

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej ŠUŠTAR

**MODIFICIRAN LES ZA KUHINJSKE ELEMENTE**

DIPLOMSKO DELO  
Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2008

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej ŠUŠTAR

**MODIFICIRAN LES ZA KUHINJSKE ELEMENTE**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

**MODIFIED WOOD FOR KITCHEN FURNITURE ELEMENTS**

GRADUATION THESIS

Higher professional studies

Ljubljana, 2008

Diplomsko delo je zaključek dodiplomskega visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za patologijo in zaščito lesa, kjer je bila izvedena modifikacija ter v laboratoriju za površinsko obdelavo Katedre za pohištvo, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. Vzorce lesa za modifikacijo ter za površinsko obdelavo smo dobili v podjetju SVEA Lesna industrija d.d., Zagorje ob Savi.

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

Mentor: prof. dr. Marko Petrič

Recenzent: prof. dr. Franc Pohleven

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Andrej ŠUŠTAR

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

- ŠD Vs
- DK UDK 630\*829.1
- KG hrastov les/modifikacija/površinski premaz/vodni lak/poliuretanski lak/odpornost
- AV ŠUŠTAR, Andrej
- SA PETRIČ, Marko (mentor)/POHLEVEN, Franc (recenzent)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- LI 2008
- IN MODIFICIRAN LES ZA KUHINJSKE ELEMENTE
- TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
- OP X, 54 str., 26 pregl., 17 sl., 35 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI V podjetju, ki izdeluje kuhinjsko pohištvo, želijo v proizvodnjo vključiti modificiran les, ker je dimenzijsko stabilnejši. S postopkom modifikacije lahko vplivamo tudi na barvo, zato jim modificiranega lesa ne bi bilo treba lužiti. Pri tem pa je pomembno, da so klasični in vodni premazni sistemi kompatibilni z modificiranimi podlagami ter kako lastnosti modificiranega lesa vplivajo na lastnosti površinskega sistema. Na nemodificiranem ter v vakuumu termično (pri temperaturah 150 °C in 200 °C) modificiranem hrastovem lesu, smo preizkušali nekatere lastnosti: debelino, oprijemnost, odpornost proti udarcem, razenju in odpornost robov proti vodi, utrjenih filmov vodnega in poliuretanskega laka ter barvo in sijaj. Ugotovili smo, da je vodni lak slabo odporen proti mehanskim poškodbam ter da vrsta podlage močno vpliva tako na debelino utrjenega filma, na sijaj, kot tudi na odpornostne lastnosti površinskega sistema. Z višanjem temperature modifikacije se te lastnosti slabšajo, zmanjša pa se tudi debelina utrjenega filma. Najslabše lastnosti smo ugotovili pri preizkušancih, modificiranih pri 200 °C, pozitivno je izstopala le odpornost robov proti omočitvi z vodo.

**KEY WORDS DOCUMENTATION**

- DN Vs
- DC UDC 630\*829.1
- CX oak wood/modification/surface coating/waterborne finish/polyurethane coating/resistance
- AU ŠUŠTAR, Andrej
- AA PETRIČ, Marko (supervisor)/POHLEVEN, Franc (reviewer)
- PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
- PY 2008
- TI MODIFIED WOOD FOR KITCHEN FURNITURE ELEMENTS
- DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
- NO X, 54 p., 26 tab., 17 fig., 35 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Kitchen furniture producer wants to introduce thermally modified wood into their regular production. Thermal modification of wood increases its dimensional stability and influences its colour, so there would be no need to stain it. However, there are questions, whether the classical waterborne coating systems are compatible with the modified substrates, and how the properties of modified wood influence characteristics of the system. Some properties: thickness, adhesion, resistance against impact and scratching, and resistance of edges against water of strengthened films of waterborne and polyurethane coatings were tested on untreated and in vacuum thermally modified (temperatures: 150 °C and 200 °C) oak wood; colour and gloss. It was found out that waterborne coatings showed low resistance against mechanical injuries, the type of the substrate influenced the thickness of strengthened film strongly, so as gloss, and properties of surface system. These properties get worse with too high a temperature of modification, also thickness of strengthened film reduces. The worst properties were found in wood samples, modified at 200 °C, the only exception being the resistance of edges against watering.

**KAZALO VSEBINE**

	str.
<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA</b>	<b>III</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION</b>	<b>IV</b>
<b>KAZALO VSEBINE</b>	<b>V</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC</b>	<b>VIII</b>
<b>KAZALO SLIK</b>	<b>X</b>
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	2
1.2 CILJ RAZISKOVANJA	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
<b>2 PREGLED OBJAV</b>	<b>3</b>
2.1 MODIFIKACIJA LESA	3
2.1.1 Pomen modificiranega lesa	3
2.1.2 Načini modifikacije lesa	4
2.1.2.1 Kemična modifikacija lesa	4
2.1.2.2 Encimska modifikacija lesa	4
2.1.2.3 Termična modifikacija lesa	5
2.1.3 Parametri, ki vplivajo na lastnosti termično modificiranega lesa	6
2.1.3.1 Vrsta lesa	6
2.1.3.2 Temperatura	7
2.1.3.3 Čas modifikacije lesa	8
2.1.4 Lastnosti modificiranega lesa	8
2.1.4.1 Mehanske lastnosti	8
2.1.4.2 Dimenzijska stabilnost	9
2.1.4.3 Izguba mase	10
2.1.4.4 Odpornost proti vremenskim vplivom	10
2.1.4.5 Odpornost proti glivam in insektom	11
2.1.4.6 Ognjeodpornost	12
2.1.4.7 Trdnost lepilnega spoja	12
2.1.4.8 Vrednost pH	12

2.1.4.9	Akustične lastnosti	12
2.1.4.10	Barva	13
2.1.4.11	Vonj	13
<b>2.1.5</b>	<b>Uporaba termično modificiranega lesa</b>	<b>13</b>
<b>2.1.6</b>	<b>Okoljski vidik termične modifikacije lesa</b>	<b>14</b>
2.2	POLIURETANSKI (PU) PREMAZI ZA LES	14
<b>2.2.1</b>	<b>Osnovne vrste PU premazov</b>	<b>14</b>
2.2.1.1	Enokomponentni PU premazi	14
2.2.1.2	Dvokomponentni PU premazi	15
<b>2.2.2</b>	<b>Sestava PU premazov</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Lastnosti PU premazov</b>	<b>16</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Uporaba PU premazov</b>	<b>16</b>
2.3	PREMAZI ZA LES NA VODNI OSNOVI	17
<b>2.3.1</b>	<b>Sestava vodnih premazov za les</b>	<b>18</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Lastnosti vodnih premazov</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Uporaba vodnih premazov</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALI IN METODE</b>	<b>20</b>
3.1	MATERIALI	20
<b>3.1.1</b>	<b>Priprava podlage</b>	<b>20</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Priprava testnih vzorcev in določitev temperature modificiranja</b>	<b>20</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Razdelitev in sušenje preizkušancev (podlage)</b>	<b>20</b>
3.2	METODE	20
<b>3.2.1</b>	<b>Priprava vzorcev na modifikacijo</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Modifikacija</b>	<b>21</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Lakiranje in klimatizacija preizkušancev</b>	<b>22</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Določanje lastnosti površinskih sistemov</b>	<b>23</b>
3.2.4.1	Merjenje debeline utrjenega filma	23
3.2.4.2	Merjenje oprijemnosti premaznega sistema na podlago	24
3.2.4.3	Merjenje odpornosti proti udarcem	25
3.2.4.4	Merjenje odpornosti površinskega sistema proti razenju – trdota površinskega sistema	27
3.2.4.5	Preizkušanje odpornosti robov proti vodi	27

3.2.4.6	Merjenje sijaja površinskega sistema	28
3.2.4.7	Merjenje barve v sistemu CIE L*a*b*	29
<b>4</b>	<b>REZULTATI</b>	<b>31</b>
4.1	DEBELINA UTRJENEGA FILMA	31
4.2	OPRIJEMNOST PREMAZNEGA SISTEMA NA PODLAGO	31
4.3	ODPORNOST PROTI UDARCEM	33
4.4	ODPORNOST POVRŠINSKEGA SISTEMA PROTI RAZENJU – TRDOTA POVRŠINSKEGA SISTEMA	35
4.5	ODPORNOST ROBOV PROTI VODI	37
4.6	SIJAJ	39
4.7	BARVA	43
4.7.1	Izmerjene povprečne vrednosti barvnega tona	43
4.7.2	Izračun barvne razlike	43
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI</b>	<b>46</b>
5.1	RAZPRAVA	46
5.2	SKLEPI	48
<b>6</b>	<b>POVZETEK</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>VIRI</b>	<b>51</b>
	<b>ZAHVALA</b>	



**KAZALO PREGLEDNIC**

	str.
Preglednica 1: Razvrstitev drevesnih vrst po naravni odpornosti (SIST EN 350-2, 1995).	4
Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesa (SIST EN 335-1,1995).	11
Preglednica 3: Ocenjevanje poškodb po SIST ISO 4211-4:1995	26
Preglednica 4: Delitev premazov za les, glede na sijaj (JUS D.E8.224, cit. po Tušar, 1995)	29
Preglednica 5: Ocena barvnih razlik (Sandermann in Schlumbom, 1962)	30
Preglednica 6: Debelina suhega premaznega filma za vodni lak na različnih podlagah (kontrolni, modificirani - 150 °C in 200 °C)	31
Preglednica 7: Debelina suhega premaznega filma za PU lak na različnih podlagah (kontrolni, modificirani - 150 °C in 200 °C)	31
Preglednica 8: Oprijemnost poliuretanskega laka na vseh treh podlagah	32
Preglednica 9: Oprijemnost vodnega laka na vseh treh podlagah	32
Preglednica 10: Ocene odpornosti proti udarcem pri vodnem laku	33
Preglednica 11: Ocene odpornosti proti udarcem pri PU laku	34
Preglednica 12: Rezultati odpornosti površinskega sistema proti razenju – vodni lak	35
Preglednica 13: Rezultati odpornosti površinskega sistema proti razenju – PU lak	36
Preglednica 14: Odpornost robov proti vodi, pri vodnem laku in vseh vrstah podlage	37
Preglednica 15: Odpornost robov proti vodi, pri poliuretanskem laku in vseh vrstah podlage	38
Preglednica 16: Sijaj (%) vodnega laka na nemodificirani hrastovi podlagi – kontrolni preizkušanci	40
Preglednica 17: Sijaj (%) PU laka na nemodificirani hrastovi podlagi – kontrolni preizkušanci	40
Preglednica 18: Sijaj (%) vodnega laka na hrastovi podlagi, modificirani pri temperaturi 150 °C	41
Preglednica 19: Sijaj (%) PU laka na hrastovi podlagi, modificirani pri temperaturi 150 °C	41

Preglednica 20:	Sijaj vodnega laka (%) na hrastovi podlagi, modificirani pri temperaturi 200 °C	42
Preglednica 21:	Sijaj PU laka (%) na hrastovi podlagi, modificirani pri temperaturi 200 °C	42
Preglednica 22:	Izračunane povprečne vrednosti barvnih koordinat kontrolnih vzorcev in vzorcev, modificiranih pri 150 °C in 200 °C, prelakiranih z vodnim lakom	43
Preglednica 23:	Izračunane povprečne vrednosti barvnih koordinat kontrolnih vzorcev in vzorcev, modificiranih pri 150 °C in 200 °C, lakiranih s PU lakom	43
Preglednica 24:	Barvna razlika ( $\Delta E$ ) prelakiranih nemodificiranih vzorcev, glede na barvo prelakiranih vzorcev, modificiranih pri 150 °C in 200 °C	44
Preglednica 25:	Barvna razlika ( $\Delta E$ ) prelakiranih vzorcev, ki so bili modificirani pri 150 °C, glede na barvo prelakiranih vzorcev, modificiranih pri 200 °C	44
Preglednica 26:	Barvna razlika ( $\Delta E$ ) med vzorci, kot posledica različnih lakov	44

**KAZALO SLIK**

	str.
Slika 1: Vakuumska komora (Kambič)	21
Slika 2: Vzorci, pripravljene za vakuumiranje	21
Slika 3: Kontrolni in modificirani preizkušanci; pri temperaturi 150 °C in 200 °C (od leve proti desni)	23
Slika 4: Mikroskop za merjenje debeline suhega filma	24
Slika 5: Vzorci, pripravljene na merjenje oprijemnosti premaza na podlago	25
Slika 6: Zarezovanje filma premaza okoli pečatov do podlage s kronskim rezilom	25
Slika 7: Naprava za odtrgovanje pečatov	25
Slika 8: Naprava za usmerjanje udarcev (spust uteži)	26
Slika 9: Vzmetni svinčnik za določanje odpornosti proti razam	27
Slika 10: Površinsko obdelani (premazani) vzorci, potopljeni v vodo	28
Slika 11: Mikrometer za merjenje debeline vzorcev	28
Slika 12: Instrument za merjenje sijaja (AcuGloss)	29
Slika 13: Merilni aparat (X-Rite, model SP 62) za merjenje barve	30
Slika 14: Odtrgani pečati z različnih podlag (T <sub>1</sub> 150 °C - levo in T <sub>2</sub> 200 °C - desno)	33
Slika 15: Odstopanje laka z nemodificirane podlage po 24 urah izpostavitve obremenitvi (kontrolni vzorec)	38
Slika 16: Primerjava odstopanja laka s površine pri PU laku (spodaj) in vodnem laku (zgoraj)	39
Slika 17: Barvna sprememba, na vzorcih, prelakiranih s PU lakom, ki je nastala zaradi modifikacije (kontrolni, T <sub>1</sub> 150 °C in T <sub>2</sub> 200 °C, od leve proti desni)	45

## 1 UVOD

Les je eden izmed najpomembnejših materialov in je človekov sopotnik že od samega nastanka civilizacije. Je naraven, obnovljiv in vsestransko zelo uporaben material. Slabost lesa pa je, da pod vplivom biotičnih (glive, insekti) in abiotičnih dejavnikov (temperatura, vlaga, UV sevanje) lahko začne hitro propadati. Zato je potrebno les zaščititi in povečati njegovo kvaliteto, odpornost ter uporabnost. To lahko dosežemo z različnimi postopki in sredstvi ter tako lesnim izdelkom podaljšamo življenjsko dobo.

Če je le mogoče, se pri zaščiti lesa izogibamo kemičnim zaščitnim sredstvom, saj mnoga od njih škodujejo človeku in so okoljsko oporečna. Vendar pa kemična zaščita mnogokrat edina učinkovito podaljšuje življenjsko dobo lesnega izdelka.

V zadnjih letih se izvaja veliko poskusov in raziskav na področju modifikacije lesa. Termična modifikacija lesa je postopek, s katerim spremenimo kemično strukturo lesa. Les izpostavimo povišani temperaturi v odsotnosti kisika. Pri tem lahko uporabimo tudi višje tlake in vlažno okolje. Pri postopku ne uporabljamo nobenih kemičnih substanc (Hasan in Despot, 2003).

S termično modifikacijo dosežemo večjo trajnost in dimenzijsko stabilnost lesa, poslabšajo pa se njegove mehanske lastnosti. Lastnosti modificiranega lesa lahko uravnavamo s spreminjanjem parametrov termične modifikacije (najvišja temperatura modifikacije in čas izpostavitve najvišji temperaturi). Višja kot je temperatura modifikacije, večji sta dimenzijska stabilnost ter odpornost modificiranega lesa proti lesnim škodljivcem in slabše so mehanske lastnosti ter obratno. Obstaja tudi jasna povezava med izgubo mase in zelenimi lastnostmi termično modificiranega lesa (Rep in Pohleven, 2002).

Ker ima termično modificiran les videz postaranega lesa, ga lahko uporabljamo za cenjeno 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. ekskluzivni parket). Zaradi povečane trajnosti ter dimenzijske stabilnosti pa se največ termično modificiranega lesa porabi za zunanjo uporabo, kot so fasade, ograje, nenosilne konstrukcije, okna in vrata (Jirouš-Rajković in sod. 2007).

## 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Termično modificiran les ima boljšo dimenzijsko stabilnost, povečano odpornost proti lesnim škodljivcem, vendar pa nekoliko slabše mehanske lastnosti od nemodificiranega lesa. Ima temnejšo barvo od nemodificiranega lesa, kar bi lahko izkoristili tudi v dekorativne namene. Zaradi omenjenih lastnosti, je termično modificiran les primeren za uporabo v pogojih višje in hitro spreminjajoče se zračne vlažnosti, npr. za kuhinjsko pohištvo. Pohištveni elementi iz modificiranega lesa so ponavadi površinsko obdelani s premazi in pomembno je, kakšna je kompatibilnost običajnih, na trgu dosegljivih premazov z modificiranim lesom.

## 1.2 CILJ RAZISKOVANJA

Cilj diplomske naloge je bil raziskati lastnosti termično modificiranega hrastovega lesa v primerjavi z nemodificiranim in pa predvsem ugotoviti ali lahko premaze, ki jih trenutno uporabljajo v proizvodnji, uporabljamo tudi na modificiranem lesu. Še posebej nas je zanimalo, ali je mogoče nekoliko slabše lastnosti vodnega premaza »kompenzirati«, omiliti z uporabo modificiranih podlag. Pri sistemu modificiran hrastov les – premaz smo ugotavljali debelino utrjenega filma, mehanske lastnosti površinskega sistema (odpornost proti udarcem in razenju), odpornost proti vodi, oprijemnost utrjenega poliuretanskega laka in vodnega premaznega sistema ter estetske lastnosti (barva in sijaj).

## 1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da imajo modificirani preizkušanci slabše mehanske lastnosti in boljšo vodoodbojnost od nemodificiranega lesa. Oprijemnost premazov na modificiranem lesu ne bi smela biti bistveno slabša od oprijemnosti na nemodificirani podlagi. Pričakujemo, da bodo sistemi modificiran les – premaz zaradi boljših lastnosti primernejši za izdelavo in uporabo elementov kuhinjskega pohištva od sistemov z nemodificiranim lesom.

## **2 PREGLED OBJAV**

### **2.1 MODIFIKACIJA LESA**

Modifikacija lesa je skupina novejših postopkov, s katerimi želimo z okolju prijaznimi metodami in brez uporabe biocidov, les zaščititi pred škodljivci (tudi za najzahtevnejše razrede ogroženosti) ter izboljšati njegovo dimenzijsko stabilnost. Pri postopku modifikacije lesa se v lesu spremeni struktura osnovnih gradnikov - polimerov (celuloza, hemiceluloze, lignin) v celični steni. Posledica spremenjene zgradbe na molekulskem nivoju so drugačne lastnosti lesa (Teischinger in Stingl, 2002).

Les lahko modificiramo na več načinov in sicer z encimi, kemično ali termično (brez prisotnosti kisika).

#### **2.1.1 Pomen modificiranega lesa**

Evropa uvaža velike količine lesa z vsega sveta, vključno s številnimi tropskimi drevesnimi vrstami. Kot navaja Raggars (2007), je velik del uvoženega lesa posebej cenjen zaradi visoke naravne odpornosti. Evropa ima veliko domačih drevesnih vrst, ki imajo odlične lastnosti, vendar so žal preveč podvržene biotskim in abiotskim dejavnikom razkroja. Za nekatere vrste pa je značilna tudi precejšnja dimenzijska nestabilnost. Uvoz lesa visoke kvalitete ni ustrezen rešitev problema kratke trajnosti lesa domačih drevesnih vrst. Večanje števila prebivalstva povzroča obremenjenost gozdov, kar se odraža v nekontrolirani in preveliki sečnji. Rezultat so negativne posledice za okolje na globalnem nivoju. Rešitev tega problema je lahko v večji uporabi obstoječih manj naravno odpornih drevesnih vrst. Za to pa so potrebne tehnologije, ki povečajo odpornost lesa.

Naravna trajnost lesa je določena z lastno naravno odpornostjo proti abiotskim in biotskim dejavnikom razkroja lesa ter z mestom uporabe. V Evropi po standardu SIST EN 350-2, 1995, razdelimo drevesne vrste glede na odpornost v pet razredov. Naravna odpornost nekaj bolj znanih drevesnih vrst je podana v preglednici 1.

Preglednica 1: Razvrstitev drevesnih vrst po naravni odpornosti (SIST EN 350-2, 1995).

Razred 1 ZELO ODPORNE	Razred 2 TRAJNE	Razred 3 BOLJ TRAJNE	Razred 4 MALO TRAJNE	Razred 5 NE TRAJNE
Tropske drevesne vrste:			Macesen ( <i>Larix decidua</i> )	Javor ( <i>Acer pseudoplatanus</i> )
Tik	Brin ( <i>Juniperus</i> ssp.)	Duglazija ( <i>Pseudotsuga Menziesii</i> )	Smreka ( <i>Picea</i> ssp.)	Jesen ( <i>Fraxinus</i> ssp.)
Merbau	Evropski hrast ( <i>Quercus</i> ssp.)	Tuja ( <i>Thuja</i> ssp.)	Bor ( <i>Pinus</i> ssp.)	Bukev ( <i>Fagus sylvatica</i> )
Greenheart			Rdeči hrast ( <i>Quercus rubra</i> )	Topol ( <i>Populus</i> ssp.)
Kapur				

Tradicionalne metode, ki povečujejo odpornost lesa, ne zagotavljajo trajne rešitve, predvsem zaradi njihovega negativnega vpliva na okolje. Zato se razvija ali pa je že razvitih veliko novejših alternativnih tehnologij modifikacije lesa.

### 2.1.2 Načini modifikacije lesa

Glede na postopek spremembe zgradbe lesnih polimerov, obstajajo trije glavni načini modifikacije lesa:

- kemična modifikacija lesa
- encimska modifikacija lesa
- termična modifikacija lesa

#### 2.1.2.1 Kemična modifikacija lesa

Je način modifikacije lesa, kjer poteče reakcija med kemičnim reagentom in komponentami lesnih polimerov. Pri tem pride do spremembe le-teh. Najbolj običajni reakciji sta estrenje in etrenje hidroksilnih (-OH) skupin. Med reagentom in lesnimi polimeri nastanejo kovalentne vezi. Lastnosti kemično modificiranega lesa so odvisne od reagenta in od stopnje modifikacije (Rep in Pohleven, 2002).

#### 2.1.2.2 Encimska modifikacija lesa

Modifikacija lesa z encimi je za enkrat najmanj raziskano področje modifikacije. Sprememba osnovne molekulske strukture lesa lahko poteka s pomočjo encimov. Encim

lakaza spremeni strukturo lignina in s povečevanjem števila reaktivnih mest ugodno vpliva na lastnosti pri vročem lepljenju lesnih vlaken (Rep in Pohleven, 2002).

### 2.1.2.3 Termična modifikacija lesa

Termična modifikacija lesa se je začela razvijati v štiridesetih letih 20. stoletja. Pri lesu, ki so ga segrevali v vroči vodi v vroči kovinski kadi, je bila ugotovljena povečana odpornost proti glivam. Od takrat pa do danes so številni raziskovalci preučevali vpliv toplotne modifikacije lesa predvsem na izboljšanje njegove dimenzijske stabilnosti, odpornosti proti glivam, kakor tudi na izboljšanje drugih negativnih značilnosti lesa. Osnovna ideja termične modifikacije lesa je, da s segrevanjem spremenimo molekulsko strukturo komponent celične stene. Med procesom modifikacije nekateri polimeri (zlasti hemiceluloze in lignin) depolimerizirajo ter se ponovno zamrežijo, predvsem z reakcijami hidroksilnih skupin. Termična modifikacija običajno poteka v mediju inertnih plinov pri temperaturah med 150 °C in 260 °C. Prisotnost kisika bi povzročila oksidacijo lesnih polimerov zato ga z različnimi tehnikami odstranimo iz postopka (komore). Največji tehnični problem toplotne modifikacije lesa je poslabšanje njegovih mehanskih lastnosti. Glavni namen različnih postopkov toplotne modifikacije je izboljšati dimenzijsko stabilnost lesa in njegovo odpornost proti glivam ter insektom kolikor je le mogoče, pri tem pa naj bi se njegova trdnost le minimalno zmanjšala. Zaradi slabših mehanskih lastnosti, je toplotno modificiran les pretežno uporaben tam, kjer ni izpostavljen mehanskim obremenitvam, zaželjena pa je dobra dimenzijska stabilnost in trajnost lesa (Rep in Pohleven, 2002; Rapp in Sailer, 2001).

V Evropi (Finska, Francija, Nemčija in Nizozemska) ter v ZDA so razviti že številni različni postopki toplotne modifikacije lesa. Med sabo se razlikujejo predvsem po mediju za segrevanje, ki ga uporabljajo v procesu oz. po načinu zagotavljanja odsotnosti kisika (Rapp in Sailer, 2001; Militz, 2002).

Poznani postopki termične modifikacije so z:

- dušikom (Vernois, 2001).
- vodno paro (Jamsa in Viitainiemi, 2001).
- vročim oljem (Rapp in Sailer, 2001).
- v vakuumu (Rep in sod., 2004).



Pri procesih termične modifikacije pride do izboljšanja nekaterih lastnosti lesa, kot so manjše higroskopnosti (do 50 %), dimenzijska stabilnost (izboljšana do 90 %), povečanje odpornosti lesa proti biotskim dejavnikom razkroja ter zmanjšanje gorljivosti. Vendar pa se v vseh primerih toplotne modifikacije poslabšajo mehanske lastnosti lesa. Les postane krhek, posebno takrat ko so temperature pri modifikaciji zelo visoke (nad 200°C). Še posebej je zmanjšana udarna žilavost. Toplotno modificiran les je rjave barve, stopnja potemnelosti pa narašča sorazmerno s temperaturo, ki jo pri postopku uporabljamo. Tako potemnjen les ni odporen na UV svetlobo in hitro posivi. Če želimo ohraniti rjavo barvo, ga je potrebno za zunanjo uporabo dodatno zaščititi s površinskimi premazi (Rep in Pohleven, 2002).

### **2.1.3 Parametri, ki vplivajo na lastnosti termično modificiranega lesa**

Lastnosti termično modificiranega lesa so odvisne od različnih parametrov, kot so: vrsta lesa, vlažnost lesa, čas trajanja procesa, temperature modifikacije, vrsta in tlak grelnega medija. Kot grelni medij se uporabljajo dušik, vodna para ali razna rastlinska olja. Pri uporabi rastlinskega olja se med postopkom modifikacije nanj kemijsko veže kisik (Sailer in Rapp, 2000; Rapp in Sailer, 2001; Rep in Pohleven, 2002).

#### **2.1.3.1 Vrsta lesa**

Najpogosteje uporabljene drevesne vrste za termično modifikacijo so smreka, bor, jelka, breza. Modificirajo pa tudi druge drevesne vrste, največkrat uporabljajo tiste, ki so naravno manj odporne. Proces termične modifikacije je za vsako drevesno vrsto specifičen. Končni rezultat modifikacije je drugačen, glede na kemično sestavo lesa in celično strukturo. Za iglavce se ponavadi uporablja strožje režime kot za listavce, zaradi drugačnega namena uporabe. Les iglavcev se ponavadi uporablja za konstrukcije, kjer je potrebna zaščita pred vlago in škodljivci. Listavce se pogosteje vgrajuje v notranje prostore, poleg tega so večinoma naravno odpornejši ter jih velikokrat modificiramo le zaradi estetskih razlogov (Syrjanen in Oy, 2001).

Pri termični modifikaciji moramo biti pozorni na ustrezno kvaliteto lesa. Probleme pri modifikaciji lahko predstavljajo pokajoče in izpadle grče. Razkrojen in okužen les lahko povzroči dodatne, nezaželene barvne spremembe lesa.

Velik vpliv na modifikacijo ima orientacija sortimentov. Klasičen tangencialen rez lahko, posebno pri iglavcih, povzroči luščenje posameznih branik, če le-te potekajo horizontalno na površino žaganice. Najbolje je, da letnice ležijo pod kotom 45 °. Pri tem so deformacije manjše, trdnost površine je večja in tudi splošni izgled površine je lepši ter prijetnejši.

### 2.1.3.2 Temperatura

Potek termične modifikacije se sestoji iz treh faz:

- zviševanje temperature (segrevanje)
- modifikacija (konstantna temperatura)
- zniževanje temperature (ohlajanje)

V prvi fazi zviševanja temperature (segrevanja), se temperatura največkrat dviga od 100 °C do 150 °C. Temperatura med fazo modifikacije znaša med 150 °C in 260 °C ter je med procesom konstantna. Temperatura v fazi ohlajanja pada in sicer od temperature modifikacije na temperaturo okolice. Pri vseh treh stopnjah je pomembno, da razlika med temperaturo zraka in temperaturo lesa ni prevelika. V kolikor pride do prevelike razlike, se kvaliteta modificiranega lesa močno poslabša (Teischinger in Stingl, 2002).

Temperatura v veliki meri vpliva na lastnosti modificiranega lesa, saj trajno spremeni biološke, fizikalne in mehanske lastnosti lesa. Pri nižjih temperaturah je razgradnja lesnih substanc še sorazmerno nizka, pri temperaturah nad 150 °C pa se že opazijo večje spremembe. Izbrana temperatura modifikacije je odvisna od namena uporabe modificiranega lesa. Visoka temperatura zelo poveča biološko odpornost lesa, močno pa poslabša mehanske lastnosti. Za modifikacijo iglavcev uporabljajo višje temperature kot pa za les listavcev (Teischinger in Stingl, 2002).

Pri višjih temperaturah modifikacije lahko pride, ne samo do razgradnje hemiceluloze, temveč tudi do delne razgradnje lignina (Feist in Sell, 1987).

### 2.1.3.3 Čas modifikacije lesa

Čas modifikacije je odvisen od več dejavnikov: velikosti in kapacitete komore, dimenzij lesa, ki ga bomo modificirali in časa ohlajevanja (Sailer in sod., 2000).

Zelo pomemben je čas segrevanja, ki mora biti dovolj dolg, da se segreje celoten volumen lesa. Enakomerno modifikacijo lesa dosežemo le tedaj, kadar je temperatura v sredini lesa enaka končni temperaturi modifikacije. Trajanje modifikacije je odvisno od uporabljenega postopka:

- **nemški postopek**; modifikacija traja 48 ur, pri temperaturah od 150 °C do 240 °C (Rapp, 2001).
- **finski postopek**; modifikacija povprečno traja od 0,5 do 4 ure, pri temperaturi od 150 °C do 240 °C (Rapp, 2001).
- **francoski postopek**; čas modifikacije je odvisen od drevesne vrste, temperatura pa je od 150 °C do 240 °C (Rapp, 2001).

Faza ohlajevanja poteka, dokler temperatura lesa ne doseže temperature okolice. Pri termični modifikaciji ima temperatura večji vpliv kot čas modificiranja. Modifikacija pri nižjih temperaturah z daljšim časom trajanja ne daje enakih lastnosti lesa kot modifikacija pri višji temperaturi v bistveno krajšem času (Sailer in sod., 2000).

S podaljševanjem trajanja procesa modifikacije lesa se povečuje dimenzijska stabilnost, poslabšajo pa se njegove mehanske lastnosti ter zmanjša gostota lesa. Prav tako se pri daljšem trajanju procesa močneje spremenita barva in sijaj lesa (Patzelt in sod., 2002).

## 2.1.4 Lastnosti modificiranega lesa

### 2.1.4.1 Mehanske lastnosti

Modifikacija lesa lahko izboljša ali poslabša mehanske lastnosti lesa. To je odvisno predvsem od postopka in načina vzpostavitve pogojev brez kisika. Razlike lahko razložimo na več načinov. Velik vpliv na mehanske lastnosti ima vlažnost lesa. S postopkom modifikacije vplivamo na nižjo vsebnost vode v lesu, ko je v ravnovesnem stanju. Z nekaterimi postopki modifikacije v les vnesemo dodatno maso, ki poveča gostoto, ta pa mehansko odpornost.

S termično modifikacijo lesa se mehanske lastnosti lesa močno spremenijo. Čim višja je temperatura med procesom modifikacije, bolj se lesu poslabšajo mehanske lastnosti. Raziskave kažejo, da se modificiranemu lesu trdnost zmanjša od 5 % do 50 %, kar je odvisno od uporabljenega procesa (Raggers, 2007). Nezaželeni posledici modifikacije sta povečana krhkost lesa ter znatno zmanjšanje upogibne in natezne trdnosti. Uporaba termično modificiranega lesa v bolj obremenjenih konstrukcijah je omejena (Sailer in sod., 2000).

#### 2.1.4.2 Dimenzijska stabilnost

Les je higroskopen material, saj hidroksilne skupine v lesnem tkivu vežejo molekule vode z vodikovimi vezmi. Navlaževanje povzroča nabrekanje, sušenje pa krčenje celične stene. Takšne spremembe dimenzij lesa so nezaželene, ker lahko povzročijo nastanek razpok. Čim manjše je oddajanje in sprejemanje vode, bolj dimenzijsko stabilen je les (Gorišek, 1994).

Na higroskopičnost termično modificiranega lesa vplivajo različni pogoji, pri katerih poteka modifikacija. Proces modifikacije je potrebno optimizirati tako, da dosežemo maksimalno dimenzijsko stabilnost in odpornost proti razkroju z glivami ter minimiziramo poslabšanje mehanskih lastnosti. Vsekakor so zaželeni zmerni pogoji modifikacije, ki zagotavljajo visoke proizvodne kapacitete ter ustrezno izboljšanje kvalitete lesa, potrebno za različne namene uporabe (Tjeerdsma in sod., 1998).

Dimenzijska stabilnost je v veliki meri odvisna od procesa, končne temperature in drevesne vrste. S povečanjem izgube mase se zmanjšuje krčenje in nabrekanje lesa (Rapp in Sailer, 2001). Dimenzijsko stabilnost pri termični modifikaciji lahko ovrednotimo z dvema parametroma:

ASE (antishrink efficiency – protikrčitvena učinkovitost) v radialni  $ASE_r$  in  $ASE_t$  v tangencialni smeri poveta, za koliko je krčenje modificiranega lesa manjše od krčenja nemodificiranega lesa. ASE se ocenjuje med dvema ravnovesnima stanjema, večinoma med vlažnim in sušilnično suhim stanjem.

Rapp in Sailer (2001) navajata, da je ponavadi vrednost ASE med 40 % in 50 %. Možno pa je, da izboljšamo dimenzijsko stabilnost celo za 90 %. Teoretični mejni vrednosti ASE sta 0 % in 100 %. Vrednost 100 % pomeni material, ki se med dvema ravnovesnima stanjema ne skrči. ASE je kazalnik dimenzijske stabilnosti in ne vsebuje informacij o mehanskih lastnostih materiala.

MEE (moisture excluding effectiveness – sposobnost preprečevanja navlaževanja) je kazalnik, ki se je široko uveljavil pri kvantificiranju uspešnosti dimenzijske stabilnosti lesa s površinskimi premazi in nam pove, za koliko odstotkov sprejme neobdelan vzorec več vode kot tretiran (Gorišek, 1994).

#### 2.1.4.3 Izguba mase

Izguba mase je zelo pomembna, saj vpliva na vse ostale biološke, fizikalne in kemijske lastnosti termično modificiranega lesa. Pri termični modifikaciji les izgubi nekaj svoje mase. Izguba lesne mase je odvisna od več dejavnikov:

- časa
- tlaka
- temperature

V največji meri izgubo mase pogojujeta temperatura in čas modifikacije, v manjši meri pa nanjo vpliva tudi drevesna vrsta. Pomembna dejavnika sta tudi začetna vlažnost lesa ter medij, s katerim prenašamo toploto na les.

Rep in sodelavci (2004) navajajo, da so vzorci smrekovine, modificirane pri maksimalni temperaturi med 190 °C in 230 °C, izgubili med 3,5 % in 24 % svoje mase. Patzelt in sodelavci (2002) pa navajajo, da je pri istih pogojih termične modifikacije les bukovine izgubil več mase kot les smrekovine.

#### 2.1.4.4 Odpornost proti vremenskim vplivom

Izpostavljenost nezaščitenega lesa abiotskim dejavnikom (voda, svetloba, temperatura, kisik) ima za posledico nastanek razpok na površini, krčenje in nabrekanje lesa, spremembo barve, razgradnjo lignina ter druge poškodbe. Modifikacija na odpornost lesa

proti vremenskim vplivom deluje pozitivno, zaradi izboljšane dimenzijske stabilnosti (manj razpok, manjše krčenje in nabrekanje).

#### 2.1.4.5 Odpornost proti glivam in insektom

Pri modifikaciji dosežemo zaščito proti glivam in insektom na dva načina, ki pa sta neškodljiva za okolje. Prvi način je z zasedenostjo hidroksilnih skupin v celični steni, kar zmanjša adsorpcijo vode in tako les ne doseže primerne vlažnosti za razvoj gliv. Drug način je s spremembo lesnih polimerov med postopkom modifikacije in tako postanejo specifični encimi, ki jih škodljivci izločajo za razgradnjo lesnega tkiva, neučinkoviti.

Klasifikacija termično modificiranega lesa temelji na standardu SIST EN 335-1 (Trajnost lesa in lesnih materialov – definicija razredov izpostavitve pred biološkim napadom - 1995). Termično modificiran les lahko uporabljamo v največ tretjem razredu izpostavitve (pogosto vlaženje, nad tlemi), medtem ko se odsvetuje uporaba v četrtem razredu izpostavitve (stalno v vodi ali v stiku s tlemi) (Tjeerdsma in sod., 1998).

Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesa (SIST EN 335-1, 1995).

RAZRED IZPOSTAVITVE	IZPOSTAVITVENI POLOŽAJ	VLAŽENJE	VSEBNOST VLAGE
I.	nad tlemi, pokrito	stalno suho	pod 20 %
II.	pokrito, nad tlemi, nevarnost močenja	občasna navlažitev	občasno nad 20 %
III.	nad tlemi, nepokrito	pogosta navlažitev	pogosto nad 20 %
IV.	v tleh ali vodi	stalno izpostavljen navlaževanju	stalno nad 20 %
V.	v morski vodi	stalno izpostavljen močenju morske vode	stalno nad 20 %

Termično modificiran les ima znatno izboljšane trajnostne lastnosti. Zaradi zmanjšane higroskopnosti je povečana odpornost proti glivam mehke in rjave trohnobe. Ker je v metabolizmu gliv bele trohnobe vključena pretvorba hemiceluloze, je znižan delež le-te, zaradi modifikacije lesa, verjetno najpomembnejši razlog za povečanje odpornosti proti glivam bele trohnobe (Rep in sod., 2004).

#### 2.1.4.6 Ognjeodpornost

Kemična modifikacija lesa običajno ne vpliva na ognjeodpornost lesa. Termično modificiran les, kateremu se pri postopku poškoduje struktura površine, je v primerjavi s termično neobdelanim lesom bolj vnetljiv. Z višjo stopnjo modifikacije in z naraščanjem izgube mase pri termični modifikaciji se vnetljivost lesa sorazmerno povečuje (Patzelt in sod., 2002).

#### 2.1.4.7 Trdnost lepilnega spoja

Nezadostne interakcije med lepilom in lepilno površino lesa ter spremembe dimenzij lesa, zaradi spremembe vlažnosti, sta najpogostejša vzroka za popustitev lepilnega spoja pri nemodificiranemu lesu. Termično modificiran les počasneje absorbira vodo. Zato je pri lepilih na vodni osnovi potreben daljši čas stiskanja. Primerna lepila za lepljenje modificiranega lesa so resorcinol fenolna, poliuretanska in druga dvokomponentna lepila. Paziti moramo na tlake stiskanja zaradi krhkosti materiala.

Trdnosti lepilnega spoja modificiranih vzorcev se gibljejo med 66 % in 95 % trdnosti lepilnega spoja naravnih vzorcev. Dobra trdnost lepilnega spoja je dosežena, če uporabljamo lepilo z visokim bazičnim deležem, ki v kombinaciji s kisló površino termično obdelanega lesa doseže pozitiven učinek pri kvaliteti lepljenja (Teischinger in Stingl, 2002).

#### 2.1.4.8 Vrednost pH

Pri termični modifikaciji je sprememba vrednosti pH sorazmerna z izgubo mase. Naraščajoča temperatura pri modifikaciji povzroča večjo izgubo mase in s tem sorazmerno večji padec vrednosti pH. Sprememba vrednosti pH ima negativen vpliv pri lepljenju in površinski obdelavi modificiranega lesa.

#### 2.1.4.9 Akustične lastnosti

Pri modificiranem lesu se akustične lastnosti lesa, zaradi dimenzijske stabilnosti izboljšajo. Frekvenca resonance, ki je zelo pomemben dejavnik pri tonih zvoka, se stabilizira pri acetiliranju lesa (Yano in Minato, 1993).

#### 2.1.4.10 Barva

Pri visoki temperaturi med procesom modifikacije, dobijo termično obdelani lesovi večinoma značilno rjavo barvo. Kot skoraj vse spremembe v lesu 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 pa je odvisna tudi od lesne vrste (Raggers, 2007).

Barva termično modificiranega lesa se pod vplivom UV svetlobe vseskozi spreminja (Rapp in Sailer, 2001).

#### 2.1.4.11 Vonj

Vonj termično modificiranega lesa se spremeni. Les dobi značilen karamelni vonj, ki je posledica depolimerizacije in sproščanja hlapnih spojin. Intenzivnost vonja se s časom zmanjšuje. Močan vonj v nekaterih primerih omejuje uporabo termično modificiranega lesa v zaprtih prostorih.

### 2.1.5 Uporaba termično modificiranega lesa

Kakovost termično modificiranega lesa se močno razlikuje od kakovosti navadnega lesa. Namenjen je zunanji in notranji uporabi, kjer je zahtevana povečana odpornost proti škodljivcem ali pa dimenzijska stabilnost, ni pa zahtev po velikih mehanskih obremenitvah. Pomembna prednost modificiranega lesa je, da ne vsebuje smole.

Najpogosteje se uporablja termično modificiran les za:

- vrtno pohištvo
- okna/vrata
- talne obloge
- zunanje opaže
- specifične namene (savna, kopalnica)

Odpornost termično modificiranega lesa proti glivam in insektom je odvisna o 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 in vodo ni primerna (Militz, 2002).

### **2.1.6 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 ( $\text{pH} = 3$ ) zaradi kislin, 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.

## **2.2 POLIURETANSKI (PU) PREMAZI ZA LES**

PU premazi imajo pomembno mesto v površinski obdelavi pohištva. Utrjevanje poteka po specifični reakciji z utrjevalcem, zato jih uvrščamo med kemijsko utrjujoče premaze. Sočasno s premreževanjem pa poteka tudi izparevanje topil, torej gre za kombinacijo kemijskega in fizikalnega utrjevanja.

PU premazi so eno- ali dvokomponentni sistemi, s srednjevisoko vsebnostjo suhe snovi (30 % do 60 %) (Kotnik, 2003). V praksi se uporabljajo predvsem dvokomponentni PU premazi. Enokomponentni sistemi reagirajo z vodo iz lesa ali zraka, pri dvokomponentnih pa izocianati prve komponente, reagirajo z  $-\text{OH}$  skupinami druge.

### **2.2.1 Osnovne vrste PU premazov**

Osnovna delitev PU premazov je na eno- in dvokomponentne. Lahko pa jih še nadalje delimo glede na namen uporabe in druge lastnosti (npr. PU izolacijski premazi, PU brezbarvni ali barvni premazi, PU akrilni premazi, modificirani PU premazi itd.).

#### **2.2.1.1 Enokomponentni PU premazi**

Enokomponentni PU premazi so raztopine PU polimera, ki ima v svoji molekularni zgradbi še proste izocianatne skupine (prepolimer). Utrjujejo tako, da ob minimalnem oddajanju

topil absorbirajo vlago iz zraka, ki omogoči kemijsko reakcijo zamreženja. Pri reakciji se sprošča ogljikov dioksid (oksidacijsko utrjevanje). Enokomponentni premazi vsebujejo le od 20 % do 30 % suhe snovi. Potreben je tanjši nanos ( $80 \text{ g/m}^2$  do  $100 \text{ g/m}^2$ ), saj v nasprotnem primeru lahko nastanejo napake v filmu. Pomembno je dobro tesnjenje embalaže, da reakcija ne poteka že med skladiščenjem. Enokomponentni PU premazi so univerzalni in preprosti za uporabo. Zaradi njihove občutljivosti in nestabilnosti, ki je povezana z načinom utrjevanja, se jih redko uporablja (Jaić in Živanovič-Trbojevič, 2000).

#### 2.2.1.2 Dvokomponentni PU premazi

Dvokomponentni PU premazi so v površinski obdelavi lesa pomembnejši. V grobem so sestavljeni iz osnovne smole in utrjevalca. Komponenti zmešamo med seboj v ustreznem razmerju tik pred uporabo (Ambrosi in Offredi, 1996). Utrjujejo s kemijsko reakcijo med komponentama, hkrati pa se v manjši meri vrši tudi izparevanje topil. Vsebujejo do 70 % suhe snovi. Pri dvokomponentnih premazih je dovoljen debelejši nanos (do  $200 \text{ g/m}^2$ ). Uporabnost mešanice se pri višji zračni vlažnosti in temperaturi skrajša, hitrost utrjevanja pa se poveča, zaradi česar se poveča možnost nastanka napak.

Sušenje traja pri normalnih pogojih od ene do štirih ur, odvisno od vrste laka in nanosa. Utrjevanje laka lahko znatno pospešimo pri povišani temperaturi od  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Previsoka temperatura ali dodatno IR sevanje pa nimata koristnega učinka. Dobro utrjen film laka je mogoče uspešno polirati. Obstojnost pripravljene mešanice se v vlažnem in toplem vremenu skrajša, hitrost utrjevanja pa poveča, zaradi česar se poveča možnost nastanka napak.

#### 2.2.2 Sestava PU premazov

PU premazi poleg veziva in topil vsebujejo še druge dodatke za izboljšanje lastnosti, kot so: ustrezna redčila, polnila, pigmenti in dodatki za razlivanje, proti usedanju pigmentov, za boljše brušenje, dodatki za motnenje (za izgled mat površine), pospešila (pospešijo reakcijo), antioksidanti, UV absorberji, mehčala, tiksotropna sredstva, sredstva proti penjenju, biocidi, ipd.

### 2.2.3 Lastnosti PU premazov

Vsem poliuretanskim premazom je skupen trd in hkrati elastičen utrjen film, odporen proti obrabi in kemikalijam ter dobra sposobnost adhezije z nanašalno površino. Izrazita prednost premazov, ki utrjujejo z reakcijo izocianatov, je sposobnost utrjevanja tudi pri temperaturi 0 °C (Bentley in Turner, 1998).

Prednosti:

- ustvarjajo trde in hkrati elastične filme,
- zelo dobra adhezija z nanašalno površino
- odpornost filmov proti udarcem, obrabi, vremenskim vplivom in kemikalijam
- tvorijo debelejšje filme, kar omogoča kakovostno obdelavo z manjšim številom nanosov
- okoljsko ugodnejša vrsta premazov, zaradi visoke vsebnosti suhe snovi
- razmeroma kratek čas utrjevanja (od 1 ure do 4 ur v normalnih razmerah)
- omogočajo doseganje različnih stopenj sijaja
- dobra izolativnost
- možnost lakiranja na zaprte in odprte pore
- dobra vezava pigmentov
- dobra trajnost utrjenih filmov
- poudarijo teksturo lesa

Slabosti:

- čas uporabe mešanice (pot life) znaša samo od dve do osem ur
- občutljivost izocianatne komponente na zračno vlago, kar je potrebno upoštevati pri skladiščenju
- nekoliko slabša sposobnost razlivanja
- nagnjenost filma k rumenenju
- relativno visoka cena

### 2.2.4 Uporaba PU premazov

Uporaba PU premazov še vedno narašča, saj le-ti omogočajo visoko kvaliteto obdelave, so okoljsko kar sprejemljivi in niso preveč zahtevni glede utrjevanja. Uporablja se jih

predvsem tam, kjer so površine zelo obremenjene, zaradi pogoste uporabe določenega izdelka (Alić, 1997). Primeri takšnih izdelkov so kuhinjsko, šolsko, pisarniško, stanovanjsko in laboratorijsko pohištvo ter pohištvo v restavracijah, športni pripomočki, notranja vrata, stopnice, parket, itd. Možna je tudi zunanja uporaba.

### 2.3 PREMAZI ZA LES NA VODNI OSNOVI

Vodni premazi za zaščito lesa predstavljajo okolju in zdravju prijaznejšo alternativo v primerjavi s klasičnimi topilnimi sistemi (nitrocelulozni in poliuretanski laki). Tako je zaradi vse višjih zahtev po kemijski odpornosti obdelanih površin, kakor tudi zaradi zahtev slovenske zakonodaje, vse bližja zamenjava topilnih premazov z vodnimi. Ne glede na to, da industrija na splošno še ni pripravljena preiti na modernejše premaze, močno narašča zanimanje za vodne premaze. Razvoj veziv je usmerjen v enakovredno zamenjavo organskih topilnih sistemov z vodnimi sistemi.

Premazi na vodni osnovi imajo poleg dobrih lastnosti tudi nekaj slabih. Da bi odpravili ali vsaj izboljšali te lastnosti, so že pred leti pričeli z evropskimi razvojnimi projekti, ki so vključevali raziskovalne inštitute, proizvajalce premazov, opreme in proizvajalce pohištva. Namen je bil razviti premaz na vodni osnovi za pohištvo, ki bo zadostil zahtevam industrije in končnih uporabnikov v smislu nanosa, izgleda ter odpornosti. Razvoj pri proizvajalcih veziv in premaznih sredstev poteka predvsem v smeri vodnih eno- in dvo komponentnih poliuretanskih lakov, ki naj bi izboljšali osnovne pomanjkljivosti vodnih premazov, npr. slabšo kemijsko odpornost in odpornost proti razenju.

Zadnji razvojni dosežki na področju vodnih premazov kažejo, da je slabosti, povezane s sušenjem vodnih premazov v primerjavi s sušenjem konvencionalnega sistema, lahko premagati. Rešitev je uvedba sušilnikov različnih vrst. Novost na področju sušenja vodnih lakov predstavlja mikrovalovni sušilnik, ki tako hitro posuši film od znotraj, da se lesna vlakna ne uspejo dvigniti in faza brušenja sploh ni potrebna. Slabost takega sušenja je, da lahko, zaradi poznejšega izparevanja vode, pade odpornost premaza.

### 2.3.1 Sestava vodnih premazov za les

Vodni premazi vsebujejo različne sestavine, ki narekujejo lastnosti le-teh in te so:

- vezivo, ki je najpomembnejše
- demineralizirana voda; v vodnih sistemih deluje kot redčilo. Voda v premaznih sistemih je vedno demineralizirana, ker s tem preprečimo možnost nastanka reakcij med mineralnimi snovmi v vodi in ostalimi sestavinami sistema. Z uporabo demineralizirane vode zagotovimo daljšo delovno dobo nanašalne opreme. V fazi sušenja preprečimo nepravilnosti, ki jih lahko prinese uporaba navadne, neprečiščene vode (Van Ginkel, 2002).
- zamreževalci; vloga zamreževalca v lakirnem sistemu je povezati molekule med seboj v kompaktne mrežaste strukture
- emulzija voska; voske v vodne premazne sisteme dodajamo za večjo trdoto posušenega filma, obenem pa z njimi uravnavamo sijaj. Več kot sistem vsebuje voskov, večja je njegova odpornost proti razenju. Velikost in tvorba delcev voska, ki potujejo proti površini tekočega laka povzročata razprševanje, kar zmanjša sijaj. Zato je potrebno količino voskastega sredstva prilagoditi na zahtevani sijaj (Van Ginkel, 2002).
- protipenilci; odstranjujejo peno, ki nastane zaradi ujetega zraka v premaznem sistemu
- sredstvo za zgoščevanje; za uravnavanje viskoznosti
- površinsko aktivne snovi; z njimi zmanjšamo površinsko napetost vode in s tem celotnega sistema, kar omogoči enakomerno vlaženje površine ter s tem enakomerno razlivanje

### 2.3.2 Lastnosti vodnih premazov

Skupna lastnost vodnih premazov je, da so ekološko prijaznejši od ostalih vrst premazov in da dvigujejo lesna vlakna, kar zahteva zahtevnejše brušenje.

Prednosti:

- so prijaznejši do okolja, saj vsebujejo le malo organskih topil
- eksplozijsko in požarno varnejši
- možnost čiščenja in redčenja z vodo
- so skoraj pH nevtralni

- blag vonj
- med staranjem ne porumenijo

Slabosti:

- površinska napetost (voda ima visoko površinsko napetost, kar povzroča slabo omakanje in s tem napake na površini obdelovanca zato jo moramo zmanjšati)
- dvigovanje lesnih vlaken (dvig vlaken lesa, zaradi stika z vodo je dobro znan, a nezaželen učinek v lesni industriji. To vodi do nastanka hrapave površine, kar zahteva posebno nadaljnjo obdelavo z natančnim ter kvalitetnim brušenjem v najmanj treh fazah pred površinsko obdelavo)
- delež suhe snovi (majhen v primerjavi s sistemi na osnovi topil, kar zahteva več nanosov, da dosežemo zadostno debelino utrjenega filma)
- odpadne vode, ki nastajajo tako pri lakiranju kot tudi pri čiščenju orodja
- dolg čas sušenja zaradi nizke hlapnosti vode

### **2.3.3 Uporaba vodnih premazov**

Najpogostejši primeri uporabe vodnih lakov so:

- premazovanje parketa, lesenih stenskih oblog, stopnic itd. v notranjosti stanovanja
- za lakiranje lesenih igrač in druge lesne galanterije v lakirnih bobnih
- za valjčno zaščitno lakiranje dekorativnih folij na pohištvenih ploščah
- barvne in brezbarvne impregnacije za umakanje in oblivanje lesnih izdelkov (galanterija, stoli itd.)
- za valjčno lakiranje furnirja in furniranih plošč v sistemih z utrjevanjem z vročimi kalandri

### 3 MATERIALI IN METODE

#### 3.1 MATERIALI

##### 3.1.1 Priprava podlage

Za podlago smo uporabili les hrastovine (60 vzorcev), brez napak, velikosti 210 mm × 75 mm × 22 mm, ki so bili predhodno poravnani na poravnalnem skobeljnem stroju in nato še poskobljani na končne dimenzije na debelinskem skobeljnem stroju. Nato je sledilo še krojenje na končno dolžino na krožnem žagalnem stroju.

##### 3.1.2 Priprava testnih vzorcev in določitev temperature modificiranja

Pred modificiranjem smo morali določiti najprimernejšo temperaturo modifikacije in sicer tako, da smo naredili testne vzorčke lesa hrastovine dimenzij 20 mm × 20 mm × 20 mm, ki smo jih nato, po 20 skupaj, dali v komoro pri različnih temperaturah (150 °C, 175 °C, 200 °C in 225 °C). Vsakič, ko smo zamenjali temperaturo, smo zamenjali tudi testne vzorčke. Glede na barvo modificiranih testnih vzorcev (neobjavljeni rezultati diplomanta Jenko, 2007) smo izbrali temperaturo modifikacije in sicer smo se odločili za dve temperaturi,  $T_1 = 150\text{ °C}$  in  $T_2 = 200\text{ °C}$ .

##### 3.1.3 Razdelitev in sušenje preizkušancev (podlage)

Sledila je razdelitev vzorcev: 40 vzorcev smo modificirali (20 vzorcev pri  $T_1 = 150\text{ °C}$  in 20 vzorcev pri  $T_2 = 200\text{ °C}$ ) ostalih 20 pa smo uporabili kot kontrolne vzorce. Vse pripravljene vzorce smo pred modificiranjem posušili do absolutno suhega stanja v sušilniku (Kambič) pri  $T = 103 \pm 2\text{ °C}$  in jih po sušenju tudi stehtali.

#### 3.2 METODE

##### 3.2.1 Priprava vzorcev na modifikacijo

Posušene vzorce smo nato pripravili za modifikacijo v vakuumski komori (slika 1). Vzorce smo položili na mrežice, med katere smo dali distančne letvice, da se toplota bolj enakomerno porazdeli okoli vzorcev. Nato smo okrog vzorcev namestili še srebrno folijo, ki preprečuje ožig vzorcev. Poleg vzorcev za modifikacijo smo položili sledilni vzorec, v

katerega smo v izvrtano luknjo vstavili sondo, ki nam je dajala sprotne podatke o stanju v lesu med procesom modifikacije (slika 2). Sledilni vzorec smo zamenjali vsakič, ko smo pričeli z novo serijo modifikacije.



Slika 1: Vakuumska komora (Kambič)



Slika 2: Vzorci, pripravljene za vakuumiranje

### 3.2.2 Modifikacija

Proces modifikacije smo pričeli z vakuumiranjem. Najprej smo nastavili pogoje za izpis glave in časa (vsake 3 min) za izpis razmer v komori ( $T_{\text{komore}}$ ,  $T_{\text{vzorcev}}$  in tlak v komori). Nastavili smo tudi  $T_{\text{komore}}$  in sicer na temperaturo (približna  $T$ ), ki smo jo določili s pomočjo testnih vzorcev. Nato smo vključili vakuumsko črpalko in pričeli vakuumirati. Vakuumirali smo približno 15 min, nato pa smo črpalko ustavili in temperaturo komore regulirali samo še s pomočjo  $T_{\text{komore}}$ , ki pa je morala biti nižja od  $T_{\text{vzorcev}}$  zaradi podtlaka, ki je približno  $-0,9$  bara in s časom pada zaradi plinov, ki izhajajo iz vzorcev.



Ko smo dosegli želeno  $T_{\text{vzorcev}}$ , smo jih pustili v komori pri tej temperaturi še 3 ure, nato pa smo nastavili  $T_{\text{komore}}$  pod sobno temperaturo ( $\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) in še enkrat zvakuumirali ( $\sim 15\text{ min}$ ) tako, da smo odstranili vlago (" kondenz ") s stekla. Nato smo črpalko za vakuumiranje ugasnili in pustili vzorce v komori približno 24 ur. Nato smo v komoro spustili zrak z vpustnim ventilom komprimiranega zraka in šele nato komoro odprli.

Vzorce smo nato sušili v komori ( $T = 103 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) za en dan, za tem pa smo jih stehali in te podatke primerjali s podatki mas, ki smo jih dobili s tehtanjem pred vakuumiranjem. Tako smo lahko določili izgubo mase, ki je nastala zaradi modifikacije.

### 3.2.3 Lakiranje in klimatizacija preizkušancev

Modificirane vzorce (slika 3) smo poslali v podjetje SVEA Lesna industrija d.d., Zagorje ob Savi, kjer so le te pobrusili na brusilnem stroju, po brušenju pa je sledil nanos premaznega sredstva z brizgalno tehniko (brizgalna pištola). Na polovico vzorcev (30 vzorcev, od tega 10 kontrolnih, 10 modificiranih pri  $T_1 = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$  in 10 pri  $T_2 = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) so nanесли poliuretanski lak (PU-croma lacke) Najprej temeljni sloj, sledilo je brušenje in nato še nanos končnega sloja. Na drugo polovico vzorcev pa so nanесли vodni lak (Cromaqua Treppensiegel; temeljni in končni). Vzorca so bili prebrizgani z vseh strani.

Ko so bili vzorci s premaznima sistemoma (vodni in PU) posušeni, smo jih dali v klimatizirano sobo na Biotehniški fakulteti, Oddelek za lesarstvo, Katedra za površinsko obdelavo. Pogoji 21-dnevnega kondicioniranja so bili: relativna zračna vlažnost 57 % in temperatura  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Po 21 dneh smo lahko začeli s preskušanjem. Določali smo debelino premaznega sistema, oprijemnost premaznega sistema na podlago, odpornost proti udarcem, odpornost površinskega sistema proti razenju (trdoto površinskega sistema), odpornost robov proti vodi, sijaj površinskega sistema in barvni ton v CIE  $L^*a^*b^*$  barvnem sistemu.



Slika 3: Kontrolni in modificirani preizkušanci; pri temperaturi 150 °C in 200 °C (od leve proti desni)

### 3.2.4 Določanje lastnosti površinskih sistemov

V nadaljevanju smo ugotavljali naslednje lastnosti površine (premaznih sistemov), v odvisnosti od podlage:

- debelina utrjenega filma
- oprijemnost premaznega sistema na podlago
- odpornost proti udarcem
- odpornost površinskega sistema proti razenju – trdota površinskega sistema
- odpornost robov proti vodi
- sijaj površinskega sistema
- barvni ton  $L^*a^*b$

#### 3.2.4.1 Merjenje debeline utrjenega filma

Debeline utrjenih filmov smo določali po mikroskopski metodi SIST EN ISO 2808:1999.

Preizkus smo opravili tako, da smo iz šestih preizkušancev (3 vodni lak in 3 PU lak) izžagali po en (prečno na potek vlaken), približno 7,5 cm dolg in 1 cm širok vzorec in nato s stereo-lupo (120 × povečava) opravili meritev oz. določili debelino utrjenega filma v prečnem prerezu. Opravili smo po nekaj meritev. Kot rezultat smo navedli povprečne vrednosti meritve v  $\mu\text{m}$  (preglednici 6 in 7).

Mikroskopska metoda (slika 4) je ena najbolj zanesljivih metod merjenja debeline suhega filma.



Slika 4: Mikroskop za merjenje debeline suhega filma

#### 3.2.4.2 Merjenje oprijemnosti premaznega sistema na podlago

Oprijemnost premaznega sistema smo določali po SIST EN ISO 4624:2004.

Za določitev oprijemnosti smo uporabili metodo s pečati. Na vsak preizkušanelec (30 preizkušancev) smo z dvokomponentnim epoksidnim lepilom prilepili po tri pečate (slika 5) velikosti premera 20 mm ( $1\text{ cm}^2$ ), ki smo jih pred lepljenjem predhodno pobrusili, da smo dosegli določeno hrapavost, ki je potrebna, da se pečat zadovoljivo prime (zlepi) podlage oz. premaznega sistema. Po utrditvi lepila smo s kronske rezilom (žagico) okoli pečatov zarezali film premaza do podlage (slika 6). Tako pripravljene pečate smo potem vpeli v trgalno napravo in jih odtrgali s pomočjo natezne sile, sočasno pa smo tudi odčitali silo, ki je bila potrebna, da se je pečat odtrgal (slika 7). Rezultate smo podali kot povprečno vrednost oprijemnosti ( $\sigma$ ) v MPa (preglednici 8 in 9).



Slika 5: Vzorci, pripravljeni na merjenje oprijemnosti premaza na podlago



Slika 6: Zarezovanje filma premaza okoli pečatov do podlage s kronskim rezilom



Slika 7: Naprava za odtrgovanje pečatov

### 3.2.4.3 Merjenje odpornosti proti udarcem

Meritev je bila izvedena po standardni metodi SIST ISO 4211-4:1995.

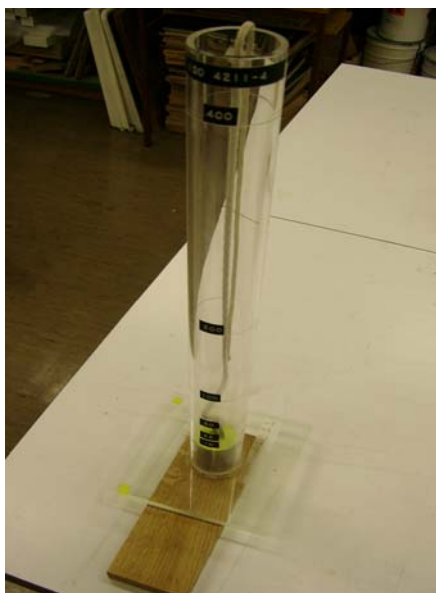
Določanje odpornosti proti udarcem je bilo opravljeno z napravo za usmerjanje udarcev (slika 8) in sicer tako, da smo na vzorce v vodoravnem položaju (linija udarcev je potekala

pravokotno na usmeritev vlaken) spuščali utež mase 500 g z višine 10 mm na jekleno kroglico premera 14 mm. Na vsak vzorec (pet vzorcev za vsako temperaturo modifikacije podlage in za vsak lak) smo izvedli po pet spustov.

Po opravljeni nalogi smo površino preizkušancev pazljivo pregledali in s pomočjo lupe  $10\times$  povečave (po standardu) ocenili poškodbo, ki je pri tem nastala. Oceno smo zapisali s številčnimi vrednostmi (preglednici 10 in 11), kot je to opisano v preglednici 3.

Preglednica 3: Ocenjevanje poškodb po SIST ISO 4211-4:1995

OCENA	OPIS
5	Ni nobenih sprememb
4	Razpok v filmu laka ni, na mestu udarca zasledimo le deformacijo v obliki udrtine, ki je vidna v soju odbite udrtine
3	Na površini se pojavijo manjše razpoke (ponavadi ena ali dve), ki so lahko krožne ali polkrožne oblike
2	Pojavi se večje število razpok, ki so omejene znotraj deformacije oz. udrtine
1	Znotraj in zunaj deformacije oz. udrtine se pojavi večje število razpok ali/in prihaja do luščenja filma laka



Slika 8: Naprava za usmerjanje udarcev (spust uteži)

#### 3.2.4.4 Merjenje odpornosti površinskega sistema proti razenju – trdota površinskega sistema

Meritev smo izvedli po SIST EN ISO 1518:2001.

Za določanje odpornosti proti razenju smo uporabili vzmetni svinčnik s konico premera 1 mm (slika 9). S pomikom drsnega obroča smo nastavili ustrezno obremenitev na konico (5 N, 3 N, 2 N) in nato s svinčnikom razili po površini vzorca prečno na potek vlaken (po celotni širini vzorca). S tem smo poskušali definirati silo, ki je potrebna za nastanek mehanske poškodbe površinskega sistema. Kot rezultat smo zapisali vrsto poškodbe (razpoka oz. raza – po celotni površini ali pa samo na mestu por ali pa, če je bila samo sled) in tudi širino poškodbe v mm, ki smo jo določili s pomočjo lupe  $10\times$  povečave.



Slika 9: Vzmetni svinčnik za določanje odpornosti proti razam

#### 3.2.4.5 Preizkušanje odpornosti robov proti vodi

Preskus smo izvedli po nestandardni, interni metodi. Rob preizkušanca smo potopili v vodo temperature  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , do višine 20 mm (slika 10), z robno ploskvijo navzdol. Čas potapljanja je bil 3 ure in 24 ur. Pred obremenitvijo in po njej smo na treh mestih vsakega vzorca izmerili njegovo debelino in spremembo debeline zaradi potapljanja. Debelino vzorcev smo merili s pomočjo mikrometra (slika 11). Pred potopitvijo smo morali čela vzorcev premazati z epoksidno smolo, ki je preprečevala vpijanje vode. Nabrek smo ocenili v odstotkih ter dobljene podatke podali v preglednicah 14 in 15.



Slika 10: Površinsko obdelani (premazani) vzorci, potopljeni v vodo



Slika 11: Mikrometer za merjenje debeline vzorcev

#### 3.2.4.6 Merjenje sijaja površinskega sistema

Merjenje sijaja smo izvajali na popolnoma suhih/utrjenih filmih vodnega in poliuretanskega laka. Meritve smo izvajali po metodi SIST EN ISO 2813:1999.

Meritev smo opravili pri dveh kotih vpadne svetlobe ( $60^\circ$  in  $85^\circ$ ). Najpomembnejša je bila meritev pod kotom  $60^\circ$ , saj je le-ta najbolj običajna in sicer v vzdolžni smeri preizkušancev. Meritve smo opravili z merilno napravo (AcuGloss – slika 12) tako, da smo instrument postavili vzdolžno na površino preizkušanca in merilna naprava je samodejno odčitala stopnjo sijaja pod vsemi tremi koti. Rezultati so se samodejno zapisali v računalniško datoteko. Za vsak preizkušaneec posebej smo opravili po tri meritve, nato pa smo izračunali povprečje (preglednice 16 – 21). V preglednici 4 je navedena starejša delitev površinskih premazov za les glede na njihov sijaj.

Preglednica 4: Delitev premazov za les, glede na sijaj (JUS D.E8.224, cit. po Tušar, 1995)

LASTNOST POVRŠINE PREMAZA	VREDNOST SIJAJA [%]
Visoko sijajna	Nad 80
Sijajna	61 – 80
Pol sijajna	41 – 60
Pol mat	21 – 60
Mat	1 – 20
Popolni mat	0



Slika 12: Instrument za merjenje sijaja (AcuGloss)

### 3.2.4.7 Merjenje barve v sistemu CIE L\*a\*b\*

Merjenje barve smo izvedli pri popolnoma suhih/utrjenih filmih laka (vodni in PU) in sicer v barvnem koordinatnem sistemu CIE - L\*a\*b\* po standardu ASTM D 2244 – 93.

Meritve smo opravili z merilnim aparatom (X-Rite, model SP 62), ki je prikazan na sliki 13. Opravili smo po tri meritve na vsakem preizkušancu, v vzdolžni smeri. Po meritvah smo izračunali skupno povprečje desetih preizkušancev (za vsako vrsto laka in za vsako temperaturo posebej) nato pa smo izračunali barvno razliko  $\Delta E^*$  po enačbi 1 in primerjali ocene barvnih razlik po lestvici, ki je napisana v preglednici 5.

$$E^* = \sqrt{(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \dots(1)$$



Preglednica 5: Ocena barvnih razlik (Sandermann in Schlumbom, 1962)

RAZLIKA $\Delta E$	OCENA BARVNE RAZLIKE
od 0 do 2,3	ni zaznana nobena sprememba
od 2,3 do 4,2	komaj zaznana sprememba
od 4,2 do 10	razločna sprememba
od 10 dalje	zelo razločna sprememba



Slika 13: Merilni aparat (X-Rite, model SP 62) za merjenje barve

## 4 REZULTATI

### 4.1 DEBELINA UTRJENEGA FILMA

Premazi na preizkušancih, obdelanih z vodnim lakom, imajo večjo debelino kot na preizkušancih, obdelanih s PU lakom. Vzrok za pojav je najbrž ta, da je bil pri vodnem laku potreben večkratni nanos (sestava laka: majhen delež suhe snovi). Pri preizkušancih, ki so bili modificirani pri temperaturi 200 °C pa opazimo, da je debelina utrjenega filma manjša kot pri ostalih dveh skupinah vzorcev (kontrolni in modificirani pri 150 °C). Možen vzrok je v boljši penetraciji premazov v les, modificiran pri 200 °C. Znano je, da ima les, modificiran pri višjih temperaturah, tanjše celične stene kot nemodificiran les in torej večje lumne. Zaradi posledične globlje penetracije je debelina utrjenega filma, ki je ostal na površini, manjša (preglednici 6 in 7).

Preglednica 6: Debelina suhega premaznega filma za vodni lak na različnih podlagah (kontrolni, modificirani - 150 °C in 200 °C)

HRAST - VODNI LAK		
Preizkušanec \ Meritev	Debelina	
	od [ $\mu\text{m}$ ]	do [ $\mu\text{m}$ ]
Kontrolni	49	58
T <sub>1</sub> 150 °C	50	58
T <sub>2</sub> 200 °C	41	58

Preglednica 7: Debelina suhega premaznega filma za PU lak na različnih podlagah (kontrolni, modificirani - 150 °C in 200 °C)

HRAST - PU LAK		
Preizkušanec \ Meritev	Debelina	
	od [ $\mu\text{m}$ ]	do [ $\mu\text{m}$ ]
Kontrolni	45	58
T <sub>1</sub> 150 °C	42	58
T <sub>2</sub> 200 °C	38	50

### 4.2 OPRIJEMNOST PREMAZNEGA SISTEMA NA PODLAGO

Pri vzorcih, ki so bili modificirani pri temperaturi 200 °C, tako pri vodnem kot tudi pri PU laku, izmerjena vrednost ne izkazuje oprijemnosti premaznega filma na podlago. V tem primeru se pečati oz. lak niso odtrgali s podlage, ampak je prišlo večinoma do

kohezijskega loma modificiranega lesa (slika 14). Zaradi visoke temperature modifikacije so se mehanske lastnosti lesa toliko poslabšale, da je bila kohezijska trdnost lesa nižja od adhezijske trdnosti spoja premaz-les. Zato lahko v tem primeru trdimo le, da je znašala oprijemnost PU laka več od izmerjene vrednosti 3,18 MPa (preglednica 20) ter vodnega laka več od 2,84 MPa (preglednica 8). Pri kontrolnih vzorcih in pri vzorcih, ki so bili modificirani pri temperaturi 150 °C pa ni prišlo do kohezijskega loma podlage, ampak se je lak odtrgal s podlage (slika 14). Ugotovimo lahko tudi, da je pri modificiranih vzorcih (150 °C) boljša oprijemnost laka na podlago kot pri kontrolnih vzorcih, tako pri vodnem kot pri PU laku. Kot je nadalje razvidno iz preglednic 8 in 9, izkazuje vodni lak malo slabšo oprijemnost na podlago kot PU lak.

Preglednica 8: Oprijemnost poliuretanskega laka na vseh treh podlagah

HRAST - VODNI LAK				
Preizkušanev	Meritev	Oprijemnost [MPa]		
		kontrolni	T <sub>1</sub> 150 °C	T <sub>2</sub> 200 °C
1		3,77 A	3,82 A	2,36 K
2		3,21 A in K	4,18 A	2,74 K
3		3,94 A	4,22 A	2,64 K
4		3,10 A in K	3,73 A	2,79 K
5		3,44 A	3,05 A in K	3,67 A in K
Skupno povprečje		<b>3,49</b>	<b>3,81</b>	<b>2,84</b>

A adhezijski lom (podlaga – lak)

K kohezijski lom (lom lesa oz. podlage)

Preglednica 9: Oprijemnost vodnega laka na vseh treh podlagah

HRAST – PU LAK				
Preizkušanev	Meritev	Oprijemnost [MPa]		
		kontrolni	T <sub>1</sub> 150 °C	T <sub>2</sub> 200 °C
1		4,89 A	4,39 A	2,43 K
2		3,84 A	4,40 A	3,15 K
3		4,41 A	3,92 A	3,05 K
4		3,31 A in K	3,70 A	3,37 A in K
5		3,33 A in K	4,55 A	3,89 A
Skupno povprečje		<b>3,95</b>	<b>4,19</b>	<b>3,18</b>

A adhezijski lom (podlaga – lak)

K kohezijski lom (lom lesa oz. podlage)

Slika 14: Odrtni pečati z različnih podlag ( $T_1$  150 °C - levo in  $T_2$  200 °C - desno)

### 4.3 ODPORNOST PROTI UDARCEM

Pri vodnem laku (preglednica 10) smo ugotovili, da je odpornost proti udarcem zelo slaba na vseh treh vrstah podlage in sicer prevladuje ocena 2 (malo boljše pri temperaturi modifikacije 150 °C), kar pomeni, da se je pojavljalo večje število razpok, ki so bile omejene znotraj deformacije oz. udrtine (slab vodni lak).

Preglednica 10: Ocene odpornosti proti udarcem pri vodnem laku

HRAST – VODNI LAK				
Preizkušane	Meritev	ODPORNOST - UDARCI		
		kontrolni	$T_1$ 150 °C	$T_2$ 200 °C
1		2	2	1
2		2	3	2
3		2	2	2
4		2	2	2
5		2	2	2
min / maks		2 / 2	2 / 3	1 / 2

Pri PU laku (preglednica 11) pa so bile ocene v primerjavi z ocenami pri vodnem laku boljše in sicer so bile najboljše pri vzorcih, ki so bili modificirani pri temperaturi 150 °C (ocena 4 – ni razpok ampak le udrtina) za oceno slabši pa so bili rezultati pri ostalih dveh vrstah podlage, kjer je prevladovala ocena 3 - na površini so se pojavljale manjše razpoke (ponavadi ena ali dve), ki so bile krožne ali polkrožne oblike.

Preglednica 11: Ocene odpornosti proti udarcem pri PU laku

HRAST – PU LAK			
Preizkušanev Meritev	ODPORNOST - UDARCI		
	kontrolni	T <sub>1</sub> 150 °C	T <sub>2</sub> 200 °C
1	3	3	1
2	3	3	3
3	3	4	3
4	3	4	4
5	4	4	3
min / maks	3 / 4	3 / 5	1 / 4

#### 4.4 ODPORNOST POVRŠINSKEGA SISTEMA PROTI RAZENJU – TRDOTA POVRŠINSKEGA SISTEMA

Pri odpornosti površinskih sistemov proti razam (vzmetni svinčnik – (slika 9) / pri silah  $F = 5\text{ N}, 3\text{ N}, 2\text{ N}$ ), smo merili vrsto poškodbe in pa širino raze, ki je nastala zaradi delovanja sile  $F$ .

Pri vodnem laku so se raze na površini pojavljale pri vseh silah razenja, z manjšo silo razenja se je širina raz zmanjšala. Z manjšanjem sile se je zmanjševalo le število raz oz. razpok na porah s tem pa tudi širina le teh (preglednica 12). Ugotovili smo, da je bila odpornost proti razenju nekoliko slabša pri vzorcih, modificiranih pri  $T_2\ 200\text{ °C}$  (večje število in širina raz).

Preglednica 12: Rezultati odpornosti površinskega sistema proti razenju – vodni lak

RAZENJE – VODNI LAK									
Meritev Vzorec	Oblika deformacije in širina raze [mm]								
	5 N			3 N			2 N		
	R	R <sub>p</sub>	Sled	R	R <sub>p</sub>	Sled	R	R <sub>p</sub>	Sled
Kontrolni; 1	0,5		0,4	0,4			0,4		
2	0,5	0,6			0,5		0,4	0,5	
3	0,5			0,4	0,5		0,3		
4	0,5			0,4		0,3	0,4		0,3
5	0,5			0,4	0,6		0,4		
$T_1\ 150\text{ °C};$ 1	0,6	0,7		0,4			0,4		
2	0,5	0,6		0,4			0,4		0,3
3		0,6	0,4	0,4		0,3	0,3		
4	0,5	0,6		0,4			0,3		
5	0,4	0,6		0,4			0,4		
$T_2\ 200\text{ °C};$ 1	0,6	0,7		0,5	0,6		0,5		
2	0,6	0,7		0,4	0,6		0,5		0,2
3	0,5	0,7		0,4	0,6		0,4	0,5	
4	0,6	0,7		0,4	0,5		0,4	0,4	
5	0,6	0,7		0,5			0,3		

R razpoka na površini (na mestih brez por); R<sub>p</sub> razpoka na porah (na področju s porami)

Pri PU laku (preglednica 13) raz (razpok) na površini skoraj ni bilo. Pojavljale so se le raze na porah in pa sledi. Z zmanjševanjem sile so se raze na porah zmanjševale (tako število kot tudi širina) in pri sili 2 N skoraj izginile. Pojavljale so se le še sledi, vendar pa se je tudi njihova širina močno zmanjšala. Vidimo lahko tudi, da je bila odpornost proti razenju nekoliko boljša pri kontrolnih vzorcih in pri vzorcih, modificiranih pri  $T_1$  150 °C, kot pri vzorcih, modificiranih pri  $T_2$  200 °C (pri silah 5 N in 3 N).

Preglednica 13: Rezultati odpornosti površinskega sistema proti razenju – PU lak

RAZENJE – PU LAK										
Vzorec	Meritev	Oblika deformacije in širina le te [mm]								
		5 N			3 N			2 N		
		R	R <sub>p</sub>	Sled	R	R <sub>p</sub>	Sled	R	R <sub>p</sub>	Sled
Kontrolni;	1		0,6	0,3			0,3			0,2
	2		0,7	0,4			0,3			0,2
	3		0,6	0,4			0,3			0,2
	4		0,6	0,4		0,6	0,3			0,2
	5		0,6	0,3		0,6	0,3			0,2
T <sub>1</sub> 150 °C;	1		0,6	0,4		0,6	0,3			0,2
	2	0,6	0,6	0,4			0,3			0,2
	3		0,7	0,5			0,4			0,2
	4		0,6	0,5		0,5	0,3		0,4	0,2
	5			0,4			0,3			0,2
T <sub>2</sub> 200 °C;	1	0,6	0,7		0,4	0,5		0,2	0,5	0,2
	2		0,7	0,5		0,6	0,3			0,2
	3		0,7	0,5		0,5	0,3			0,2
	4		0,7	0,5		0,5	0,3			0,2
	5		0,7	0,5		0,5	0,3			0,2

R razpoka na površini (na mestih brez por); R<sub>p</sub> razpoka na porah (na področju s porami)

Kot je razvidno iz preglednic 12 in 13, smo ugotovili, da je bil PU lak veliko bolj odporen proti nastanku raz kot pa vodni lak. Raze na površini laka se pri PU premazu skorajda niso pojavljale, medtem ko so se pri vodnem laku pojavljale tudi pri razenju s silo  $F = 2$  N.

#### 4.5 ODPORNOST ROBOV PROTI VODI

V rezultatih merjenja odpornosti robov proti vodi (interna metoda) so podane absolutne vrednosti debelin nabreka (povprečne vrednosti), kakor tudi relativni nabreki v odstotkih.

Po treh urah izpostavitve obremenitvi se ni zgodilo skoraj nič. Opazili smo le rahel nabrek, ki je bil malenkost manjši pri vzorcih  $T_2$  200 °C. Po 24 urah, pri kontrolnih vzorcih (nemodificirani) in pri vzorcih, modificiranih pri  $T_1$  150 °C pa so se že videle razpoke laka ter odstopanje laka od podlage (slika 15), medtem ko pri  $T_2$  200 °C ni bilo videti tako velikih napak, čeprav je lak tudi že začel odstopati od podlage (slika 16). Pri nemodificiranih vzorcih ter modificiranih pri  $T_1$  150 °C smo tudi opazili, da močno nabreknejo. Najbolj nabreknejo kontrolni vzorci, najmanj pa vzorci, ki so bili modificirani pri  $T_2$  200 °C (preglednica 14).

Preglednica 14: Odpornost robov proti vodi, pri vodnem laku in vseh vrstah podlage

ODPORNOST ROBOV PROTI VODI – VODNI LAK					
Meritev Vzorec	Debelina nabreka [mm]			Nabrek [%]	
	pred potopitvijo	3 ure po potopitvi	24 ur po potopitvi	po 24 urah	
Kontrolni;	1	20,53	20,64	20,96	<b>2,09</b>
	2	20,50	20,58	20,92	<b>2,05</b>
	3	20,42	20,48	20,92	<b>2,45</b>
	4	20,46	20,50	20,68	<b>1,07</b>
	5	20,37	20,41	20,75	<b>1,68</b>
$T_1$ 150 °C;	1	20,52	20,59	20,95	<b>2,09</b>
	2	20,52	20,59	20,89	<b>1,80</b>
	3	20,52	20,56	20,82	<b>1,46</b>
	4	20,45	20,49	20,86	<b>2,00</b>
	5	20,56	20,64	20,82	<b>1,26</b>
$T_2$ 200 °C;	1	20,34	20,38	20,43	<b>0,44</b>
	2	20,13	20,16	20,19	<b>0,29</b>
	3	20,23	20,24	20,26	<b>0,15</b>
	4	20,38	20,39	20,43	<b>0,24</b>
	5	20,26	20,28	20,33	<b>0,35</b>



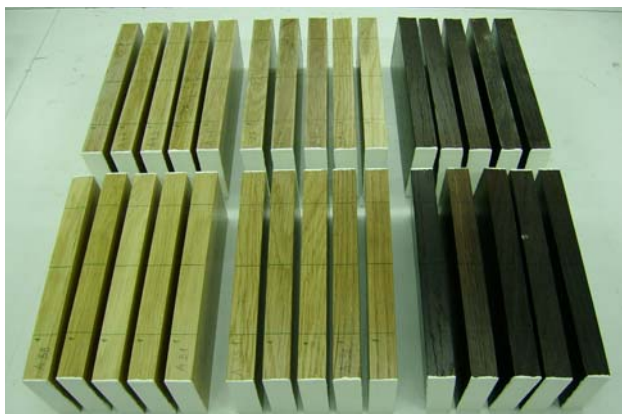
Pri modificiranih vzorcih ( $T_2$  200 °C), premazanih s PU lakom, je bil nabrek minimalen, medtem, ko se je pri vzorcih  $T_1$  150 °C in kontrolnih vzorcih že videl rahel nabrek po 24 urah. Vendar pa v primeru PU premaza napak na laku nismo opazili (preglednica 15).

Preglednica 15: Odpornost robov proti vodi, pri poliuretanskem laku in vseh vrstah podlage

ODPORNOST ROBOV PROTI VODI – PU LAK				
Meritev Vzorec	Debelina nabreka [mm]			Nabrek [%]
	pred potopitvijo	3 ure po potopitvi	24 ur po potopitvi	po 24 urah
Kontrolni; 1	20,28	20,29	20,35	<b>0,35</b>
2	20,25	20,25	20,29	<b>0,19</b>
3	20,36	20,37	20,43	<b>0,34</b>
4	20,38	20,38	20,44	<b>0,29</b>
5	20,22	20,23	20,25	<b>0,15</b>
$T_1$ 150 °C; 1	20,35	20,37	20,39	<b>0,19</b>
2	20,37	20,37	20,41	<b>0,19</b>
3	20,52	20,54	20,72	<b>0,97</b>
4	20,36	20,37	20,4	<b>0,19</b>
5	20,45	20,45	20,56	<b>0,54</b>
$T_2$ 200 °C; 1	19,54	19,54	19,55	<b>0,05</b>
2	20,28	20,29	20,31	<b>0,15</b>
3	20,37	20,37	20,38	<b>0,05</b>
4	20,25	20,25	20,27	<b>0,09</b>
5	20,26	20,26	20,30	<b>0,19</b>



Slika 15: Odstopanje laka z nemodificirane podlage po 24 urah izpostavitve obremenitvi (kontrolni vzorec)



Slika 16: Primerjava odstopanja laka s površine pri PU laku (spodaj) in vodnem laku (zgoraj)

#### 4.6 SIJAJ

Na sijaj transparentnih lakov v veliki meri vpliva podlaga (rezultati v preglednicah 16 – 21). Opazili smo, da imajo preizkušanci, ki so bili modificirani pri višjih temperaturah, slabši sijaj. V povprečju je pri kotu meritve  $60^\circ$  pri vodnem laku, pri kontrolnih vzorcih vrednost znašala 19,2 % med tem, ko je pri vzorcih, ki so bili modificirani pri  $T_2 200^\circ\text{C}$  in prav tako pri vodnem laku, vrednost znašala 16,2 %. Smo pa opazili, da je sijaj odvisen tudi od vrste premaznega sistema. Sijaj je bil pri preizkušancih, ki so bili prebrizgani z vodnim premaznim sistemom slabši v primerjavi s sijajem PU premaznega sistema, pri isti temperaturi modifikacije oz. pri kontrolnih vzorcih.

Iz rezultatov prikazanih v preglednicah 16 in 17 je lepo razvidno, da ima vodni lak slabši sijaj od PU laka, saj pri kotu meritve 60 ° pri vodnem laku znaša v povprečju 19,2 % pri PU laku pa znaša v povprečju 25,7 %.

Preglednica 16: Sijaj (%) vodnega laka na nemodificirani hrastovi podlagi – kontrolni preizkušanci

HRAST (VODNI LAK) KONTROLNI			
Preizkušanec	Meritev	Vzdolžno na vlakna	
		60 °	85 °
41		19,5	41,7
42		18,7	40,1
43		17,8	38,3
44		18,4	37,6
45		20,7	43,7
46		20,2	40,5
47		20,4	43,0
48		17,8	37,8
49		19,5	42,0
50		18,8	39,4
Skupno povprečje		<b>19,2</b>	<b>40,4</b>

Preglednica 17: Sijaj (%) PU laka na nemodificirani hrastovi podlagi – kontrolni preizkušanci

HRAST (PU LAK) KONTROLNI			
Preizkušanec	Meritev	Vzdolžno na vlakna	
		60 °	85 °
51		21,1	48,6
52		26,8	56,1
53		22,2	47,8
54		23,4	50,7
55		25,8	51,2
56		29,7	60,4
57		25,6	54,7
58		28,4	59,3
59		29,3	60,9
60		24,7	53,4
Skupno povprečje		<b>25,7</b>	<b>54,3</b>

Iz rezultatov v preglednicah 18 in 19, kjer so podani izračuni povprečnih vrednosti sijaja za vzorce, ki so bili modificirani pri temperaturi 150 °C pri vodnem in PU laku lahko opazimo, da je sijaj nekoliko slabši v primerjavi s kontrolnimi vzorci zaradi modifikacije. Sklenemo torej lahko, da je sijaj odvisen tako od vrste podlage kot tudi od vrste premaznega sistema (sestava premaza).

Preglednica 18: Sijaj (%) vodnega laka na hrastovi podlagi, modificirani pri temperaturi 150 °C

HRAST (VODNI LAK) 150 °C			
Preizkušane	Meritev	Vzdolžno na vlakna	
		60 °	85 °
21		18,7	41,1
22		18,8	39,2
23		17,6	37,9
24		19,2	41,5
25		19,7	40,6
26		20,2	43,8
27		18,5	40,7
28		18,8	38,7
29		19,2	41,7
30		19,5	42,3
Skupno povprečje		<b>19,1</b>	<b>40,7</b>

Preglednica 19: Sijaj (%) PU laka na hrastovi podlagi, modificirani pri temperaturi 150 °C

HRAST (PU LAK) 150 °C			
Preizkušane	Meritev	Vzdolžno na vlakna	
		60 °	85 °
31		19,5	49,1
32		27,2	58,5
33		26,4	55,4
34		19,8	44,2
35		25,1	53,7
36		24,7	51,9
37		20,8	46,6
38		26,6	55,6
39		20,1	44,6
40		25,1	55,9
Skupno povprečje		<b>23,5</b>	<b>51,6</b>

Tu pa opazimo, da je sijaj v primerjavi s prejšnjima dvema podlagama veliko slabši, kar pa je vzrok v veliki temperaturi modifikacije, kar lahko vidimo iz preglednic 20 in 21, kjer so podani izračuni povprečnih vrednosti sijaja za vzorce, ki so bili modificirani pri temperaturi 200 °C pri vodnem in PU laku.

Preglednica 20: Sijaj vodnega laka (%) na hrastovi podlagi, modificirani pri temperaturi 200 °C

HRAST (VODNI LAK) 200 °C			
Preizkušanec	Meritev	Vzdolžno na vlakna	
		60 °	85 °
1		14,5	33,0
2		16,5	35,3
3		15,5	35,9
4		16,5	36,9
5		15,5	35,4
6		16,6	37,6
7		17,0	37,5
8		17,6	39,7
9		17,0	39,2
10		15,6	35,7
Skupno povprečje		<b>16,2</b>	<b>36,6</b>

Preglednica 21: Sijaj PU laka (%) na hrastovi podlagi, modificirani pri temperaturi 200 °C

HRAST (PU LAK) 200 °C			
Preizkušanec	Meritev	Vzdolžno na vlakna	
		60 °	85 °
11		20,5	47,3
12		17,4	40,4
13		16,1	40,7
14		19,0	48,5
15		17,0	44,6
16		19,1	45,3
17		18,7	47,2
18		20,9	49,7
19		21,5	51,5
20		18,1	46,3
Skupno povprečje		<b>18,8</b>	<b>46,2</b>

## 4.7 BARVA

### 4.7.1 Izmerjene povprečne vrednosti barvnega tona

Izračunane povprečne vrednosti barvnih koordinat iz katerih smo nadalno izračunali barvne razlike, smo podali v preglednicah 22 (za vodni lak) in 23 (za PU lak) za vse vrste podlag (kontrolni – nemodificirani in modificirani pri 150 °C in 200 °C).

Preglednica 22: Izračunane povprečne vrednosti barvnih koordinat kontrolnih vzorcev in vzorcev, modificiranih pri 150 in 200 °C, prelakiranih z vodnim lakom

HRAST - VODNI LAK				
Preizkušanec	Meritev	CIE – L*a*b*		
		L*	a*	b*
Kontrolni		60,66	7,83	24,23
T <sub>1</sub> 150 °C		55,73	7,98	23,35
T <sub>2</sub> 200 °C		26,57	3,11	3,09

Preglednica 23: Izračunane povprečne vrednosti barvnih koordinat kontrolnih vzorcev in vzorcev, modificiranih pri 150 in 200 °C, lakiranih s PU lakom

HRAST - PU LAK				
Preizkušanec	Meritev	CIE – L*a*b*		
		L*	a*	b*
Kontrolni		62,77	8,56	24,73
T <sub>1</sub> 150 °C		55,82	9,66	23,75
T <sub>2</sub> 200 °C		27,79	2,3	1,78

### 4.7.2 Izračun barvne razlike

Pri vzorcih z istim premaznim sredstvom je bila barvna sprememba najmanjša med kontrolnimi vzorci in vzorci, modificiranimi pri temperaturi 150 °C. Tu je razlika pri vodnem laku znašala 5,03 in pri PU laku 7,10. Največjo barvno razliko smo opazili med lakiranimi kontrolnimi vzorci in vzorci, ki so bili modificirani pri temperaturi 200 °C in je znašala pri vodnem laku 40,39 in pri PU laku 42,30 (preglednica 24).

Malo manjša razlika (vendar še vedno velika) je opazna med barvo vzorcev, modificiranih pri 150 °C in barvo vzorcev, modificiranih pri 200 °C, kar je bilo lepo razvidno tudi s prostim očesom (preglednica 25) in je znašala pri vodnem laku 35,84 in pri PU laku 36,37.

Ta ugotovitev velja za obe vrsti laka. Barvna razlika, ki je nastala zaradi temperatur modifikacije pa se lepo vidi na sliki 17.

Preglednica 24: Barvna razlika ( $\Delta E$ ) prelakiranih nemodificiranih vzorcev, glede na barvo prelakiranih vzorcev, modificiranih pri 150 in 200 °C

$\Delta E$		
Vzorec	Vodni lak	PU lak
T <sub>1</sub> 150 °C	<b>5,03</b>	<b>7,10</b>
T <sub>2</sub> 200 °C	<b>40,39</b>	<b>42,30</b>

Preglednica 25: Barvna razlika ( $\Delta E$ ) prelakiranih vzorcev, ki so bili modificirani pri 150 °C, glede na barvo prelakiranih vzorcev, modificiranih pri 200 °C

$\Delta E$		
Vzorec	Vodni lak	PU lak
T <sub>2</sub> 200 °C	<b>35,84</b>	<b>36,37</b>

Zelo majhna razlika (zanemarljiva) je bila med barvami vzorcev, modificiranih pri isti temperaturi oz. med kontrolnimi vzorci, vendar obdelanih z različnima premaznima sredstvoma (PU in vodni lak). Barvna razlika ni vidna s prostim očesom. Spremembo smo lahko ugotovili le na osnovi rezultatov meritev s kolorimetrom (preglednica 26).

Preglednica 26: Barvna razlika ( $\Delta E$ ) med vzorci, kot posledica različnih lakov

	$\Delta E$
Podlaga	Vodni lak : PU lak
Kontrolni	<b>2,29</b>
T <sub>1</sub> 150 °C	<b>1,73</b>
T <sub>2</sub> 200 °C	<b>1,96</b>



Slika 17: Barvna sprememba, na vzorcih, prelakiranih s PU lakom, ki je nastala zaradi modifikacije (kontrolni,  $T_1$  150 °C in  $T_2$  200 °C, od leve proti desni)



## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

Zahteve kupcev in zahteve po manjšem onesnaževanju okolja so vse večje, zato tudi v proizvodnjo kuhinjskih elementov uvajajo vodne premaze namesto lakov na osnovi organskih topil, ki onesnažujejo okolje in so zdravju škodljiva.

Vodni premazni sistemi imajo na nemodificirani podlagi slabše lastnosti kot premazi na osnovi organskih topil, kar pa bi lahko morda popravili oz. izboljšali z uporabo modificiranega lesa. Vendar pa so v tem primeru vprašljive mehanske lastnosti, ker vemo, da se le-te poslabšajo z višanjem temperature modifikacije. Znano je, da ima les, modificiran pri višjih temperaturah tanjše celične stene kot nemodificiran les in torej večje lumne, kar se odraža tudi v izgubi mase zaradi modifikacije (slabše mehanske lastnosti).

Modificiran les je dimenzijsko stabilnejši (manjše vpijanje vode) od nemodificiranega, kar bi lahko izkoristili pri uporabi vodnih lakov, ki so za vodo bolj prepustni kot laki na osnovi organskih topil. Kuhinjski elementi so izpostavljeni velikim nenadnim spremembam tako temperature kot tudi vlage, zato bi lahko zadovoljivo rešitev za te elemente predstavljal vodni lak v kombinaciji z modificiranim lesom. Vendar pa moramo biti pozorni na to, ali so odpornostne lastnosti vodnega laka zadovoljive. Z modifikacijo lesa lahko vplivamo tudi na njegovo barvo, kar je pozitivno, saj lesa ne bi bilo treba predhodno lužiti. S tem pa bi še dodatno prispevali k manjšemu onesnaževanju okolja.

Zaradi vsega navedenega smo na nemodificiranem kot tudi na modificiranem lesu preizkušali naslednje lastnosti vodnega PU laka: barva, sijaj, debelina filma in nekatere odpornostne lastnosti ter jih primerjali med seboj. Še posebej smo želeli ugotoviti, ali bi lahko z modifikacijo podlage popravili slabosti površinskega sistema z vodnim lakom.

V podjetju SVEA se zelo zanimajo za uvedbo modificiranega lesa v proizvodnjo kuhinjskega pohištva. Zato smo izbrane lastnosti poliuretanskega in vodnega laka primerjali na nemodificiranem hrastovem lesu in na hrastovini, ki je bila modificirana pri

temperaturah 150 °C in 200 °C. Tako smo lahko ugotavljali, kako podlaga vpliva na lastnosti posameznega laka.

Pri merjenju debeline utrjenega filma (SIST EN ISO 2808:1999) smo ugotovili, da imajo premazi na vzorcih, obdelanih z vodnim lakom, večjo debelino kot filmi PU laka. Menimo, da je to zaradi razlike v sestavi obeh lakov. Prišli smo tudi do ugotovitve, da so debeline filmov na vzorcih, modificiranih pri temperaturi 200 °C, nižje od debelin utrjenih filmov na nemodificiranih vzorcih. Verjeten vzrok je visoka temperatura modifikacije in s tem povezane spremembe zgradbe lesa. Zaradi tanjše celične stene pri teh vzorcih ter večjih lumnov je penetracija premazov v tako podlago globlja.

Oprijemnost premaznega sistema smo določili po standardu SIST EN ISO 4624:2004 in ugotovili, da je oprijemnost nekoliko boljša pri vzorcih, modificiranih pri 150 °C, kot pa pri kontrolnih preizkušancih. Rezultati so tudi pokazali, da ima PU lak boljšo oprijemnost na vseh vrstah podlag, kot pa vodni lak. Razlog za to je verjetno razlika v sestavi laka. Pri modificiranih vzorcih ( $T_2$  200 °C) je prišlo med poskusom do kohezijskega loma lesa, zato oprijemnosti obeh vrst preizkušenih lakov na to podlago ni bilo mogoče določiti.

Preizkus odpornosti proti udarcem smo izvajali po standardu SIST ISO 4211-4:1995 in ugotovili, da je vodni lak veliko slabše odporen proti udarcem kot PU lak. Pri vseh premaznih sistemih je bila odpornost nižja, če so bili na kontrolnih, nemodificiranih preizkušancih in na vzorcih, ki so bili modificirani pri temperaturi 200 °C. Boljše odpornostne lastnosti so izkazali premazni sistemi na hrastovini, ki je bila modificirana pri 150°C. To kaže na dejstvo, da na odpornostne lastnosti premaznega sistema vpliva tudi vrsta podlage.

Pri merjenju odpornosti proti razenju (SIST EN ISO 1518:2001) smo ugotovili, da je bil PU lak veliko bolj odporen od vodnega laka. Ugotovili smo tudi, da je odpornost proti razam nekoliko slabša pri filmih na lesu, ki je bil modificiran pri 200 °C.

Pri preizkusu odpornosti robov proti vodi, ki smo ga izvajali po interni metodi, se je izkazalo, da je vodni lak v primerjavi z PU lakom veliko slabši, saj je vodni premaz pri tem

testu po 24 urah izpostavitve razpokal in začel odstopati. Teh problemov pri PU laku nismo opazili; vzorci so samo rahlo nabrekli, najmanj tisti, ki so bili modificirani pri 200 °C.

Merjenje barve smo opravili po standardu ASTM D 2244 – 93. Rezultati so pokazali, da so barvne razlike med istovrstnimi substrati, ki so bili premazani z različnima lakoma, zelo majhne in s prostim očesom neopazne. Velike barvne spremembe pa je seveda povzročila modifikacija lesa in sicer so preizkušanci postali temnejši.

Rezultati meritev sijaja (SIST EN ISO 2813:1999) so pokazali, da na sijaj vplivata tako vrsta podlage kakor tudi vrsta premaza. Ugotovili smo, da imajo premazi na vzorcih, ki so bili modificirani pri višji temperaturi nižji sijaj, prav tako pa smo tudi ugotovili, da ima na vseh podlagah PU lak višji sijaj od vodnega laka.

V splošnem lahko zaključimo, da se je izbrani vodni lak v primerjavi s poliuretanskim lakom bistveno slabše izkazal, tako pri sijaju kot tudi pri odpornostnih lastnostih. Menimo, da zato ta lak ni primeren za površinsko obdelavo kuhinjskih elementov.

## 5.2 SKLEPI

- Ugotovili smo, da stopnja modifikacije hrastovine močno vpliva na lastnosti površinskih sistemov, kot so barva, sijaj, debelina utrjenega filma in na odpornostne lastnosti, ki so za elemente kuhinjskega pohištva še kako pomembne. Najboljše lastnosti so se pokazale pri vzorcih, ki so bili modificirani pri 150 °C. Pri vzorcih, ki so bili modificirani pri 200 °C, pa smo ugotovili, da je bila ta temperatura modifikacije že previsoka, saj so premazi na tej vrsti podlage izkazali slabše lastnosti kot na kontrolnih vzorcih ter na lesu, ki je bil modificiran pri 150 °C. Le dimenzijska stabilnost in odpornost proti vodi sta bili najboljši na preizkušancih iz lesa, ki je bil modificiran pri najvišji temperaturi.
- Največji vpliv na kvaliteto obdelane površine ima vrsta premaznega sistema.
- Pri sijaju in debelini utrjenega filma smo ugotovili, da sta najmanjša pri vzorcih, modificiranih pri 200 °C. Vzrok za to je sprememba strukture lesa, zaradi visoke

temperature modifikacije. Precejšnja izguba mase pri visokih temperaturah modifikacije ima za posledico tanjšanje celičnih sten in povečanje lumnov. Posledično je verjetno penetracija premazov v modificiran les globlja kot v nemodificirane podlage. To pa se odraža v manjši debelini filma laka na površini in zaradi tega tudi v slabšem sijaju.

- Ugotovili smo, da je oprijemnost premazov najboljša pri vzorcih, modificiranih pri 150 °C. Vodni laki malo slabši oprijem na podlago kot PU laki. Prav tako je tudi pri odpornosti poti udarcem vodni lak slabši v primerjavi s PU lakom.
- Proučevanje odpornosti proti razenju je pokazalo, da podlaga močno vpliva na to lastnost in sicer je odpornost proti razenju boljša pri vzorcih, modificiranih pri 150 °C. Ugotovili smo tudi, da je vodni lak proti razenju slabše odporen od PU laka. Pri vodnem premazu so se raze pojavljale tako na površini brez por kot na mestih s porami, pri PU laku pa je bilo raz po opravljenem testu zelo malo.
- Pri odpornosti robov proti vodi se je prav tako, kot pri drugih odpornostnih lastnostih, vodni lak izkazal zelo slabo, saj je začel po 24 urah izpostavitve pokati in odstopati s podlage. Vzrok je verjetno njegova večja prepustnost za vodo kot pri PU laku. Ugotovili smo tudi, da so najmanj nabrekli vzorci, modificirani pri 200 °C, kar je bilo tudi pričakovati, saj vemo, da je modificiran les dimenzijsko bolj stabilen kot nemodificiran.
- V splošnem lahko sklenemo, da je preizkušeni vodni lak v primerjavi s testiranim PU premazom tako na nemodificirani, kot tudi na modificirani hrastovini izkazal slabše lastnosti. Ugotovili smo, da je bilo kar precej lastnosti obeh premazov najboljših na hrastovini, modificirani pri 150 °C. Po drugi strani pa lahko sklenemo, da modifikacija lesa na lastnosti premaznega sistema vpliva slabo, če je temperatura modifikacije previsoka. Dobra lastnost lesa, modificiranega pri 200 °C se je pokazala le pri odpornosti na vodo, kar je bilo pričakovano, saj vemo, da je modificiran les dimenzijsko bolj stabilen od nemodificiranega.

## 6 POVZETEK

Vodni površinski sistemi so v svetu čedalje bolj uveljavljeni, ker so okolju prijaznejši nadomestek premazom na osnovi organskih topil, tudi klasičnim dvokomponentnim poliuretanskim (PU) lakom. Kljub visoki ceni in trenutno še vedno slabšim tehničnim lastnostim, je njihova uporaba v porastu.

S poskusi, ki smo jih opravili, smo ugotavljali, ali je mogoče vodne premaze uspešno uporabiti tudi za obdelavo kuhinjskih elementov iz termično modificirane hrastovine. Zanimalo nas je, ali lahko pričakovano slabše lastnosti vodnih premazov omilimo z uporabo modificiranega lesa. Za podlago smo zato uporabili les hrasta, ki smo ga modificirali pri temperaturah 150 °C in 200 °C. Pri tem smo na teh in na kontrolnih, nemodificiranih podlagah, primerjali dve vrsti lakov in sicer vodni in PU lak.

Vsi vzorci, ki smo jih potrebovali za opravljanje preizkusov, so bili pripravljene v podjetju SVEA Lesna industrija d.d., Zagorje ob Savi. Premazi so bili na podlage nanese s postopkom brizganja. Modifikacijo hrastovega lesa smo izvedli v laboratorijih Katedre za patologijo in zaščito lesa, preizkuse lastnosti površinskih sistemov pa v laboratoriju za površinsko obdelavo lesa Katedre za pohištvo, BF, Oddelek za lesarstvo.

V splošnem smo ugotovili, da je imel izbran vodni lak dokaj slabe lastnosti, še posebej v primerjavi z lastnostmi PU laka na osnovi organskih topil. Testi so pokazali tudi, da imajo premazni sistemi na hrastovem lesu, ki je bil modificiran pri 150 °C, boljše lastnosti v primerjavi s premazi na ostalih dveh vrstah podlage – na nemodificiranem lesu in na hrastovini, modificirani pri temperaturi 200 °C.

Izkazalo se je tudi, da previsoka temperatura modifikacije (200 °C) zelo slabo vpliva na mehanske lastnosti hrastovega lesa in površinskih sistemov na njem. Ugoden vpliv pa smo ugotovili na odpornost robov proti vodi, saj je bil nabrek lesa, modificiranega pri visoki temperaturi, zaradi slabšega navzema vode zelo majhen. Bil je bistveno manjši kot pri lesu, modificiranem pri 150 °C in kot pri nemodificirani podlagi. Pri temperaturi modifikacije 200 °C smo tudi ugotovili slabši sijaj, nižjo debelino ter nekatere odpornostne lastnosti površinskega sistema kot so odpornost proti udarcem in razenju.

## 7 VIRI

Alić O. 1998. Površinska obrada drveta. Sarajevo, Mašinski fakultet: 285 str.

Ambrosi P., Offredi P. 1996. The painter's manual, A guide to professional wood painting. Milano, HB pi. Erre Editrice: 209 str.

ASTM D 2244 – 93. Standard Test Method for Calculation of Color Differences From Instrumentally Measured Color Coordinates. 1993.

Bentley J., Turner G. P. A. 1998. Introduction to Paint Chemistry and Principles of Paint Technology. Fourth edition. London, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, Chapman and Hall: 281 str.

Feist W.C., Sell J. 1987. Weathering behavior of dimensionally stabilized wood treated by heating under pressure of nitrogen gas, wood and fiber science, 19, 2: 183-195

Gorišek Ž. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije: 235 str.

Hasan M., Despot R. 2003. Termički modificirano drvo – materijal današnjice. Neobjavljeno predavanje na strokovnem posvetu Površinska obdelava notranje opreme, Ljubljana, 5. 11. 2003

Jamsa 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.

Jaić M., Živanović-Trbojević R. 2000. Površinska obrada drveta. Beograd, samozaložba: 400 str.

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

Kotnik D. 2003. Površinska obdelava v izdelavi pohištva. 2. izdaja. Brezovica, Finitura: 41, 184 str.

- Militz H. 2002. Thermal treatment of wood: European Processes and their background. IRG/WP 02-40241: 18 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. =ed.). Wien, LIGNOVISIONEN: 101-147
- Raggers J. 2007 Process / Durability, Larenstein, Velp, Nederland.  
<http://www.ivalsa.cnr.it/euris/english/4/4.pdf>
- 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.) Luxemborg, Office for Official Publications of the European Communities: 18str.
- Rapp O. A. 2001. Review on heat treatments of wood. COST A E22: 61 str.
- Rep G., Pohleven F. 2002. Wood modification - a promising method for wood preservation = Modifikacija drva – obečavajuća metoda za zaštitu drva. Drvna industrija, 52, 2: 71-76
- Rep G., Pohleven F., Bučar B. 2004 Characteristics of thermally modified wood in vacuum. IRG/WP 04-40287: 8 str.
- Sailer M., Rapp A.O. 2000. Upgrading of wood by application of an oil-heat treatment. Holz als Roh und Werkstoff 58: 1-2, 15-22.
- Sailer M., Rapp A.O., Leithoff H. 2000. Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment. IRG/WP 00-40162: 12 str.
- Sandermann W., Schlumbom F. 1962. Über die Wirkung gefilterten ultravioletten Lichtens Auf Holz – Zweite Mitteilung: Ändurung von Farbwert und Farbempfindung an Holzoberflächen. Holz als Roh- und Werkstoff, 20:285 - 291

SIST EN ISO 2813:1999 - Barve in laki - Določevanje sijaja neefektnih premaznih sredstev pod koti 20°, 60° in 85° (ISO 2813:1994, vključno s tehničnim popravkom 1:1997) - Paints and varnishes - Determination of specular gloss of non metallic paint films at 20°, 60° and 85° (ISO 2813:1994, Including Technical Corrigendum 1:1997).

SIST EN ISO 2808:1999 - Barve in laki - Ugotavljanje debeline plasti (ISO 2808:1997) - Paints and varnishes - Determination of film thickness (ISO 2808:1997).

SIST EN ISO 4624:2004 - Barve in laki – Merjenje oprijema z metodo odtrganja filma (Pull-off test ) (ISO 4624:2002). Paints and varnishes – Pull-off test for adhesion (ISO 4624:2002).

SIST ISO 4211-4:1995 - Pohištvo - Preskusi površin - 4. del: Ugotavljanje odpornosti proti udarcu - Furniture - Tests for surfaces - Part 4: Assessment of resistance to impact.

SIST EN ISO 1518:2001 - Barve in laki - Preskus z razenjem (ISO 1518:1992) - Paints and varnishes - Scratch test (ISO 1518:1992).

SIST EN 350-2. Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa - 2. del: Naravna trajnost in možnost impregnacije izbranih, v Evropi pomembnih vrst lesa. Durability of wood and wood-based products, Natural durability of solid wood Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. 1995: 42 str.

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.

Syrjanen T., Oy K.2001. Production and Classification of heat treated wood in Finland. V: Review on heat treaments 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.

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

Tušar S. 1995. Vpliv brušenja površine na stopnjo sijajnosti. Visokošolska diplomska naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 58 str.

Van Ginkel M.J. 2002. Facts in Formulating Water Based Industrial Wood Coatings, <http://neoresins.com-Facts in formulating waterbased industrial woodcoatings.pdf>

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.

Yano H. Minato K. 1993. Controlling the timber of wooden musical instruments by chemical modification. Wood science and technology, 27: 278 – 293

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se vsem, ki so mi kakor koli pomagali pri izdelavi te diplomske naloge. Še posebej se zahvaljujem mentorju prof. dr. Marku Petriču za vso pomoč in vodenje pri opravljanju diplomske naloge in recenzentu prof. dr. Francu Pohlevnu. Prav tako bi se zahvalil tudi asistentu Gregorju Repu za pomoč pri modificiranju vzorcev v laboratoriju za patologijo lesa na Katedri za patologijo in zaščito lesa. Zahvaljujem se tudi tehničnemu sodelavcu Borutu Kričejju za pomoč pri opravljanju testiranj v laboratoriju za površinsko obdelavo lesa. Hvala tudi lesnemu podjetju SVEA Lesna industrija d.d., Zagorje ob Savi, ki so mi dali in pripravili (lakirali) vzorce za testiranje.

Posebna zahvala pa gre tudi mojim staršem, ki so mi ta študij omogočili in me podpirali skozi vsa ta leta.