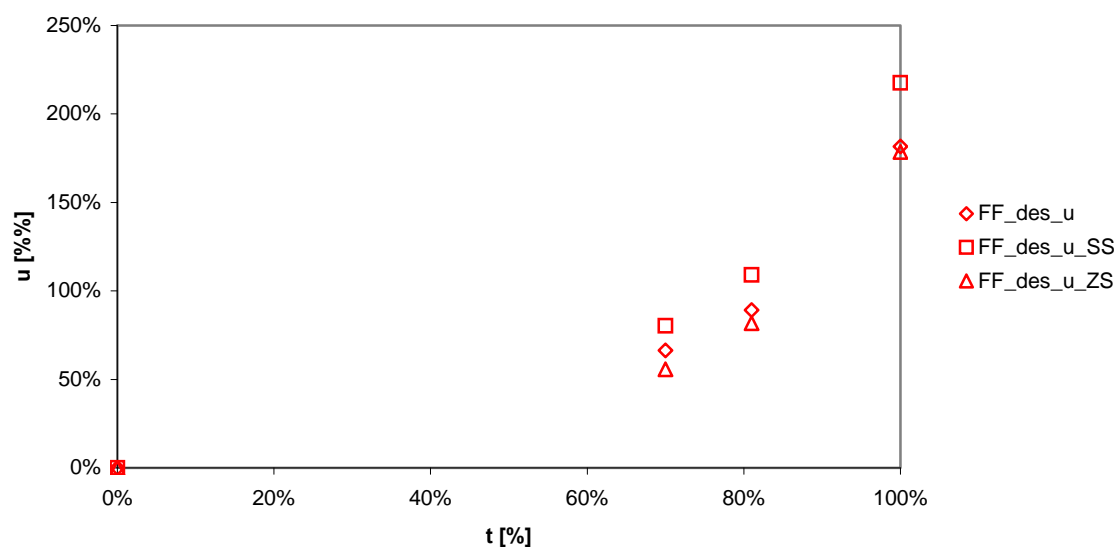
Povprečne vrednosti ravnovesne vlažnosti so na začetku uravnovešanja v suhi klimi za UF vzorce znašale 15,15 %, za srednji sloj (SS) 13,39 % in za zunanji sloj (ZS) 17,78 %. Na koncu uravnovešanja v suhi klimi so bile vrednosti za vzorce 9,68 %, za SS 8,14 % in za ZS 11,39 %.

Na sliki 13 smo ravnovesno vlažnost zaradi lažjega medsebojnega primerjanja predstavili v relativnih vrednostih in jih predstavili v % na abscisni in ordinatni osi. Na abscisni osi smo predstavili relativno spremembo časa in na ordinatni relativno spremembo vlažnosti. Relativna sprememba vlažnosti UF vzorcev je na koncu uravnovešanja v suhi klimi znašala za 54,71 %, pri SS za 52,54 % in pri ZS za 63,91 % nižje vrednosti od izhodiščne.



Slika 13: Povprečna relativna sprememba ravnovesne vlažnosti urea – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama suhe klime ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

#### 4.4.2.4 Vzorci izdelani s fenol – formaldehidno (FF) smolo



Slika 14: Povprečna relativna sprememba ravnovesne vlažnosti fenol – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama suhe klime ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Slika 14 prikazuje povprečno relativno spremembo ravnovesne vlažnosti FF vzorcev v času uravnovešanja v suhi klimi ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Povprečne vrednosti ravnovesne vlažnosti so na začetku uravnovešanja v suhi klimi za FF vzorce znašale 18,15 %, za srednji sloj (SS) 28,91 % in za zunanji sloj (ZS) 8,48 %. Na koncu uravnovešanja v suhi klimi so bile vrednosti za vzorce 1,84 %, za SS 7,14 % in za ZS 0,01 %.

Na sliki 14 smo ravnovesno vlažnost zaradi lažjega medsebojnega primerjanja predstavili v relativnih vrednostih in jih predstavili v % na abscisni in ordinatni osi. Na abscisni osi smo predstavili relativno spremembo časa in na ordinatni relativno spremembo vlažnosti. Relativna sprememba vlažnosti FF vzorcev je na koncu uravnovešanja v suhi klimi znašala za 181,54 %, pri SS za 217,69 % in pri ZS za 178,59 % nižje vrednosti od izhodiščne.

#### 4.5 SPREMEMBA DEBELINE PO SLOJIH

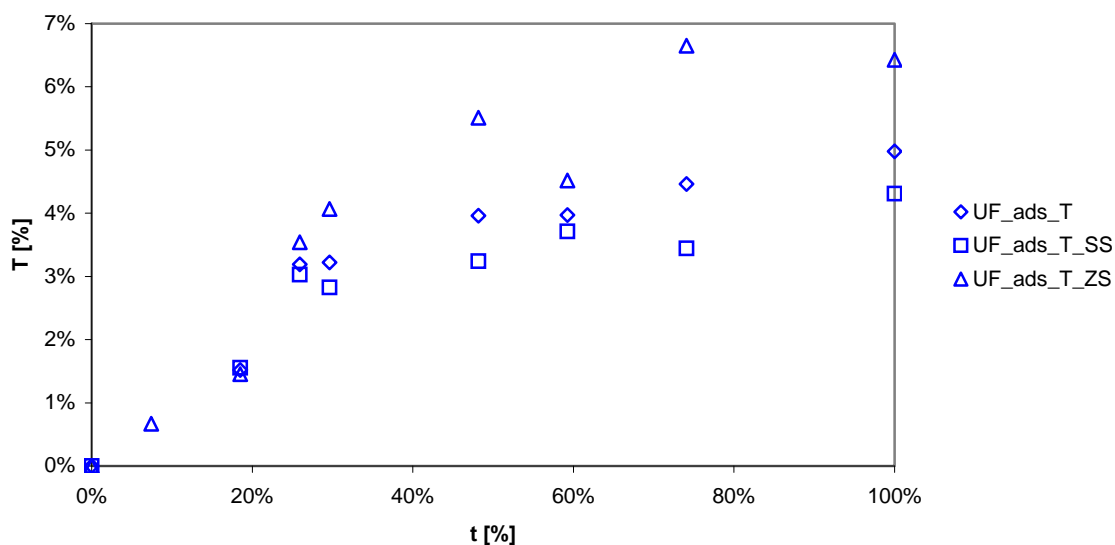
##### 4.5.1 Nabrekanje

**Preglednica 5: Relativna sprememba debeline UF in FF vzorcev po slojih v vlažni klimi**

Klima	Čas	UF	UF-SS	UF-ZS	FF	FF-SS	FF-ZS
	$t$ [%]	$\bar{T}$ [%]	$\bar{T}$ [%]	$\bar{T}$ [%]	$\bar{T}$ [%]	$\bar{T}$ [%]	$\bar{T}$ [%]
$\varphi = 85 \pm 5 \%$ , $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	7	0,0	-0,4	0,7	3,4	2,9	0,7
	19	1,5	1,6	1,5			
	22				4,9	4,5	2,1
	26	3,2	3,0	3,5	6,5	11,6	3,1
	30	3,2	2,8	4,1			
	48	4,0	3,2	5,5			
	52				5,0	2,9	5,3
	59	4,0	3,7	4,5			
	63				5,4	7,1	4,3
	74	4,5	3,4	6,6			
	78				8,9	8,5	5,1
100	5,0	4,3	6,4	11,3	10,4	6,6	

##### 4.5.1.5 Vzorci izdelani z urea – formaldehidno (UF) smolo

Slika 15 prikazuje povprečno relativno spremembo debeline UF vzorcev v času uravnovešanja v vlažni klimi ( $\varphi = 85 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).



**Slika 15:** Povprečna relativna sprememba debeline urea – formaldehidnih vzorcev več slojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama vlažne klime ( $\varphi = 85 \pm 5$  % in  $T = 20 \pm 2$  °C).

Povprečne vrednosti debeline so na začetku uravnovešanja v vlažni klimi za UF vzorce znašale 18,09 mm, za srednji sloj (SS) 12,35 mm in za zunanji sloj (ZS) 2,87 mm. Na koncu uravnovešanja v vlažni klimi so bile vrednosti za vzorce 18,99 mm, za SS 12,88 mm in za ZS 3,06 mm.

Na sliki 15 smo ravnovesno vlažnost zaradi lažjega medsebojnega primerjanja predstavili v relativnih vrednostih in jih predstavili v % na abscisni in ordinatni osi. Na abscisni osi smo predstavili relativno spremembo časa in na ordinatni relativno spremembo debeline. Relativna sprememba debeline UF vzorcev je na koncu uravnovešanja v vlažni klimi znašala 4,98 %, pri srednjem sloju (SS) 4,31 % in pri zunanjem sloju (ZS) za 6,43 %.

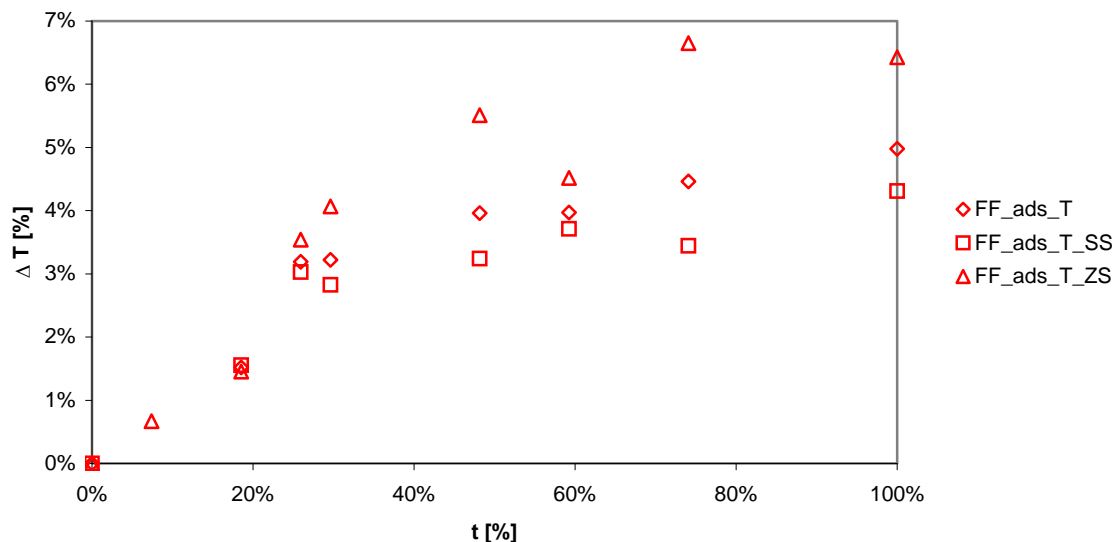
#### 4.5.1.6 Vzorci izdelani s fenol – formaldehidno (FF) smolo

Slika 17 prikazuje povprečno relativno spremembo debeline FF vzorcev v času uravnovešanja v vlažni klimi ( $\varphi = 85 \pm 5$  % in  $T = 20 \pm 2$  °C).

Povprečne vrednosti debeline so na začetku uravnovešanja v vlažni klimi za FF vzorce znašale 18,50 mm, za srednji sloj (SS) 12,41 mm in za zunanji sloj (ZS) 3,15 mm. Na koncu uravnovešanja v vlažni klimi so bile vrednosti za vzorce 20,59 mm, za SS 13,71 mm in za ZS 3,36 mm.

Na sliki 16 smo ravnovesno vlažnost zaradi lažjega medsebojnega primerjanja predstavili v relativnih vrednostih in jih predstavili v % na abscisni in ordinatni osi. Na abscisni osi smo predstavili relativno spremembo časa in na ordinatni relativno spremembo debeline.

Relativna sprememba debeline FF vzorcev je na koncu uravnovešanja v vlažni klimi znašala 11,32 %, pri srednjem sloju (SS) 10,44 % in pri zunanjem sloju (ZS) za 6,60 %.



Slika 16: Povprečna relativna sprememba debeline fenol – formaldehidnih vzorcev večslojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama vlažne klime ( $\phi = 85 \pm 5$  % in  $T = 20 \pm 2$  °C).

#### 4.5.2 Krčenje

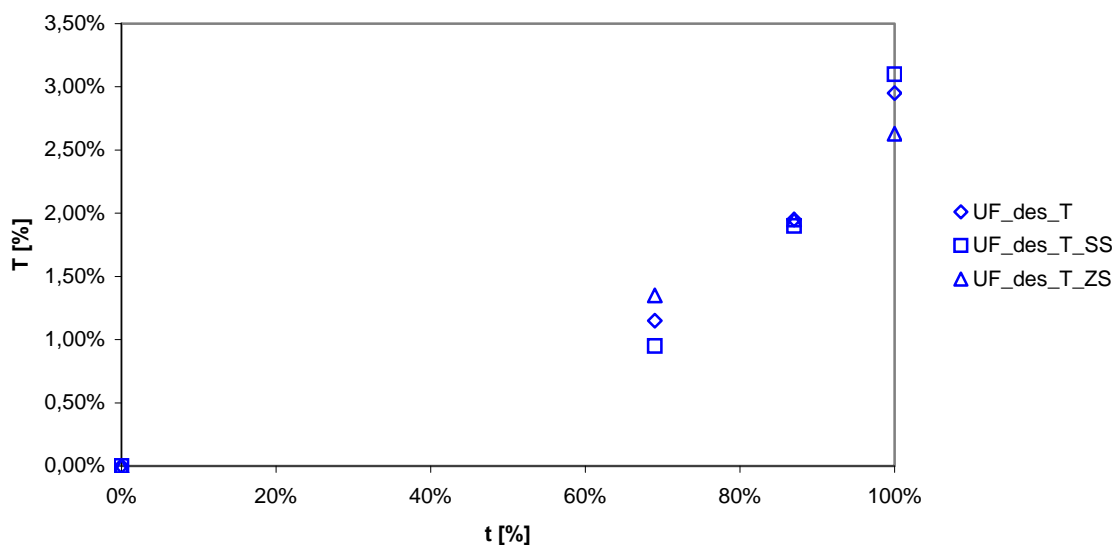
Preglednica 6: Relativna sprememba debeline UF in FF vzorcev po slojih v suhi klimi

Klima	Čas	UF	UF-SS	UF-ZS	FF	FF-SS	FF-ZS
$\phi = 35 \pm 5$ %, $T = 20 \pm 2$ °C	t [%]	$\bar{T}$ [%]	$\bar{T}$ [%]	$\bar{T}$ [%]	$\bar{T}$ [%]	$\bar{T}$ [%]	$\bar{T}$ [%]
	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	66				1,6	0,9	1,8
	69	1,2	1,0	1,4			
	89				4,6	3,8	4,3
	90	2,0	1,9	2,0			
	100	2,9	3,1	2,6	7,4	6,3	6,6

##### 4.5.2.7 Vzorci izdelani z urea – formaldehidno (UF) smolo

Slika 17 prikazuje povprečno relativno spremembo debeline UF vzorcev v času uravnovešanja v suhi klimi ( $\phi = 35 \pm 5$  % in  $T = 20 \pm 2$  °C).

Povprečne vrednosti debeline so na začetku uravnovešanja v suhi klimi za UF vzorce znašale 18,99 mm, za srednji sloj (SS) 12,88 mm in za zunanji sloj (ZS) 3,06 mm. Na koncu uravnovešanja v suhi klimi so bile vrednosti za vzorce 18,46 mm, za SS 12,50 mm in za ZS 2,98 mm.



**Slika 17:** Povprečna relativna sprememba debeline urea – formaldehidnih vzorcev večslojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama suhe klime ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

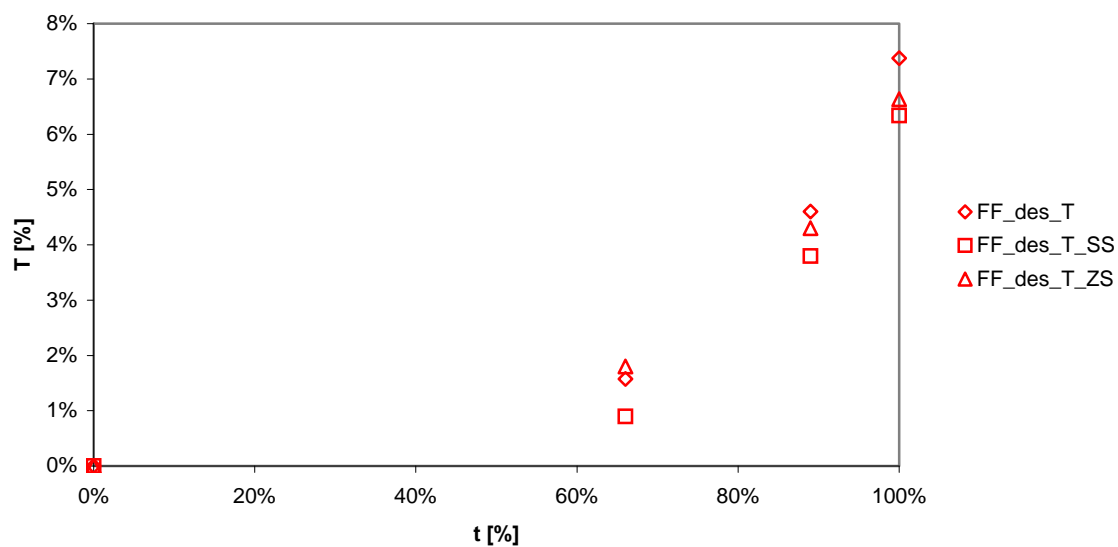
Na sliki 17 smo ravnovesno vlažnost zaradi lažjega medsebojnega primerjanja predstavili v relativnih vrednostih in jih predstavili v % na abscisni in ordinatni osi. Na abscisni osi smo predstavili relativno spremembo časa in na ordinatni relativno spremembo debeline. Relativna sprememba debeline UF vzorcev je na koncu uravnovešanja v suhi klimi znašala za 2,95 %, pri srednjem sloju (SS) za 3,10 % in pri zunanem sloju (ZS) za 2,63 % nižje vrednosti od izhodiščne.

#### 4.5.2.8 Vzorci izdelani s fenol – formaldehidno (FF) smolo

Slika 18 prikazuje povprečno relativno spremembo debeline FF vzorcev v času uravnovešanja v suhi klimi ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Povprečne vrednosti debeline so na začetku uravnovešanja v suhi klimi za FF vzorce znašale 20,59 mm, za srednji sloj (SS) 13,71 mm in za zunanji sloj (ZS) 3,36 mm. Na koncu uravnovešanja v suhi klimi so bile vrednosti za vzorce 19,23 mm, za SS 12,92 mm in za ZS 3,15 mm.

Na sliki 18 smo ravnovesno vlažnost zaradi lažjega medsebojnega primerjanja predstavili v relativnih vrednostih in jih predstavili v % na abscisni in ordinatni osi. Na abscisni osi smo predstavili relativno spremembo časa in na ordinatni relativno spremembo debeline. Relativna sprememba debeline FF vzorcev je na koncu uravnovešanja v suhi klimi znašala za 7,37 %, pri srednjem sloju (SS) za 6,34 % in pri zunanem sloju (ZS) za 6,63 % nižje vrednosti od izhodiščne.



**Slika 18:** Povprečna relativna sprememba debeline fenol – formaldehidnih vzorcev večslojne brušene iverne plošče v odvisnosti od časa uravnovešanja med ravnovesnima legama suhe klime ( $\varphi = 35 \pm 5 \%$  in  $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Na osnovi meritev in analize rezultatov opravljenega testa enega cikla nihajoče klime lahko rečemo, da je izbira vrste lepila s katerim bi vplivali na stabilnost ivernih plošč sekundarnega pomena. Pri analizi rezultatov smo opazili, da je sprememba debeline ivernih plošč z uporabljenim urea-formaldehidnim (UF) lepilom ali fenol-formaldehidnim (FF) lepilom približno enak in da se pri obeh opaža ireverzibilna sprememba debeline (ISD). Vlažnost in sprememba debeline je bila pri FF ploščah celo večja od UF plošč.

Iz podatkov analize rezultatov opravljenega testa in podatkov o oblepljenosti, ki nam jih je posredoval proizvajalec plošč lahko sklepamo, da je:

- gostota FF plošč večja od UF plošč,
- oblepljenost FF plošč večja od UF plošč,
- vlažnost FF plošč višja od UF plošč,
- sprememba debeline FF plošč v času uravnovešanja v vlažni klimi večja od UF plošč,
- sprememba ravnovesne vlažnosti FF plošč v času uravnovešanja v vlažni klimi večja od UF plošč,
- ISD pri FF ploščah večja kot je pri UF ploščah,
- sprememba debeline v času uravnovešanja v vlažni klimi pri FF ploščah v večjem delu odvisna od SS in pri UF od ZS,
- sprememba debeline v času uravnovešanja v suhi klimi pri FF in UF ploščah v večjem delu odvisna od SS,
- hitrost difuzije vlažnosti v času uravnovešanja v suhi klimi večja pri FF ploščah,
- sprememba vlažnosti v času uravnovešanja v vlažni klimi pri FF ploščah odvisna od SS in pri UF od ZS,
- sprememba vlažnosti v času uravnovešanja v suhi klimi pri FF ploščah odvisna od ZS in pri UF od SS.



## 6 POVZETEK

Iverna plošča je v osnovi izdelana iz lignoceluloznega materiala oz. lesa in zaradi svoje higroskopične narave materiala, kadar jo izpostavimo v okolje z visoko vlažnostjo, deluje (se krči in nabreka). Pri plosko stisnjenih ivernih ploščah je delovanje najizrazitejše v smeri debeline in je lahko večja kot bi pričakovali od lesa kot materiala samega. Na včasih tudi destruktivno spremembo debeline lahko vplivamo s pravilno uporabo proizvodnih parametrov. Eden izmed najboljših in najcenejših je pravilna izbira vrste in količine uporabljene smole. Glede na ta parameter smo pri UF in FF komercialnih ivernih ploščah predvidevali, da bodo sorpcijske lastnosti UF ivernih plošč slabše od tistih, katere so izdelane s FF smolami.

Sorpcijske lastnosti ivernih plošč lahko raziskujemo z različnimi testi. Za analizo smo izbrali en cikel vlaženja in sušenja vzorcev v spreminjajoči klimi. Klimatizirane vzorce v normalni klimi ( $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$  in  $\varphi=65\pm 5\%$ ) smo izpostavili suhi klimi ( $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$  in  $\varphi=35\pm 5\%$ ) ter spremljali spremembo mase do 0,1% razlike med dvema zaporednima meritvama. Po sušenju smo jih izpostavili vlažni klimi ( $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$  in  $\varphi=85\pm 5\%$ ) do enake razlike med dvema zaporednima meritvama. Po končanem vlaženju smo jih zopet izpostavili suhi klimi do enake razlike med dvema zaporednima meritvama. V času uravnovešanja v vlažni klimi smo spremljali adsorpcijski potek relativnih sprememb in v času uravnovešanja v suhi klimi desorpcijski potek relativnih sprememb mase in debeline.

Glavni cilj naloge je bil spremljanje relativne spremembe debeline in ravnovesne vlažnosti vzorcev.

Sorpcijske lastnosti so lahko odvisne tudi od zgradbe ivernih plošč. Morfološko gledano so plosko stisnjene iverne plošče zgrajene iz več slojev. Zunanji del plošče predstavljata zunanja in v srednjem delu srednji sloj. Da bi določili spremembo debeline po slojih smo si, med uravnovešanjem med ravnovesnima legama nihajoče klime, pomagali z merjenjem vertikalne porazdelitve prostorninskih mas (VPPM). Pri merjenju VPPM smo dobili gostoto 0,1 mm debelega sloja vzorcev in tako lahko izračunali gradient vlažnosti in prostorninske mase ter debeline po preseku UF in FF vzorcev.

Izmerjena prostorninska masa absolutno suhih FF vzorcev je znašala  $0,707\text{ g/cm}^3$  in UF vzorcev  $0,664\text{ g/cm}^3$ . Največja razlika prostorninske mase slojev med obema vrstama plošč je bila v SS in sicer je za FF znašala  $0,621\text{ g/cm}^3$  in za UF  $0,577\text{ g/cm}^3$ . V zunanjem sloju je bila razlika manjša. Pri FF je bila vrednost  $0,842\text{ g/cm}^3$  in pri UF  $0,821\text{ g/cm}^3$ .

Višja gostota FF plošče je vplivala na količino adsorbirane vlage in velikost spremembe debeline. Da je proizvajalec izdelal ploščo v večjo gostoto je moral bolj stisniti pogačo. Z višjim tlakom so se v plošči akumulirale večje notranje napetosti. Posledično temu so bile večje tudi spremembe. Sprememba vlažnosti in debeline je znašala, v času uravnovešanja v vlažni klimi, za FF vzorce 94,77 % in 11,32 % ter za UF vzorce 74,00 % in 4,98 %.

Temu primerna je bila tudi ireverzibilna sprememba debeline (ISD). Pri FF vzorcih je razlika znašala 0,73 mm ter pri UF 0,37 mm.

ZS in SS sta pri vsakem tipu plošče drugače vplivala na spremembo vlažnosti in debeline. Razliko teh lastnosti je nastala zaradi vrste lepila in oblepljenosti iveri.

Sprememba vlažnosti in debeline sta v času uravnovešanja v vlažni klimi pri FF vzorcih odvisna predvsem od SS in pri UF vzorcih od ZS.

Sprememba debeline je bila v času uravnovešanja v suhi klimi pri FF in UF ploščah v večjem delu odvisna od SS in sprememba vlažnosti pri FF vzorcih od ZS in pri UF od SS.

Zaradi elastične lastnosti FF lepila je bila hitrost difuzije vlažnosti v času uravnovešanja v suhi klimi večja kot pri togem UF lepilu.

Glede na rezultate zavržemo vse delovne hipoteze saj so bile spremembe FF vzorcev večje kot pri UF vzorcih.

Splošno smo pri FF vzorcih dobili slabše rezultate kot pri UF. Vendar glede na uporabo ivernih plošč v splošne namene ali gradbene namene so primerne tiste katerih se ZS ne spreminja toliko oz. sprememba debeline ni odvisna od spremembe debeline v ZS. Od prostorninske mase ZS sta, kot najvažnejši mehanski lastnosti, odvisni upogibna trdnost in modul elastičnosti.

## 7 VIRI

- Bismarc C., 1974. Optimizing the pressing of particleboards. The manufacture of particleboards with urea-formaldehyde binders using special automated regulation systems for the pressing process. Holz Zentralblatt, 100: 1247-1249
- Buschbeck L., Kehr E. 1960. Untersuchungen zur Verkürzung der Preßzeit beim Heißpressen von Spanplatten. Holztechnologie, 1: 112-123
- Carroll M., McVey D. 1962 An analysis of resin efficiency in particleboard. Forest Products Journal, 12: 305-310
- Childs M. R. 1956. The effect of density, resin content, and chip width on springback and certain other properties on dry formed flat pressed particleboard. M.S. Thesis. Dept. Of Wood and Pap. Sci. North Carolina State Univ.
- Clad W. 1967. Phenol-Formaldehyd-Kondensate als Bindemittel für die Herstellung von Spanplatten. Holz als Roh-und Werkstoff, 25: 137-147
- Gatchell C. J. Heebink B. G., Hefty F. V. 1966. Influence of component variables on the properties of particleboard for exterior use. Forest Products journal, 16, 4: 46-59
- Gorišek Ž., Geršak M., Velušček V., Čop T., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije: 235 str.
- Halligan A. F. 1969. A review of recent glues and gluing research applied to particleboard. Forest Products Journal, 19: 44-51
- Halligan A. F. 1970. A review of Thickness Swelling in Particleboard. Wood Science and Technology. 4: 301-312
- Halligan A. F., Schniewind A. P. 1972. Effect of moisture on physical and creep properties of particleboard. Forest Products Journal, 22, 4: 41-48
- Hamid S. H. 1992. Handbook of Polymer Degradation. New York, Marchel Dekker, inc.: 649 str.
- Heebink B. G., Hann R. A. 1959. How wax and particle shape affect stability and strength of oak particleboards. Forest Products Journal, 9, 7: 197-203
- Heebink B. G., Hefty F. V. 1968. Steam post-treatment to reduce thickness swelling of particleboard. U.S. For. Ser. Res. Note Fpl-0187 Madison. Wisc.
- Hse C. Y. 1975. Properties of flakeboards from hardwoods growing on southern pine sites. Forest Products Journal, 25, 3: 48-53

- Johnson J. W. 1964. Effect of exposure cycles on the stability of commercial particleboards. *Forest Products Journal*, 14, 7: 277-282
- Jorgensen R. M., Odell R. L. 1961. Dimensional stability of oak flakeboard as effected by particle gometry and resin spread. *Forest Products Journal*, 11: 463-466
- Kehr E. 1967. Zur Verfahrenstechnologie für die Spanplattenherstellung. Insbesondere über den Einfluß des Festharz-Härter und Hydrophobierungsmittelanteils auf die Spanplatten qualitat. *Holztechnologie*, 8: 81-86
- Kelly W. M. 1977. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. General technical report FPL-10. Raleigh. North Carolina State University, School of Forest Resources, Department of Wood and Paper Science: 65 str  
<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr10.pdf>
- Klauditz W. 1955. Entwicklung, Stand und holzwirtschaftliche Bedeutung der Holzspnplattenherstellung. *Holz Roh – Werkstoff*, 13: 405-421
- Klauditz W., Ulbricht H. J., Kratz N. 1968. Über die Herstellung und Eigenschaften leichter Holzspanplatten. *Holz Roh – Werkstoff*, 16: 459-466
- Kollmann F., Kuenzi W.E., Stamm J.A. 1975. Principles of Wood science and Technology Volume II: Wood based materials. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Springer Verlag: 57-74, 331-335
- Lehmann W. F. 1965. Improved particleboard properties through better resin efficiency. *Forest Products Journal*, 15: 155-161
- Lehmann W. F., Hefty F. V. 1973. Resin efficiency and dimensional stability of flakeboards. USDA For. Serv. Res. Pap. Fpl 207. For. Prod. Lab., Madison, Wis.
- Liiri O. 1968. On the properties and investigation of particleboards bonded with phenolic resin. State Inst. For Tech. Res. Paperi Puu 42 Helsinki
- Liiri O., Kivistö A., Saarinen A. 1977. Der Einfluß von Holzarten, Spangröße und Bindemittel auf Feistigkeit und die Quellung von Spanplatten mit höheren elastomechanischen Eigenschaften. *Holzforschung und Holzverwertung*, 29, 6: 117-122
- Maku T., Hamada R. 1955. Studies on chipboard II. Swelling properties of chipboard. *Wood res. Kyoto U.* 15: 53-59
- Medved S., Pirkmaier S., 2000. Praktikum za preskušanje lesnih tvoriv iz dezintegriranega lesa. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 14-16, 37-44

- Medved S., Budnar M., Pirkmaier S. 1998. Ermittlung des Feuchtigkeitsprofils von Spanplatten mit Gammastrahlen. *Holzforschung und Holzverwertung*, 50: 7-10
- Mottet A. L. 1967. The particle geometry factor in particleboard manufacture. V: Proc. 1 st Washington State Univ. Particleboard symposium Pullman: 23-73
- Post P. W. 1961. Relation of flake size and resin content to mechanical and dimensional properties of flakeboard. *Forest Products Journal*, 11: 34-37
- Rice J. T. 1960. The effects of selected variables on the properties of flatpressed flakeboards. M. S. Thesis, Dep. of Wood and Pap. Sci., North Carolina State Univ., Raleigh
- Saito F. 1972. Springback of particleboards. *Wood Ind. Japan*, 27, 1: 14-18
- Strickler M. D. 1959. The effect of press cycles and moisture content on the properties of douglas fir flakeboard. *Forest Products Journal*, 9: 203-215
- Souchsland O. 1966. Some performace characteristics of 'Interior' nad 'Exterior' type particleboard. *Quarterly Bulletin, Michigan Agr. Exp. Station, Michigan State Univ. East Lansing*. 49: 200-210
- Stegmann G. Durst J. 1964. Particleboard from beech wood. *Holz-Zentralblatt*, 90, 153: 313-318
- Strickler M. D., 1959. Effect of press cycle and moisture content in properties of Douglas – fir flakeboard. *Forest Products Journal*, 9, 7: 203-205
- Souchsland O. 1972. Linear hygroscopic expansion of selected commercial particleboards. *Forest Products Journal*, 22, 11: 28-32
- Souchsland O. 1973. Hygroscopic thickness swelling and related properties of selected commercial particleboards. *Forest Products Journal*, 23, 7: 26-30
- Šega B. 2002. Vpliv lepilnega spoja na prečno difuzijo vodne pare. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 14 - 54
- Tišler V. 1999. Splošna in lesna kemija – 1. del (interna skripta za študente 1. letnika visokošolskega strokovnega študija). Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 100-101, 114-117
- Turner H. D. 1954. Effect of particle size and shape on strength and dimensional stability of resin bonded wood particle panels. *Forest Products Journal*, 4,5: 210-223
- Xu W., Winistorfer M., Moschler W.W. 1996. A procedure to determine water absorption distribution in wood composite panels. *Wood Fiber Science*, 28, 3: 286-294

Walter F. 1961. Untersuchungen zum Verhalten von Faser und Spanplatten bei Befeuchten und Trocknen. Holztechnologie, 2: 247:251

## **8 ZAHVALA**

Zahvaljujem se doc. dr. Sergeju Medvedu za mentorstvo, pomoč in napotke, nadalje bi se zahvalil recenzentu profesorju dr. Željku Gorišku za opravljeno recenzentsko delo in asistentu Janezu Renku za pomoč pri meritvah.

Zahvaljujem se tudi Martinu Bukovcu, s katerim sva izvajala vzporedne meritve, ter vsem ki sem jih pozabil omeniti in so zaslužni zahvale.

Posebna zahvala gre g. Miliču Sikirici pri motivaciji za študij.