

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Franci JENKO

**MOŽNOST UPORABE TERMIČNO  
MODIFICIRANEGA LESA ZA KUHINJSKO  
POHIŠTVO**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010



UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Franci JENKO

**MOŽNOST UPORABE TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA ZA  
KUHINJSKO POHIŠTVO**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**POSSIBILITY OF USING THERMALLY MODIFIED WOOD IN  
KITCHEN FURNITURE**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2010

Jenko F. Možnost uporabe termično modificiranega lesa za kuhinjsko pohištvo.

Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 2010

---

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo v Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa. Del eksperimentov je potekal tudi v laboratoriju Katedre za tehnologijo lesa. Material za izdelavo vzorcev pa so prispevali v podjetju SVEA Lesna industrija, d.d., Zagorje ob Savi.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja univerzitetne diplomske naloge imenoval prof. dr. Franca Pohlevna, za recenzenta pa prof. dr. Marka Petriča.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Franci JENKO

### **KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

ŠD	Dn
DK	UDK 630*841
KG	termična modifikacija/vakuum/pohištvo/dimenzijska stabilnost/robinija/hrast
AV	JENKO, Franci
SA	POHLEVEN, Franc (mentor)/PETRIČ, Marko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2010
IN	<b>MOŽNOST UPORABE TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA ZA KUHINJSKO POHIŠTVO</b>
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	XI, 49 str., 8 pregl., 21 sl., 10 pril., 41 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	<p>Kuhinjsko pohištvo je izpostavljeno povišanim temperaturam in spremembam vlažnosti, zato ni primerno, da ga izdelamo iz masivnega lesa, saj med uporabo prihaja do deformacij. Zato smo les, namenjen kuhinjskemu pohištву, predhodno termično modificirali. Les robinije in hrasta smo izpostavili temperaturam od 175 °C do 225 °C. Kisik smo med postopkom modifikacije odstranili z začetnim vakuumiranjem. Izgube lesne mase zaradi modifikacije so bile pri hrastu med 2,3 % in 19,9 %, pri robiniji pa med 1,3 % in 10,3 %. Na modificiranem in nemodificiranem lesu, premazanem ali nepremazanem z lanenim oljem, smo opazovali dimenzijsko stabilnost, povečanje mase, podaljšanje diagonale lesenih elementov in njihovih deformacij med postopkom navlaževanja. V ta namen smo ličnice izpostavili pogojem, ki simulirajo možne ekstremne razmere v kuhinjah (<math>T = 37 °C</math> in <math>\varphi = 88 \%</math>). Ugotovili smo, da je za doseganje dobrih rezultatov potrebna modifikacija pri temperaturi med 200 °C in 225 °C. Posledično je izguba mase znašala med 10 % in 20 %, vrednost dimenzijske stabilnosti ASE pa med 30 % in 40 %. Opazili smo, da površinska obdelava lesa z oljem ne poveča dimenzijske stabilnosti, pripomore pa k izboljšanju zunanjega izgleda in k poudarku površinske strukture modificiranega lesa.</p>

**KEY WORDS DOCUMENTATION**

DN	Dn
DC	UDC 630*841
CX	thermal modification/vacuum/furniture/dimensional stability/black locust/oak
AU	JENKO, Franci
AA	POHLEVEN, Franc (supervisor)/PETRIČ, Marko (co-advisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2010
TI	POSSIBILITY OF USING THERMALLY MODIFIED WOOD IN KITCHEN FURNITURE
DT	Graduation Thesis (University studies)
NO	XI, 49 p., 8 tab., 21 fig., 10 ann., 41 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	Kitchen furniture is exposed to high temperatures and changes in moisture, so it should not be built out of solid wood as this can result in deformation of wooden elements. This is why we thermally modified wood intended for kitchen furniture. Black locust and oak were exposed to temperatures from 175 °C to 225 °C. We started with a vacuum to eliminate oxygen. The loss of mass of oak due to modification ranged from 2.3 % to 19.9 % and of black locust between 1.3 % and 10.3 %. On modified and unmodified wood elements, coated or uncoated with linseed oil, we measured dimensional stability, increase of mass, a diagonal dimension and deviations from a flat surface during the moistening process. For this reason we exposed the wood to conditions that simulate those in a kitchen ( $T = 37^\circ\text{C}$ and $\varphi = 88\%$ ). We found out that to obtain good results we need to modify wood at temperatures between 200 °C and 225 °C. The result was a loss of mass between 10 % and 20 % and a decrease of the ASE dimensional stability value of 30 % to 40 %. We also noted that a surface coating of linseed oil did not increase dimensional stability, but it does better the outward appearance and emphasizes surface contrast in modified wood.

**KAZALO VSEBINE**

	str.
<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....</b>	III
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION .....</b>	IV
<b>KAZALO VSEBINE .....</b>	V
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	VII
<b>KAZALO SLIK .....</b>	VIII
<b>KAZALO PRILOG .....</b>	X
<b>OKRAJŠAVE IN SIMBOLI .....</b>	XI
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1. NAMEN RAZISKOVANJA .....	2
<b>2 PREGLED DOSEDANJIH OBJAV .....</b>	<b>3</b>
2.1. MODIFIKACIJA LESA.....	3
<b>2.1.1. Encimska modifikacija.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2. Kemična modifikacija .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.3. Termična modifikacija.....</b>	<b>4</b>
2.1.3.1 Proces Retification in La Bois Perdure .....	6
2.1.3.2 Proces Thermowood.....	7
2.1.3.3 Proces Plato .....	7
2.1.3.4 Proces Oil Heat Treatment .....	8
2.1.3.5 Proces v vakuumu .....	8
2.2. PARAMETRI, KI VPLIVAJO NA LASTNOSTI TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA .....	8
<b>2.2.1. Drevesna vrsta .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.2. Temperatura .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.3. Čas modifikacije .....</b>	<b>9</b>
2.3. LASTNOSTI TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA .....	10
<b>2.3.1. Izguba mase.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.2. Mehanske lastnosti .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.3. Dimenzijska stabilnost .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.4. Odpornost proti glivam in insektom.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.5. Barva in vonj.....</b>	<b>15</b>
2.3.5.1 Določanje barve po CIE L*a*b* sistemu.....	16
<b>2.3.6. Površinska obdelava.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.7. Okoljski vidik termične modifikacije lesa.....</b>	<b>17</b>
<b>3 MATERIALI IN METODE .....</b>	<b>19</b>
3.1. MATERIALI .....	19
<b>3.1.1. Priprava velikih vzorcev (kuhinjskih ličnic).....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.2. Priprava malih vzorcev (test ASE) .....</b>	<b>19</b>

3.2.	METODE .....	20
3.2.1.	Priprava na modifikacijo.....	20
3.2.2.	Postopek modifikacije .....	21
3.2.3.	Določanje izgube mase termično modificiranih vzorcev .....	22
3.2.4.	Izdelava kuhinjskih ličnic .....	22
3.2.5.	Klimatizacija preizkušancev (kuhinjskih ličnic) .....	23
3.2.6.	Navlaževanje preizkušancev (kuhinjskih ličnic) .....	23
3.2.7.	Meritve mase in diagonale kuhinjskih ličnic .....	24
3.2.8.	Določanje dimezijske stabilnosti .....	26
3.2.9.	Določanje barve in barvnih sprememb .....	27
4	<b>REZULTATI .....</b>	<b>28</b>
4.1.	IZGUBA MASE TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA .....	28
4.1.1.	Mali vzorci.....	28
4.1.2.	Veliki preizkušanci – kuhinjske ličnice .....	28
4.2.	DIMENZIJSKA STABILNOST .....	29
4.3.	NAVZEM VODE.....	30
4.4.	KLIMATIZACIJA PREIZKUŠANCEV .....	31
4.5.	NAVLAŽEVANJE PREIZKUŠANCEV.....	32
4.5.1.	Sprememba mase preizkušancev .....	32
4.5.2.	Sprememba mase preizkušancev zaradi namakanja .....	36
4.5.3.	Ugotavljanje deformacij preizkušancev.....	36
4.5.4.	Sprememba odklona preizkušancev .....	38
4.5.5.	Sprememba barve površine preizkušancev .....	39
5	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI .....</b>	<b>41</b>
5.1.	RAZPRAVA .....	41
5.1.1.	Izguba mase in dimezijska stabilnost .....	41
5.1.2.	Navlaževanje preizkušancev iz modificiranega lesa.....	42
5.2.	SKLEPI .....	44
6	<b>POVZETEK.....</b>	<b>45</b>
7	<b>VIRI .....</b>	<b>46</b>
	<b>ZAHVALA</b>	
	<b>PRILOGE</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

	str.	
Preglednica 1	Razvrstitev termično modificiranega lesa glede na evropske razrede ogroženosti lesa (SIST EN 335 – 1, 1995).....	15
Preglednica 2	Ocena barvnih sprememb (Sandermann in Schlumbom, 1962).....	27
Preglednica 3	Izguba mase pri malih vzorcih (20 mm × 20 mm × 20 mm) .....	28
Preglednica 4	Izguba mase modificiranih preizkušancev (ličnic) hrasta in robinije .....	29
Preglednica 5	Vrednosti ASE pri hrastovini (20 mm × 20 mm × 20 mm) .....	30
Preglednica 6	Vrednosti ASE pri robiniji (20 mm × 20 mm × 20 mm) .....	30
Preglednica 7	Navzem vode pri hrastu in robiniji po prilagojeni metodi ASE.....	31
Preglednica 8	Vrednosti barvnih koordinat in spremembe barve ( $\Delta E^*$ ) po sistemu CIELAB .....	39

## KAZALO SLIK

	str.
Slika 1	Kontrolni vzorec in vzorci modificirani pri temperaturah 150 °C, 175 °C in 200 °C. Dobro viden je vpliv temperature modifikacije na barvo lesa. 6
Slika 2	Princip delovanja obrata za termično modificiranje po Thermowood postopku (Syriänen in Oy, 2001). ..... 7
Slika 3	Popolna termična degradacija hrastovega vzorca pri temperaturi modifikacije 240 °C. ..... 12
Slika 4	CIE $L^*a^*b$ sistem (Golob in Golob, 2001). ..... 16
Slika 5	Robinijevi vzorci pripravljeni za testiranje dimenzijske stabilnosti. .... 19
Slika 6	Laboratorijski sušilnik podjetja Kambič. ..... 20
Slika 7	Komora podjetja Kambič, ki smo jo uporabili za termično modificiranje lesa..... 22
Slika 8	Sušilnica lesa na Oddelku za lesarstvo..... 24
Slika 9	Merjenje diagonale ličnice. ..... 25
Slika 10	Merjenje odklona od ravnine. ..... 25
Slika 11	Spektrofotometer X-Rite SP 62. ..... 27
Slika 12	Klimatizacija pri konstantnih pogojih ( $T = 37^\circ\text{C}$ in $\varphi = 33\%$ , raztopina $MgCl$ ). ..... 32
Slika 13	Potek navlaževanja oljenih preizkušancev ( $T = 37^\circ\text{C}$ in $\varphi = 88\%$ , destilirana voda). Čas izpostavitve: 5 tednov..... 33
Slika 14	Potek navlaževanja neoljenih preizkušancev ( $T = 37^\circ\text{C}$ in $\varphi = 88\%$ , destilirana voda). Čas izpostavitve: 5 tednov..... 34
Slika 15	Razlika v nabrekanju na spoju med nemodificiranim (A02) in modificiranim (A6) preizkušancem pri robiniji. ..... 35
Slika 16	Razlika v nabrekanju na spoju med nemodificiranim (H03) in modificiranim (H5) preizkušancem pri hrastu. ..... 35
Slika 17	Vpliv namakanja preizkušancev hrasta in robinije v vodi na njihovo maso. ..... 36
Slika 18	Sprememba dimenzijskih deformacij pri oljenih preizkušancih (smer 1 – 4). ..... 37
Slika 19	Sprememba dimenzijskih deformacij pri neoljenih preizkušancih (smer 2 – 3). ..... 38

Slika 20	Barvna lestvica preizkušancev (ličnic) nastala s termično modifikacijo (levo robinija, desno hrast).....	40
Slika 21	Navzem vlage v oljenih (-o) in neoljenih preizkušancih. ....	43

## KAZALO PRILOG

- Priloga A** Primer obrazca za opravljanje meritev na preizkušancih; mase ličnic, diagonale in odkloni
- Priloga B** Mase oljenih preizkušancev v gramih; izpostavljeni konstantni temperaturi in vlagi ( $T = 37^\circ\text{C}$  in  $\varphi = 88\%$ , destilirana voda)
- Priloga C** Mase preizkušancev v gramih; izpostavljeni konstantni temperaturi in vlagi ( $T = 37^\circ\text{C}$  in  $\varphi = 88\%$ , destilirana voda)
- Priloga D** Dimenzijske diagonale 1 – 4 oljenih preizkušancev v milimetrih; izpostavljenih konstantni temperaturi in vlagi
- Priloga E** Dimenzijske diagonale 1 – 4 preizkušancev v milimetrih; izpostavljenih konstantni temperaturi in vlagi
- Priloga F** Dimenzijske diagonale 2 – 3 oljenih preizkušancev v milimetrih; izpostavljenih konstantni temperaturi in vlagi
- Priloga G** Dimenzijske diagonale 2 – 3 preizkušancev v milimetrih; izpostavljenih konstantni temperaturi in vlagi
- Priloga H** Mase preizkušancev med klimatizacijo – sušenjem; pri pogojih ( $T = 37^\circ\text{C}$  in  $\varphi = 33\%$ , razstopina  $MgCl$ )
- Priloga I** Izguba mase hrastovih modificiranih desk pred izdelavo ličnic (-o – olje)
- Priloga J** Izguba mase robinijevih modificiranih desk pred izdelavo ličnic (-o – olje)

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

$\Delta E^*$  – sprememba barve po sistemu CIELAB

$\Delta m_C$  – sprememba mase kontrolnega vzorca v določenem časovnem intervalu

$\Delta m_{OHT}$  – sprememba mase modificiranega vzorca v določenem časovnem intervalu

$ASE_{R,T}$  – kazalnik protikrčitvene učinkovitosti

$L^*$  – svetlost barve v sistemu CIELAB

$MEE_{R,T}$  – kazalnik sposobnosti preprečevanja navlaževanja

$a^*$  – lega barve na rdeče (+) – zeleni (-) osi v sistemu CIELAB

$b^*$  – lega barve na rumeno (+) – modri (-) osi v sistemu CIELAB

$l_0$  – dolžina vzorca v končnem absolutno suhem stanju (mm)

$l_{VL}$  – dolžina vzorca v začetnem absolutno napojenem stanju (mm)

$m_0$  – masa vzorca v absolutno suhem stanju pred modifikacijo (g)

$m_1$  – masa vzorca v absolutno suhem stanju po modifikaciji (g)

$\alpha_C$  – skrček kontrolnega (netretiranega) vzorca med dvema ravnovesnima legama

$\alpha_{OHT}$  – skrček modificiranega vzorca med dvema ravnovesnima legama

$\beta_{R,T}$  – skrček lesa v radialni / tangencialni smeri

A01-A04 – kontrolni preizkušanci iz robinijevega lesa

A1-A8 – modificirani preizkušanci robinijevega lesa pri različni izgubi mase

$\varphi$  – relativna zračna vlažnost (%)

H01-H04 – kontrolni preizkušanci iz hrastovega lesa

H1-H8 – modificirani preizkušanci iz hrastovega lesa pri različni izgubi mase

$T_{komore}$  – temperatura v komori

$t_{komore}$  – tlak v komori

$T_m$  – temperatura v lesu

$u_r$  – ravnovesna vlažnost lesa (%)

$im$  – izguba lesne mase (%)

## 1 UVOD

Les znova uvrščamo med vedno bolj uporabljane naravne materiale. Slaba lastnost lesa, kot uporabnega materiala, je sorazmerno kratka življenjska doba. K njegovi razgradnji pripomorejo različni abiotski (vremenski pogoji, UV svetloba, fizična obraba, itd.) in biotski dejavniki (glove, insekti, bakterije, morski škodljivci).

Da bi les zaščitili pred vsemi temi vplivi, so v preteklosti v velikih količinah uporabljali razna kemična zaščitna sredstva. Vendar pa jih današnja evropska regulativa strogo omejuje oziroma prepoveduje. Dobra alternativa temu je uporaba tropskih drevesnih vrst, vendar morajo tudi te ostati zaščitene, saj jih bomo sicer sčasoma popolnoma izsekali z zemeljske površine. Zato strokovnjaki razvijajo različne postopke za izboljšanje lastnosti lesa, tako imenovane modifikacije lesa. S termično modifikacijo na kar najbolj naraven način povečamo odpornost in dimenzijsko stabilnost drevesnih vrst. Posledično biološki škodljivci lesa ne prepoznajo več kot vira hrane in je trajnost modificiranega lesa tako bistveno daljša od trajnosti običajnega masivnega lesa.

Dimenzijsko stabilnost lesa je mogoče izboljšati s postopki encimske, kemijske ali termične modifikacije. Z modifikacijo spremenimo kemijsko sestavo lesa tako, da je sorpcija vode v naravne polimere lesa, predvsem na celulozo, hemiceluloze in lignin, močno zmanjšana ali celo onemogočena. Pri termični modifikaciji les izpostavimo povišani temperaturi v odsotnosti kisika. Pri postopku ne uporabljam nobenih kemičnih substanc (Hasan in Despot, 2003).

Kot pri vsaki stvari, imamo tudi pri termični modifikaciji lesa dobre in slabe strani postopka. Z izboljšano odpornostjo proti lesnim škodljivcem in povečano dimenzijsko stabilnostjo na eni strani, smo na drugi strani nekoliko poslabšali njegove mehanske lastnosti. S spremenjanjem parametrov procesa modifikacije določamo lastnosti modificiranega lesa (temperatura modifikacije in čas izpostavitve temperaturi). Višja ko je temperatura modifikacije, večji sta dimenzijska stabilnost lesa ter odpornost proti škodljivcem, in slabše so mehanske lastnosti ter obratno. Obstaja tudi jasna povezava med izgubo mase in pričakovanimi lastnostmi termično modificiranega lesa (Rep in Pohleven, 2001).

Pohištvo iz masivnega lesa postaja vedno bolj aktualno, kar velja tudi za kuhinjske elemente, ki so v celoti izdelani iz masivnih elementov. Ker pa je v kuhinjah pohištvo izpostavljeno velikim spremembam zračne vlage in temperature, je potrebno les za kuhinjske elemente predhodno ustrezno tehnično obdelati oziroma stabilizirati. To lahko dosežemo predvsem s termično modifikacijo lesa.

### 1.1. NAMEN RAZISKOVANJA

Ker imajo izdelki iz modificiranega lesa boljše lastnosti, kot tisti iz nemodificiranega lesa, smo modificiran les preizkusili za elemente kuhinjskega pohištva. Z modifikacijo pri temperaturi od 200 °C do 225 °C smo izboljšali strukturo in lastnosti lesa tako, da je slednji prenesel ekstremne pogoje kuhinjskega pohištva. Postopek termične modifikacije smo izvedli po že uveljavljeni metodi začetnega vakuma (Pohleven in Rep, 2004). Kuhinjske elemente smo proučevali z vidika mehanskih in obdelovalnih lastnosti.

Poleg navedenih lastnosti, ki se izboljšajo pri modifikaciji, pa dobimo tudi različne nove barvne odtenke lesa. S postopkom modifikacije dosežemo izenačenje barve po celotni površini in volumnu.

## 2 PREGLED DOSEDANJIH OBJAV

Vedno bolj prihaja v ospredje skrb za varno in bolj čisto okolje. S tem pa se uveljavljajo tudi postopki zaščite lesa s čim manjšim tveganjem. To dosežemo s pravilno izbiro drevesne vrste, konstrukcijsko zaščito, človeku prijaznimi postopki zaščite ter s smotrnim ravnanjem z odpadnim lesom (Rep in Pohleven, 2001). Klasična zaščitna sredstva so povzročila velik vpliv na okolje, zato so jih postopoma prepovedali. Med prepovedane sestavine spadajo arzenove, bakrove in kromove spojine, pentaklorofenol, lindan, endosulfan... Ob prepovedi starih pa se uveljavljajo nove aktivne spojine, ki manj onesnažujejo okolje. Velik problem pa še vedno predstavlja odpadni les, ki je bil zaščiten pred desetletji (Rep in Pohleven, 2001).

S kemično zaščito lesa povečamo odpornost lesa in s tem tudi trajnost izdelkov. Strokovnjaki in raziskovalci s področja zaščite lesa se zavedajo neželenega vpliva na okolje. Zato strokovnjaki vedno znova razvijajo nove metode za izboljšanje lastnosti lesa, ki bi obenem zadostile strogim okoljskim zahtevam. Ena izmed obetavnih in v svetu že razvityh metod je vsekakor tudi termična modifikacija lesa (Rep in Pohleven, 2001).

Vizualni izgled modificiranega lesa nas takoj spomni na videz staranega ali pa luženega lesa, zato ga lahko uporabljamo za rustikalno pohištvo. Manj vreden les, kot na primer rdeče srce pri bukvi ali rjavo srce pri jesenu, se s tem postopkom spremeni v estetske in tehnično vredne izdelke (npr. imitacija tropskega parketa). Zaradi povečane trajnosti ter dimenzijske stabilnosti pa se največ termično modificiranega lesa porabi za zunanjouporabo, kot so fasade, ograje, okna in vrata (Jirouš-Rajković in sod., 2007). Lahko se uporablja na vseh področjih, kjer ni zahtevana pretirana lastna mehanska trdnost (nenosilne konstrukcije). Možnost uporabe je zares velika; v poštev pride povsod, kjer želimo vrednost izdelka povečati. Tudi manj privlačne drevesne vrste (topol, breza) z modifikacijo pridobijo na vrednosti (dekorativne lastnosti).

### 2.1. MODIFIKACIJA LESA

Modifikacija lesa je skupek kemijskih procesov, s katerimi želimo z najmanj škodljivimi postopki do okolja in s čim manjšo uporabo biocidnih sredstev zaščititi les pred škodljivci

(tudi za najzahtevnejše razrede ogroženosti) ter povečati njegovo dimenzijsko stabilnost. Pri postopku modifikacije se spremeni struktura osnovnih gradnikov – polimerov (celuloza, hemiceluloze, lignin) celične stene. Posledica spremenjene zgradbe na molekulske nivoje so drugačne lastnosti lesa (Teischinger in Stingl, 2002).

Les lahko modificiramo na več načinov, in sicer:

- z encimi
- kemično
- termično

### **2.1.1. Encimska modifikacija**

Ta vrsta modifikacije je do sedaj najmanj raziskan način modifikacije. Pri proizvodnji lesnih kompozitov iz dezintegriranega lesa se pogosto srečujemo z energetskimi in okoljskimi težavami, ki nastanejo zaradi sušenja ali uporabe strupenih veziv. Ena od možnosti, da se tem problemom izognemo, je encimska modifikacija. Modifikacija poteka na način, da z encimi spremenimo osnovno molekularno zgradbo lesa. Encim lakaza spremeni strukturo lignina in s tem poveča število reaktivnih mest, kar vpliva na proces pri vročem lepljenju lesnih vlaken (aktivacija površine). Tako pridobimo kompozit z izboljšanimi fizikalnimi in mehanskimi lastnostmi (Rep in Pohleven, 2001; Gorišek, 2007).

### **2.1.2. Kemična modifikacija**

Med kemično modifikacijo se zgradba lesnih makromolekul spremeni, zaradi reakcij z določenim kemičnim reagentom, ki ga vnesemo v les. Za to vrsto modifikacije se ponavadi uporablajo permeabilne lesne vrste in reagenti, ki so bili večinoma že preizkušeni v tekstilni industriji. Najbolj pogosti reakciji sta estrenje in etrenje na hidroksilnih skupinah. Prednost kemično modificiranega lesa pred termično modificiranim je zlasti ohranitev ali celo izboljšanje mehanskih lastnosti. Glavna slabost pa je višja cena modificiranega lesa (Rep in Pohleven, 2001; Rep, 2008).

### **2.1.3. Termična modifikacija**

Ta način modifikacije lesa je že dolgo poznan kot metoda, s katero lahko povečamo dimenzijsko stabilnost lesa in odpornost proti vlagi, lesnim insektom in glivam. V začetku

20. stoletja so že odkrili, da se s segrevanjem lesa za štiri ure na 150 °C, njegove fizikalne lastnosti izboljšajo. Zračno suh les so segrevali v pregreti pari in s tem zmanjšali sorpcijo lesa, obenem pa se trdnost ni občutno zmanjšala (Tiemann, 1915).

Od leta 1950 dalje se začnejo številnejše raziskave na področju modifikacije svežega ali kondicioniranega lesa pri temperaturah od 160 °C do 260 °C (Seborg in sod., 1953; Stamm, 1964; Kollmann in Fengel, 1965).

Proces termične modifikacije omogoča izboljšanje lastnosti slabše odpornih drevesnih vrst in s tem širšo možnost uporabe za raznovrstne izdelke. Glavne prednosti termično modificiranega lesa so nižja higroskopnost, povečana odpornost proti zunanjim dejavnikom ter povečana dimenzijska stabilnost. To seveda dosežemo brez prisotnosti kemikalij in brez prisotnosti kisika. Modificiran les pa ima tudi nekaj neželenih lastnosti, kot so na primer slabše mehanske lastnosti in neprijeten vonj ter obarvanost. Še posebej je zmanjšana udarna žilavost. Razvoj različnih tehnologij za termično modifikacijo poteka v smeri optimiranja procesa, pridobitve kvalitetnega in cenovno dostopnega produkta.

Med procesom modifikacije nekateri polimeri (zlasti hemiceluloze in lignin) depolimerizirajo ter se ponovno zamrežijo, predvsem z reakcijami hidroksilnih (-OH) skupin. Termična modifikacija običajno poteka v mediju inertnih plinov. Prisotnost kisika bi povzročila oksidacijo lesnih polimerov, zato ga z različnimi tehnikami odstranimo iz modifikacijske komore.

Zaradi slabših mehanskih lastnosti je toplotno modificiran les pretežno uporaben tam, kjer ni izpostavljen mehanskim obremenitvam, zaželeni pa sta dobra dimenzijska stabilnost in trajnost lesa (Rep in Pohleven, 2001; Rapp in Sailer, 2001).

Toplotno modificiran les je rjave barve. Stopnja potemnelosti narašča sorazmerno s temperaturo (slika 1). Tako potemnjen les ni odporen proti UV svetlobi in hitro posivi. Če želimo ohraniti rjavo barvo, ga je potrebno za zunanjou uporabo dodatno zaščititi s površinskimi premazi (Rep in Pohleven, 2001).



Slika 1 Kontrolni vzorec in vzorci modificirani pri temperaturah 150 °C, 175 °C in 200 °C. Dobro viden je vpliv temperature modifikacije na barvo lesa.

Različne raziskave in neobjavljena poročila so v Evropi in v ZDA pripeljala do razvoja večjega števila komercialnih procesov termične modifikacije (Hill, 2006). Produkte in procese modifikacije poznajo v ZDA pod imenom »Staybwood«, v Nemčiji pa pod imenom »Lignostone«. V zadnjem desetletju se je obseg proizvodnje močno povečal, zlasti zaradi patentiranega postopka Thermowood na Finskem, Plato procesa na Nizozemskem, Retification in Perdure v Franciji in postopka Oil - Heat Treatment v Nemčiji.

Poznani postopki termične modifikacije so z:

- dušikom (Vernois, 2001; Teischinger in Stingl, 2002)
- vodno paro (Jämsä in Viitaniemi, 2001; Militz in Tjeerdsma, 2001)
- vročim oljem (Tjeerdsma in sod., 1998; Rapp in Sailer, 2001)
- vakuumom (Rep in sod., 2004)

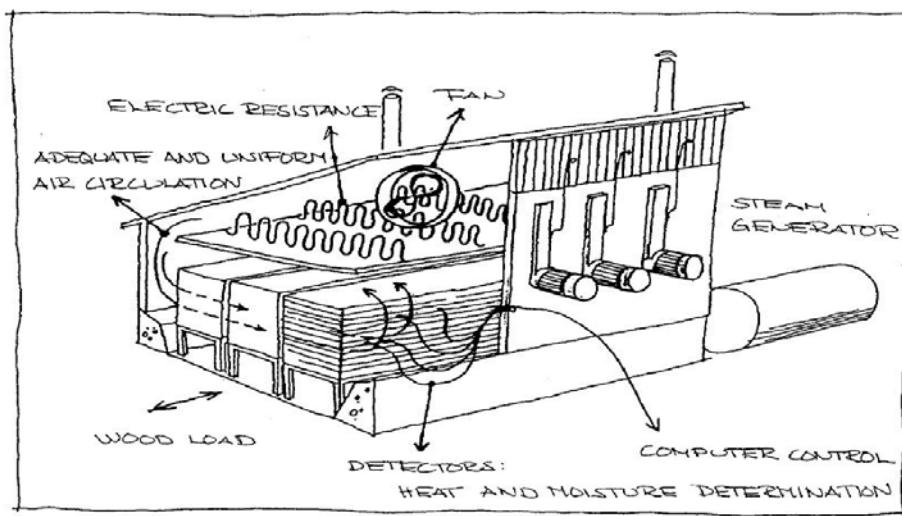
#### 2.1.3.1 Proces Retification in La Bois Perdure

V Franciji sta v uporabi postopka imenovana Retification in Le Bois Perdure (Weiland in Guyonnet, 1997). Pri prvem se les z vlažnostjo približno 12 % počasi suši pri temperaturi od 210 °C do 240 °C v dušikovi atmosferi (vsebnost kisika je maksimalno 2 %). Drugi

postopek je sestavljen iz dveh faz. V prvi se svež les v sušilnici posuši, nato je izpostavljen temperaturi 230 °C v prisotnosti pare, ki nastane pri sušenju lesa.

#### 2.1.3.2 Proces Thermowood

Na Finskem se je uveljavil postopek, imenovan Thermowood (Viitaniemi in sod., 1994). Les se najprej suši pri 100 °C, nato pri 100 °C do 150 °C. V kolikor je potrebno, se za tem temperatura postopno dviguje do želene vrednosti (150 °C do 240 °C). Faza traja od 30 minut do 4 ure. Na koncu sledi faza ohlajanja in kondicioniranja, ki traja 24 ur. Celoten postopek traja približno 72 ur (slika 2).



Slika 2 Princip delovanja obrata za termično modificiranje po Thermowood postopku (Syrjänen in Oy, 2001).

#### 2.1.3.3 Proces Plato

Z Nizozemskega prihaja tehnologija Plato (Boonstra in sod., 1998), ki sestoji iz petih faz. Prva faza je predsušenje lesa na vlažnost od 14 % do 18 %, sledi faza imenovana hidrotermoliza, pri kateri se les suši z nasičeno paro pri temperaturi 150 °C do 190 °C pod atmosferskim tlakom. V tretjem koraku se vzorci sušijo v konvencionalni sušilnici do vlažnosti 8 % do 9 %. Nato je les izpostavljen temperaturi od 150 °C do 190 °C, pod suhimi in atmosferskimi pogoji. Zadnja faza je faza kondicioniranja, kjer se lesu z nasičeno paro poveča vlažnost do stopnje, ki je primerna za obdelavo (4 % do 6 %).

#### 2.1.3.4 Proces Oil Heat Treatment

Med vsemi postopki modifikacije se je ta izkazal za najučinkovitejšega, saj segreto olje toploto prenaša najenakomernejše in obenem v procesu modifikacije v celoti prepreči stik kisika s substratom. Les segrejejo v oljni kopeli na temperaturo od 180 °C do 220 °C. Ko je dosežena želena temperatura znotraj lesa, le-to vzdržujejo od 2 do 4 ure. Sledi proces ohlajanja in vakuumskega odstranjevanja olja. Pri procesu uporablajo različne vrste rastlinskih olj, najpogosteje repično olje (Rapp, 2001).

#### 2.1.3.5 Proces v vakuumu

Tudi v Sloveniji se je razvil svojevrsten način termične modifikacije lesa z začetnim vakuumom (Rep in sod., 2004). Les predhodno osušimo in ga namestimo v komoro za toplotno obdelavo. Nato v komori vzpostavimo podtlak – 1 bar (absolutni tlak znaša 0,05 bar). Sledi segrevanje lesa, in ko dosežemo želeno temperaturo (med 150 °C in 225 °C), jo vzdržujemo od 2 do 3 ure. Nato izločene pline in hlapne snovi izsesamo, čemur sledi počasno ohlajanje, do 24 ur.

### 2.2. PARAMETRI, KI VPLIVAJO NA LASTNOSTI TERMIČNO MODIFICIRANEGA LEZA

#### 2.2.1. Drevesna vrsta

Proces termične modifikacije je za vsako drevesno vrsto specifičen. Končni rezultat modifikacije je drugačen, glede na kemično sestavo in celično strukturo. Za termično modifikacijo se največkrat uporablajo manj odporne drevesne vrste. Med te spadajo smreka, jelka, bor, breza, topol in trepetlika. Modificirajo pa tudi les drugih drevesnih vrst. Ponavadi velja za iglavce strožji režim kot za listavce, predvsem zaradi namena uporabe in občutljivosti listavcev. Les iglavcev se ponavadi uporablja v konstrukcijah, kjer je potrebna zaščita pred vlago in škodljivci. Listavci, ki so odpornejši, pa se pogosteje vgrajujejo v notranje prostore ter jih velikokrat modificiramo le zaradi dekorativnih – vizualnih razlogov (Syrjänen in Oy, 2001).

Kvaliteta lesa za termično modifikacijo mora biti ustrezna. Problem predstavljajo izpadajoče in pokajoče grče. Tudi okuženost in razkrojenost lesa lahko po modifikaciji povzročata dodatne barvne spremembe.

Končni rezultati so odvisni od tega, kako je bil hlod razžagan. Klasični rez lahko, posebno pri iglavcih, povzroči luščenje posameznih branik, če le-te potekajo horizontalno na površino deske. Najbolje je, da so letnice pod kotom 45 stopinj (polradialna deska). Tako so deformacije manjše, trdnost površine večja, pa tudi splošni izgled je lepši.

V končni fazi pa velja pravilo, da iz slabega lesa ne moremo narediti ekstremno dobrega izdelka. Lahko samo nekoliko prekrijemo napake, oziroma omilimo njegove slabosti (npr. izenačevanje rdečega srca pri bukvji).

### **2.2.2. Temperatura**

Temperatura modifikacije ima na kasnejše lastnosti lesa večji vpliv kot čas modifikacije. Nižje temperature in daljši čas modifikacije ne dajo enakih rezultatov kot visoke temperature in krajši čas (Sailer in sod., 2000).

Proces termične modifikacije je razdeljen na tri faze:

- zviševanje temperature (segrevanje)
- temperatura modifikacije (konstantna temperatura)
- zniževanje temperature (ohlajevanje)

V prvi fazi segrevanja se temperatura počasi dviguje in največkrat zaustavi na 100 °C do 150 °C. Temperatura med fazo modifikacije znaša med 150 °C in 260 °C ter je ves čas konstantna. V fazi ohlajanja temperatura pada in sicer od temperature modifikacije na temperaturo okolice. Pri vseh treh fazah je pomembno, da temperaturna razlika med zrakom in lesom ni prevelika, kajti z njo izgubljamo na kvaliteti modificiranega lesa (Patzelt in sod., 2002). Temperatura močno vpliva na lastnosti modificiranega lesa. Višja kot je temperatura modifikacije, boljši sta odpornost lesa in dimenzijska stabilnost, medtem ko se mehanske lastnosti lesa poslabšajo. Višino temperature modifikacije optimirajo odvisno od namena uporabe lesa (Patzelt in sod., 2002).

### **2.2.3. Čas modifikacije**

Čas modifikacije je odvisen od večih dejavnikov. Ti dejavniki so: temperatura, velikost peči, kapaciteta peči, dimenzijske elementov in vrste lesa ter čas ohlajanja (Sailer in sod., 2000). Pomembno je, da je čas segrevanja dovolj dolg. Temperatura v sredini lesa mora

biti enaka temperaturi modifikacije. Tako lahko dosežemo po celotnem volumnu lesa enakomerno modifikacijo. Trajanje modifikacije je odvisno tudi od vrste postopka. Po finskem postopku traja modifikacija do 72 ur (Tjeerdsma in sod., 1998). Po nemškem modelu povprečen proces modifikacije (vključno s segrevanjem in ohlajevanjem) traja 48 ur (Rapp in Sailer, 2001). Poleg časa same modifikacije je treba upoštevati še čas predsušenja ali sušenja, ohlajanja in kondicioniranja.

### 2.3. LASTNOSTI TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA

Stopnja modifikacije, ki se običajno kaže z izgubo mase lesa, je odvisna od temperature in trajanja postopka. Z večjo stopnjo modifikacije se biološka odpornost in dimenzijska stabilnost lesa običajno povečuje, mehanske lastnosti pa poslabšajo (Rapp in Sailer, 2001).

Izguba mase je bolj izrazita pri temperaturah modifikacije nad 200 °C, ko prihaja do intenzivnejšega izparevanja ekstraktivov in razkroja nekaterih komponent lesa (Hakkou in sod., 2005). Z izgubo mase je povezana gostota modificiranega lesa, ki se s povečevanjem temperature modifikacije niža, v primerjavi z gostoto nemodificiranega lesa (Mayes in Oksanen, 2003).

Z višanjem temperature modifikacije les izgublja na elastičnosti, hkrati pa se mu povečuje krhkost (Rep in Pohleven, 2001). To ugotovitev lahko obrazložimo s cepitvijo dolgih molekul hemiceluloz in amorfnega dela celuloze ter s hkratnim naraščanjem stopnje kristaliničnih delov celuloznih verig (Hakkou in sod., 2005).

Z višanjem stopnje modifikacije se povečuje hidrofobnost površine modificiranega lesa. Ta lastnost je povezana z zmanjševanjem polarnosti površine. Pri temperaturi 60 °C, ki je tudi temperatura steklastega prehoda lignina, prihaja do občutnega povečanja hidrofobnosti. (Gerardin in sod., 2007). Povečanje hidrofobnega značaja povezujejo tudi s spremembami proste površinske energije lesa, ki se pri postopku termične modifikacije nekoliko zniža (Gunnells in sod., 1994).

Kljub temu, da z modifikacijo pridobimo temnejše rjave odtenka lesa, ne moremo preprečiti fotodegradacije na sončni svetlobi. Pri daljši izpostavitvi soncu prihaja do sive pepelnate površine in drobnih razpok. Izboljša pa se odpornost pri direktnem izpostavljanju dežju (Rapp in Sailer 2001; Mayes in Oksanen 2003).

Odpornost termično modificiranega lesa proti glivam in insektom je odvisna od pogojev, v katerih je potekala modifikacija, vendar je ne moremo primerjati z odpornostjo lesa, zaščitenega s pripravki, ki vsebujejo bakrove in kromove spojine. Uporaba termično modificiranega lesa v stiku z zemljo ali sladko vodo ni primerna (Militz, 2002).

Termično modificiranemu lesu se znižata ravnovesna vlažnost (Metsa-Kortelainen, 2006) in higroskopnost, kar poveča njegovo dimenzijsko stabilnost. Znižana higroskopnost je verjetno tudi eden od glavnih razlogov za povečano biološko odpornost termično modificiranega lesa (Rapp in sod., 2008).

Termično modificiran les ima veliko uporabno vrednost na prostem:

- opaži, podi, terase
- vrtno pohištvo, pergole
- okenski okvirji
- zvočne pregrade

V notranjosti pa se uporablja kot kuhinjsko pohištvo (pulti, ličnice omaric), za pohodna tla v kopalnicah, parkete, dekorativne plošče in za notranjost saven (Esteves in Pereira, 2009).

### **2.3.1. Izguba mase**

Izguba mase je ena najbolj opaznih lastnosti pri termični modifikaciji in jo v splošnem uporabljamo kot merilo za stopnjo modifikacije. Z naraščajočo temperaturo modifikacije pride do značilne izgube mase lesa, kar pomeni, da je to zanesljiv in uporaben podatek o intenzivnosti modifikacije. Temperatura ima večji vpliv na intenzivnost obdelave kot čas, ki ima pomembnejši vpliv pri višjih temperaturah.

Izguba mase je zelo pomembna, saj le-ta vpliva na vse ostale biološke, fizikalne in kemijske lastnosti termično modificiranega lesa. Vzorci smrekovine, ki so bili modificirani pri temperaturah med 190 °C in 230 °C, so imeli izgubo mase med 3,5 % in 24 %. Izguba macevna pa je bila med 5,2 % in 31 % (Rep in sod., 2004).

### **2.3.2. Mehanske lastnosti**

Ena največjih omejitev uporabe modificiranega lesa je zmanjšanje mehanskih lastnosti, zaradi česar je ta les neprimeren za konstrukcijske namene. Ga pa lahko uporabimo za

vrsto drugih namenov. Poslabšanje mehanskih lastnosti je odvisno od lesne vrste in pogojev modifikacije (čas, temperatura, tlak, vrsta medija v komori). Upogibna trdnost, tako kot večina mehanskih lastnosti, se z naraščajočo temperaturo zmanjšuje, predvsem nad 200 °C (slika 3). Ocena je, da se poslabša za 10 % do 30 %. Če proces modifikacije ni optimiran, se lahko upogibna trdnost zmanjša celo do 50 % (Militz in Tjeerdsma, 2001; Patzelt in sod., 2002).

Proces modifikacije povzroči zmanjšanje gostote lesa do 20 %, odvisno od časa in temperature procesa (Hakkou in sod., 2005). Vzrok zmanjšanja gostote je predvsem razgradnja hemiceluloze v hlapne produkte in izhlapevanje ekstraktivov (ocetna kislina, ogljikov monoksid, mravljična kislina, ogljikov dioksid, furfural).

Z uravnavanjem parametrov je možno proizvesti manj odporen les, ki pa ima boljše mehanske lastnosti (Rep in Pohleven, 2001). Zaželeni so zmerni pogoji modifikacije, ki zagotavljajo visoke proizvodne kapacitete in izboljšane lastnosti lesa, ki so potrebne za različne izdelke (Tjeerdsma in sod., 1998).



Slika 3 Popolna termična degradacija hrastovega vzorca pri temperaturi modifikacije 240 °C.

### 2.3.3. Dimenzijska stabilnost

Z modifikacijo je lesu bistveno zmanjšana higroskopnost, ki ima velik vpliv na dimenzijsko stabilnost in odpornost lesa. Običajen les je higroskopen material, kajti hidroksilne skupine v lesnem tkivu vežejo vodo oz. tvorijo vodikove vezi z molekulami

vode iz zraka. Zato povečana relativna zračna vlažnost ali direkten stik z vodo povzroči nabrekanje celične stene, sušenje pa ravno obraten proces, kjer pride do krčenja. Takšne spremembe dimenzijske lesa so nezaželene, ker povzročajo razpoke lesnega tkiva, te pa predstavljajo idealna mesta za vdor škodljivcev in vode. Posledično prihaja do odstopanja površinskih premazov in popuščanja lepilnih spojev. Čim manjše je oddajanje in sprejemanje vode, bolj dimenzijsko stabilen je les (Gorišek, 1994).

Znano je, da ima modificiran les pri temperaturi okrog 200 °C povečano dimenzijsko stabilnost za faktor dve. S povečevanjem izgube mase se zmanjšuje krčenje in nabrekanje termično modificiranega lesa (Patzelt in sod., 2002).

Dimenzijsko stabilnost pri termični modifikaciji največkrat vrednotimo z ASE (Anti Shrinking Efficiency – protikrčitvena učinkovitost) kazalnikom dimenzijske stabilnosti. Parameter predstavlja razliko med krčenjem modificiranega in nemodificiranega (kontrolnega) vzorca lesa. Vrednost ASE je ponavadi med 40 % in 50 %, a je bilo ugotovljeno izboljšanje dimenzijske stabilnosti celo do 90 % (Rapp in Sailer 2001; Yildiz, 2002); pri čemer vrednost 100 % pomeni, da se material med dvema ravnovesnima stanjema ne krči. Kazalnik dimenzijske stabilnosti ASE ne odraža podatkov o mehanskih lastnostih lesa (Gorišek, 1994).

Ugotovljeno je, da dosežemo dobre karakteristike pri temperaturi modifikacije med 190 °C in 210 °C. Pri teh temperaturah znaša ASE od 33 % do 48 %. Pri višjih temperaturah ASE ni bila dodatno izboljšana, mehanske lastnosti pa so se močno poslabšale (Rep in sod., 2004).

ASE vrednosti so višje v tangencialni smeri, v primerjavi z radialno smerjo (Esteves in Pereira, 2009).

Formula za izračun pokazatelja ASE:

$$ASE_{R,T} = \frac{(\alpha_C - \alpha_{OHT})}{\alpha_C} \times 100 [\%] \quad \dots (1)$$

$\alpha_C$  – skrček kontrolnega (netretiranega) vzorca med dvema ravnovesnima legama

$\alpha_{OHT}$  – skrček modificiranega vzorca med dvema ravnovesnima legama

Poznamo še MEE parameter (Moisture Excluding Effectiveness), ki pa je manj v uporabi. Kaže nam sposobnost preprečevanja navlaževanja lesa. Pomemben je le pri določanju uspešnosti dimenzijske stabilizacije lesa s površinskimi premazi in nam pove koliko odstotkov več vode sprejme kontrolni vzorec od modificiranega (Gorišek, 1994).

Formula za izračun pokazatelja MEE:

$$MEE_{R,T} = \frac{(\Delta m_C - \Delta m_{OHT})}{\Delta m_C} \times 100 [\%] \quad \dots (2)$$

$\Delta m_C$  – sprememba mase kontrolnega vzorca v določenem časovnem intervalu

$\Delta m_{OHT}$  – sprememba mase modificiranega vzorca v določenem časovnem intervalu

#### 2.3.4. Odpornost proti glivam in insektom

S postopkom termične modifikacije se lesu ravnovesna vlažnost zniža do take mere, da ni dovolj visoka za razvoj gliv. Spremeni se mu tudi kemična zgradba, ki zato ne predstavlja več vira hrane. Tako se živiljenjsko okolje za glive in insekte močno spremeni, saj specifični encimi takšnih polimerov niso več sposobni presnavljati.

Klasifikacija termično modificiranega lesa temelji na standardu SIST EN 335-1 Trajnost lesa in lesnih materialov – definicija razredov izpostavitve pred biološkim napadom iz leta 1995 (preglednica 1). Termično modificiran les lahko uporabljam v največ tretjem razredu ogroženosti (pogosto vlaženje, nad tlemi), medtem ko odsvetujejo uporabo v četrtem in petem razredu ogroženosti (stalno v vodi ali v stiku s tlemi oz. v morski vodi) (Tjeerdsma in sod., 1998).

- Razred 1

Večinoma se spremeni samo barva lesa. Gre za delno modificiran les. Priporoča se enak namen uporabe kot za nemodificiran les. Uporabajo ga v pokritih prostorih nad tlemi, kjer ravnovesna vlažnost nemodificiranega lesa nikoli ne preseže 20 %.

- Razred 2

Srednje modificiran les. Uporaba nad tlemi, z možnostjo kratkotrajnega močenja. Na primer kuhinjsko pohištvo, parket, okna in vrata. Mehanske lastnosti so že nekoliko bolj

poslabšane, kot pri netretiranem lesu, vendar še popolnoma ustrezajo takšni uporabi (Tjeerdsma in sod., 1998).

### - Razred 3

Visoko modificiran les. Uporablja se za konstrukcije nad zemljo, kjer je les stalno izpostavljen vremenskim vplivom ali drugim vrstam navlaževanja (kondenz). Lesna vlažnost nemodificiranega lesa v 3. razredu ogroženosti je pogosto nad 20 %. Uporablja se v konstrukcijah, kjer je potrebna dobra dimenzijska stabilnost. Mehanske lastnosti takega lesa so slabše (Tjeerdsma in sod., 1998).

Preglednica 1 Razvrstitev termično modificiranega lesa glede na evropske razrede ogroženosti lesa (SIST EN 335 – 1, 1995).

Razred modifikacije lesa	Razred ogroženosti	Položaj izpostavitve	Vlaženje	Vsebnost vlage
1	1	znotraj, pokrit, nad tlemi	stalno suho	pod 20 %
2	2	pokrit	občasno vlaženje	občasno nad 20 %
3	3	nepokrit	pogosto vlaženje, nad tlemi	pogosto nad 20 %
	4	nepokrit, v stiku z vodo / tlemi	stalno vlaženje, na / v zemlji	stalno nad 20 %
	5	v morski vodi	stalno izpostavljanje morski vodi	stalno nad 20 %

### 2.3.5. Barva in vonj

Med procesom termične modifikacije dobijo obdelani lesovi večinoma značilno rjavo barvo. Kot skoraj vse spremembe v lesu, ki nastanejo med procesom modifikacije, je tudi barva modificiranega lesa povezana s temperaturo in trajanjem procesa modifikacije. Čim višja je temperatura in čim daljši je proces, tem temnejša je barva. Barva termično

modificiranega lesa se pod vplivom UV svetlobe vseskozi spreminja (Rapp in Sailer, 2001). Barva je odvisna tudi od lesne vrste (Raggers, 2007).

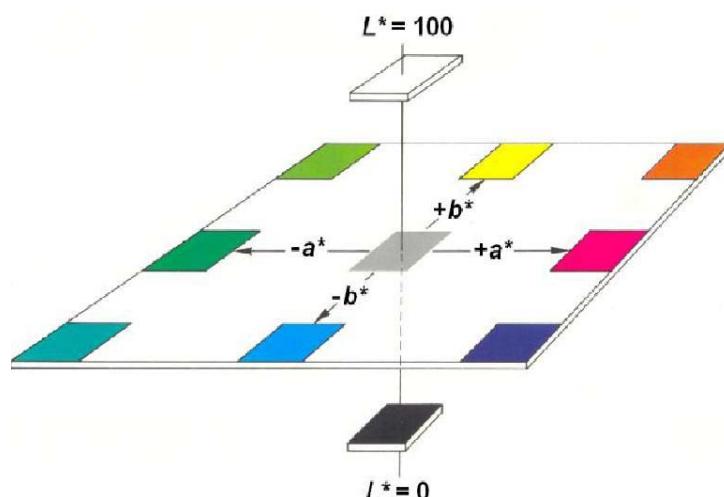
### 2.3.5.1 Določanje barve po CIE $L^*a^*b^*$ sistemu

Dojemanje barve je subjektivno, zato se pogosto zgodi, da za neko osebo modra barva predstavlja za drugo osebo mogoče zeleno barvo. Do podobnih nasprotij lahko prihaja pri definiranju olivno zelene in rjave barve. Subjektivnost je težava, kadar želimo določiti posamezne odtenke barve na eksplíciten način.

Za zaznavo barve potrebujemo vir svetlobe, remisijo objekta in spektralno občutljivost očesa. Če želimo objektivno vrednotiti barve, moramo poznati teorijo nastanka čutne zaznave barve. Samo dobro poznavanje osnov o vidni zaznavi barve omogoča pretvorbo subjektivnega vtisa v objektivno, numerično vrednotenje barve.

Leta 1931 je mednarodna organizacija CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) postavila temelje za numerično vrednotenje barve in barvnih razlik (Klajnšek, 1999).

Eden izmed sistemov za numerično vrednotenje barve je CIE  $L^*a^*b^*$  sistem (slika 4). Gre za najbolj izpopolnjen in praktično uporabljen sistem za numerično vrednotenje barve. Leta 1976 je bil definiran in najpogosteje uporabljen sistem z enakimi prostorskimi razmiki. Tridimenzionalni barvni prostor je definiran z osjo  $L^*$  in barvnima koordinatama  $a^*$  in  $b^*$  (Golob in Golob, 2001).



Slika 4 CIE  $L^*a^*b^*$  sistem (Golob in Golob, 2001).

Enačba za izračun barvnih sprememb med dvema vzorcema:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \dots (3)$$

pri kateri pomeni:

$\Delta L^*$  – svetlost barve in zavzema vrednosti od 0 (abs. črna) do 100 (abs. bela)

$a^*$  – lega barve na rdeče (+) – zeleni (-) osi

$b^*$  – lega barve na rumeno (+) – modri (-) osi

Tako po modifikaciji ima les močan vonj po dimu, ki sčasoma izgublja intenzivnost, vendar popolnoma nikoli ne izgine (Rapp in Sailer, 2001; Syrjänen in Oy, 2001). Močan vonj v nekaterih primerih omejuje uporabo termično modificiranega lesa v zaprtih prostorih. Vonj po karameli pa je najverjetneje posledica izhlapevanje furfurala (Raggers, 2007).

### 2.3.6. Površinska obdelava

Pri površinski obdelavi z vročim oljem termično modificiranega lesa z akrilnimi premazi na vodni osnovi, kot tudi z alkidnimi premazi na osnovi organskega topila, so po dveh letih staranja potrdili dobro odpornost premazov na vremenske vplive (Rapp in Sailer, 2001). Po nekajletnem izpostavljanju naravnega in termično modificiranega lesa vremenskim dejavnikom se je pokazalo, da je premaz na termično modificiranem lesu veliko bolj obstojen in odporen na vremenske vplive, kot naravni les. To je najverjetneje posledica povečane dimenzijske stabilnosti ter manjšega pokanja in zvijanja termično modificiranega lesa (Militz, 2002).

### 2.3.7. Okoljski vidik termične modifikacije lesa

Pomemben je tudi okoljski vidik termične modifikacije. Les postane odpornejši, kar je z okoljskega vidika seveda dobro, vendar se pri procesu porablja energija; nastajajo odpadne vode in plini.

Okoljsko škodljive pline navadno enostavno skurimo v posebnih gorilnikih. Odpadne vode, ki nastanejo pri procesu, so kisle ( $\text{pH} = 3 - 4$ ) zaradi kislín (ocetna kislina), ki

nastanejo med procesom in se izločajo iz lesa. Poleg tega vsebujejo tudi smole in trdne snovi, ki so se med modifikacijo izločile iz lesa. Trdni delci se izločajo v posebnih čistilnih bazenih, preostanek pa se čisti kot ostale komunalne odplake. Poraba energije je do 25 % večja, kot je povprečna poraba energije pri klasičnem sušenju lesa.

Vprašanje je, koliko je postopek prijazen do okolja, če pridobivamo energijo s fosilnimi gorivi oz. odvisno kako pridobivamo električno energijo? Dobra alternativa je, če jo pridobimo s kurjenjem lesnih odpadkov. Ideja je tudi, da imamo obrat za modifikacijo lesa vključen v neko večjo industrijsko dejavnost (multifunkcionalnost). Vendar je modificirani les še vedno boljši kot fosilni material (aluminij, baker, železo, jeklo), pridobljen z ogromno energije. Prav tako se tudi v modificiranem lesu ohranja CO<sub>2</sub>.

### 3 MATERIALI IN METODE

#### 3.1. MATERIALI

##### 3.1.1. Priprava velikih vzorcev (kuhinjskih ličnic)

Poizkus smo izvedli na dveh lesnih vrstah, in sicer na hrastu (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) ter robiniji (*Robinia pseudoacacia* L.). Za izdelavo vzorcev nam je les priskrbelo podjetje Svea Zagorje d.d., same vzorce pa smo izdelali v laboratorijski delavnici Oddelka za lesarstvo. Najprej smo jih poskobljali po debelini in širini ter jih nato odžagali še na končno dolžino, da smo dobili vzorce končnih dimenzij: 420 mm × 75 mm × 22 mm. Potrebovali smo 48 deščic (vzorcev) iz lesa robinije in 48 deščic (vzorcev) iz hrastovine. Povprečna ravnovesna vlažnost obeh drevesnih vrst je bila  $u_r = 7 - 8 \%$ .

##### 3.1.2. Priprava malih vzorcev (test ASE)

Hkrati smo izdelali še male vzorce za testiranje dimenzijske stabilnosti po metodi ASE. Ti so bili dimenzij 20 mm × 20 mm × 20 mm. Zaradi kasnejših meritev v tangencialni in radialni smeri je bila za te vzorce pomembna usmerjenost rasti. Za vsak temperaturni razred smo izdelali po 20 malih vzorcev (150 °C, 175 °C, 200 °C, 225 °C), kar pomeni s kontrolnimi vred skupaj 100 malih vzorcev za vsako lesno vrsto (slika 5).



Slika 5 Robinijski vzorci pripravljeni za testiranje dimenzijske stabilnosti.

Pripravljeni vzorce smo pred modificiranjem posušili do absolutno suhega stanja v sušilni

komori pri  $T = (103 \pm 2) ^\circ\text{C}$  (slika 6). Med sušenjem smo po potrebi nekajkrat odprli vrata komore, da smo se znebili odvečne vlage, ki je izhajala iz lesa. Vzorce smo tudi stehtali, da smo s tem določili začetno vlažnost lesa in uporabili podatke za kasnejšo določitev izgube mase. Velike vzorce smo zavili v folijo, male vzorce pa shranili v eksikator, da smo s tem preprečili ponovno navlaževanje.



Slika 6 Laboratorijski sušilnik podjetja Kambič.

### 3.2. METODE

#### 3.2.1. Priprava na modifikacijo

Vzorce lesa robinije in hrasta smo vstavili v impregnacijsko komoro (Kambič), ki med drugim služi tudi za modifikacijo lesa (slika 7). Med vzorce so bile vstavljenе tanke distančne letve, ki so omogočale enakomeren dostop toplote z vseh strani in hkrati izhajanje hlapnih snovi iz lesa. Poleg teh vzorcev smo vstavili še manjši kos lesa, ki je vseboval temperaturno sondo ( $T_m - T_{vzorcev}$ ), s katero smo spremljali potek modifikacije. Za vsako serijo procesa smo potrebovali nov kontrolni vzorec. Nato smo okrog vzorcev namestili še aluminijsko folijo, ki je preprečevala, da bi kondenz tekel po vzorcih. Pred zaprtjem komore smo med vzorce in vrata namestili lesen pokrov, ki je preprečeval ohlajevanje komore pri vratih (steklo).

### 3.2.2. Postopek modifikacije

Postopek termične modifikacije je potekal v treh fazah:

- dvigovanje temperature (segrevanje)
- proces modifikacije lesa pri končni konstantni temperaturi
- ohlajevanje lesa

Modifikacijo smo pričeli z vakuumiranjem in počasnim segrevanjem. Nato smo nastavili želene pogoje v komori ( $T_{komore}$ ,  $T_m$  in tlak<sub>komore</sub>). Vakuumirali smo približno 15 min, nato pa smo črpalko ustavili in temperaturo komore regulirali samo še s pomočjo sonde  $T_{komore}$ , ki pa je zaradi podtlaka približno – 0,95 bara, morala biti nižja od  $T_{vzorcev}$ . Podtlak s časom pada zaradi plinov, ki se sproščajo iz lesa (ogljikov monoksid, metanol, ocetna kislina, fenoli, furfurali, lesni ekstrakti). Ko smo dosegli nastavljenou temperaturo, smo nadaljne 3 ure ohranjali konstantne pogoje. Po preteklu tega časa smo uravnali sondu  $T_{komore}$  pod sobno temperaturo (~10 °C) in še enkrat vakuumirali (~15 min), da smo odstranili hlapne snovi ("kondenz") iz komore. Ko smo odstranili hlapne snovi, smo črpalko ugasnili in pustili vzorce v komori do naslednjega dne, da so se postopoma ohladili. Nato smo v komoro preko ventila spustili zrak in odprli loputo komore. Vzorce smo po postopku modifikacije zopet en dan sušili v komori ( $T = (103 \pm 2) °C$ ), za tem pa smo jih stehtali in te podatke primerjali s podatki mas, ki smo jih dobili pred modificiranjem. Tako smo lahko določili izgubo mase lesa, ki je nastala zaradi modifikacije.

Tehnični podatki komore:

Dimenzijs:

- Premer	210 mm
- Globina	600 mm
- Prostornina	0,021 m <sup>3</sup>

Priključna moč:

Grelci:

Temperaturno območje:

Tlak:

Vakuumska črpalka:

Kontrolna in merilna oprema:

- Temperaturni regulator DIGITERM

- Temperaturna sonda Pt100
- Elektronski senzor tlaka ECOTRONIC –1 do +15 bar



Slika 7 Komora podjetja Kambič, ki smo jo uporabili za termično modificiranje lesa.

### **3.2.3. Določanje izgube mase termično modificiranih vzorcev**

Po končanem postopku termične modifikacije smo vzorce ponovno stehtali ter izračunali izgubo mase po naslednji formuli:

$$im = \frac{(m_0 - m_1)}{m_0} \times 100 [\%] \quad \dots (4)$$

$m_0$  – masa vzorca v absolutno suhem stanju pred modifikacijo (g)

$m_1$  – masa vzorca v absolutno suhem stanju po modifikaciji (g)

### **3.2.4. Izdelava kuhinjskih ličnic**

Ko smo izdelali zadostno število modificiranih desk, smo jih razporedili po pravilu enakih izgubljenih lesnih mas. Skupaj smo zložili po štiri deske in jih oštevilčili (robinija – A1, A2, A3...; hrast – H1, H2, H3...). Nato smo jih poslali v podjetje Svea Litija, da so iz njih izdelali model kuhinjske ličnice z zunanjimi dimezijami 400 mm × 400 mm. Ličnica je bila sestavljena iz štirih enakih modificiranih desk, v sredini pa je bilo polnilo (pleksi steklo),

pritrjeno z enokomponentnim poliuretanskim lepilom Icema (proizvajalec Rakoll). V podjetju so izdelali 12 ličnic iz robinijevega lesa in 12 ličnic iz hrastovega lesa, od tega so jih po šest od vsake drevesne vrste premazali z lanenim oljem (oznake A03, A04, A2, A3, A5, A7 in H03, H04, H2, H3, H5, H7). Olje se imenuje Bio Impregnol Prosa IV, proizvajalca Color Medvode, uporablja pa se za notranje pohištvo iz masivnega lesa.

### **3.2.5. Klimatizacija preizkušancev (kuhinjskih ličnic)**

Ko smo iz podjetja Svea Litija prejeli izdelane ličnice, smo jih klimatizirali v laboratoriju Katedre za tehnologijo lesa. Postavili smo jih v sušilno komoro s konstantno klímo, ki smo jo vzdrževali s pomočjo magnezijevega klorida. V velike plastične posode smo namestili stojalo, v katerega so bile z enakim razmakom postavljene ličnice (slika 8). V eno posodo so bile postavljene vse oljene ličnice ( $6 \times$  robinija in  $6 \times$  hrast), v drugo vse ličnice brez površinskega premaza ( $6 \times$  robinija in  $6 \times$  hrast). Pod stojalom je bil ventilator, ki je mešal zrak in s tem omogočal enakomerno klímo po celotnem volumnu posode. Na vrhu pa je bilo položeno steklo. Pogoji so bili sledeči: temperatura  $T = 37^{\circ}\text{C}$  in relativna zračna vlaga  $\varphi = 33\%$ . Trajanje klimatizacije je bil 18 dni. Vsak drugi dan smo gravimetrično preverili sušenje ličnic, z namenom, da smo ugotovili, kdaj so dosegle ravnovesno vlago.

### **3.2.6. Navlaževanje preizkušancev (kuhinjskih ličnic)**

Po končani klimatizaciji smo modificirane kuhinjske ličnice še vedno pustili v sušilni komori, vendar smo spremenili pogoje kondicioniranja (slika 8). Temperatura je ostala skoraj enaka ( $T = 37^{\circ}\text{C}$ ), relativno zračno vlago pa smo dvignili na  $\varphi = 88\%$ . To smo dosegli tako, da smo magnezijev klorid zamenjali z destilirano vodo. Ker je les nase vezal veliko vlage, je bilo potrebno večkrat dotočiti vodo.

S takimi pogoji smo hoteli vzpostaviti pogoje, ki so primerljivi tistim, katerim je izpostavljeno kuhinjsko pohištvo, še posebej okrog pečice in pomivalnega korita. V začetni fazì procesa smo zbirali podatke dvakrat na dan (zjutraj in zvečer), kasneje pa, ko se je proces navlaževanja upočasnil, smo meritve opravili vsakih nekaj dni (enkrat tedensko). Celoten postopek opazovanja je potekal 38 dni oziroma z drugimi besedami, imeli smo 15 meritvenih dni.



Slika 8 Sušilnica lesa na Oddelku za lesarstvo.

### 3.2.7. Meritve mase in diagonale kuhinjskih ličnic

V raziskavi o možnosti uporabe modificiranega lesa za kuhinjsko pohištvo brez deformacij smo opazovali maso preizkušancev, obe diagonali ličnic in odklon od ravne površine (zvijanje ličnice). Mase smo merili na desetinko grama natačno s standardizirano tehniko. Masa preizkušanca je vsebovala tudi maso plastičnega polnila, vendar se le-ta ni navlaževal.

Za merjenje diagonale smo uporabili kljunasto merilo z natančnostjo 0,05 mm (podjetja Bureau Veritas) (slika 9). Pri meritvah odklona pa smo uporabljali ravno površino (kamnita plošča) in merilec Kinex (firme Umag, CZ), ki je meril z natančnostjo 0,01 mm (slika 10). Pri teh meritvah pa ne moremo popolnoma zanemariti vloge polnila, ki je nekoliko zaviralo delovanje lesa. Spoj med preizkušancem in polnilom kljub deformacijam lesa ni popustil.



Slika 9 Merjenje diagonale ličnice.

Na lesenih elementih smo izvedli meritve obeh diagonal in jih označili s številkami 1 – 4 in 2 – 3. Pri vseh opravljenih meritvah je bilo velikega pomena dejstvo, da smo jih morali izvesti vedno na istem mestu, sicer ne bi mogli primerjati rezultatov med seboj. Pazljivost pri ostrih in občutljivih robovih pa je bila tudi pomembna, kajti če se je okrušil vogal, smo takoj dobili nepravilen podatek (manjša dimenzija diagonale).



Slika 10 Merjenje odklona od ravnine.

Pri tem dolgotrajanem merjenju in opazovanju je bilo zaslediti velik razkorak med krčenjem modificiranega in nemodificiranega lesa v spoju ličnice (vzdolžna – prečna deska). Takoj se pokaže pravilo, da se les drugače krči v različnih smereh (A:R:T = 1:10:20). Z modifikacijo lesa smo ta razmerja občutno zmanjšali oz. spremenili.

### 3.2.8. Določanje dimezijske stabilnosti

To pomembno lastnost smo ugotavljali na malih vzorcih obeh drevesnih vrst, modificiranih pri temperaturah 150 °C, 175 °C, 200 °C in 225 °C. Za kontrolo smo uporabljali netretirane vzorce. Pri vsaki drevesni vrsti smo imeli po 100 vzorcev (slika 5).

Vzorce smo zložili v stekleno čašo in jih po plasteh ločili s plastično mrežo, da je imela voda dostop z vseh strani. Na vrh smo položili utež in jih zalili z destilirano vodo. Nato smo jih v vakuumsko – tlačni komori vakuumirali eno uro, da smo iz njih izsesali zrak, nato pa smo jih pod pritiskom popolnoma prepojili z vodo. Ko se je postopek po 4 urah zaključil, smo popivnali odvečno vodo in vzorce takoj stehtali ter izmerili na 0,01 mm dimenzijski natančno, v radialni in tangencialni smeri. S tem smo dobili dimenzijske mokre vzorcev.

Po merjenju smo pustili vzorce tri dni pri normalnih sobnih pogojih, da so se počasi sušili in umirili. Naslednji korak je bil sušenje do absolutno suhega stanja. Sušenje pri temperaturi (103±2) °C smo izvedli postopoma, da ni prišlo do prevelikih razpok v vzorcih (deformacija). Potem smo jih v eksikatorju ohladili na sobno temperaturo. Ohlajene pa smo zopet stehtali na 0,0001 grama in izmerili obe dimenzijski. Iz teh podatkov smo izračunali skrčke v radialni in tangencialni smeri, po spodnji formuli ( $\beta_{R,T}$ ). Tako smo dobili podatke za absolutno suhe vzorce, s katerimi smo določili vrednosti ASE ali protikrčitveno učinkovitost.

$$\beta_{R,T} = \left( \frac{l_{VL} - l_0}{l_0} \right) \times 100 [\%] \quad \dots (5)$$

$l_{VL}$  – dolžina vzorca v začetnem absolutno napojenem stanju (mm)

$l_0$  – dolžina vzorca v končnem absolutno suhem stanju (mm)

### 3.2.9. Določanje barve in barvnih sprememb

Barvo kuhinjskih ličnic smo izmerili pred izpostavitvijo le-teh vlažnemu procesu ter po njej. Na vsaki ličnici smo izvedli meritev vedno na enakem mestu, pri čemer nam je pomagala šablona. Le na ta način smo lahko kasneje podatke primerjali med seboj. Barvo smo določili s spektrofotometrom SP62, proizvajalca X-Rite OPTRONIK. Pred začetkom merjenja smo ga kalibrirali na beli in črni standardni podlagi (slika 11). Instrument ima integrirano (spektrofotometrično) kroglo z usmerjeno osvetlitvijo. Potrebno je upoštevati še, da smo imeli vključeno usmerjeno odbito komponento (SPIN, specular – included). Barvo smo numerično ovrednotili po CIELAB – sistemu (slika 4) in jo ocenili po lestvici barvnih sprememb (preglednica 2).



Slika 11 Spektrofotometer X-Rite SP 62.

Preglednica 2 Ocena barvnih sprememb (Sandermann in Schlumbom, 1962)

Razlika $\Delta E$	Ocena spremembe barve
od 0 do 2,3	zaznana nobena sprememba
od 2,3 do 4,2	komaj zaznana sprememba
od 4,2 do 10	razločna sprememba
od 10 naprej	zelo razločna sprememba

## 4 REZULTATI

### 4.1. IZGUBA MASE TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA

#### 4.1.1. Mali vzorci

Izgubo mase lesa smo določili za vsako temperaturo modifikacije in drevesno vrsto na 20 malih vzorcih. Iz dobljenih podatkov smo izračunali povprečno vrednost izgube mase izraženo v odstotkih. Kontrolni vzorci so izgubili zelo malo mase. Znašala je samo 0,07 % pri hrastovih vzorcih in 0,03 % pri robinijevih. Izgubo mase kontrolnih nemodificiranih vzorcev pripisujemo dejству, da smo jih dvakrat sušili do absolutno suhega stanja pri temperaturi  $T = (103 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Pri temperaturi  $T = 150 ^\circ\text{C}$  je že zaznati majhno povečanje izgube mase, pri hrastu smo jo izmerili 1,54 % in pri robiniji 0,12 %. Do občutnejših izgub smo prišli pri temperaturi  $T = 225 ^\circ\text{C}$ . Pri vzorcih iz hrastovega lesa je bila povprečna izguba mase 9,27 % in pri robinijevih vzorcih 10,50 %, kar kaže, da se z naraščajočo temperaturo povečuje tudi izguba mase lesa, tako pri robiniji kot hrastu (preglednica 3).

Preglednica 3 Izguba mase pri malih vzorcih ( $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ )

VZOREC	Povprečna izguba mase (%)	VZOREC	Povprečna izguba mase (%)
<b>Hrast</b>		<b>Robinija</b>	
kontrolni	0,07	kontrolni	0,03
150 °C	1,54	150 °C	0,12
175 °C	1,12	175 °C	0,62
200 °C	3,83	200 °C	4,18
225 °C	9,27	225 °C	10,50

Razlika med drevesnimi vrstami ni tako očitna. Potrebno pa je omeniti da smo pri tem preizkusu za modifikacijo uporabili relativno majhne vzorce ( $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ ).

#### 4.1.2. Veliki preizkušanci – kuhinjske ličnice

Najnižja izguba mase pri preizkušancu iz hrastovega lesa je znašala 2,3 % (H1), pri preizkušancu iz robinijevega lesa (A1) pa 1,3 %. Pri hrastovem preizkušancu H4 je bila izguba mase 6,3 % in robinijevem A4 je bila 4,6 %. Pri najvišji temperaturi modifikacije smo opazili dokaj veliko razliko med drevesnima vrstama. Pri preizkušancu H8 je bila

izguba mase 19,9 % in pri preizkušancu A8 10,3 % (preglednica 4). Tam, kjer ni podatka, pomeni, da so preizkušanci nemodificirani oziroma da niso bili izpostavljeni procesu, pri katerem bi izgubili maso (A01-A04, H01-H04). Nato sledijo preizkušanci pri hrastu od H1 do H8 in pri robiniji od A1 do A8 s postopnim večanjem izgube mase.

Preglednica 4 Izguba mase modificiranih preizkušancev (ličnic) hrasta in robinije

<b>Hrast</b>	<b>Izguba mase (%)</b>	<b>Robinija</b>	<b>Izguba mase (%)</b>
H01	/	A01	/
H02	/	A02	/
H03	/	A03	/
H04	/	A04	/
H1	2,3	A1	1,3
H2	3,9	A2	2,7
H3	5,4	A3	3,4
H4	6,3	A4	4,6
H5	9,7	A5	5,1
H6	15,1	A6	8,6
H7	17,5	A7	9,4
H8	19,9	A8	10,3

#### 4.2. DIMENZIJSKA STABILNOST

To pomembno lastnost lesa smo ugotavljali po metodi kazalnika Anti Shrinking Efficiency – ASE (protikrčitvena učinkovitost). Opazovali smo jo v radialni in tangencialni smeri. Pri nižji temperaturi modifikacije skoraj ni zaslediti sprememb glede na kontrolne vzorce. Dosegli smo samo izboljšanje dimenzijske stabilnosti med 0,62 % in 1,58 %. Pri hrastovih vzorcih smo dosegli izboljšano stabilnost pri temperaturi modifikacije  $T = 225^\circ\text{C}$  in to med 36 % in 37 % faktorja ASE (preglednica 5).

Preglednica 5 Vrednosti ASE pri hrastovini ( $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ )

<b>Vzorec</b>	<b>HRAST</b>	
	<b>ASE<sub>R</sub> (%)</b>	<b>ASE<sub>T</sub> (%)</b>
kontrolni	/	/
150 °C	1,58	0,62
175 °C	2,63	2,37
200 °C	9,48	12,22
225 °C	36,14	36,68

Pri najnižji temperaturi modifikacije robinijevega lesa ( $T = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) smo dobili podobne rezultate kot pri hrastovem lesu in sicer 1,85 %. Do razlike v kazalniku ASE je prišlo pri temperaturi  $T = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Najvišjo vrednost smo zabeležili pri vzorcih, izdelanih iz robinijevega lesa pri najvišji temperaturi modifikacije v tangencialni smeri, in sicer skoraj 48 %. Vrednosti so vedno večje v tangencialni smeri kot v radialni smeri (orientiranost vzorca lesa) (preglednica 6).

Preglednica 6 Vrednosti ASE pri robiniji ( $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ )

<b>Vzorec</b>	<b>ROBINIJA</b>	
	<b>ASE<sub>R</sub> (%)</b>	<b>ASE<sub>T</sub> (%)</b>
kontrolni	/	/
150 °C	1,85	4,91
175 °C	4,63	9,27
200 °C	24,80	27,90
225 °C	42,56	47,84

#### 4.3. NAVZEM VODE

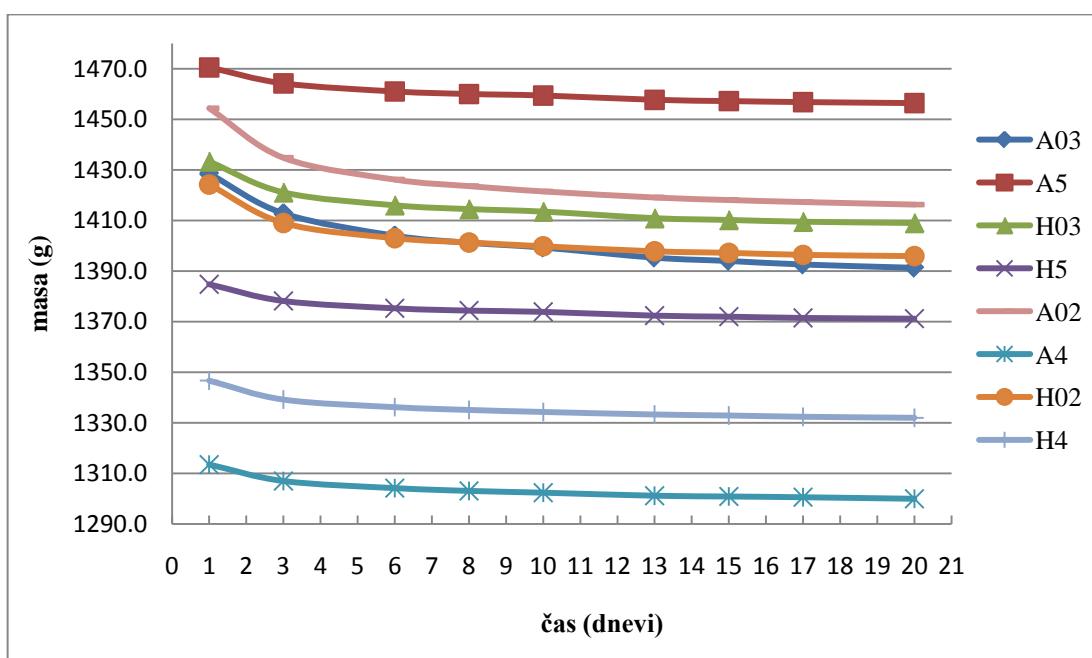
Na podoben način smo določili še navzem vode modificiranega lesa. Preizkus in metode seveda niso standardizirane. Uporabili smo iste vzorce lesa kot za določitev ASE in formulo, ki se uporablja za izračun faktorja ASE. Pri temepraturi  $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$  je znašala vrednost za hrast 1,30 % in robinijo 1,08 %. Pri temperaturi modifikacije  $T = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  pa je bila vrednost pri hrastu 6,79 % in pri robiniji že 16,20 %. Tudi pri navzemu vode smo dobili največjo vrednost pri robinijevem vzorcu pri  $T = 225 \text{ }^{\circ}\text{C}$  in sicer 23,26 % (preglednica 7).

Preglednica 7 Navzem vode pri hrastu in robiniji po prilagojeni metodi ASE

	<b>NAVZEM VODE</b>	
<b>Vzorec</b>	<b>Hrast (%)</b>	<b>Robinija (%)</b>
kontrolni	/	/
150 °C	1,30	1,08
175 °C	2,92	5,14
200 °C	6,79	16,20
225 °C	8,25	23,26

#### 4.4. KLIMATIZACIJA PREIZKUŠANCEV

Pri preizkušancih (kuhinjskih ličnicah) smo želeli izenačiti vlažnost po celotnem preseku. To je bilo potrebno, ker so preizkušanci večkrat spremenili svojo lokacijo v laboratoriju in bili prepeljani iz Zagorja, Litije in zopet nazaj v Ljubljano. Opazovali smo samo nekaj izbranih ličnic, tako da smo spremeljali potek sušenja na enako ravnovesno vlažnost in hitrost izgubljanja mase v gramih na dan. Opaziti je lahko razliko v navlaževanju med nemodificiranim preizkušancem (A02) in modificiranim preizkušancem (A4). Primerjali smo mase istega vzorca. Pri A02 je masa z začetnih 1454 g padla na končnih 1416 g. Pri A4 pa je bila začetna masa 1313 g in končna 1300 g. V prvih dneh opazovanja zasledimo hitrejši padec mase, sčasoma pa ta hitrost pojenuje. Povprečna hitrost izenačevanja (sušenja) pri nemodificiranih preizkušancih robinije (A02, A03) je znašala 2,0 g/dan. Pri hrastovih nemodificirnih preizkušancih je znašala (H02, H03) med 1,3 g/dan in 1,5 g/dan. Povprečna hitrost pri modificiranih preizkušancih pa se je gibala med 0,7 g/dan in 0,8 g/dan, tako pri oljenih kot pri neoljenih preizkušancih (A4, A5 in H4, H5) (slika 12).



Slika 12 Klimatizacija pri konstantnih pogojih ( $T = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$  in  $\varphi = 33\%$ , raztopina  $MgCl$ ).

#### 4.5. NAVLAŽEVANJE PREIZKUŠANCEV

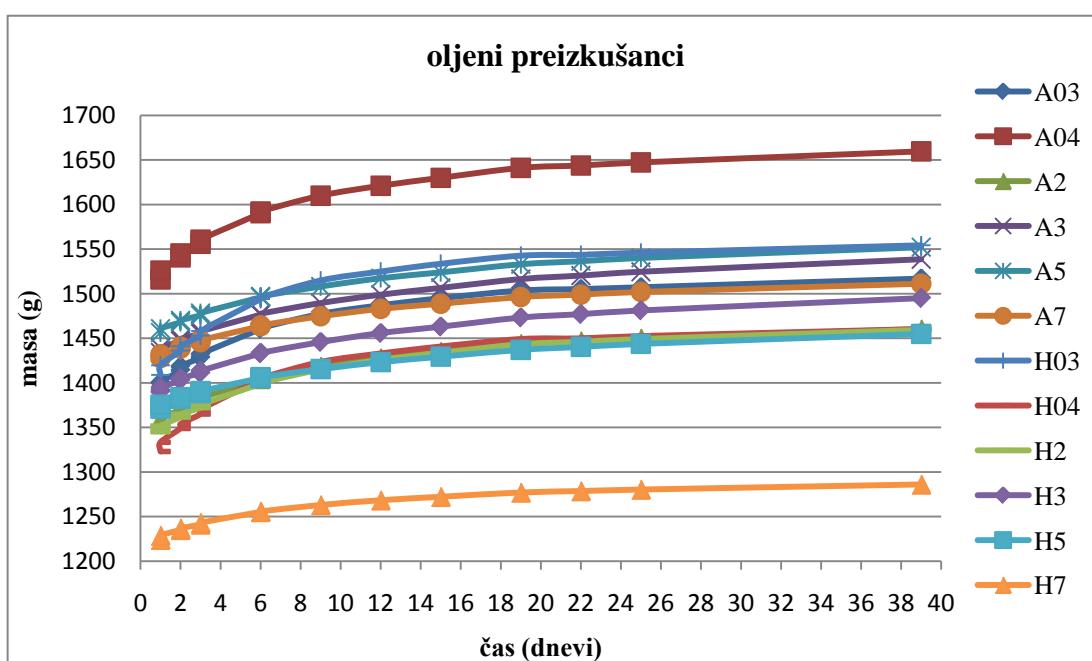
##### 4.5.1. Sprememba mase preizkušancev

Pri procesu navlaževanja, s katerim smo poskusili simulirati pogoje v kuhinji, še posebej področje okrog pečice in pomivalnega korita, smo dobili dokaj pričakovane rezultate.

Vsi preizkušanci so stremeli k navlaževanju in povečanju mase, vendar obstajajo razlike med kontrolnimi in modificiranimi. Pri kontrolnih netretiranih preizkušancih (A01, A02, A03, A04 in H01, H02, H03, H04) je opaziti občutno hitrejše spreminjanje opazovanih parametrov.

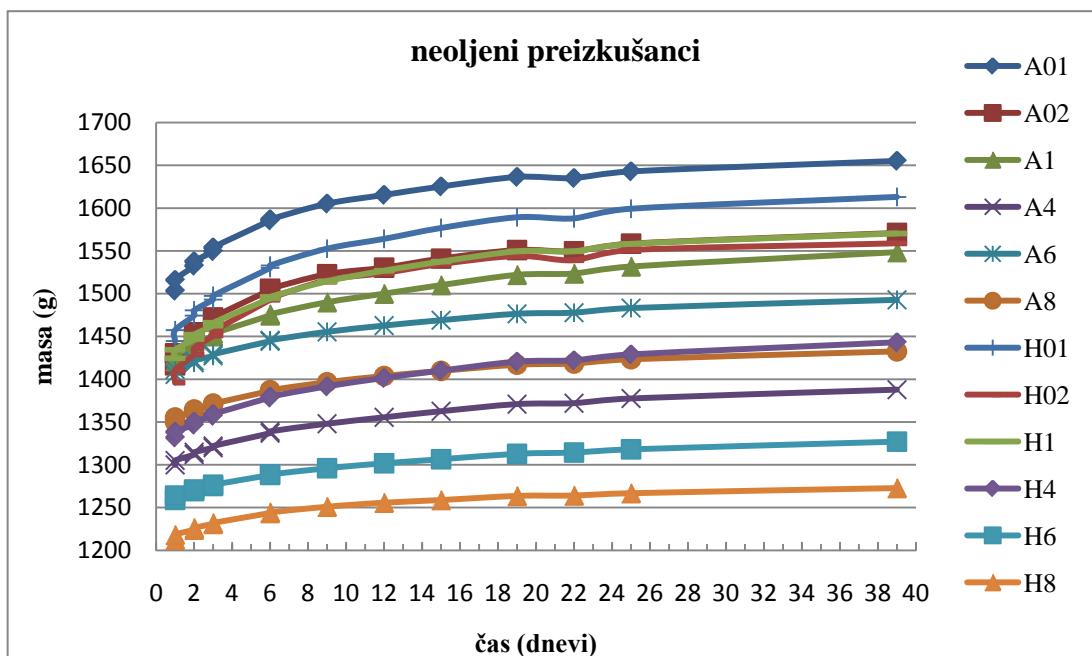
V prvih dneh opazovanja smo naredili tudi po dve meritvi na dan, da smo še bolj točno zaznali spremembe na preizkušancih. Sicer pa je celoten proces potekal pet tednov. Pri preizkušancih (A7, H7), ki so bili modificirani pri visoki temperaturi ( $T = 225 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), smo ugotovili manjše pridobivanje mase in hitrejšo prilagoditev na nove razmere stanja (slika 13). To potrjuje že znano tezo, da s povečanjem izgube mase pridobivamo na dimenzijski stabilnosti lesa.

Vsaka črta na grafu na sliki 13 predstavlja po en preizkušanec (ličnico), ki smo ga opazovali v danem časovnem obdobju. Za nazoren primer razlikovanja lahko vzamemo počasno krivuljo preizkušanca (H7) in hiter vzpon krivulje (A04). Pri prvem preizkušancu se masa spremeni s 1224 g na začetku opazovanja na 1286 g na koncu opazovanja, razlika je 62 g. Pri drugem omenjenem preizkušancu je to povečanje občutno večje, z začetnih 1516 g na končnih 1660 g, razlika pa je 144 g (slika 13).



Slika 13 Potek navlaževanja oljnih preizkušancev ( $T = 37^\circ\text{C}$  in  $\varphi = 88\%$ , destilirana voda). Čas izpostavitev: 5 tednov.

Pri preizkušancu (H8) je razlika mase od začetka do konca opazovanja znašala 61 g, za primerjavo s kontrolnim preizkušancem (H01), ki je izkazoval razliko v masi kar 168 g (slika 14). Med preizkušanci, ki so bili premazani z lanenim oljem in nenaoljenimi preizkušanci razlike skoraj ni zaznati. Opaziti je bilo samo malenkostno odstopanje.



Slika 14 Potek navlaževanja neoljenih preizkušancev ( $T = 37^\circ\text{C}$  in  $\varphi = 88\%$ , destilirana voda). Čas izpostavitve: 5 tednov.

Na spoju lahko dejansko vidimo razliko v stabilnosti lesa. Leva fotografija na slika 15 prikazuje spoj ličnice, izdelane iz nemodificiranega lesa robinije (A02), na desni pa vidimo ličnico iz modificiranega lesa (A6). Obe sta brez naoljene površine. Pravilna orientiranost desk ni bila popolnoma dosežena, definiramo jo lahko kot vmesno med radialno in tangencialno. Vseeno se na levi sliki dobro vidi nabrek pri spoju, ki je znašal 3,0 mm (A02), pri ličnici (A6) pa je imel vrednost samo 1,5 mm (slika 15).



Slika 15 Razlika v nabrekanju na spoju med nemodificiranim (A02) in modificiranim (A6) preizkušancem pri robiniji.

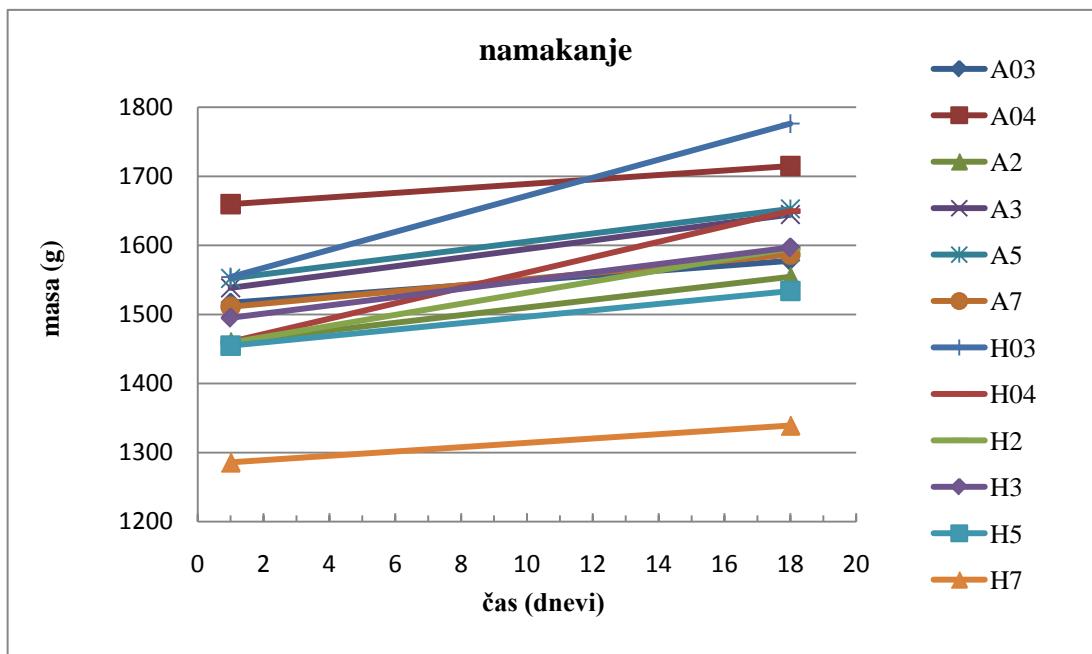
Podobne ugotovitve glede spoja lahko potrdimo pri hrastovem preizkušancu s površinami, obdelanimi z lanenim oljem. Zopet smo opazili veliko razliko v skrču med netretiranim (H03) in tretiranim preizkušancem (H5). Vsa opazovanja kažejo na pozitivne rezultate termične modifikacije lesa v vakuumu. Pri kontrolni ličnici (H03) je znašal nabrek 3,5 mm in pri modificirani ličnici (H5) 1,0 mm (slika 16).



Slika 16 Razlika v nabrekanju na spoju med nemodificiranim (H03) in modificiranim (H5) preizkušancem pri hrastu.

#### 4.5.2. Sprememba mase preizkušancev zaradi namakanja

Po končanem procesu navlaževanja v komori in izvedenih meritvah, smo za 14 dni preizkušance (ličnice) potopili še v navadno vodo. Želeli smo ugotovili, za koliko se še dodatno poveča masa vzorcev, kjub temu da so bili že prej dalj časa izpostavljeni visoki vlagi. Trend vseh preizkušancev je v povečanju mase, vendar je ta manjši pri najvišji stopnji modifikacije. Opazili smo, da kontrolni preizkušanec (H03), čeprav je bil predhodno v navlaževalni komori, še vedno sprejema vase velike količine vode. Za oceno razlike smo ga primerjali s preizkušancem (H7) z visoko stopnjo modifikacije, ki pa se mu je komaj opazno povečala izmerjena masa. Pri prvem omenjenem je sprememba mase v časovnem obdobju znašala 222,1 g, pri drugem pa samo 53,2 g (slika 17).

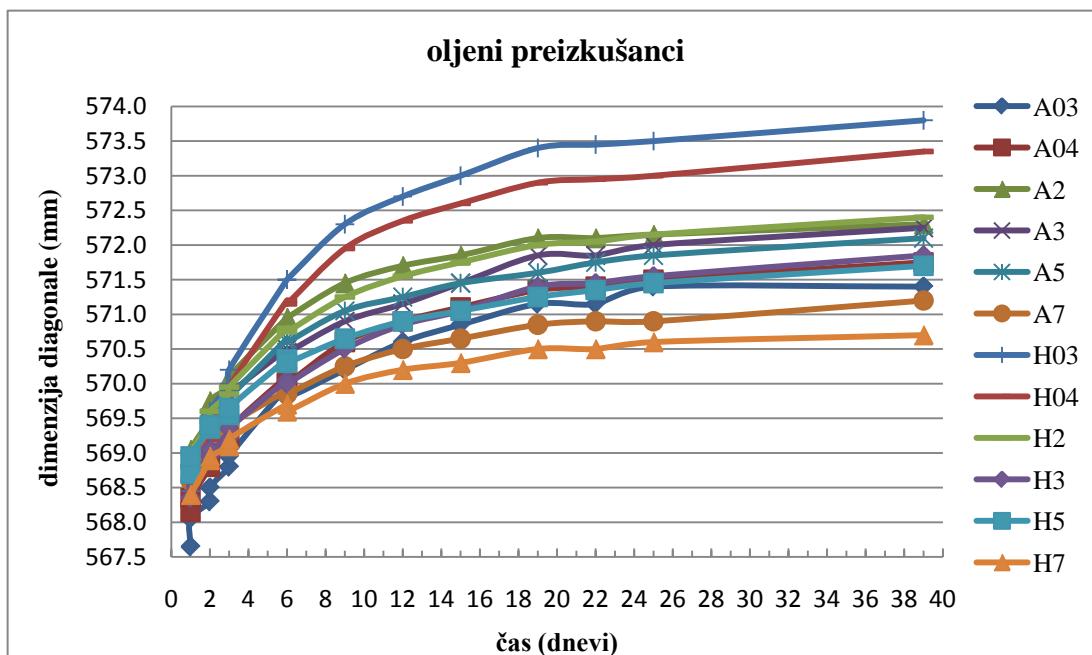


Slika 17 Vpliv namakanja preizkušancev hrasta in robinije v vodi na njihovo maso.

#### 4.5.3. Ugotavljanje deformacij preizkušancev

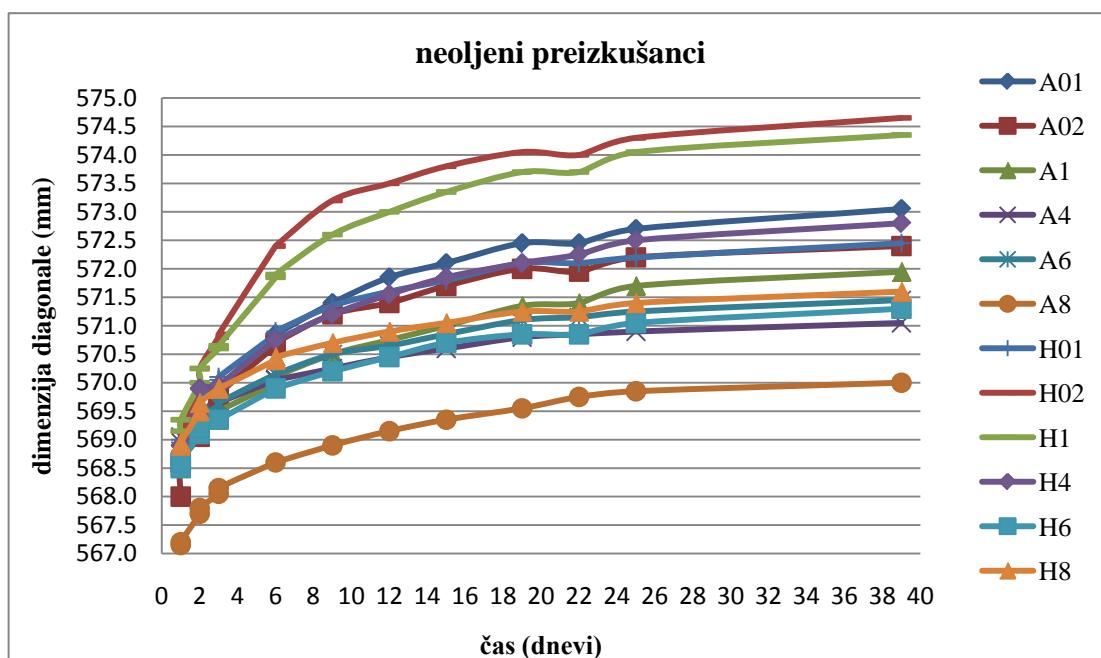
Diagonala kontrolnega preizkušanca (H03) je na začetku opazovanja znašala 568,5 mm, na koncu pa se je povečala na 574,0 mm. Preizkušanec, ki je bil močno termično modificiran (H7), je imel začetno vrednost diagonale 568,5 mm, končno pa 570,5 mm. Iz tega smo

izračunali največjo in najmanjšo spremembe diagonale, ki pri preizkušancu (H03) znese 5,5 mm, pri preizkušancu (H7) pa samo 2,0 mm (slika 18).



Slika 18 Sprememba dimenziij (deformacija) pri oljenih preizkušancih (smer 1 – 4).

Posledica navlaževanja je povzročila spremembo dolžine diagonale preizkušancev. Pri preizkušancu iz modificiranega lesa (A8) vidimo počasno krivuljo navlaževanja in tudi absolutna vrednost spremembe diagonale je precej manjša kot pri kontrolnih vzorcih, na primer pri preizkušancu (H02). Ta preizkušanec ima na začetku zelo strmo krivuljo povečanja diagonale, sčasoma pa naklon počasi pada. Največja sprememba diagonale je imela vrednost 5,8 mm (A4) in najmanjša 2,0 mm (H02). Bolj ko gremo proti koncu opazovanja oziroma se približujemo novi ravovesni legi, bolj se hitrost povečanja diagonale zmanjšuje (slika 19).



Slika 19 Sprememba dimenij (deformacija) pri neoljenih preizkušancih (smer 2 – 3).

#### 4.5.4. Sprememba odklona preizkušancev

Pri spremeljanju odklona preizkušancev od ravne površine je pomembno omeniti, da smo vedno upoštevali največji izmerjen odklon, ne glede na to, po kateri diagonali preizkušanca je potekal. Velikokrat se je, zaradi navlaževanja in narave lesa samega, smer zvijanja preizkušanca spremenila.

Pri kontrolnih nemodificiranih preizkušancih je odklon znašal od 2,55 mm do 10,75 mm. Tudi nekateri srednje modificirani preizkušanci so se v procesu navlaževanja močno odmagnili od ravnine. Preizkušanci, modificirani pri visokih temperaturah, so se bolj izkazali, saj je odklon znašal le od 0,51 mm do 3,06 mm, kar je ogromna razlika glede na kontrolne preizkušance.

Zadnje dni opazovanja, ko je bil odklon vedno večji, se je pogosto zgodilo, da je preizkušanec nasedel na izbočeno pleksi steklo (polnilo). Zaradi tega dejstva naše meritve niso popolnoma točne, oziroma so nekoliko pretirane. To je bil še en pokazatelj izboljšane dimenzijske stabilnosti termično modificiranega lesa.

#### 4.5.5. Sprememba barve površine preizkušancev

Opazovali smo spremembo barve modificiranih preizkušancev zaradi navlaževanja. Da bi ugotovili kako navlaževanje dejansko vpliva na spremembo barve, smo meritve opravili tik pred začetkom navlaževanja v komori in po končanem postopku. Pred drugo meritvijo smo preizkušance obrisali s krpo, ker so se ponekod že pojavljale plesni.

Vrednosti spremembe barve  $\Delta E^*$  pri oljenih preizkušancih so znašale med 2,78 in 10,14. Slednjo smo izmerili pri preizkušancu (A2). Pri preizkušancih brez povšinskega premaza (lanenega olja) so bile vrednosti v območju med 0,97 in 12,13 (preglednica 8).

Preglednica 8 Vrednosti barvnih koordinat in spremembe barve ( $\Delta E^*$ ) po sistemu CIELAB

oljeni preizk.	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$	brez površ. obd.	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
A03	4,69	1,89	0,19	<b>5,06</b>	A01	5,74	2,28	1,57	<b>6,37</b>
A04	4,11	2,35	2,41	<b>5,31</b>	A02	3,01	1,37	0,48	<b>3,34</b>
A2	6,41	1,06	7,79	<b>10,14</b>	A1	0,36	0,51	1,27	<b>1,42</b>
A3	2,88	1,10	3,67	<b>4,79</b>	A4	3,78	0,43	1,51	<b>4,09</b>
A5	3,39	1,59	4,44	<b>5,81</b>	A6	4,61	0,06	1,37	<b>4,81</b>
A7	1,84	1,50	2,18	<b>3,22</b>	A8	3,19	0,36	0,65	<b>3,28</b>
H03	2,08	0,95	1,58	<b>2,78</b>	H01	3,08	0,77	3,73	<b>4,90</b>
H04	0,80	2,24	1,59	<b>2,86</b>	H02	3,93	0,18	11,47	<b>12,13</b>
H2	5,60	0,21	5,33	<b>7,73</b>	H1	3,42	0,31	4,29	<b>5,50</b>
H3	4,46	0,38	4,00	<b>6,00</b>	H4	2,13	0,27	2,70	<b>3,45</b>
H5	5,27	1,18	5,27	<b>7,55</b>	H6	2,21	0,34	0,70	<b>2,34</b>
H7	3,09	1,86	2,73	<b>4,52</b>	H8	0,69	0,15	0,66	<b>0,97</b>

V maksimalni smeri so spremembe barve najbolj izstopale v dveh primerih in sicer pri kontrolnem preizkušancu z oznako (H02) in pri nizko modificiranem oljenem preizkušancu (A2). Barva preizkušancev se je spremenila predvsem med procesom termične modifikacije lesa. V minimalni smeri pa lahko izpostavimo preizkušanec (H8) z vrednostjo 0,97. Na kratko lahko podamo splošno oceno, da se je sprememba barve ob navlažitvi bolj spremenjala pri kontrolnih preizkušancih, pri močno modificiranih preizkušancih pa ni bilo zaznati velikih sprememb (slika 20).



Slika 20 Barvna lestvica preizkušancev (ličnic) nastala s termično modifikacijo (levo robinija, desno hrast).

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1. RAZPRAVA

Raziskave smo se lotili z idejo, ponovne uvedbe masivnega lesa za kuhinjsko pohištvo, tako kot so ga uporabljali pred desetletji. Vendar se je, zaradi razcveta umetnih materialov, odpornejših na dane klimatske pogoje, v kuhinjah in posledično kuhinjskih elementih, masivni les skoraj popolnoma umaknil iz uporabe. Sedaj imamo, z uporabo novejših tehnologij in razvojem znanja možnost, da masivni les zopet uvedemo v bivalno okolje, kjer se veliko časa zadržujemo in ga zaradi njegove topline potrebujemo. Drugi pomemben razlog je, da bi zmanjšali proizvodnjo in porabo umetnih materialov ter tako doprinesli svoj delež k zmanjšanju onesnaževanja okolja. Termična modifikacija ni samo obetavna, ampak je dejansko uporabna metoda za izboljšanje lastnosti lesa. Potrebno je samo še prepričati tržišče v Sloveniji, kajti v tujini se že na veliko uporablja. Kot vedno, se pri nas pojavi še ekonomsko vprašanje ali drugače: »Ali se to izplača?«

V kuhinjskem okolju, še posebej v predelih okrog pečice in pomivalnega korita, se ves čas izmenjujeta povisana temperatura in sprememba vlage, pogosto pa pojava nastopata sočasno. Ravno zaradi tega upravičeno lahko trdimo, da je uporaba termično modificiranega lesa za kuhinjsko pohištvo dobra odločitev, saj ima termično modificiran les izboljšano dimenzijsko stabilnost in odpornost proti glivam. Seveda pa ne smemo zanemariti dejstva, da se nekatere lastnosti lesa tudi poslabšajo, npr. mehanske (upogibna trdnost). To pa lahko rešimo z ustrezno konstrukcijsko postavitvijo.

#### 5.1.1. Izguba mase in dimezijska stabilnost

V prvi fazì diplomske naloge smo ugotavljali dimezijske lastnosti lesa na malih vzorcih. Uporabili smo postopek termične modifikacije v začetnem vakuumu, ki sta ga razvila profesor Pohleven in asistent Rep. Vzorce smo modificirali pri temperaturah od 150 °C do 225 °C. Ugotovili smo, da od temperature 200 °C naprej že dosegamo želene rezultate, ki jih ocenujemo glede na izgubo mase (%) zaradi modifikacije. Hrast je pri temperaturi 200 °C izgubil 3,83 %, pri temperaturi 225 °C pa 9,27 % svoje mase. Pri vzorcih robinije, modificiranih pri 200 °C, smo izmerili 4,18 %, pri temperaturi 225 °C pa 10,5 % izgube mase. Za kazalnik vrednosti dimenzijske stabilnosti smo uporabili metodo ASE. Pri

vzorcih robinije, ki so bili modificirani pri temperaturi 225 °C sta vrednosti ASE znašali 42,5 % v radialni smeri in 47,8 % v tangencialni smeri. Pri hrastovih vzorcih, modificiranih pri enakih pogojih, so bile ASE vrednosti nekoliko nižje. Znašali sta 36,1 % v radialni in 36,7 % v tangencialni smeri.

Na izgubo lesne mase, zaradi postopka termične modifikacije, vplivata tako temperatura kot trajanje modifikacije. Razkroj lesnih komponent in s tem izguba mase, je bolj intenzivna pri višjih temperaturah. Znano je, da ima modificiran les pri višjih temperaturah tanjše celične stene kot nemodificiran les in zaradi tega večje lumne, kar se nato kaže v izgubi lesne mase (poslabšane mehanske lastnosti) (Mayes in Oksanen, 2003).

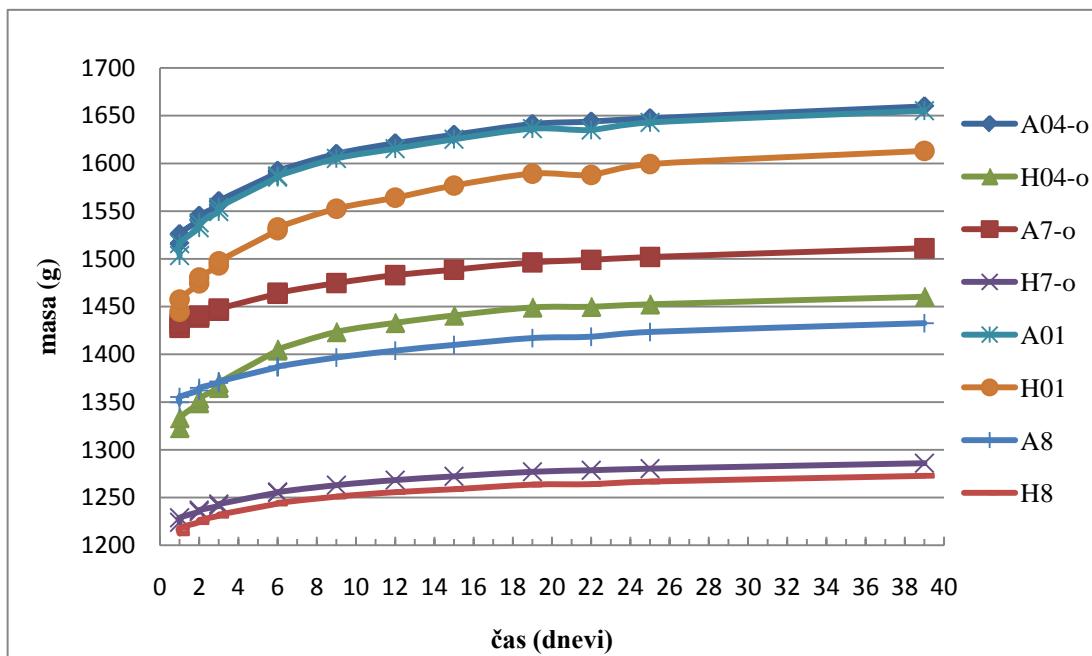
Ugotovili smo, da je potrebna dokaj visoka temperatura modifikacije, da dobimo material, ki bi ga lahko uporabili za kvalitetne kuhinjske elemente iz masivnega lesa. Potrdimo lahko tudi že znano dejstvo, da se zaradi modifikacije pri temperaturi 220 °C, točka nasičenosti celičnih sten (TNCS) s prvotnih 29 % zniža na 14 % (Rapp in Sailer, 2001).

### **5.1.2. Navlaževanje preizkušancev iz modificiranega lesa**

Podjetje Svea d.d. iz Zagorja sledi novim trendom kuhinjskega pohištva in se zanima tudi za izdelavo kuhinjskega pohištva iz termično modificiranega lesa, zato so nam za raziskave priskrbeli surovino ter nam izdelali preizkušance (ličnice) za testiranja. Les preizkušancev smo termično modificirali po postopku začetnega vakuma pri temperaturah od 175 °C do 225 °C. V nadaljevanju diplomske naloge je sledila izpostavitev lesenih ličnic, izdelanih iz modificiranih elementov, navlaževalnemu procesu. Klimatski pogoji pri tem postopku so ponazarjali model uporabe pohištva v kuhinji ( $T = 37^\circ\text{C}$  in  $\varphi = 88\%$ ). Izpostavili smo jih podobnim razmeram kot se dogajajo realno. Dokazali smo, da so ličnice iz termično modificiranega lesa bolj primerne za dane zahtevne pogoje, kot nemodificirane.

Če primerjamo med seboj modificiran preizkušanec (H8) in preizkušanec (H7-o), od katerih je bil prvi površinsko obdelan z lanenim oljem, drugi pa ne, ugotovimo, da naoljenje ni skoraj nič doprineslo k zmanjšanju navlaževanja. To pomeni, da je za odporne kuhinjske elemente pomembna predvsem termična modifikacija lesa, ne pa tudi njegovo oljenje. Tudi v primeru kontrolnih vzorcev (A01) in (A04-o) vidimo, da sta krivulji skoraj skladni (slika 21). Razlika med modificiranimi in nemodificiranimi preizkušanci (ličnicami) je v hitrosti navlaževanja in količini sprejete vode (masa). To razliko pa smo

ugotovili tudi med modificiranimi in nemodificiranimi majhnimi vzorci ( $20\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ ).



Slika 21 Navzem vlage v oljenih (-o) in neoljenih preizkušancih.

S površinsko obdelavo z oljem, smo vizualno poudarili barvo in kontrast modificiranih preizkušancev, k sami dimenzijski stabilnosti pa naoljenje ni bistveno prispevalo. Laneno olje na površini je le povečalo hidrofobnost in nekoliko upočasnilo hitrost navlaževanja.

Ugotovili smo, da je povečana dimenzijska stabilnost termično modificiranega lesa posledica znižane higroskopnosti in zmanjšane absorpcije vode. S termično modifikacijo se je znižala ravnovesna vlažnost lesa, ki jo les vzpostavi z vlogo v vlažnem okolju. Zmanjšana higroskopnost je odraz razgradnje hemiceluloz pri modifikaciji. S tem se v celični steni zmanjša število prostih -OH skupin, na katera se vežejo molekule vode (Hakkou in sod., 2003). Meritve so pokazale dobre lastnosti termično modificiranega lesa in možnost njegove uporabe v industrijskem obsegu za proizvodnjo kuhinjskega pohištva. Vendar je potrebno opraviti še študijo ekonomske upravičenosti uporabe termično modificiranega lesa v te namene.

## 5.2. SKLEPI

Ugotovili smo, da je termično modificiran les primeren za izdelavo kuhinjskih elementov. S tem procesom je les pridobil na dimenzijski stabilnosti in odpornosti proti povišani vlagi in temperaturi. Da doseže les te lastnosti, je potrebna izguba mase lesa med 10 % in 20 %, ki smo jo dosegli z modifikacijo pri temperaturi med 200 °C in 225 °C. Vrednosti dimenzijske stabilnosti ASE so bile med 30 % in 40 %, tako pri lesu robinije kot hrasta.

Kljub manjšemu razkoraku v stopnji modifikacije med različnima drevesnima vrstama, ki je verjetno posledica nepopolnoma identične temperature modifikacije in karakteristik obeh drevesnih vrst, smo dobili med seboj primerljive rezultate, ki jih navajamo v sklepih:

- izguba lesne mase je odvisna od višine temperature in časa trajanja termične modifikacije,
- ugotovili smo, da stopnja modifikacije lesa robinije in hrasta vpliva na lastnosti, ki so za elemente kuhinjskega pohištva bistvenega pomena. Pri temperaturi modifikacije nad 200 °C smo dobili precej izboljšano dimenzijsko stabilnost,
- ličnice iz modificiranega lesa so bile bistveno stabilnejše kot kontrolne,
- hitrost spremjanja opazovanih parametrov, zaradi navlaževanja, je bila nižja pri lesu, modificiranem pri višjih temperaturah (nad 200 °C),
- kljub dolgotrajnemu navlaževanju sta tako modificiran kot nemodificiran les med kasnejšim namakanjem sprejela še veliko količino vode,
- dokazali smo, da je za stabilnost ličnic bolj pomembna modifikacija lesa kot pa površinska obdelava le-teh z lanenim oljem.

## 6 POVZETEK

Uporaba termično modificiranega lesa postaja aktualna tudi za kuhinjsko pohištvo. Pred tem je potrebno preizkusiti, v kolikšni meri modifikacija poveča dimenzijsko stabilnost ličnic za kuhinjske elemente. Modifikacijo smo izvedli na lesu robinije in hrasta pri temperaturah med 150 °C in 225 °C.

Ličnice iz hrastovega lesa, ki smo jih modificirali pri temperaturah od 175 °C do 225 °C, so izgubile med 2,3 % in 19,9 % svoje mase, pri robinijevih preizkušancih pa so izgube mase znašale med 1,3 % in 10,3 %. Polovico ličnic smo površinsko obdelali tudi z lanenim oljem.

Na modificiranem in nemodificiranem lesu, premazanem ali nepremazanem z lanenim oljem, smo opazovali dimenzijsko stabilnost, povečanje mase, podaljšanje diagonale in deformacije med procesom navlaževanja. V ta namen smo jih izpostavili pogoju, ki primerljivo simulirajo razmere v kuhinjah ( $T = 37^\circ\text{C}$  in  $\varphi = 88\%$ ). Ugotovili smo, da je za doseganje dobrih rezultatov potrebna modifikacija pri temperaturi med 200 °C in 225 °C. Izguba mase pri teh temperaturah modifikacije je znašala med 10 % in 20 % ter vrednost dimenzijske stabilnosti ASE med 30 % in 40 %. Navzem vode se zmanjša, zaradi zmanjšanja števila -OH mest, kamor bi se lahko vezale vodne molekule. Posledično se je občutno zmanjšalo tudi krčenje in nabrekanje modificiranega lesa (stabilnost).

Lastnosti modificiranega lesa so izboljšane zaradi spremembe kemične strukture komponent celične stene in posledično znižanja ravnovesne lesne vlažnosti. To je najbolj očitno pri visoki temperaturi, ko je prišlo do razgradnje hemiceluloze. Celuloza in lignin pa sta ostala do neke mere skoraj nespremenjena.

Raziskave so pokazale, da za kvalitetno pohištvo potrebujemo les z visoko stopnjo dimenzijske stabilnosti, katero omogoča termična modifikacija ( $T = 200^\circ\text{C}$ ). Opazili smo, da površinska obdelava z oljem ne poveča dimenzijske stabilnosti, s poudarkom površinske strukture modificiranega lesa pa pripomore k izboljšanju zunanjega izgleda izdelka.

## 7 VIRI

- Boonstra M. J., Tjeerdsma B. F., Groeneveld H. A. C. 1998. Thermal modification of non-durable wood species. 1. The PLATO technology: thermal modification of wood. The International Research Group on Wood Preservation, Section 4-Processes. No. IRG/WP 98-40123: 13 str.
- Esteves M. B., Pereira M. H. 2009. Wood modification by heat treatment - a review. *BioResources*, 4,1: 370-404
- Gerardin P., Petrič M., Pétrissans M., Lambert J. 2007. Polymer Degradation and Stability, 92: 653–657
- Golob V., Golob D. 2001. Teorija barvne metrike. V: Interdisciplinarnost barve. 1. del. V znanosti, Maribor, 2001. Jeler S., Kumar M. (ur.). Ljubljana, Tiskarna Pleško: 199-230
- Gorišek Ž. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije: 235 str.
- Gorišek Ž. 2007. Modifikacija lesa. *Korak*, 8, 6: 26-29
- Gunnells D.W., Gardner D.J., Wolcott M.P. 1994. Temperature-dependence of wood surface-energy. *Wood and Fiber Science*, 26, 4: 447–455
- Hakkou M., Pétrissans M., El Bakali, Gerardin P., Zoulalian A. 2003. Evolution of wood hydrophobic properties during heat treatment. V: Proceedings of the First European Conference on Wood Modification. Van Acker J., Hill C. (ur.) Ghent, 59-64
- Hakkou M., Pétrissans M., Zoulalian A. 2005. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 89: 1–5
- Hasan M., Despot R. 2003. Termički modificirano drvo - materijal današnjice (Thermal Modified Wood – Nowadays Material) *Les*, 55, 3: 342-345
- Hill C.A.S. 2006. Wood modification: chemical, thermal and other processes. Chichester, England, John Wiley & Sons: 239 str.

Jenko F. Možnost uporabe termično modificiranega lesa za kuhinjsko pohištvo.  
Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 2010

---

Jämsä S., Viitaniemi P. 2001. Heat treatment of wood - better durability without Chemicals. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A.O. (ur.) Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities: 6 str.

Jirouš-Rajković V., Turkulin H., Živković V. 2007. Metode poboljšanja svojstava gradevnog drva. Drvna industrija, 1: 23-33

Klajnšek Gunde M. 1999. Svetloba in barve. V: Numerično vrednotenje barve. Strokovni seminar. Maribor, Društvo koloristov Slovenije: 1-10

Kollmann F., Fengel D. 1965. Änderung der chemischen Zusammensetzung von Holz durch thermische Behandlung. Holz als Roh - und Werkstoff, 23, 12: 461-468

Mayes D., Oksanen O. 2003. ThermoWood handbook. Helsinki, Finnish Thermowood Association. Finnforest, 66 str.

Metsa-Kortelainen S. 2006. Thermally modified timber as durable wood for exterior applications. VTT-technical research centre of Finland. <http://www.forestprod.org> (27.05.2010)

Militz H. 2002. Thermal treatment of wood: European Processes and their background. The International Research Group on Wood Preservation, Section 4-Processes and Properties. No. IRG/WP 02-40241: 18 str.

Militz H., Tjeerdsma B. 2001. Heat Treatment of wood by the PLATO - Process. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A.O. (ur.) Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities: 11 str.

Patzelt M., Stingl R., Teischinger A. 2002. Thermische Modifikation von Holz und deren Einfluss auf ausgewählte Holzeigenschaften, V: Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte. Teischinger A., Stingl R. (ur.) Wien, 101-147

Pohleven F., Rep G. 2004. Postopek termične modifikacije lesa v vakuumu : številka patentne prijave P-200400064. Ljubljana: Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino. 6 str.

Raggers J. 2007 Process / Durability, Larenstein, Velp, Nederland. <http://www.ivalsa.cnr.it> (28.05.2010)

- Rapp A.O., Brischke C., Welzbacher C.R., Jazayeri L. 2008. Increased resistance of thermally modified Norway spruce timber (TMT) against brown rot decay by Oligoporus placenta – Study on the mode of protective action. *Wood research*, 53, 2: 13–25
- Rapp A.O., Sailer M. 2001. Oil heat treatment of wood in Germany - state of the art. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A.O. (ur.) Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities: 18str.
- Rapp A.O. (ur.). 2001. Review on heat treatments of wood. V: Proceedings of the special seminar held in Antibes, France, on 9 February 2001. Luxembourg, European Commission, Office for Official Publications of the European Communities: 61 str.
- Rep G. 2008. Modificiran les. *Lesarski utrip*, 14, 2: 22-23
- Rep G., Pohleven F. 2001. Wood modification - a promising method for wood preservation = Modifikacija drva - obečavajuča metoda za zaštitu drva. *Drvna industrija*, 52, 2: 71-76
- Rep G., Pohleven F., Bučar B. 2004. Characteristics of thermally modified wood in vacuum. The International Research Group on Wood Preservation, Section 4-Processes and Properties. No. IRG/WP 04-40287: 9 str.
- Sailer M., Rapp A.O., Leithoff H. 2000. Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment. The International Research Group on Wood Preservation, Section 4-Processes. No. IRG/WP 00-40162: 12 str.
- Sandermann W., Schlumbom F. 1962. Über die Wirkung gefilterten ultravioletten Lichtens auf Holz – Zweite Mitteilung: Änderung von Farbwert und Farbempfindung an Holzoberflächen. *Holz als Roh – und Werkstoff*, 20:285 – 291
- Seborg R. M., Tarkow H., Stamm A. J. 1953. Effect of heat upon the dimensional stabilization of wood. *Journal Forest Products Research Society*, 3,3: 59-67
- SIST EN 335-1. (Durability of wood and wood - based products; Definition of hazard classes of biological attack; Part 1: General = Trajnost lesa in lesnih materialov - Definicija razredov ogroženosti pred biološkim napadom. 1.del: Splošno). 1995: 4 str.

Stamm A. J. 1964. Wood and Cellulose Science. New York, The Roland Press Company: 549 str.

Syrjänen T., Oy K. 2001. Production and Classification of heat treated wood in Finland. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A.O. (ur.) Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities: 9 str.

Teischinger A., Stingl R. 2002. Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte. Wien: 226 str.

Tiemann H. D. 1915. The effect of different methods of drying on the strength of wood. Lumber World Review, 28(7): 19-20

Tjeerdsma B.F., Boonstra M., Pizzi A., Tekely P Militz H. 1998. Characterisation of thermally modified wood. Molecular reasons for wood performance improvement. Holz als Roh – und Werkstoff, 56: 149-153

Vernois M. 2001. Heat treatment of wood in France – state of the art. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A.O. (ur.) Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities: 8 str.

Viitaniemi P., Ranta-Maunus A., Jämsä S. 1994. Pat. EP-0759137. Method for processing of wood at elevated temperatures. Appl. EP95918005, 11.5.1994. Publ. 11.9.1995. EP-0759137: 12 str.

Weiland J. J., Guyonnet R. 1997. Retifiziertes Holz. V: 16. Dreiländer Holztagung 2.-5.11.1997. Graz: 109-117

Yildiz S. 2002. Effects of heat treatment on water repellence and anti-swelling efficiency of beech wood. The International Research Group on Wood Preservation, Section 4-Processes and Properties. No. IRG/WP 02-40223

## ZAHVALA

Na tem mestu bi se rad zahvalil vsem, ki so kakorkoli pripomogli k izdelavi moje diplomske naloge. Potrebno pa je izpostaviti, da izrekam posebno zahvalo mentorju prof. dr. Francu Pohlevnu za vodenje, pomoč in svetovanje pri izdelovanju diplomske naloge.

Zahvala gre tudi prof. dr. Marku Petriču za recenzijo dela.

Prav tako bi se zahvalil tudi asistentu Gregorju Repu za pomoč pri izdelavi in modificiranju vzorcev lesa. Zahvaljujem se strokovnemu svetniku Borutu Kričaju in asistentu dr. Alešu Stražetu za pomoč pri opravljanju meritev v laboratorijih za obdelavo površin ter za sušenje in tehnologijo lesa.

Hvala tudi podjetju Svea d.d. iz Zagorja in Litije, v katerem so mi izdelali preizkušance (ličnice) za testiranje.

Posebna zahvala pa gre tudi mojim potrežljivim staršem, ki so me gmotno in moralno podpirali vsa ta leta študija.

Na koncu se moram zahvaliti še svoji punci Luciji Škerlec, ker mi je proti koncu stala ob strani in me bodrila, da sem končno zaključil študij lesarstva.

## PRILOGE

**Priloga A** Primer obrazca za opravljanje meritev na preizkušancih; mase ličnic, diagonale in odkloni

Merjenje dimenzij preskušancev - 1.dan						
Vzorec	Datum:	1.10.2007	Ura:	17:10-18:40	T = 36 °C	$\Phi = 88 \%$
<b>Olje</b>	<b>masa (g)</b>	<b>Odklon (mm)</b>	<b>Oznaka</b>	<b>D 1-4 (mm)</b>	<b>D 2-3 (mm)</b>	<b>Opombe:</b>
<b>A03</b>	1400,40	1,11	1 4	568,05	568,35	
<b>A04</b>	1526,00	0,68	2 3	568,35	568,00	
<b>A2</b>	1360,30	0,70	2 3	569,05	568,80	
<b>A3</b>	1439,10	0,54	1 4	568,80	568,95	
<b>A5</b>	1460,80	1,80	1 4	568,95	568,70	
<b>A7</b>	1432,10	0,37	2 3	568,80	568,85	
<b>H03</b>	1419,70	0,64	2 3	568,90	568,55	
<b>H04</b>	1333,40	0,69	1 4	568,75	568,40	
<b>H2</b>	1351,50	0,65	2 3	569,00	569,15	
<b>H3</b>	1394,80	0,55	1 4	568,65	569,05	
<b>H5</b>	1375,40	1,13	1 4	568,95	568,85	
<b>H7</b>	1228,80	1,18	1 4	568,40	568,65	
<b>A01</b>	1516,00	1,12	1 4	568,45	568,65	
<b>A02</b>	1430,40	1,35	1 4	568,00	568,60	
<b>A1</b>	1428,20	1,35	1 4	568,85	568,80	
<b>A4</b>	1305,10	1,75	1 4	568,60	568,95	
<b>A6</b>	1411,50	2,82	1 4	568,65	568,75	
<b>A8</b>	1355,30	0,85	1 4	568,00	567,20	Pazi vogal 2 -3
<b>H01</b>	1457,40	0,61	1 4	568,80	569,00	
<b>H02</b>	1410,40	0,87	1 4	568,50	569,05	
<b>H1</b>	1434,50	0,90	1 4	569,20	569,35	
<b>H4</b>	1338,60	0,65	2 3	568,85	568,90	
<b>H6</b>	1264,00	0,99	2 3	568,35	568,60	
<b>H8</b>	1218,20	0,55	2 3	568,50	568,95	

**Priloga B** Mase oljenih preizkušancev v gramih; izpostavljeni konstantni temperaturi in vlagi ( $T = 37^\circ\text{C}$  in  $\varphi = 88\%$ , destilirana voda)

čas/dni	1.10.07	1.10.07	2.10.07	2.10.07	3.10.07	3.10.07	6.10.07	6.10.07
<b>A03</b>	1391,30	1400,40	1414,10	1418,60	1428,50	1432,30	1460,60	1461,60
<b>A04</b>	1516,00	1526,00	1540,80	1545,20	1556,10	1560,60	1590,30	1592,30
<b>A2</b>	1354,00	1360,30	1369,90	1372,90	1379,90	1382,90	1404,40	1405,50
<b>A3</b>	1434,00	1439,10	1447,00	1449,40	1455,20	1457,70	1476,50	1477,60
<b>A5</b>	1456,40	1460,80	1468,10	1470,20	1475,80	1478,30	1496,00	1497,00
<b>A7</b>	1427,80	1432,10	1438,50	1440,60	1445,70	1447,90	1463,50	1464,50
<b>H03</b>	1409,00	1419,70	1436,20	1441,00	1453,10	1458,10	1494,00	1495,70
<b>H04</b>	1323,00	1333,40	1349,00	1353,80	1365,00	1370,00	1404,20	1405,40
<b>H2</b>	1345,40	1351,50	1361,70	1364,70	1372,20	1375,30	1399,10	1400,20
<b>H3</b>	1390,00	1394,80	1402,70	1405,10	1411,00	1413,60	1433,00	1433,70
<b>H5</b>	1371,20	1375,40	1382,00	1383,90	1388,60	1390,70	1405,50	1406,40
<b>H7</b>	1224,10	1228,80	1235,20	1236,90	1241,20	1243,20	1255,20	1255,80

nadaljevanje razpredelnice po datumu meritev

čas/dni	9.10.07	12.10.07	15.10.07	19.10.07	22.10.07	25.10.07	8.11.07
<b>A03</b>	1477,40	1487,10	1495,00	1503,60	1505,30	1507,30	1517,00
<b>A04</b>	1610,00	1621,10	1630,00	1641,20	1643,80	1647,30	1659,70
<b>A2</b>	1418,40	1427,90	1435,10	1443,90	1446,90	1450,00	1460,30
<b>A3</b>	1489,50	1498,90	1506,50	1516,40	1520,30	1524,60	1538,60
<b>A5</b>	1508,10	1517,40	1524,00	1533,10	1536,50	1540,20	1552,20
<b>A7</b>	1474,70	1483,00	1488,70	1496,30	1499,00	1502,00	1511,20
<b>H03</b>	1514,90	1524,90	1533,60	1542,70	1543,60	1546,10	1554,30
<b>H04</b>	1423,50	1433,00	1440,80	1449,20	1449,90	1452,50	1460,40
<b>H2</b>	1414,80	1425,70	1433,50	1443,30	1446,00	1449,10	1459,40
<b>H3</b>	1445,80	1455,90	1463,10	1473,30	1477,10	1481,30	1495,10
<b>H5</b>	1415,50	1423,30	1429,40	1437,10	1440,40	1443,80	1454,90
<b>H7</b>	1263,00	1268,30	1272,20	1277,00	1278,60	1280,30	1286,00

**Priloga C** Mase preizkušancev v gramih; izpostavljeni konstantni temperaturi in vlagi  
(T = 37 °C in φ = 88 %, destilirana voda)

čas/dni	1.10.07	1.10.07	2.10.07	2.10.07	3.10.07	3.10.07	6.10.07	6.10.07
<b>A01</b>	1503,40	1516,00	1532,60	1537,70	1549,60	1554,00	1585,60	1586,90
<b>A02</b>	1416,30	1430,40	1448,20	1454,90	1467,50	1472,20	1504,40	1505,80
<b>A1</b>	1421,10	1428,20	1438,60	1442,40	1450,30	1453,20	1474,60	1476,00
<b>A4</b>	1300,00	1305,10	1311,90	1314,70	1320,00	1322,00	1337,00	1339,10
<b>A6</b>	1405,60	1411,50	1419,20	1421,80	1427,30	1429,30	1444,40	1445,60
<b>A8</b>	1349,80	1355,30	1362,10	1364,80	1370,10	1371,60	1386,40	1387,30
<b>H01</b>	1444,60	1457,40	1474,40	1480,50	1493,20	1497,50	1530,10	1533,00
<b>H02</b>	1395,90	1410,40	1429,00	1436,20	1451,00	1455,80	1492,90	1494,60
<b>H1</b>	1424,60	1434,50	1447,00	1452,20	1462,60	1466,00	1494,50	1496,30
<b>H4</b>	1332,00	1338,60	1346,90	1350,40	1357,30	1359,40	1378,60	1379,70
<b>H6</b>	1259,00	1264,00	1269,20	1271,10	1275,30	1276,70	1288,10	1288,80
<b>H8</b>	1212,40	1218,20	1224,20	1226,40	1230,90	1232,10	1243,60	1244,40

nadaljevanje razpredelnice po datumu meritev

čas/dni	9.10.07	12.10.07	15.10.07	19.10.07	22.10.07	25.10.07	8.11.07
<b>A01</b>	1605,20	1615,40	1625,30	1636,40	1635,10	1642,90	1655,20
<b>A02</b>	1522,80	1530,40	1541,00	1551,00	1549,50	1558,50	1571,00
<b>A1</b>	1490,00	1500,00	1510,00	1522,00	1523,60	1531,80	1548,60
<b>A4</b>	1348,00	1355,50	1362,60	1370,90	1372,00	1377,50	1387,80
<b>A6</b>	1455,40	1462,70	1469,00	1476,50	1477,80	1483,20	1492,80
<b>A8</b>	1396,60	1403,80	1409,80	1417,00	1418,40	1423,40	1432,60
<b>H01</b>	1552,60	1564,10	1576,80	1589,30	1588,00	1599,30	1613,10
<b>H02</b>	1515,70	1524,20	1534,60	1544,00	1539,00	1551,00	1558,80
<b>H1</b>	1514,50	1526,90	1537,50	1549,50	1549,50	1558,20	1570,40
<b>H4</b>	1391,70	1401,50	1410,10	1420,60	1422,10	1429,00	1443,20
<b>H6</b>	1296,00	1301,80	1306,50	1312,90	1314,40	1318,10	1327,10
<b>H8</b>	1251,00	1255,70	1258,80	1263,60	1264,10	1266,80	1272,80

**Priloga D** Dimenzijske diagonale 1 – 4 oljenih preizkušancev v milimetrih; izpostavljenih konstantni temperaturi in vlagi

čas/dni	1.10.07	1.10.07	2.10.07	2.10.07	3.10.07	3.10.07	6.10.07	6.10.07
<b>A03</b>	567,65	568,05	568,30	568,50	568,80	568,95	569,95	569,80
<b>A04</b>	568,15	568,35	568,80	568,95	569,20	569,35	570,10	570,00
<b>A2</b>	568,90	569,05	569,50	569,75	569,95	570,10	570,95	570,95
<b>A3</b>	568,90	568,80	569,45	569,50	569,75	569,85	570,50	570,45
<b>A5</b>	568,75	568,95	569,40	569,50	569,80	569,80	570,65	570,60
<b>A7</b>	568,60	568,80	569,05	569,15	569,30	569,40	569,90	569,85
<b>H03</b>	568,45	568,90	569,40	569,60	570,00	570,20	571,50	571,50
<b>H04</b>	568,30	568,75	569,20	569,40	569,75	569,95	571,20	571,15
<b>H2</b>	568,80	569,00	569,45	569,60	569,85	569,95	570,80	570,75
<b>H3</b>	568,35	568,65	568,95	569,05	569,20	569,35	570,05	570,00
<b>H5</b>	568,70	568,95	569,35	569,40	569,55	569,65	570,35	570,30
<b>H7</b>	568,40	568,40	568,90	568,95	569,10	569,20	569,70	569,60

nadaljevanje razpredelnice po datumu meritev

čas/dni	9.10.07	12.10.07	15.10.07	19.10.07	22.10.07	25.10.07	8.11.07
<b>A03</b>	570,20	570,60	570,85	571,15	571,15	571,40	571,40
<b>A04</b>	570,60	570,90	571,10	571,35	571,40	571,50	571,75
<b>A2</b>	571,45	571,70	571,85	572,10	572,10	572,15	572,30
<b>A3</b>	570,90	571,15	571,45	571,85	571,85	572,00	572,25
<b>A5</b>	571,05	571,25	571,45	571,60	571,75	571,85	572,10
<b>A7</b>	570,25	570,50	570,65	570,85	570,90	570,90	571,20
<b>H03</b>	572,30	572,70	573,00	573,40	573,45	573,50	573,80
<b>H04</b>	571,95	572,35	572,60	572,90	572,95	573,00	573,35
<b>H2</b>	571,25	571,55	571,75	572,00	572,05	572,15	572,40
<b>H3</b>	570,50	570,85	571,05	571,40	571,45	571,55	571,85
<b>H5</b>	570,65	570,90	571,05	571,25	571,35	571,45	571,70
<b>H7</b>	570,00	570,20	570,30	570,50	570,50	570,60	570,70

**Priloga E** Dimenzijske diagonale 1 – 4 preizkušancev v milimetrih; izpostavljenih konstantni temperaturi in vlagi

čas/dni	<b>1.10.07</b>	<b>1.10.07</b>	<b>2.10.07</b>	<b>2.10.07</b>	<b>3.10.07</b>	<b>3.10.07</b>	<b>6.10.07</b>	<b>6.10.07</b>
<b>A01</b>	568,35	568,45	569,15	569,30	569,60	569,70	570,75	570,75
<b>A02</b>	567,85	568,00	568,75	568,95	569,45	569,60	570,55	570,65
<b>A1</b>	568,90	568,85	569,35	569,40	569,60	569,65	570,15	570,25
<b>A4</b>	568,70	568,60	569,00	569,15	569,25	569,25	569,65	569,70
<b>A6</b>	568,70	568,65	569,15	569,15	569,45	569,50	569,95	570,00
<b>A8</b>	568,05	568,00	568,35	568,65	568,65	568,75	569,10	569,25
<b>H01</b>	568,75	568,80	569,35	569,45	569,75	569,70	570,35	570,35
<b>H02</b>	568,25	568,50	569,35	569,65	570,20	570,30	571,75	571,85
<b>H1</b>	569,10	569,20	569,90	570,40	570,55	570,60	571,90	572,00
<b>H4</b>	568,80	568,85	569,35	570,10	570,10	569,75	570,55	570,45
<b>H6</b>	568,40	568,35	568,75	568,90	569,10	569,05	569,50	569,50
<b>H8</b>	568,15	568,50	568,90	568,90	569,25	569,05	569,50	569,50

nadaljevanje razpredelnice po datumu meritev

čas/dni	<b>9.10.07</b>	<b>12.10.07</b>	<b>15.10.07</b>	<b>19.10.07</b>	<b>22.10.07</b>	<b>25.10.07</b>	<b>8.11.07</b>
<b>A01</b>	571,35	571,70	572,00	572,20	572,35	572,60	573,00
<b>A02</b>	571,15	571,35	571,55	571,90	571,85	572,15	572,55
<b>A1</b>	570,60	570,90	571,15	571,50	571,50	571,80	572,20
<b>A4</b>	569,90	570,10	570,25	570,50	570,45	570,55	570,80
<b>A6</b>	570,25	570,45	570,60	570,80	570,80	571,00	571,25
<b>A8</b>	569,50	569,75	569,90	570,15	570,10	570,20	570,25
<b>H01</b>	570,65	570,95	571,15	571,40	571,40	571,55	571,75
<b>H02</b>	572,60	573,00	573,30	573,65	573,60	573,85	574,20
<b>H1</b>	572,75	573,30	573,75	574,30	574,25	574,55	574,95
<b>H4</b>	570,85	571,05	571,35	571,65	571,65	571,90	572,25
<b>H6</b>	569,70	569,90	570,10	570,20	570,30	570,40	570,70
<b>H8</b>	569,70	569,90	570,00	570,25	570,20	570,30	570,55

**Priloga F** Dimenziije diagonale 2 – 3 oljenih preizkušancev v milimetrih; izpostavljenih konstantni temperaturi in vlagi

čas/dni	1.10.07	1.10.07	2.10.07	2.10.07	3.10.07	3.10.07	6.10.07	6.10.07
<b>A03</b>	568,05	568,35	568,75	568,85	569,15	569,25	570,00	570,00
<b>A04</b>	568,05	568,00	568,60	568,70	569,00	569,10	569,90	569,90
<b>A2</b>	568,80	568,80	569,10	569,45	569,70	569,85	570,60	570,60
<b>A3</b>	568,90	568,95	569,20	569,50	569,75	569,85	570,45	570,40
<b>A5</b>	568,80	568,70	569,20	569,30	569,40	569,50	570,00	570,00
<b>A7</b>	568,80	568,85	569,15	569,15	569,40	569,45	569,95	569,95
<b>H03</b>	568,40	568,55	569,35	569,40	569,80	570,00	571,35	571,35
<b>H04</b>	568,30	568,40	569,25	569,40	569,75	569,95	571,15	571,15
<b>H2</b>	569,05	569,15	569,85	570,00	570,30	570,35	571,35	571,35
<b>H3</b>	568,80	569,05	569,50	569,55	569,75	569,85	570,20	570,25
<b>H5</b>	568,75	568,85	569,20	569,30	569,45	569,60	570,50	570,55
<b>H7</b>	568,35	568,65	569,05	569,15	569,35	569,45	570,20	570,10

nadaljevanje razpredelnice po datumu meritev

čas/dni	9.10.07	12.10.07	15.10.07	19.10.07	22.10.07	25.10.07	8.11.07
<b>A03</b>	570,35	570,65	570,80	571,00	571,05	571,10	571,35
<b>A04</b>	570,40	570,65	570,85	571,15	571,20	571,30	571,55
<b>A2</b>	571,05	571,20	571,50	571,80	571,80	571,90	572,15
<b>A3</b>	570,80	571,00	571,15	571,35	571,40	571,30	571,80
<b>A5</b>	570,30	570,45	570,55	570,80	570,90	571,00	571,30
<b>A7</b>	570,30	570,50	570,65	570,85	570,85	570,90	571,15
<b>H03</b>	572,10	572,40	572,70	573,05	573,05	573,15	573,45
<b>H04</b>	571,95	572,20	572,50	572,80	572,80	572,90	573,20
<b>H2</b>	572,00	572,35	572,60	572,90	572,95	573,05	573,40
<b>H3</b>	570,70	570,90	571,10	571,35	571,40	571,50	571,75
<b>H5</b>	570,60	570,85	571,00	571,20	571,25	571,40	571,70
<b>H7</b>	570,60	570,85	571,00	571,30	571,30	571,40	571,70

**Priloga G** Dimenzijske diagonale 2 – 3 preizkušancev v milimetrih; izpostavljenih konstantni temperaturi in vlagi

čas/dni	1.10.07	1.10.07	2.10.07	2.10.07	3.10.07	3.10.07	6.10.07	6.10.07
<b>A01</b>	568,65	568,65	569,35	569,40	569,80	569,90	570,85	570,85
<b>A02</b>	568,00	568,60	569,05	569,15	569,65	569,80	570,65	570,70
<b>A1</b>	568,80	568,80	569,15	569,25	569,45	569,50	570,00	570,10
<b>A4</b>	569,05	568,95	569,30	569,45	569,60	569,65	570,05	570,05
<b>A6</b>	568,80	568,75	569,30	569,40	569,60	569,65	570,15	570,15
<b>A8</b>	567,15	567,20	567,70	567,80	568,05	568,15	568,60	568,60
<b>H01</b>	568,90	569,00	569,60	569,75	570,05	570,10	570,85	570,90
<b>H02</b>	568,85	569,05	569,90	570,25	570,80	570,85	572,40	572,40
<b>H1</b>	569,15	569,35	570,00	570,25	570,60	570,65	571,85	571,90
<b>H4</b>	568,70	568,90	569,45	569,90	569,90	569,95	570,75	570,75
<b>H6</b>	568,50	568,60	569,10	569,20	569,35	569,35	569,90	569,90
<b>H8</b>	568,90	568,95	569,50	569,65	569,90	569,90	570,40	570,45

nadaljevanje razpredelnice po datumu meritev

čas/dni	9.10.07	12.10.07	15.10.07	19.10.07	22.10.07	25.10.07	8.11.07
<b>A01</b>	571,40	571,85	572,10	572,45	572,45	572,70	573,05
<b>A02</b>	571,20	571,40	571,70	572,00	571,95	572,20	572,40
<b>A1</b>	570,50	570,75	571,00	571,35	571,40	571,70	571,95
<b>A4</b>	570,25	570,45	570,60	570,80	570,85	570,90	571,05
<b>A6</b>	570,50	570,65	570,85	571,10	571,15	571,25	571,45
<b>A8</b>	568,90	569,15	569,35	569,55	569,75	569,85	570,00
<b>H01</b>	571,35	571,60	571,80	572,10	572,10	572,20	572,45
<b>H02</b>	573,20	573,50	573,80	574,05	574,00	574,30	574,65
<b>H1</b>	572,60	573,00	573,35	573,70	573,70	574,05	574,35
<b>H4</b>	571,20	571,55	571,85	572,10	572,25	572,50	572,80
<b>H6</b>	570,20	570,45	570,70	570,85	570,85	571,05	571,30
<b>H8</b>	570,70	570,90	571,05	571,25	571,25	571,40	571,60

**Priloga H** Mase preizkušancev med klimatizacijo – sušenjem; pri pogojih ( T = 37 °C in  $\varphi = 33 \%$ , razstopina MgCl)

Datum	12.9.07	0	Datum	14.9.07	2	Datum	17.9.07	5
Olje	m (g)	Δm	Olje	m (g)	Δm	Olje	m (g)	Δm
A03	1428,5	15,7	A03	1412,8	8,8	A03	1404,0	2,8
A5	1470,5	6,3	A5	1464,2	3,2	A5	1461,0	1,0
H03	1433,3	12,2	H03	1421,1	5,1	H03	1416,0	1,5
H5	1384,8	6,6	H5	1378,2	2,9	H5	1375,3	0,9
<b>Naravni</b>			<b>Naravni</b>			<b>Naravni</b>		
A02	1454,4	19,6	A02	1434,8	8,6	A02	1426,2	2,6
A4	1313,5	6,5	A4	1307,0	2,8	A4	1304,2	1,1
H02	1424,2	15,2	H02	1409,0	6,0	H02	1403,0	1,7
H4	1346,7	7,5	H4	1339,2	3,0	H4	1336,2	1,1

nadaljevanje razpredelnice po datumu meritev

Datum	19.9.07	7	Datum	21.9.07	9	Datum:	24.9.07	12
Olje	m (g)	Δm	Olje	m (g)	Δm	Olje	m (g)	Δm
A03	1401,2	1,9	A03	1399,3	4,0	A03	1395,3	1,3
A5	1460,0	0,6	A5	1459,4	1,7	A5	1457,7	0,5
H03	1414,5	1,0	H03	1413,5	2,6	H03	1410,9	0,7
H5	1374,4	0,5	H5	1373,9	1,5	H5	1372,4	0,4
<b>Naravni</b>			<b>Naravni</b>			<b>Naravni</b>		
A02	1423,6	2,1	A02	1421,5	2,4	A02	1419,1	1,0
A4	1303,1	0,7	A4	1302,4	1,2	A4	1301,2	0,3
H02	1401,3	1,5	H02	1399,8	2,0	H02	1397,8	0,6
H4	1335,1	0,8	H4	1334,3	1,0	H4	1333,3	0,4

nadaljevanje razpredelnice po datumu meritev

Datum	26.9.07	14	Datum	28.9.07	16	Datum	1.10.07	19	povpr.hitr.
Olje	m (g)	Δm	Olje	m (g)	Δm	Olje	m (g)	Σm	(g/dan)
A03	1394,0	1,4	A03	1392,6	1,30	A03	1391,3	37,2	<b>2,0</b>
A5	1457,2	0,4	A5	1456,8	0,40	A5	1456,4	14,1	<b>0,7</b>
H03	1410,2	0,7	H03	1409,5	0,50	H03	1409,0	24,3	<b>1,3</b>
H5	1372,0	0,5	H5	1371,5	0,30	H5	1371,2	13,6	<b>0,7</b>
<b>Naravni</b>			<b>Naravni</b>			<b>Naravni</b>			
A02	1418,1	0,8	A02	1417,3	1,00	A02	1416,3	38,1	<b>2,0</b>
A4	1300,9	0,3	A4	1300,6	0,60	A4	1300,0	13,5	<b>0,7</b>
H02	1397,2	0,8	H02	1396,4	0,50	H02	1395,9	28,3	<b>1,5</b>
H4	1332,9	0,5	H4	1332,4	0,40	H4	1332,0	14,7	<b>0,8</b>

**Priloga I** Izguba mase hrastovih modificiranih desk pred izdelavo ličnic (-o – olje)

	<b>HRAST</b>	<b>masa<sub>1</sub> (g)</b>	<b>masa<sub>2</sub> (g)</b>	<b>Δ mase</b>	<b>izg. mase (%)</b>	
H1	47	483,23	470,01	13,22	2,74	
H1	48	485,30	475,92	9,38	1,93	<b>povprečna</b>
H1	49	467,34	458,49	8,85	1,89	<b>izg. mase</b>
H1	56	453,67	441,35	12,32	2,72	<b>2,3</b>
H2-o	57	474,29	454,77	19,52	4,12	
H2-o	59	452,37	437,05	15,32	3,39	<b>povprečna</b>
H2-o	60	441,50	422,10	19,40	4,39	<b>izg. mase</b>
H2-o	62	434,02	418,70	15,32	3,53	<b>3,9</b>
H3-o	38	475,85	451,22	24,63	5,18	
H3-o	39	455,30	431,19	24,11	5,30	<b>povprečna</b>
H3-o	40	470,93	444,72	26,21	5,57	<b>izg. mase</b>
H3-o	41	463,42	438,51	24,91	5,38	<b>5,4</b>
H4	37	435,95	407,76	28,19	6,47	
H4	42	448,06	420,45	27,61	6,16	<b>povprečna</b>
H4	43	419,85	395,43	24,42	5,82	<b>izg. mase</b>
H4	46	502,28	467,72	34,56	6,88	<b>6,3</b>
H5-o	31	416,21	378,16	38,05	9,14	
H5-o	32	512,35	464,11	48,24	9,42	<b>povprečna</b>
H5-o	33	533,54	476,60	56,94	10,67	<b>izg. mase</b>
H5-o	35	447,08	403,40	43,68	9,77	<b>9,7</b>
H6	63	478,29	419,72	58,57	12,25	
H6	65	470,47	400,57	69,90	14,86	<b>povprečna</b>
H6	66	450,9	375,65	75,25	16,69	<b>izg. mase</b>
H6	67	415,52	346,34	69,18	16,65	<b>15,1</b>
H7-o	17	494,45	403,57	90,88	18,38	
H7-o	20	433,02	350,87	82,15	18,97	<b>povprečna</b>
H7-o	29	403,90	334,93	68,97	17,08	<b>izg. mase</b>
H7-o	30	445,40	376,77	68,63	15,41	<b>17,5</b>
H8	1	437,91	349,33	88,58	20,23	
H8	19	472,13	380,34	91,79	19,44	<b>povprečna</b>
H8	24	451,88	358,77	93,11	20,61	<b>izg. mase</b>
H8	27	457,18	368,57	88,61	19,38	<b>19,9</b>

**Priloga J** Izguba mase robinijevih modificiranih desk pred izdelavo ličnic (-o – olje)

	<b>ROBINIJA</b>	<b>masa<sub>1</sub> (g)</b>	<b>masa<sub>2</sub> (g)</b>	<b>Δ mase</b>	<b>izg. mase (%)</b>	
A1	1	489,52	481,83	7,69	1,57	
A1	3	454,76	449,8	4,96	1,09	<b>povprečna</b>
A1	4	518,2	512,25	5,95	1,15	<b>izg. mase</b>
A1	5	435,64	429,37	6,27	1,44	<b>1,3</b>
A2-o	37	411,83	402,66	9,17	2,23	
A2-o	38	415,21	406,65	8,56	2,06	<b>povprečna</b>
A2-o	39	514,33	497,13	17,2	3,34	<b>izg. mase</b>
A2-o	41	474,86	458,98	15,88	3,34	<b>2,7</b>
A3-o	23	401,15	388,10	13,05	3,25	
A3-o	24	531,83	514,07	17,76	3,34	<b>povprečna</b>
A3-o	25	491,29	476,72	14,57	2,97	<b>izg. mase</b>
A3-o	40	528,35	507,72	20,63	3,90	<b>3,4</b>
A4	7	424,36	405,4	18,96	4,47	
A4	21	509,58	485,86	23,72	4,65	<b>povprečna</b>
A4	32	416,02	396,66	19,36	4,65	<b>izg. mase</b>
A4	33	417,07	398,43	18,64	4,47	<b>4,6</b>
A5-o	9	483,19	458,2	24,99	5,17	
A5-o	22	546,33	517,33	29	5,31	<b>povprečna</b>
A5-o	35	517,19	491,47	25,72	4,97	<b>izg. mase</b>
A5-o	42	473,51	449,74	23,77	5,02	<b>5,1</b>
A6	12	506,05	460,87	45,18	8,93	
A6	14	503,31	460,99	42,32	8,41	<b>povprečna</b>
A6	16	511,88	469,03	42,85	8,37	<b>izg. mase</b>
A6	28	495,92	451,93	43,99	8,87	<b>8,6</b>
A7-o	11	510,49	462,41	48,08	9,42	
A7-o	26	509,74	462,76	46,98	9,22	<b>povprečna</b>
A7-o	27	496,66	450,7	45,96	9,25	<b>izg. mase</b>
A7-o	31	509,77	459,55	50,22	9,85	<b>9,4</b>
A8	13	473,47	426,33	47,14	9,96	
A8	18	510,04	458,65	51,39	10,08	<b>povprečna</b>
A8	19	448,99	402,75	46,24	10,30	<b>izg. mase</b>
A8	20	501,13	446,30	54,83	10,94	<b>10,3</b>