

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Mateja HRIBAR

**POVRŠINSKA OBDELAVA NARAVNE IN
TERMIČNO MODIFICIRANE RESONANČNE
SMREKOVINE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2008

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Mateja HRIBAR

**POVRŠINSKA OBDELAVA NARAVNE IN TERMIČNO
MODIFICIRANE RESONANČNE SMREKOVINE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**SURFACE FINISHING OF NATURAL AND THERMALLY
MODIFIED RESONANT SPRUCE WOOD**

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2008

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija lesarstva. Večina eksperimentalnega dela je bila opravljena v Laboratoriju za površinsko obdelavo Katedre za pohištvo, termična modifikacija vzorcev v vakuumu pa je bila izvedena na Katedri za patologijo in zaščito lesa, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Marka Petriča, za somentorja prof. dr. Franca Pohlevena in za recenzenta prof. dr. Željka Goriška.

Mentor: prof. dr. Marko Petrič

Somentor: prof. dr. Franc Pohleven

Recenzent: prof. dr. Željko Gorišek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Mateja Hribar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 674.07
KG	resonančna smrekovina/termična modifikacija/sorpcijske lastnosti/površinska obdelava
AV	HRIBAR, Mateja
SA	PETRIČ, Marko (mentor)/POHLEVEN, Franc (somentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2008
IN	POVRŠINSKA OBDELAVA NARAVNE IN TERMIČNO MODIFICIRANE RESONANČNE SMREKOVINE
TD	Diplomsko delo
OP	XIII, 67 str., 17 pregl., 18 sl., 4 pril., 52 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Vzorci resonančne smrekovine smo termično modificirali v vakuumu pri temperaturah 170, 180 ter 190 °C in jim določili izgubo mase, ki je posledica termične obdelave. Nato smo vse vzorce, skupaj s kontrolnimi, izpostavili štirim klimam z različno relativno zračno vlažnostjo (33, 44, 65 in 88 %) in konstantno temperaturo 20 °C, ter določili adsorpcijske in desorpcijske krivulje. Pri vseh pogojih izpostavitve so termično modificirani vzorci izkazali nižje ravnovesne vlažnosti kot kontrolni. Ugotovili smo, da so sorpcijske lastnosti termično modificiranih vzorcev v tesni povezavi z izgubo mase. Večja kot je izguba mase termično modificiranega vzorca, nižja je njegova ravnovesna vlažnost. Zatem smo vse vzorce premazali s 3 različnimi premaznimi sredstvi (z 2-komponentnim poliuretanskim in uretansko-alkidnim lakom ter s 33,7 % raztopino propolisa v etanolu) ter ponovili postopek uravnovešanja pri navedenih pogojih. Izguba mase termično modificiranih vzorcev je imela večji vpliv na sorpcijske lastnosti kot pa uporabljeni površinski premazi. Na koncu smo primerjali še lastnosti (sijaj, prožnost in oprijemnost) utrjenih filmov na nemodificiranem in modificiranem lesu. Preizkušene lastnosti vseh površinskih premazov na termično modificiranih vzorcih so bile primerljive z lastnostmi na kontrolnih (naravnih) vzorcih.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC UDC 674.07

CX resonance spruce/thermal modification/sorption characteristics/surface finishing

AU HRIBAR, Mateja

AA PETRIČ, Marko (supervisor)/POHLEVEN, Franc (co-advisor)/GORIŠEK, Željko (reviewer)

PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VII/34

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology

PY 2008

TI SURFACE FINISHING OF NATURAL AND THERMALLY MODIFIED RESONANT SPRUCE

DT Graduation Thesis (University studies)

NO XIII, 67 p., 17 tab., 18 fig., 4 ann., 52 ref.

LA sl

AL sl/en

AB The samples of resonance spruce were thermally modified in vacuum at temperatures from 170, 180 and 190 °C, and their mass losses caused by heat treatment were evaluated. All the samples, including the control ones, were exposed to four different air humidities (33, 44, 65 and 88 %) at a constant temperature of 20 °C. Then the adsorption and desorption curves were evaluated. In comparison to control samples, the thermally modified ones exhibited lower equilibrium moisture content at all conditions. It was proved that the characteristics of thermally modified samples are in close correlation with their mass losses. Higher the mass loss was, lower was the equilibrium moisture of modified wood. All samples were coated with 3 different surface coats (2-compound polyurethane and urethane-alkyd varnish, 33.7 % propolis solution in ethanol), and exposed to the same equilibrium process as mentioned above. The mass losses of thermally modified samples have stronger influence on sorption characteristics than surface coatings. The characteristics of cured surface coatings (gloss, flexibility and adhesion) on non-modified and on modified wood were compared. The coating characteristics studied on thermally modified samples were comparable to those on the control ones.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VIII
Kazalo slik	X
Kazalo prilog	XII
Okrajšave in simboli	XIII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	1
1.3 CILJI NALOGE	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 RESONANČNA SMREKOVINA	2
2.1.1 Lastnosti resonančne smrekovine	2
2.1.1.1 Vpliv rastiščnih pogojev na makroskopske posebnosti resonančnega lesa	3
2.1.1.2 Vpliv mikroskopskih in submikroskopskih posebnosti resonančne smrekovine na akustične lastnosti	5
2.1.1.3 Vpliv vlažnosti na akustične lastnosti resonančne smrekovine	6
2.2 POVRŠINSKA OBDELAVA VIOLIN	8
2.2.1 Površinski sistem	9
2.2.2 Površinski premazi	9
2.2.2.1 Površinski premazi za pripravo površine pred lakiranjem	10
2.2.2.2 Laki za glasbila	11
2.2.2.3 Najpomembnejše lastnosti premaznih sistemov za glasbila	13
2.2.2.3.1 Vizualne oz. dekorativne lastnosti	13
2.2.2.3.2 Fizikalno – mehanske lastnosti utrjenega filma površinskega sistema	15
2.2.2.4 Vpliv filma premaznega sistema na zvok inštrumenta	16
2.3 TERMIČNA MODIFIKACIJA LESA	17
2.3.1 Postopki termične modifikacije	17
2.3.2 Parametri termične modifikacije	18
2.3.2.1 Drevesna vrsta	18
2.3.2.2 Temperatura	18
2.3.2.3 Čas modifikacije	19
2.3.3 Lastnosti termično modificiranega lesa	20
2.3.3.1 Izguba mase	20
2.3.3.2 Dimenzijska stabilnost in higroskopnost	21
2.3.3.3 Mehanske lastnosti	22
2.3.3.4 Odpornost proti glivam in insektom	22

2.3.3.5	Barva in vonj	23
2.3.3.6	pH vrednost	23
2.3.3.7	Trdnost lepilnega spoja	23
2.3.3.8	Površinska obdelava	23
2.3.3.9	Vnetljivost	24
2.3.4	Možnosti uporabe termično modificiranega lesa pri izdelavi glasbenih inštrumentov	25
3	MATERIAL IN METODE	27
3.1	MATERIALI	27
3.1.1	Vrsta in priprava lesa	27
3.1.2	Vakuumska tlačna komora	27
3.1.3	Premazi	28
3.1.3.1	Brezbarvni dvokomponentni poliuretanski lak	28
3.1.3.2	Brezbarvni uretansko–alkidni hitrosušeci lak	29
3.1.3.3	Raztopina propolisa	29
3.2	METODE	30
3.2.1	Termična modifikacija lesa v vakuumu	30
3.2.2	Določanje izgube mase termično modificirani resonančni smrekovini	31
3.2.3	Dimenzijska stabilnost naravne in termično modificirane resonančne smrekovine	31
3.2.4	Uravnotežanje nepremazane ter premazane naravne in termično modificirane resonančne smrekovine pri štirih različnih klimatskih pogojih	32
3.2.5	Merjenje debeline filma z mikroskopom	34
3.2.6	Merjenje sijaja	34
3.2.7	Določanje prožnosti premaznih sistemov z metodo po Petersu (DIN 53 155)	34
3.2.8	Merjenje oprijemnosti premazov	35
4	REZULTATI	37
4.1	TERMIČNA MODIFIKACIJA	37
4.1.1	Izguba mase	37
4.2	DIMENZIJSKA STABILNOST	38
4.2.1	Volumsko in linearno nabrekanje	38
4.3	SORPCIJSKE LASTNOSTI	40
4.3.1	Sorpcijske lastnosti naravne in termično modificirane resonančne smrekovine	40
4.3.2	Sorpcijske lastnosti naravne in termično modificirane resonančne smrekovine, premazane s tremi tipi premazov	41
4.4	LASTNOSTI UTRJENIH PREMAZOV	48
4.4.1	Sijaj	48
4.4.2	Prožnost premaznih sistemov	51

4.4.3	Oprijemnost premazov	51
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	54
5.1	RAZPRAVA	54
5.1.1	Izguba mase termično modificiranih vzorcev v vakuumu	54
5.1.2	Sorpcijske lastnosti, nabrek in dimenzijska stabilnost	54
5.1.2.1	Sorpcijske lastnosti, nabrek in dimenzijska stabilnost naravne in termično modificirane resonančne smrekovine v vakuumu	55
5.1.2.2	Sorpcijske lastnosti naravne in termično modificirane smrekovine, premazane s tremi različnimi površinskimi premazi	57
5.1.3	Lastnosti utrjenih premazov	59
5.1.3.1	Sijaj	59
5.1.3.2	Prožnost	60
5.1.3.3	Oprijemnost ali adhezija	60
5.2	SKLEPI	62
6	POVZETEK	63
7	VIRI	64
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Opisi standardiziranih vrednosti za ocenjevanje prožnosti (po DIN 53 155)	35
Preglednica 2: Izguba mase resonančne smrekovine med postopkom termične modifikacije pri treh temperaturah, 170 °C, 180 °C in 190 °C	37
Preglednica 3: Povprečne vrednosti treh meritev volumskega – α_v in linearnega nabreka (longitudinalni – α_l , radialni – α_r in tangencialni – α_t) naravne resonančne smrekovine	38
Preglednica 4: Povprečne vrednosti treh meritev volumskega – α_v in linearnega nabreka (longitudinalni – α_l , radialni – α_r in tangencialni – α_t) termično modificirane resonančne smrekovine	39
Preglednica 5: Povprečne ravnovesne vlažnosti (u_r), izražene v odstotkih, termično modificiranih vzorcev pri treh različnih temperaturah in kontrolnih vzorcev v odvisnosti od relativne zračne vlažnosti, s standardnimi odkloni v oklepaju	40
Preglednica 6: Ravnovesne vlažnosti naravne in termično modificirane resonančne smrekovine, premazane z dvokomponentnim poliuretanskim lakom pri spreminjajočih se relativnih zračnih vlažnostih ($\phi = 33, 44, 65$ in 88%) pri konstantni temperaturi 20 °C	42
Preglednica 7: Ravnovesne vlažnosti (u_r) naravne in termično modificirane resonančne smrekovine, premazane z uretansko-alkidnim lakom pri spreminjajočih se zračnih vlažnostih ($\phi = 33, 44, 65$ in 88%) pri konstantni temperaturi 20 °C	44
Preglednica 8: Ravnovesne vlažnosti (u_r) z raztopino propolisa premazane naravne in termično modificirane resonančne smrekovine pri spreminjajočih se vlažnostih ($\phi = 33, 44, 65$ in 88%) pri konstantni temperaturi 20 °C	46
Preglednica 9: Sijaj vzorcev ($v \%$), premazanih z dvokomponentnim poliuretanskim lakom	49
Preglednica 10: Sijaj vzorcev ($v \%$), premazanih z uretansko-alkidnim lakom	50
Preglednica 11: Sijaj vzorcev ($v \%$), premazanih s propolisom	50
Preglednica 12: Prožnost različnih premaznih sistemov	51
Preglednica 13: Rezultati testa oprijemnosti in vrsta loma na vzorcih, premazanih z dvokomponentnim poliuretanskim lakom	52
Preglednica 14: Oprijemnost in vrsta loma na vzorcih, premazanih z uretansko-alkidnim lakom	53
Preglednica 15: Povprečne izguba mase vzorcev termično modificirane resonančne smrekovine v odvisnosti od temperature procesa termične modifikacije v vakuumu	54

- Preglednica 16: Izmerjena vrednost kohezijske trdnosti podlage naravnih vzorcev in glede na izgubo mase termično modificiranih vzorcev, premazanih z dvokomponentnim poliuretanskim lakom 60
- Preglednica 17: Izmerjena vrednost kohezijske trdnosti podlage naravnih vzorcev in glede na izgubo mase termično modificiranih vzorcev, premazanih z uretansko-alkidnim lakom 61

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Področja naravnih rastišč navadne smreke. Področja najbolj cenjene smrekovine so označena s temno zeleno barvo (Hostetter P., Here is more... , 2007)	3
Slika 2: Makroskopski izgled resonančne smrekovine v radialnem prerezu (Coombe, 2007)	4
Slika 3: Shematski prikaz zgradbe celične stene. Ta sestoji iz primarne stene (P) in treh slojev sekundarne stene (S1, S2 in S3). Pri nekaterih drevesnih vrstah je notranji sloj S3 obložen s tanko plastjo bradavičastega sloja (W). Vlakna povezuje skupaj srednja lamela (ML). Glavni del celice predstavlja srednji sloj sekundarne stene (S2) (približno 85 % debeline celične stene pri smrekovini (Wadsø, 1993)). S črtami v različnih slojih stene vlakna so prikazani mikrofibrilni koti (povzeto po Time, 1998).	5
Slika 4: Značilno krčenje in zvijanje desk, prizem četrtakov in okroglin glede na smer branik (Rowell, 1995)	7
Slika 5: Shematski prikaz prečnega prereza pečata, nalepljenega na površino vzorca, z zarezanim filmom premaza okoli pečata do podlage	36
Slika 6: Volumski nabrek	
Slika 7: Longitudinalni nabrek	39
Slika 8: Radialni nabrek	
Slika 9: Tangencialni nabrek	40
Slika 10: Grafični prikaz sorpcijskih lastnosti naravnih (kontrolnih) vzorcev in termično modificiranih vzorcev pri različnih temperaturah.	41
Slika 11: Grafični prikaz ravnovesnih vlažnosti vzorcev, premazanih z dvokomponentnim poliuretanskim lakom. Na abscisni osi je prikazana relativna zračna vlažnost (ϕ) in sicer po točkah: 1 = 65 % (ZAČ); 2 = 44 % (DES); 3 = 33 % (DES); 4 = 44% (ADS); 5 = 65 % (ADS); 6 = 88 % (ADS) in 7 = 65 % (DES).	43
Slika 12: Grafični prikaz ravnovesnih vlažnosti vzorcev, premazanih z uretansko–alkidnim lakom. Na abscisni osi je prikazana relativna zračna vlažnost (ϕ) in sicer po točkah: 1 = 65 % (ZAČ); 2 = 44 % (DES); 3 = 33 % (DES); 4 = 44% (ADS); 5 = 65 % (ADS); 6 = 88 % (ADS) in 7 = 65 % (DES).	45
Slika 13: Grafični prikaz ravnovesne vlažnosti vzorcev, premazanih s propolisom. Na abscisni osi je prikazana relativna zračna vlažnost (ϕ) in sicer po točkah: 1 = 65 % (ZAČ); 2 = 44 % (DES); 3 = 33 % (DES); 4 = 44% (ADS); 5 = 65 % (ADS); 6 = 88 % (ADS) in 7 = 65 % (DES).	47
Slika 14: Grafični prikaz ravnovesnih vlažnosti vseh premazanih vzorcev (dvokomponentni poliuretanski, uretansko–alkidni lak in propolis). Na abscisni osi je prikazana relativna zračna vlažnost (ϕ) in sicer po točkah: 1 = 65 % (ZAČ); 2 = 44 % (DES); 3 = 33 % (DES); 4 = 44% (ADS); 5 = 65 % (ADS); 6 = 88 % (ADS) in 7 = 65 % (DES).	48

- Slika 15: Grafični prikaz odstotka znižanja vlažnosti pri procesu adsorpcije in desorpcije termično modificiranih vzorcev resonančne smrekovine v primerjavi z naravnimi vzorci, v odvisnosti od izgube mase 56
- Slika 16: Grafični prikaz doseženih povprečnih ravnovesnih vlažnosti naravnih oz. kontrolnih vzorcev pri določenih relativnih zračnih vlažnostih v odvisnosti od izbranega površinskega premaznega sredstva. Na abscisni osi je prikazana relativna zračna vlažnost (ϕ) in sicer po točkah: 1 = 65 % (ZAČ); 2 = 44 % (DES); 3 = 33 % (DES); 4 = 44% (ADS); 5 = 65 % (ADS); 6 = 88 % (ADS) in 7 = 65 % (DES). 57
- Slika 17: Grafični prikaz odstotka znižane vlažnosti termično modificiranih vzorcev v primerjavi z naravnimi vzorci, pri uravnovešanju pri določenih relativnih zračnih vlažnostih, v odvisnosti od izgube mase in izbranega površinskega premaza 58
- Slika 18: Grafični prikaz ravnovesnih vlažnosti termično modificiranih, nepremazanih in termično modificiranih premazanih vzorcev resonančne smrekovine, pri 65 % relativni zračni vlažnosti 59

KAZALO PRILOG

- Priloga A: Odstotek znižanja nabrekov (linearnih: radialni – α_R in tangencialni – α_T ter volumskega nabreka - α_V) termično modificiranih vzorcev napram naravnim vzorcem, glede na izgubo mase med termično modifikacijo v vakuumu.
- Priloga B: Odstotek znižane ravnovesne vlažnosti termično modificiranih in premazanih vzorcev, klimatiziranih pri posameznih relativnih zračnih vlažnostih, v primerjavi s premazanimi kontrolnimi vzorci, pri izmerjeni izgubi mase vzorca med termično modifikacijo v vakuumu. Vzorci so premazani z dvokomponentnim poliuretanskim lakom.
- Priloga C: Odstotek znižane ravnovesne vlažnosti termično modificiranih in premazanih vzorcev, klimatiziranih pri posameznih relativnih zračnih vlažnostih, v primerjavi s premazanimi kontrolnimi vzorci, pri izmerjeni izgubi mase vzorca med termično modifikacijo v vakuumu. Vzorci so premazani z uretansko-alkidnim lakom.
- Priloga D: Odstotek znižane ravnovesne vlažnosti termično modificiranih in premazanih vzorcev, klimatiziranih pri posameznih relativnih zračnih vlažnostih, v primerjavi s premazanimi kontrolnimi vzorci, pri izmerjeni izgubi mase vzorca med termično modifikacijo v vakuumu. Vzorci so premazani z raztopino propolisa v 96 % etanolu.

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšava:	Pomen:
UV	ultarvioletno valovanje
PU	poliuretanski lak
PJ	uretansko-alkidni lak
PR	propolis
DIN	Deutsches Institute für Normung
SIST	slovenski nacionalni standard
ISO	International Organization for Standardization
K	kohezija
O	obdelan (termično modificiran)
N	naraven
u	vlažnost (lesa)
ϕ	relativna zračna vlažnost
T	temperatura

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Resonančna smrekovina je zaradi svojih posebnih lastnosti nepogrešljiva za izdelavo glasbil. Površinska obdelava resonančnega lesa je zelo zahteven postopek. Specifične estetske in zaščitne lastnosti ter izboljšano dimenzijsko stabilnost lesa dosežemo z večjim številom nanosov premaznega sredstva, pri tem pa moramo biti pozorni, da ne poslabšamo akustičnih lastnosti lesa. Navzem vlage lahko zmanjšamo tudi s postopkom termične modifikacije lesa, s čimer se posledično poveča tudi dimenzijska stabilnost resonančnega lesa. Pri tako obdelanem lesu bi lahko zato zmanjšali potrebno število plasti premaznega sredstva, pri tem pa bi obdržali želene akustične lastnosti lesa ter estetske in zaščitne lastnosti površinskega premaza.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

- V vakuumu termično modificirana resonančna smrekovina je manj higroskopna in s tem bolj dimenzijsko stabilna kot nemodificirana resonančna smrekovina.
- Zaradi manjše higroskopnosti in večje dimenzijske stabilnosti modificiranega lesa, lahko potrebno število plasti premaza na modificirani resonančni smrekovini zmanjšamo na 2 do 3 sloje, da dosežemo isti učinek kot z večjim številom premaznih slojev na nemodificiranem smrekovem lesu.
- Lastnosti, kot so oprijemnost premaza, sijaj in prožnost filma premaznega sredstva na termično modificirani resonančni smrekovini so primerljive z lastnostmi premazov na naravnem lesu.

1.3 CILJI NALOGE

- Proučiti razlike v sorpcijskih lastnostih naravne in termično modificirane resonančne smrekovine.
- Ugotoviti vpliv površinske obdelave na sorpcijske lastnosti naravne in termično modificirane resonančne smrekovine.
- Analizirati lastnosti površinskega premaza kot so sijaj, oprijemnost in prožnost filma na naravni in na termično modificirani resonančni smrekovini.

2 PREGLED OBJAV

2.1 RESONANČNA SMREKOVINA

Resonančna smrekovina se uporablja pri izdelavi zgornjih plošč godal, akustičnih kitar, resonančnih plošč klavirjev itd. Resonančni les krepi (jača) zvočne vibracije (valovanje), ki jih sprožimo s strunami glasbenega inštrumenta in jih prenaša na zrak. Izbor najbolj primerne resonančne lesa za izdelavo glasbil že sam po sebi predstavlja umetnost (Hsieh, 2004).

Pri izbiri lesa za izdelavo godal se močno čuti vpliv mojstrov iz 16., 17. in prve polovice 18. stoletja, katerih obdobje imenujemo zlati časi (Hsieh, 2004). To je obdobje svetovno znanih italijanskih mojstrov kot so Nicolo Amati, Antonio Stradivari in Giuseppe Guarneri. Njihova glasbila, kar se jih je še ohranilo, so danes najbolj priljubljena med glasbeniki, saj je njihov zvok izjemen, neprecenljiv. Vrhnja plošča, najbolj pomembna pri oblikovanju zvoka, je pri večini godal izdelana iz lesa navadne smreke (*Picea abies* (L.) Karsten), ki so ga pridobili v bližnjih južnih Alpah v Italiji (Whitehouse, 2003).

Zakaj ravno ta vrsta lesa? Cristoph Busnowitz razlaga, da je smrekovina priljubljena predvsem zato, ker je bila izdelovalcem glasbenih inštrumentov razpoložljiva v velikih količinah ter ker ima pomemben pozitiven prispevek k razvoju zvoka (Herzog, 2006).

2.1.1 Lastnosti resonančne smrekovine

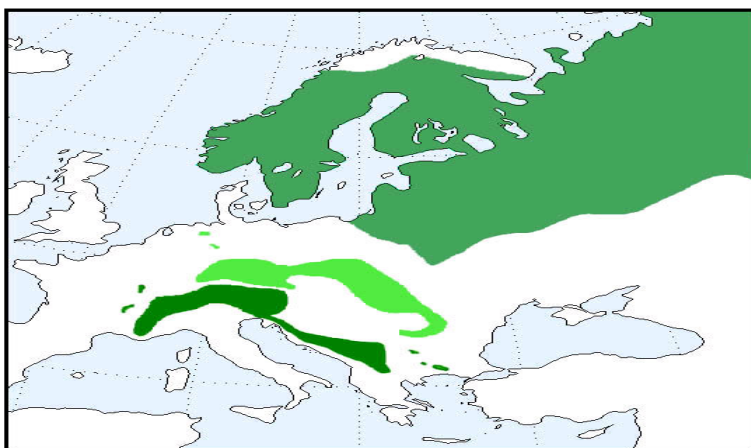
Zvočno karakteristiko posameznega glasbila določajo predvsem dobro poznavanje, pravilna obdelava in sestava lesa v končni izdelek ter seveda izkušnje mojstra, ki izdeluje glasbilo. Zaradi značilne heterogenosti, anizotropije in posledične ortotropnosti lesa ter variiranja teh značilnosti znotraj iste vrste lesa, les sam po sebi nima idealnih akustičnih lastnosti.

Za izdelavo zvočnih plošč številnih vrst glasbil se uporablja le najkakovostnejša smrekovina, kar pomeni les brez kakršnih koli vidnih napak. Vsaka napaka negativno

vpliva na vibriranje plošče. Načeloma morajo biti te vibracije močne ter čim manj dušene. Kakovost lesa določajo predvsem njegove fizikalne in mehanske lastnosti. Les z nizko gostoto, visoko hitrostjo zvoka in visoko upogibno trdnostjo ima boljše resonančne lastnosti ter boljšo sposobnost širjenja zvoka. Hitrost zvoka v smrekovini znaša med 4.800 in 6.200 m/s, njena gostota pa variira med 320 in 420 kg/m³ (Zierl, 2005).

2.1.1.1 Vpliv rastiščnih pogojev na makroskopske posebnosti resonančnega lesa

Na lastnosti lesa bistveno vplivajo rastiščni pogoji in genetska zasnova drevesa. Smreka, iz katere pridobivajo najbolj kvaliteten les za izdelavo glasbil, raste na visokogorskih planotah srednje Evrope, nad 1000 m nadmorske višine. Na teh območjih prevladujejo naravno razširjeni čisti smrekovi sestoji, vendar med njimi najdemo le majhen odstotek kvalitetnih, t.i. resonančnih smrek. Naj omenimo, da se resonančne smreke nahajajo tudi v Sloveniji, na Pokljuški planoti 1100 do 1400 m visoko. Na sliki 1 so prikazana področja, kjer je smreka naravno razširjena. Mojster Hostetter (Here is more... ,2007) iz Kalifornije navaja, da je za izdelavo glasbil predvsem cenjena smrekovina, ki jo pridobivajo v južnih predelih Alp (slika 1), v Italiji, Sloveniji, Švici in v Franciji. Po tovrstni smreki so znana tudi druga področja, kot so na primer Gorski Kotar na Hrvaškem in Visoke Tatere na zahodu Karpatov (Slovaška).



Slika 1: Področja naravnih rastišč navadne smreke. Področja najbolj cenjene smrekovine so označena s temno zeleno barvo (Hostetter P., Here is more... , 2007)

Na rast resonančne smreke in posledično na strukturo in lastnosti lesa odločilno vplivata gorska klima ter konfiguracija tal. Zemlja, na katerih rastejo resonančne smreke je plitva, vlažna ter nekoliko manj rodovitna. Za omenjena območja pa je značilno tudi gorska klima, katere značilnost so kratka ter hladnejša poletja in dolge mrzle zime, kar pogojuje kratko vegetacijsko obdobje (samo 100 dni v letu) (Rivolta R., Italian alpine... , 2007). Mnogi poznavalci prepoznajo resonančno smreko že po njeni značilni ozki in suličasti krošnji rastočega drevesa, ki je enakomerno osvetljena skozi vegetacijsko obdobje (Ledinek, 2002). Vendar pa se njene posebnosti pokažejo šele po poseku drevesa in pri razkolu debla.

Odraž počasne rasti resonančne smrekovine, ki je posledica mraza in kratkega vegetacijskega obdobja, so karakteristične letne prirastne plasti – branike (slika 2). Le-te so relativno goste (7 branik/cm) in enakomerno razporejene. V radialnem prerezu je značilna paralelnost branik, kar ima za posledico večjo trdnost lesa. Posamezna branika vsebuje majhen delež kasnega lesa (Rajèan, 2002), kar pomeni nižjo gostoto (oz. »težo lesa«). Majhna širina obroča ranega lesa in še manjša širina obroča kasnega lesa vplivata na boljše akustične lastnosti smrekovega lesa. Najpomembnejši vpliv na akustično kakovost pa ima predvsem razmerje med trdnostjo in gostoto, ki je pri smrekovini najugodnejše v primerjavi z ostalimi lesnimi vrstami in drugimi materiali (če pustimo ob strani umetne kompozitne materiale) (Šali, 2001).

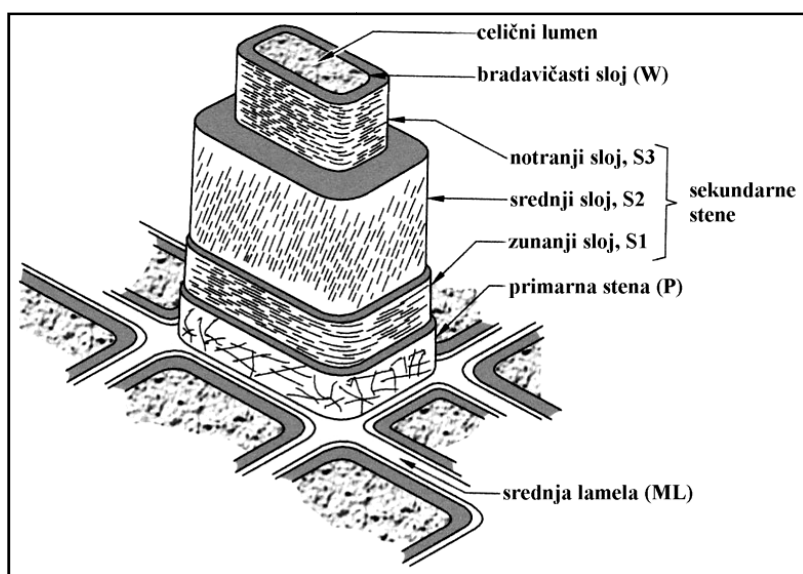


Slika 2: Makroskopski izgled resonančne smrekovine v radialnem prerezu (Coombe, 2007)

2.1.1.2 Vpliv mikroskopskih in submikroskopskih posebnosti resonančne smrekovine na akustične lastnosti

Značilno makroskopsko strukturo resonančnega lesa dodeljuje anatomska struktura lesa na mikroskopskem in submikroskopskem nivoju, s katero lahko pojasnimo značilnosti oz. poglobitve lastnosti resonančne smrekovine.

Počasna rast drevesa vpliva na zgradbo osnovne celice lesnega tkiva, *traheide*. Kar 95 % osnovnega tkiva je zgrajeno iz aksialnih traheid, ki so predeljene z večslojno celično steno (primarna, ter trije sloji sekundarne stene), med seboj pa so povezane s t.i. srednjo lamelo (slika 3). Največji delež celične stene predstavljajo združbe celuloznih molekul – mikrofibrile. Posamezni sloji celične stene se ločijo po stopnji urejenosti in orientaciji celuloznih mikrofibril.



Slika 3: Shematski prikaz zgradbe celične stene. Ta sestoji iz primarne stene (P) in treh slojev sekundarne stene (S1, S2 in S3). Pri nekaterih drevesnih vrstah je notranji sloj S3 obložen s tanko plastjo bradavičastega sloja (W). Vlakna povezuje skupaj srednja lamela (ML). Glavni del celice predstavlja srednji sloj sekundarne stene (S2) (približno 85 % debeline celične stene pri smrekovini (Wadsø, 1993)). S črtami v različnih slojih stene vlakna so prikazani mikrofibrilni koti (povzeto po Time, 1998).

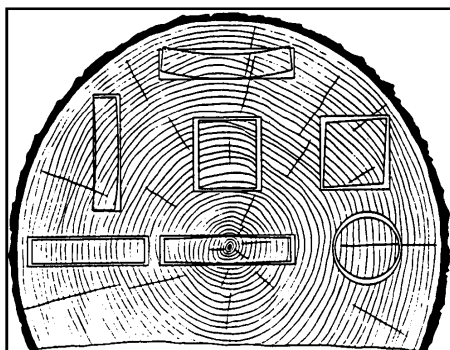
Na fizikalne in mehanske lastnosti lesa vpliva predvsem naklonski kot mikrofibril, ki variira tako v posameznem sloju celične stene kot tudi med posameznimi celicami ranega ter kasnega lesa, kar povečuje heterogenost lesa. Hori s sod. (2002) navaja, da so naklonski

koti mikrofibril celične stene, tako ranega kot kasnega lesa resonančne smrekovine, relativno majhni in med seboj zelo podobni. To povečuje homogenost lesa ter posledično vpliva na boljše akustične lastnosti.

2.1.1.3 Vpliv vlažnosti na akustične lastnosti resonančne smrekovine

Pri izdelavi glasbil so mojstri zelo pozorni na vlažnost lesa, ker vedo, da že vsaka manjša sprememba vlažnosti lesa močno vpliva na akustično kakovost ter na morebitne deformacije že izdelanega glasbila. Zato prisegajo na večletno sušenje smrekovine na prostem (tudi do 50 let), ter kasnejše kondicioniranje na pogoje, ki so podobni tistim med izdelavo glasbila.

Higroskopsnost lesa je posledica vzpostavljanja vodikovih vezi med molekulami vode in polimeri v celični steni (hemiceluloza, celuloza, lignin). Voda se veže v celično steno, ko je les v higroskopskem območju (v območju vlažnosti lesa od absolutne suhosti do točke nasičenja celičnih sten). Ta proces je delno reverzibilen, kar pomeni, da lahko les v tem območju ob spremembi pogojev vezano vodo tudi oddaja. Koliko vode bo les sprejel oz. oddal, je odvisno od vrste lesa, njegove trenutne vlažnosti, relativne zračne vlažnosti, temperature in tlaka zraka. V tem območju je les podvržen tudi »delovanju«. To pomeni, da se med sprejemanjem ali oddajanjem vezane vode vzporedno dogajajo tudi dimenzijske spremembe – nabrekanje ali krčenje, ki je zaradi specifične anatomske zgradbe močno anizotropno. Ker potekajo mikrofibrile v najbolj masivnem sloju celične stene (S2) bolj ali manj vzporedno z osjo vlaken in osjo drevesa, sta krčenje in nabrekanje v aksialni smeri zanemarljiva. Na splošno je razmerje med aksialnim, radialnim in tangencialnim krčenjem ali nabrekanjem približno 1 : 10 : 20 (Torelli, 1989). Slika 4 prikazuje dimenzijske spremembe anizotropnega lesa glede na način izreza iz hloda. Za izdelavo zgornjih oz. zvočnih plošč glasbil uporabljajo deske oz. kose lesa radialnega prereza (Hsieh, 2004).



Slika 4: Značilno krčenje in zvijanje desk, prizem četrtakov in okroglin glede na smer branik (Rowell, 1995)

Na vsebnost vlage v lesu vpliva gostota oz. delež celičnih sten v lesu. Gostota lesa je odvisna od velikosti celic, debeline celičnih sten in deleža tkiv (Torelli, 1989). Gostota z naraščajočo vlažnostjo narašča, ker se z naraščajočo vlažnostjo lesa masa bolj povečuje kot volumen. Tako bo les z večjim deležem kasnega lesa (debelejše celične stene, višja gostota) navzame večjo količino higroskopske vode, kot les z večjim deležem ranega lesa (tanjše celične stene, manjša gostota).

Les je viskoelastičen snov, ker vsebuje tako kristalinične komponente (okoli 70 % celuloznih molekul), ki so bolj elastične, kot tudi amorfna področja (okoli 30 % celuloze, vsa hemiceluloza in lignin), ki so bolj viskozna. Kaj pomeni to z akustičnega vidika? Zvok potuje po elastičnem oz. kristaliničnem področju hitreje in počasneje po amornem področju (Rowell, 1995). Ker se med termično modifikacijo lesa (Poglavje 2.3) delno razgradita predvsem hemiceluloza in lignin, lahko s tem postopkom akustične lastnosti lesa izboljšamo.

Vodne molekule med polimeri lesnih celic delujejo kot plastifikator, viskozne lastnosti lesa postanejo bolj izrazite. To močno vpliva na zvočno kakovost lesenega glasbila. Ko se zviša vsebnost vlage, se akustične lastnosti poslabšajo. Kot je bilo že omenjeno, vodne molekule v celični steni povzročijo tudi nabrekanje lesa, ki poveča deformacijo lesenih delov glasbil. To je še posebej problematično za lesene dele glasbil, ki so napetostno obremenjeni (zaradi napetih strun, v okolici lepilnih spojev, itd.) (Rowell, 1995).

2.2 POVRŠINSKA OBDELAVA VIOLIN

Osnovna namena površinske obdelave violin se prvenstveno ne ločita od splošnega namena površinske obdelave ostalih produktov iz lesa. Ta sta dekorativno oplemenititi les ter ga zaščititi pred različnimi dejavniki, ki bi na kakršen koli način negativno vplivali na uporabnost izdelka. Ker ima pri končnem izdelku tekstura lesa zelo pomembno estetsko funkcijo, za površinsko obdelavo violin uporabljamo le transparentna ter semitransparentna premazna sredstva. Glavne zaščitne funkcije pa zajemajo predvsem razglasitvijo ob povišani relativni zračni vlagi med koncertom, zaščito pred vodo, znojem, umazanijo, in pred morebitnimi mehanskimi poškodbami med uporabo.

Proces površinske obdelave glasbil se v osnovi ne loči od procesa obdelave drugih lesenih izdelkov. Torej zajema pripravljalna, dovrševalna in zaključna dela. Kakovost glasbila je od postopka površinske obdelave močno odvisna. To velja tako za masovno proizvodnjo kakor tudi za obrtniški način izdelave. Seveda so najbolj priznane in cenjene rokodelske mojstrovine, saj je v take proizvode vloženega veliko znanja in mnogoletnih izkušenj.

Klasične mojstrovine - izdelki starih italijanskih mojstrov iz obdobja med letoma 1550 in 1750 so danes zelo cenjene. Nekatere mojstrovine so prevlečene še s prvotnimi površinskim premaznimi sredstvi oz. s klasičnimi premazi, katerih sestava ni poznana, postopki za njihovo pripravo pa so se izgubili. Po mnenju Paddinga (2005) je razlog za to, da se je znanje o originalnih površinskih premazih za violine izgubilo, predvsem sledenje modnim trendom, ki so postopoma spremenili osnovno sestavo premazov, s tem pa tudi njihove poglobitve lastnosti. Mnogi mojstri po vsem svetu si prizadevajo reproducirati te unikatne mojstrovine, tako vizualno kot kakovostno, vendar neuspešno. Kljub znanstvenim pristopom je namreč nemogoče ugotoviti, kako in koliko sta na današnjo kakovost in vizualno podobo starih glasbil vplivala njihova starost ter dejanski čas uporabe oz. igranja.

2.2.1 Površinski sistem

Tako kot so klasični, tudi današnji mojstri z različnimi površinskimi premazi na površini lesa ustvarijo površinski premazni sistem. Padding (2005) v svojem članku navaja, da teoretična osnova površinske obdelave glasbil (iz obdobja klasičnih mojstrov) izhaja iz bizantinske površinske obdelave (15. stoletje), ki se kaže na različnih vrstah prebarvanih predmetov kot so kamen, kovina ali les, kasneje tudi slikarska platna in je še danes vedno osnova za različne površinske sisteme. Pri glasbilih se prekrivnosti premaznih sistemov med seboj razlikujejo tudi zaradi podlage – lesa, ki igra pri izgledu glasbila poglavitno vlogo. Padding (2005) tudi navaja, kot je citirano iz rokopisa *Cennino d'Andrea Cennini*-ja, iz 15. stoletja, z naslovom »*Il Libro dell'Arte*«, da so klasiki na svojih mojstrovinah tvorili površinski sistem z vsaj tremi od petih korakov procesa površinske obdelave: 1. priprava (pripraviti podlago na premazovanje, ni nujen nanos premaza, dovolj je samo brušenje podlage; spreminjanje barve lesa in zaščita pred glivami in insekti), 2. zapolnjevanje por, 3. nanos temelja (stabilizirati in poravnati podlago pred nanosom barvnega premaza), 4. nanos barvnega premaza ali poslikava in 5. lakiranje (dokončna zaščita celotnega sistema in izenačevanje razlik v površinski strukturi in stopnji sijaja).

Današnji mojstri in izdelovalci glasbil tvorijo premazni sistem z različnimi površinskimi premazi po svoji presoji. Pomembno je tudi to, da je površina lesa pred nanosom katerega koli premaznega sredstva temeljito očiščena.

2.2.2 Površinski premazi

Na tržišču je mnogo različnih vrst površinskih premazov za les (iz naravnih in/ali sintetičnih surovin), ki se med seboj ločijo predvsem po svoji namembnosti. Prav tako je na tržišču tudi pestra paleta že pripravljenih kakovostnih premazov za površinsko obdelavo glasbil, a vendar še vedno niso izjema mojstri, ki sami po lastnih recepturah, pripravljajo površinske premaze z mešanjem in kuhanjem naravnih sestavin. Na svetovnem spletu lahko najdemo številne napotke za domačo pripravo premaznih sredstev za glasbila. Vendar po navadi, če nismo seznanjeni z natančnim postopkom priprave, ne dosežemo želenih lastnosti premaza. Prav tako je za uspešno pripravo premaznega sredstva za

glasbila potrebno zelo dobro poznavanje lastnosti sestavin premaza. Čeprav je v mnogih literaturnih virih navedeno, da so še vedno bolj cenjeni naravni površinski premazi, veliko mojstrov po vsem svetu uporablja tudi sintetična premazna sredstva. Izbira premaznega sredstva, naj bo to naraven ali sintetičen, je vseeno odvisna od posameznega mojstra.

Brata Josef in Reiner Hammerel (1988) v svoji knjigi z naslovom »*Violin Varnish*« podrobno navajata ter opisujeta sestavine in postopke za pripravo različnih naravnih površinskih premaznih sredstev za violine, ki zajemajo vse faze tehnološkega procesa površinske obdelave. Podrobno opisujeta tudi postopke nanašanja.

2.2.2.1 Površinski premazi za pripravo površine pred lakiranjem

- Polnilci por

Pastozne pripravke za zapolnjevanje por občasno uporabljamo pri površinski obdelavi pohištva. Z njimi obdelujemo les z velikimi porami (predvsem les venčasto poroznih listavcev), da dosežemo čim višji sijaj. Beament (1997) navaja, da se polnila uporabljajo tudi pri površinski obdelavi zvočnih plošč iz smrekovine, predvsem zaradi dekorativnih lastnosti. Anorganski oz. mineralni prah snovi, kot sta kremen (silicijev dioksid – SiO_2) ali aluminijev oksid (Al_2O_3), tvori optično mejo površinskega premaza oz. laka. Drobni delci takšnega materiala odbijajo svetlobo in izboljšujejo sijaj.

- Temelji

Pri površinski obdelavi klasičnih glasbil je zelo pomembna pravilna izbira osnovnega ali temeljnega premaza - »grunda«. Med mojstri velja, da je nanos temelja najbolj pomembna faza pri celotnem postopku površinske obdelave. Večina mojstrov meni, da temelj bistveno izboljša zvok glasbila, saj penetriira v les in ga ojača ter znižuje neželene previsoke frekvence oddanega zvoka. Temelj pa obenem služi za zaščito lesa pred fizikalno – kemijskimi vplivi okolja, če se plasti zgornjih slojev laka odkrušijo. Beament (1997) navaja, da temelje uporabljajo predvsem zato, da bi spremenili polarno naravo lesa in zagotovili boljši oprijem oljnega laka. Nekateri temelje nanašajo tudi pred nanosom špiritnega laka.

Dandanes uporabljajo v glavnem naslednje vrste temeljev: brezbarvni špiritni lak, raztopino propolisa v špiritu, jajčni beljak in mešanico jajčnega rumenjaka in lanenega olja. Nekateri od omenjenih pripravkov obdelano površino tudi »zaprejo«, njihova osnovna vloga pa je sprememba površinske energije lesa.

Po navedbah bratov Hammerl (1988) naj bi za osnovni sloj uporabljali izključno raztopino smole v alkoholu, ker daje dovolj trden film. Naslednji sloji pa morajo biti nekoliko mehkejši, zato jim pri pripravi dodajo hlapna olja. Z dodatkom hlapnih olj dosežemo tudi intenzivnejše barvne tone. Z dodatkom balzamov mešanici izboljšamo homogenost in elastičnost.

2.2.2.2 Laki za glasbila

- Tradicionalni špiritni lak

Špiritni laki so raztopine naravnih smol v alkoholu. Pri pripravljanju špiritnih lakov najpogosteje uporabljamo industrijski špirit (mešanica okoli 90 % etilnega in 10 % metilnega alkohola), od tod tudi ime špiritni lak. Od ostalih alkoholov je kot topilo najbolj primeren butanol.

Brata Hammerl (1988) navajata, da se za površinsko obdelavo violin (tako notranjih kot tudi zunanjih delov violine) lahko uporabljata še dve različni raztopini propolisa. Prvo raztopino pripravimo tako, da raztopimo 100 g propolisa v litru alkohola. Druga raztopina pa je mešanica 50 g kalijevega karbonata in 100 g propolisa v litru vode. Omenjata tudi, da se za površinske premaze za violine lahko uporablja tudi kombinacijo naravnih smol in propolisa.

- Tradicionalni oljni lak

Osnova oljnih lakov je laneno olje. Uvrščamo ga med sušča olja, kamor spadata tudi tungovo in orehovo olje (tudi pogosto uporabljeni olji za površinsko obdelavo violin). Proces utrjevanja je kemijski in poteka z oksidativnim zamreženjem. Sestavine oljnih lakov

so pogosto tudi druga olja kot so npr. oljni ekstrakti iz cvetov sivke, evkaliptusovo olje, olje iz rožmarina in terpentini, ki jih uvrščamo med hlapna olja. V pripravku imajo vlogo topil, ki med utrjevanjem izparijo. Olja so netopna v vodi in v polarnih topilih, kot so industrijski špirit, vendar se raztapljajo v nepolarnih tekočinah kot so bencin, lak bencin (white spirit), benzen in terpentin.

- Najpomembnejše lastnosti tradicionalnih lakov

Vsaka vrsta laka ima svoje prednosti in slabosti. Oljni lak je zelo odporen proti vodi in vodotopnim snovem, prahu kolofonije, ter celo proti špiritu. Špiritni lak je tudi voodoodporen, odporen proti različnim vodnim raztopinam, prahu kolofonije, vendar neodporen proti alkoholu. Oljni lak je odpornejši in trši; špiritni lak se med rokovanjem z inštrumentom hitreje izrabi. Večina amaterjev ima probleme pri procesu nanašanja špiritnega laka, zaradi topila, ki zelo hitro odpareva. V nasprotju s špiritnim lakom, oljni lak utrjuje počasneje; tudi z obsevanjem UV svetlobe ne dosegamo hitrejšega utrjevanja. Poškodbe utrjenega filma špiritnega laka zlahka popravimo in zakrijemo, medtem ko je napake na filmih oljnih lakov bistveno težje popraviti, saj so zaradi svojih velikih in zamreženih molekul netopni v še tako močnih topilih.

- Druge vrste lakov

Druge vrste lakov, predvsem lake s sintetičnimi vezivi, z bistveno boljšimi lastnostmi, uporabljajo predvsem v »industrijski« proizvodnji glasbil. Industrijska proizvodnja glasbil se je razvila predvsem zaradi velikega povpraševanja. Izdelovalci so stremeli k hitrejši proizvodnji s čim nižjimi stroški. Tako so dolgosušne oljne premaze zamenjali z hitrosušnimi premazi. Tudi tehnologija postopkov nanašanja se je modernizirala in namesto ročnega nanašanja se je uveljavilo nanašanje z brizgalnimi pištolami. Industrijska proizvodnja glasbil se je še posebej razmahnila v azijskih državah, predvsem na Kitajskem. V preteklosti, je zaradi načina proizvodnje in neakovostnih materialov industrijsko izdelano, glasbilo pridobilo negativni prizvok neakovostnega izdelka. Vendar pa danes s kakovostnimi materiali proizvajajo glasbila, ki se lahko kosajo z ročno narejenimi instrumenti, ne glede na državo izdelave.

Celulozno nitratni lak daje zelo visok sijaj, je obstojen in na pogled zadovoljiv, vendar za vrhunska glasbila preveč trd. Poliuretanski laki, ki jih prav tako srečamo na glasbilih, se preprosto nanašajo, obstajajo v primernih barvah in so zelo odporni proti obrabi. Dvokomponentni melamin-formaldehidni laki izkazujejo dobro oprijemnost in kemično obstojnost.

2.2.2.3 Najpomembnejše lastnosti premaznih sistemov za glasbila

Pri površinski obdelavi godal so končne lastnosti površinskega sistema (filma) zelo pomembne, saj vplivajo na odzivnost glasbila pri igranju. Lastnosti utrjenega površinskega sistema delimo na dve skupini. Prva skupina zajema lastnosti, ki jih zaznamo s prostim očesom, torej vizualne lastnosti. V drugi skupini pa so fizikalno – mehanske lastnosti utrjenega površinskega sistema (Hill, 1994).

2.2.2.3.1 Vizualne oz. dekorativne lastnosti

Kakorkoli opišemo vidne občutke, ki jih ponujajo kakovostni klasični premazi, opis vedno vsebuje naslednje tri lastnosti:

- 1) občutek veliko večjih dimenzij, kot jih imajo elementi lesne teksture v resnici (nekaj desetink milimetrov)
- 2) občutek navidezne svetlobe, za katero se zdi, da prihaja iz notranjega izvora - pravimo, da je izgled ognjen, bleščeč, žareč, ali celo sijajen;
- 3) dikroizem (dvobarvnost, značilnost česa, da se kaže v eni barvi v odsevni svetlobi in v drugi barvi v presevni svetlobi; Priročni slovar tujk Cankarjeve založbe. 1. izdaja, 2005).

a) Prosojnost (transparentnost) in barva

Tekstura lesa ima pri izgledu glasbenega instrumenta zelo pomembno vlogo. Površinski sistem mora biti transparenten ali semitransparenten, z visokim indeksom odboja, ki znatno

poveča navidezno globino. Transparentnost površinskega premaza lahko povečamo z vmesnim brušenjem utrjenega filma posameznega sloja.

Barva utrjenih poltransparentnih slojev je odvisna od zahtev uporabnika (glasbenika). Če si ogledamo klasične instrumente, opazamo različne odtenke rumene, oranžne, rdeče in rjave barve. Za doseganje zelene barve lahko uporabljamo različna naravna barvila, ki jih pridobivamo z ekstrakcijo rastlin. Morajo pa biti topna v uporabljenem mediju, kot so npr. alkohol, terpentini ali laneno olje. Uporabljajo se tudi sintetična barvila, kot je anilin. Intenzivnost barve regulirajo z različnim številom slojev nanosa; več slojev pomeni bolj intenzivno barvo. Pri opazovanju barv klasičnih instrumentov Michelman (1946) navaja, da se George Fry, avtor knjige *The varnishes of the Italian Violin Makers* (1904), sklicuje na teorijo »dikroizma« na premazu. Dikroizem je optični učinek več - barvnosti premaza, ki je posledica opazovanja instrumenta pod različnimi koti. Vendar pa Padding (2005) navaja, da omenjeni dikroizem ni dikroizem v pravem pomenu besede, ampak je rezultat spreminjajočih se stopenj odboja svetlobe. Torej se ta optični učinek pojavi na spodnji plošči instrumenta, ki nastane zaradi medsebojne interakcije plamenaste teksture javorja in različne debeline barvnega laka.

b) Sijaj

S fizikalnega vidika gledano je sijaj delež odbite svetlobe s površine nekega predmeta. Ko na lakirano površino pade svetloba, se del te svetlobe odbije, drugi del pa se lomi in prehaja skozi film laka do površine lesa. Površina lesa prav tako del svetlobe vpije in del odbije. Odbita svetloba s površine lesa se ponovno lomi skozi film laka, ki jo del laka ponovno odbije. Torej večji ko je delež odbite svetlobe s površine lakiranega predmeta, bolj je ta sijajna. Sijaj lakirane površine je odvisen od različnih dejavnikov, kot so vrsta podlage (drevesna vrsta), sestava in vrsta premaza, postopek celotne površinske obdelave (pripravljalna, dovrševalna in naknadna dela) in končna uporaba izdelka. Želena stopnja sijaja je odvisna od želja posameznega uporabnika. Po mnenju mnogih mojstrov je dovolj visok sijaj možno doseči že z vmesnim brušenjem utrjenih premaznih slojev med procesom nanašanja.

2.2.2.3.2 Fizikalno – mehanske lastnosti utrjenega filma površinskega sistema

a) Adhezija oz. oprijemnost

Pod pojmom adhezija oz. oprijemnost razumemo sile medsebojnega privlaka različnih snovi. V primeru površinske obdelave lesa so seveda to sile, ki se ustvarijo med suhim filmom premaza oz. premaznega sistema in lesno podlago (Pavlič, 2003). Adhezija je ena od najpomembnejših lastnosti premaznega sistema, saj so od nje odvisne mehanske lastnosti utrjenega premaznega sistema.

Dobra oprijemnost utrjenega filma premaznega sistema je odvisna od omočitve podlage s tekočim (mokrim) premazom. Omočljivost podlage in penetracija tekočega premaza v les sta povezani s površinsko napetostjo, ki je rezultat delovanja medmolekulskih sil v tekočini.

b) Debelina filma utrjenega premaznega sistema

Pri nanašanju premaznih sredstev na glasbilo, mojstri želijo nanesti čim manjšo količino premaznega sredstva. Beament (1997) navaja priporočeno povprečno debelino utrjenega filma premaznega sistema na sprednji (zvočni) plošči glasbila. Debelina za špiritne lake znaša 0,058 mm ali 2 % celotne debeline zvočne plošče. Povprečna debelina 12 slojev utrjenega filma oljnega sistema naj bo manjša od dvakratne debeline špiritnega laka. Bease (1985) navaja, da naj debelina oljnega laka na osnovi borove smole znaša desetinko milimetra in prispeva od 3 do 5 gramov k celotni masi violine.

c) Prožnost filma premaznega sistema

Utrjeni film premaznega sistema mora biti dovolj prožen, da prenaša gibanje lesa, ki ga ustvarjamo med igranjem na inštrument in mu primerno sledi. Premazni sistem mora slediti tudi spremembam dimenzij, ki jih povzročajo spreminjajoči se klimatski pogoji. Prožnost filma premaznega sistema je povezana s trajnostjo premaznega sistema. Prožnost špiritnega laka lahko povišamo z dodatki balzamov ali hlapnih (eteričnih) olj, kot so

terpentin, sivkino olje, žajbljevo olje, olje rožmarina in evkaliptusa (Hammerl in Hammerl, 1988).

d) Odpornost premaznega sistema proti različnim dejavnikom

Premazni sistem mora biti odporen proti različnim neugodnim dejavnikom. Pri glasbilih so ti dejavniki obraba filma premaznega sistema med igranjem, vpijanje zračne vlage, vode in vodnih raztopin (znoj), prah kolofonije (mazivo za vpeto žimo na loku, zaradi boljšega oprijema na strune glasbila) ter morebitne poškodbe med rokovanjem.

2.2.2.4 Vpliv filma premaznega sistema na zvok inštrumenta

Mnogi izdelovalci godal, naj so to amaterji ali mojstri, večinoma menijo, da imajo postopek površinske obdelave in lastnosti izbranih površinskih premazov velik vpliv na zvok inštrumenta. Curtin in Alf (1986) navajata, da premehak film premaznega sistema duši zvok, še posebno, če je nanos predebel. Kadar je film premaza preveč trd, zvok postane »cvileč«, rezek. Mnogi so mnenja, da lahko zaznamo občutno razliko med igranjem na površinsko obdelano in neobdelano glasbilo. Beament (1997) je po mnogih tovrstnih raziskavah drugačnega mnenja. Navaja, da v zvoku ne zazna očitnih razlik. Med raziskavami je o tem zbral mnenja mnogih profesionalnih glasbenikov ter upošteval, študije Meinla iz leta 1957 in zaključne ugotovitve fizika Cremerja, ki potrjujejo njegove navedbe. Beament (1997) prav tako navaja, da kakršenkoli premaz, naraven ali sintetičen, ki ni predebel in ni steklasto trd, niti elastičen, ne more imeti bistvenega vpliva na zvok glasbila.

2.3 TERMIČNA MODIFIKACIJA LESA

Termična modifikacija lesa je na raziskovalnem nivoju znana že stoletje, a je šele v zadnjih dvajsetih letih postala uveljavljen postopek obdelave lesa. Uveljavila se je zaradi potrebe po okolju in ljudem prijaznejših lesnih materialov. Pri tem je potrebno omeniti, da so v posameznih državah razvili različne postopke termične modifikacije lesa ter da tudi v Sloveniji omenjene materiale v praksi že proizvajajo v podjetju Omorika, Straža pri Novem mestu (Rep, 2008) ter v Novi Gorici, v podjetju Orago d.o.o., Orehovlje 2a, 5291 Miren (Pohleven, 2008)

Posledica termične modifikacije lesa so kemijske spremembe termično nestabilnih molekul hemiceluloze in delno lignina. Prihaja do njihovega delnega razkroja, pri čemer nastajajo stranski produkti kot so voda, ogljikov dioksid, očetna kislina, furfural in metanol. Na ta način se zmanjša število hidroksilnih skupin, poteče delna cepitev polimernih verig in pride do nastanka novih vezi. Zaradi zmanjšanja števila prostih hidroksilnih skupin se spremenijo interakcije z vlago okoliškega zraka. Rezultat je manj higroskopen in s tem dimenzijsko stabilnejši material, s povečano biološko odpornostjo proti glivam in insektom.

2.3.1 Postopki termične modifikacije

V splošnem poteka modifikacija lesa pri visokih temperaturah, v območju med 160 in 260 °C, v zaprtem prostoru, brez prisotnosti kisika. Prisotnost kisika pri tako visokih temperaturah bi povzročila degradacijo lesnih polimerov in močno poslabšala mehanske lastnosti lesa. Glavna razlika v postopkih termične modifikacije je predvsem v načinu zagotavljanja odsotnosti kisika (Rapp in Sailer, 2001; Militz, 2002).

Glede na način zagotavljanja odsotnosti kisika so se razvili naslednji postopki termične modifikacije:

- z dušikom (Vernois, 2001),
- v vročem olju (Rapp in Sailer, 2001),

- z vodno paro (Jamsa in Viitaniemi, 2001),
- z vakuumom (Rep in sod., 2004).

2.3.2 Parametri termične modifikacije

2.3.2.1 Drevesna vrsta

Za termično modifikacijo lesa so primerni tako listavci kot iglavci. To so predvsem drevesne vrste: smreka, jelka, bor, breza, hrast topol in evropska trepetlika. Za vsako drevesno vrsto so, zaradi kemične sestave in celične strukture različni tudi končni rezultati termične modifikacije. Glede na namen uporabe termično modificiranega lesa določamo režim procesa termične obdelave. Ponavadi les listavcev modificiramo pri blagem režimu, saj tako dosežemo dobro kakovost površine in zeleno barvo. Les iglavcev modificiramo v ostrem režimu, ker se uporablja predvsem v zunanjih konstrukcijah, kjer je potrebna dobra zaščita lesa pred vlago in škodljivci (Syrjanen in Oy, 2001).

Za termično modifikacijo se uporablja les dobre kakovosti. Ponavadi so problem izpadle in pokajoče grče. Med drugimi problemi naj omenimo, da pri termični modifikaciji že z glivami okužen les povzroči dodatne barvne spremembe.

Tudi način razžagovanja hlodovine vpliva na kakovost termično modificiranega lesa. Klasičen enkratni rez lahko (posebno pri iglavcih) povzroči luščenje posameznih branik, če le-te potekajo horizontalno glede na površino deske. Branike morajo potekati vsaj pod kotom 45°, da se doseže boljša kakovost (manjše deformacije, večja trdnost površine, lepši splošni izgled) (Syrjanen in Oy, 2001).

2.3.2.2 Temperatura

Proces termične modifikacije lahko delimo na tri faze:

- ogrevanje (višanje temperature),

- modifikacija (obdelava pri konstantni temperaturi),
- ohlajevanje (nižanje temperature na temperaturo okolice).

V prvi fazi se temperatura dvigne na 100 do 150 °C. V drugi fazi modifikacije temperaturo za določen čas konstantno vzdržujemo med 150 in 260 °C. Po končani fazi modifikacije se začne temperatura zniževati do temperature okolice (sobna temperatura). Med celotnim postopkom termične modifikacije je pomembno, da ne pride do prevelikih razlik med temperaturo zraka in lesom. Če je razlika previsoka, je kakovost modificiranega lesa slaba (Patzelt in sod., 2002).

Mnoge raziskave so pokazale, da z zviševanjem temperature med modifikacijo prihaja do večjih sprememb v lastnostih modificiranega lesa. Posledica visokih temperatur modifikacije so povečana dimenzijska stabilnost in odpornost modificiranega lesa, obenem pa se zmanjšajo njegove mehanske lastnosti. Pri višjih temperaturah ne prihaja samo do razkroja hemiceluloze, temveč tudi do delne razgradnje lignina (Feist in Sell, 1987). Celuloza in lignin se v primerjavi s hemicelulozo počasneje razgrajujeta. Pri visokih temperaturah hemiceluloza izgublja svojo vlogo povezovanja lignina in celuloze, pri tem pa lignin pridobiva termoplastične lastnosti (Feist in Sell, 1987). Temperatura vpliva tudi na spremembo barvnega tona in sijaja (Patzelt in sod., 2002).

2.3.2.3 Čas modifikacije

Na celoten čas modifikacije vplivajo naslednji dejavniki: drevesna vrsta, oblika in dimenzija lesa, dimenzija in kapaciteta komore ter čas ohlajevanja (Sailer in sod, 2000).

Na splošno velja, da je celoten čas modifikacije odvisen od postopka termične modifikacije (grelnega medija) in od končnega namena uporabe lesa. Če se kot grelni medij uporablja vroče rastlinsko olje (nemški model postopka modifikacije), čas modifikacije znaša (vključno s segrevanjem in ohlajevanjem) 18 ur (Rapp in Sailer, 2001). Pri uporabi vodne pare kot grelnega medija (finski postopek modifikacije), modifikacija pri konstantni temperaturi traja štiri ure in pol (Syrjanen in Oy, 2001).

Na lastnosti termično modificiranega lesa ima večji vpliv, kot čas modifikacije temperatura. Pri nižjih temperaturah z daljšim časom modificiranja ne dosežemo enakih lastnosti, kot pri modifikaciji z višjimi temperaturami in v bistveno krajšem času (Sailer in sod., 2000).

2.3.3 Lastnosti termično modificiranega lesa

Stopnja spremembe lesa je zelo odvisna od vrste lesa in pogojev modifikacije, pri katerih igrata glavno vlogo temperatura in način zagotavljanja odsotnosti kisika (Militz 2002).

Militz (2002) navaja, kar je že dolgo poznano, da se med postopkom obdelave lesa pri visokih temperaturah, lesu spremenijo bistvene lastnosti. Nedavno so se v Evropi zavzeli za razvoj tehnologije industrijske termične modifikacije lesa. Tehnologijo so razvijali na Nizozemskem (Militz in Tjeerdsma, 2000), v Franciji (Vernois, 2000), Nemčiji (Sailer in Rapp, 2000), na Finskem (Syrjänen in sod., 2000) in v Sloveniji (Rep in Pohleven, 2008).

2.3.3.1 Izguba mase

Izguba mase lesa med modifikacijo je zelo pomembna, saj vpliva na vse ostale biološke, fizikalne in mehanske lastnosti termično modificiranega lesa. Na izgubo mase vpliva več dejavnikov. Najpomembnejši so drevesna vrsta, vlažnost lesa pred modifikacijo ter medij za segrevanje lesa med postopkom termične modifikacije.

Patzelt in sodelavci (2002) navajajo, da višja vlažnost lesa pred termično modifikacijo ter temperatura ali čas trajanja postopka modifikacije sorazmerno vplivajo na izgubo mase. Pri enakih pogojih modifikacije je les bukve izgubil vedno večji odstotek mase kot les smreke. Prisotnost kisika med modifikacijo lahko vpliva na oksidacijo celuloze in lignina in se zaradi tega dodatno zmanjša izguba mase lesa (Rapp in Sailer, 2001; Rep in Pohleven, 2001; Patzelt in sod., 2002). Patzelt in sodelavci (2002) navajajo, da je pri maksimalni temperaturi modifikacije med 132 °C in 165 °C, izguba mase smrekovine znašala med 0,56 in 7,22 %.

2.3.3.2 Dimenzijska stabilnost in higroskopskost

Spremenjena struktura lesa, zaradi termične obdelave, vpliva tudi na higroskopske lastnosti lesa. Zmanjšanje higroskopskosti termično modificiranega lesa vodi do povečanja odpornosti proti glivnemu razkroju, ne da bi uporabili biocide, obenem pa se izboljša dimenzijska stabilnost.

Spremenjena kemična zgradba lesa (razkroj hemiceluloze in amorfnih celuloz, preoblikovanje strukture lignina in odparitev ekstraktivov) ter s tem zmanjšana gostota termično modificiranega lesa bistveno vpliva na lastnost sprejemanja in oddajanja vode oz. vlage, torej na higroskopskost lesa, ki posledično vpliva na dimenzijsko stabilnost le-tega (Patzelt in sod., 2002). Postopki termične modifikacije lesa povzročijo zmanjšanje števila v lesu prisotnih hidroksilnih skupin, zato termično modificiran les absorbira vlago iz okolja bolj počasi in v manjših količinah v primerjavi z naravnim lesom. Zato je termično modificiran les dimenzijsko bolj stabilen.

Pri postopku termične modifikacije na higroskopskost lesa najbolj vplivata končna temperatura in čas modifikacije (Tjeerdsma in sod., 2000). Za termično modificiran les je pri enakih pogojih (zračna vlažnost, temperatura) značilna nižja ravnovesna vlažnost kot pri naravnem lesu. Najbolj očitna razlika med higroskopskostjo termično modificiranega in naravnega lesa se pokaže pri višjih relativnih zračnih vlažnostih ($> 70\%$), čeprav je opazna tudi pri nižjih. Histerezna zanka med adsorpcijsko in desorpcijsko izotermo se ne spremeni ter ostaja enaka kot pri naravnem lesu.

Dimenzijsko stabilnost, ki jo dosežemo pri termični modifikaciji, največkrat vrednotimo s parametrom ASE (Antishrink Efficiency – protikrčitvena učinkovitost), v radialni smeri kot ASE_R in v tangencialni kot ASE_T smeri. ASE se ocenjuje med dvema ravnovesnima legama, pogosto med tehnično suhim in napojenim stanjem (Gorišek, 1994). Pri termično modificiranem lesu običajno dosežemo vrednosti ASE med 40 in 50 % (Rapp in Sailer, 2001, Patzelt in sod., 2002), vendar se lahko izboljšana dimenzijska stabilnost izkazuje celo z vrednostmi ASE do 90 %.

2.3.3.3 Mehanske lastnosti

Ne glede na to, s kakšnim postopkom termično modificiramo les, velja za vse enako: višja kot je temperatura modifikacije, boljša je odpornost na škodljivce, istočasno pa se poslabšajo tudi mehanske lastnosti lesa. Negativna posledica termične modifikacije je, da les pod vplivom visoke temperature postane bolj krhek, upogibna in natezna trdnost se znižata za 10 do 30 % od prvotne vrednosti. Če ne optimiramo pogojev modifikacije, se upogibna trdnost zmanjša celo na 50 % od prvotne vrednosti (Rapp in Sailer, 2000). Suhe grče ponavadi izpadejo, uporaba termično modificiranega lesa je pri obremenjenih konstrukcijah omejena (Rapp in Sailer 2000).

2.3.3.4 Odpornost proti glivam in insektom

Ne glede na postopek termične modifikacije, vendar v odvisnosti od uporabljene vrste lesa in pogojev modificiranja, se odpornost lesa znatno izboljša. Visoka temperatura in daljši čas modifikacije izboljšata odpornost termično modificiranega lesa proti trohnobi in plesni. Na primer, pri postopku termične modifikacije z vodno paro, se lesu izboljša odpornost že, ko izguba mase zaradi postopka modifikacije znaša samo 3 % (Viitaniemi in sod., 1997).

Znanih je veliko potencialnih vzrokov za povečanje odpornosti proti trohnobi in plesni, ki so verjetno med seboj povezani. V termično modificiranem lesu so odkrili strupene snovi, ki so učinkovite proti trohnobi in plesni. Organske kisline, predvsem očetna kislina, povzročijo v lesu za kolonizacijo gliv prekisle pogoje. Posledica zmanjšanja higroskopsnosti lesa zaradi modifikacije je nižja vsebnost vode v modificiranem lesu, kar je odločilno za mnoge glive, ki povzročajo trohnobo. Predvsem posledična razgradnja hemiceluloze, ki je zelo pomembna za okužbo in če te ni, se odpornost za glive poveča. Snovi, ki so se preoblikovale (večinoma polisaharidi) ali ekstrahirale (ekstraktivi) bi drugače služile kot hranilo za glive (Buro, 1954).

2.3.3.5 Barva in vonj

Zaradi visoke temperature pri postopku termične modifikacije dobijo vse vrste modificiranega lesa značilno rjavo barvo (primerljiva z naravno barvo *Thuja plicata*, zahodne rdeče cedre). Kot navajajo različni avtorji, je barva posledica temperature in trajanja termične modifikacije. Višja kot je temperatura in daljši kot je čas modifikacije, temnejše barve je modificiran les. Po termični modifikaciji ima les tudi značilen vonj (po karameli), ki je verjetno povezan s sproščanjem furfurala (Militz, 2002).

2.3.3.6 pH vrednost

Sprememba pH vrednosti termično modificiranega lesa je sorazmerna z izgubo mase. Z večanjem izgube mase lesa, pH vrednost pada. Glede na izgubo mase pH vrednost lesa pada bolj počasi pri daljših časih izpostavitve termični modifikaciji (Patzelt in sod., 2002).

2.3.3.7 Trdnost lepilnega spoja

Militz (2002) navaja, da so raziskave trdnosti lepilnih spojev termično modificiranega lesa potekale v različnih laboratorijih. Lepljenim vzorcem so določali trdnostne vrednosti in odpornost proti vlagi po različnih standardih (Militz, 2002). Rezultati so pokazali, da lahko termično modificiran les načeloma lepimo s komercialnimi lepili (PVAc - polivinilacetatna lepila, PU poliuretanska lepila, RF resorcinol- fenolna lepila). Zaradi nižjih strižnih trdnosti se je pokazalo, da pride hitreje do porušitve lepilnega spoja. Dodatne razlike povzroča hidrofobna površina, kar povzroča slabo omakanje in penetracijo lepil v les.

2.3.3.8 Površinska obdelava

Površina termično modificiranega lesa ni obstojna proti UV svetlobi, razen če jo premažemo z UV odpornimi premazi, ki vsebujejo UV absorberje. Pri običajnih postopkih nanašanja premaznih sredstev ni problemov, če pa uporabljamo elektrostatsko premazovanje, je priporočeno, da se les predhodno navlažimo (Jamsa in Viitaniemi, 2001).

Površina termično modificiranega lesa je bolj hidrofobna od površine naravnega lesa, zato premazi na vodni osnovi v modificiran les penetrirajo slabše (Viitaniemi in Jamsa, 1996). Po drugi strani izboljšana dimenzijska stabilnost termično modificiranega lesa pripomore k boljši obstojnosti premazov na lesu pri izpostavitvi zunanjim vplivom okolja (Jamsa in Viitaniemi, 1998).

Po termični modifikaciji z dušikom se lesu poveča površinska energija. Za tako površino lesa ne moremo uporabiti kateregakoli komercialnega premaznega sredstva, s katerimi običajno premazujemo naravni (nemodificiran) les. Površinska napetost premaznega sredstva mora biti manjša od površinske energije termično modificiranega lesa. To dosežemo tako, da površinskim premaznim sredstvom dodajamo aditive, ki zmanjšujejo površinsko napetost. Velik problem površinske obdelave predstavlja smola, ki se med modifikacijo izloča iz smolnatih vrst lesa (Vernois, 2001).

Akrilni premazi na vodni osnovi kakor tudi akrilni premazi na osnovi organskih topil na lesu, termično modificiranem z vročim oljem, so po dveh letih naravnega staranja izkazali dobro obstojnost. S presenečenjem so ugotovili, da so premazi na lesu, termično modificiranem z vročim oljem, bolj obstojni kot na lesu, termično modificiranem s plini (Rapp in Sailer, 2001).

2.3.3.9 Vnetljivost

Patzelt in sodelavci (2002) so raziskovali tudi vnetljivost termično modificiranega lesa. Njihove raziskave so dokazale, da se s povišano stopnjo modifikacije oz. z višjimi izgubami mase povečuje tudi vnetljivost. Vzrok temu pripisujejo kemičnim spremembam, ki potečejo med termično modifikacijo.

2.3.4 Možnosti uporabe termično modificiranega lesa pri izdelavi glasbenih inštrumentov

Pfriem s sodelavci (2005) navaja, da lahko s primernim postopkom termične modifikacije lesu spremenimo fizikalne in tehnične lastnosti tako, da ga lahko uporabimo za izdelavo glasbil. S postopkom termične modifikacije lesa naj bi dosegli naslednje cilje:

- uporaba lesnih vrst, ki jih do sedaj še niso uporabljali v ta namen,
- zamenjava dragih in redkih pomembnih lesnih vrst,
- izboljšanje potrebnih lastnosti lesa v ta namen uporabe,
- izboljšanje sorpcijskih lastnosti lesa: zmanjšanje krčenja, nabrekanja,
- umetno staranje lesa,
- skrajšanje dolgega časa sušenja lesa na zraku,
- premreženje, ki jo doseže les v 100 letih.

V ta namen so testirali štiri lesne vrste (smreko, jelko, bukev in javor), ki so jih termično modificirali pri treh različnih temperaturah (180 do 220 °C). Na podlagi pridobljenih rezultatov navajajo naslednje prednosti in slabosti termično modificiranega lesa za izdelavo glasbil (Pfriem in sod., 2005).

Prednosti termično modificiranega lesa:

- povečanje Youngovega modula,
- zmanjšanja higroskopsnosti,
- večja dimenzijska stabilnost,
- boljše akustične lastnosti, kot so manjše dušenje, večja hitrost zvoka in boljše razmerje med hitrostjo zvoka in gostoto,
- barva.

Slabosti termično modificiranega lesa:

- zmanjšana upogibna trdnost materiala,

- zmanjšana čvrstost materiala,
- krhkost materiala,
- vonj,
- napake in mikrorazpoke v anatomske zgradbi lesa.

Glede na spremenjene lastnosti modificiranega lesa Pfriem in sodelavci (2005) domneva, da se odpirajo tri nova področja možne uporabe termično modificiranega lesa v izdelavi glasbil:

- uporaba v instrumentih, pri katerih se zahtevata visoka dimenzijska stabilnost in majhna sorpcija vlage; na primer v pihalih. Poleg tega pa tudi pri glasbilih s strunami, na katere igramo ne glede na klimatske pogoje,
- uporaba v glasbilih, pri katerih se zahtevajo specifične akustične lastnosti, ki jih dosežemo le z daljšim časom sušenja na prostem; npr. brenkala, godala, itd. Z znižanjem časa sušenja občutno znižamo stroške njihove izdelave,
- ker dosega termično modificiran les podobne akustične lastnosti (zvok) kot naravno staran les, je primeren za restavriranje in rekonstrukcijo starih glasbenih instrumentov.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Vrsta in priprava lesa

Za eksperiment smo uporabili radialne deščice resonančne smrekovine (*Picea abies* (L.) Karsten) brez kakršnih koli vidnih napak. Les izhaja iz Gorskega Kotarja, Hrvaška. Ima enakomerno široke branike (7 do 16 branik na širino 10 mm). Deščice smo po dolžini razpolovili, da smo dobili parne vzorce, ki smo jih uporabili za primerjavo sorpcijskih lastnosti površinsko neobdelanih in površinsko obdelanih vzorcev naravnega lesa in lesa, termično modificiranega v vakuumu. Tako smo dobili 15 parnih vzorcev naslednjih dimenzij: dolžina 148 mm, širina 39 mm in debelina 37 mm. Prvih 15 vzorcev lesa smo uporabili za termično modifikacijo lesa v vakuumu in jih označili s črko O ter z zaporednimi številkami od 1 do 15. Vzoredne, kontrolne vzorce lesa smo označili s črko N ter prav tako z zaporednimi številkami od 1 do 15.

3.1.2 Vakuumska tlačna komora

Vzorce smo modificirali na Katedri za patalogijo in zaščito lesa. Za termično modifikacijo vzorcev v vakuumu smo uporabili vakuumsko tlačno komoro proizvajalca Kambič. Komora je izdelana iz nerjavečega materiala. Notranji obod komore je ogrevan s posebnimi grelci, ki so pritrjeni na obod komore. Na komandni plošči nastavljamo program delovanja in temperaturo. Za vakuumiranje uporabimo membransko vakuumsko črpalko. Temperaturo in tlak v komori ter temperaturo vzorcev lesa pri modifikaciji lahko spremljamo na komandni plošči. Te podatke lahko izpisujemo po izbranem časovnem intervalu na igličnem tiskalniku.

Tehnični podatki:

Dimenzije komore:

- premer 210 mm

• globina	600 mm
• prostornina	0,021 m ³
Priključna moč	2000 W
Grelci	210, 270 in 1025 W
Temperaturno območje	5 °C nad sobno temperaturo do 200 °C
Tlak	0,030 – barov
Vakuumska črpalka	MZ 2C; Vacuumbrand

3.1.3 Premazi

Izbrali smo tri vrste površinskih premazov. Vrste premaznega sredstva smo izbrali predvsem na podlagi zelenih zaščitnih lastnosti, ki so potrebne pri površinski obdelavi glasbenih inštrumentov. Izbrali smo dva komercialna laka: dvokomponentni poliuretanski lak ter uretansko-alkidni lak. Tretji površinski premaz, raztopino propolisa v etanolu smo izbrali predvsem zato, ker ga nekateri mojstri po svetu uporabljajo še danes. Vse premaze smo na vzorce nanašali s ploščatim čopičem širine 20 mm.

Premazane vzorce smo označili s črkami (PU – dvokomponentni poliuretanski lak, PJ – uretansko-alkidni lak in PR – propolis) in zaporednimi številkami od 1 do 11 (za PU in PJ) ter 1 do 8 (za PR). Prvih pet vzorcev je bilo iz naravnega, nemodificiranega lesa (kontrolni vzorci), ostalih šest oz. trije (za propolis) pa so bili iz lesa, modificiranega pri različnih temperaturah (170, 180 in 190 °C).

3.1.3.1 Brezbarvni dvokomponentni poliuretanski lak

Brezbarvni dvokomponentni poliuretanski lak, ki smo ga uporabili pri naših raziskavah, se odlikuje po visoki trdoti, žilavosti ter tako po dobri odpornosti proti obrabi. Namenjen je za zaščito pohodnih površin. Pri pripravljanju mešanice laka smo se držali navodil proizvajalca. Proizvajalec navaja, da je pripravljena mešanica uporabna 16 ur, shranjena v zaprti posodi in pri temperaturi 20 °C. Za prvi nanos smo pripravili mešanico komponent A (poliol - poliestar) in B (poliizocianat) v razmerju 1 : 1. Na vzorce smo z vseh strani

nanesli po dva nanosa laka. Pred vsakim nanosom laka smo površino vzorcev obrusili in očistili. V mešanico smo dodali še 50 % redčila. V povprečju smo nanesli po 250,0 g/m² laka na vzorce iz naravnega lesa in 206,8 g/m² laka na modificirane vzorce. Za drugi nanos smo uporabili mešanico komponent A in B v istem razmerju kot pri prvem nanosu, dodali pa smo 40 % redčila. Drugi nanos je v povprečju znašal 170,2 g/m² laka na naravnih vzorcih, na modificiranih pa 166,2 g/m² laka.

3.1.3.2 Brezbarvni uretansko–alkidni hitrosušeci lak

Brezbarvni uretansko–alkidni hitrosušeci lak vsebuje UV zaščitna sredstva ter dosega visok sijaj. Dosega tudi visoke odpornosti proti atmosferskim vplivom ter mehanskim poškodbam. Uporablja se v komercialne namene pri zaščiti lesa v ladjedelništvu. Pred posameznimi nanosi smo površino vzorcev obrusili in očistili. Na vzorce smo nanesli po dva nanosa uretansko–alkidnega laka. Pri sestavi mešanice smo se upoštevali navodila proizvajalca. Za prvi nanos smo uporabili 10 % razredčeno mešanico laka. Na vzorce iz naravnega lesa smo nanesli v povprečju 215,2 g/m² laka in 184,1 g/m² laka na modificirane vzorce. Za drugi nanos laka nismo redčili. Na naravne vzorce smo v povprečju nanesli 194,2 g/m² laka in na termično modificirane 196,7 g/m² laka.

3.1.3.3 Raztopina propolisa

Za premazno sredstvo smo uporabili 33,7 % raztopino propolisa v 96 % etanolu. Na vsak vzorec smo nanesli po dva nanosa premaznega sredstva, po vseh površinah. Pred vsakim nanosom smo površino vzorcev lesa obrusili in očistili. Prvi nanos na vzorce naravne smrekovine je v povprečju znašal 164,0 g/m², na vzorcih termično modificirane smrekovine pa v povprečju znašal 126,0 g/m². Pri drugem nanosu smo v povprečju nanesli na površine naravnih vzorcev 99,6 g/m², na termično modificirane pa 81,2 g/m² premaznega sredstva.

3.2 METODE

3.2.1 Termična modifikacija lesa v vakuumu

Vseh 15 vzorcev resonančne smrekovine, namenjenih za termično modifikacijo z začetnim vakuumom, smo za 24 ur vstavili v sušilnik (temperatura 103 ± 2 °C) z namenom, da smo jih posušili do absolutno suhega stanja (m_0). Po sušenju smo vzorce lesa takoj postavili v eksikator, da so se ohladili, zatem pa jim izmerili mase (m_0) na 0,0001 g natančno. Nato smo vzorce lesa položili na pladenj, ovit v aluminijško folijo ter jih vstavili v vakuumsko modifikacijsko komoro.

Termično modifikacijo vzorcev lesa smo izvajali po treh različnih režimih. Prvih pet vzorcev smo modificirali pri temperaturi 170 °C, drugih pet pri 180 °C ter zadnjih pet pri temperaturi 190 °C.

Postopek termične modifikacije je potekal v treh fazah:

- segrevanje,
- proces modifikacije pri želeni konstantni temperaturi,
- ohlajanje.

Prva faza termične modifikacije se prične, ko vzorce vstavimo v komoro, jo nepredušno zapremo, ter vklopimo grelce. Ko smo dosegli v komori temperaturo 100 °C, smo vključili vakuumsko črpalko in iz komore izsesali zrak. Maksimalni podtlak, ki smo ga dosegli, je znašal -0,930 bara. Faza segrevanja je trajala približno eno uro.

Druga faza se je pričela, ko smo dosegli želeno temperaturo modifikacije. V našem primeru, ko smo dosegli temperature 170, 180 in 190 °C. Termična modifikacija vzorcev lesa je trajala tri ure.

Po končani drugi fazi termične modifikacije sledi faza ohlajanja. Ta faza se prične, ko izklopimo grelce ter preneha, ko se temperatura vzorcev lesa ohladi pod 100 °C.

Po končani termični modifikaciji smo vzorce lesa vzeli iz komore, jih vstavili v eksikator ter počakali, da se ohladijo. Nato smo jim ponovno tehtali maso na 0,0001 g natančno.

3.2.2 Določanje izgube mase termično modificirani resonančni smrekovini

Izgubo mase smo določali termično modificiranim vzorcem. Določili smo jo tako, da smo primerjali mase absolutno suhih vzorcev in mase vzorcev po termični modifikaciji. Mase vzorcev smo dobili s tehtanjem na laboratorijski tehtnici.

3.2.3 Dimenzijska stabilnost naravne in termično modificirane resonančne smrekovine

Za določanje dimenzijske stabilnosti smo uporabili 29 vzorcev (naravne smrekovine in termično modificiranega lesa resonančne smrekovine) dolžine 148 mm, širine 10 mm in debeline 3,7 mm. Na vsakem vzorcu smo zarisali po tri mesta, na katerih smo kasneje z digitalnim kljunastim merilom merili širino in debelino, medtem ko smo dolžino merili samo na enem mestu. Vzorce lesa smo 24 ur sušili v sušilniku pri temperaturi 103 ± 2 °C, da so dosegli absolutno suho stanje. Nato smo jih položili v eksikator, da so se ohladili, zatem pa smo jim na označenih mestih izmerili dimenzije (dolžino, širino in debelino). Dimenzije smo merili na 0,01 mm natančno. Kasneje smo vzorce lesa namočili v vročo vodo. Po petih dneh smo vzorce vzeli iz vode, jih popivnali s papirnato brisačo ter jim ponovno na označenih mestih izmerili dimenzije na 0,01 mm natančno.

Nabreke, volumski (α_v) in linearne v longitudinalni, radialni in tangencialni smeri (α_l , α_r , α_t) smo izračunali na podlagi dimenzij absolutno suhega lesa:

Volumski nabrek:

$$\alpha_V = \frac{V_{vl} - V_0}{V_0} \quad [m^3/m^3] \quad \dots(1a)$$

$$\alpha_V = \frac{V_{vl} - V_0}{V_0} \times 100 \quad [\%]$$

$$\alpha_V - \text{volumsko nabrekanje } [m^3/m^3] \quad \dots(1b)$$

V_{vl} – volumen vlažnega vzorca $[m^3]$

V_0 – volumen absolutno suhega vzorca $[m^3]$

Linearni nabrek:

$$\alpha_{l,r,t} = \frac{l_{vl} - l_0}{l_0} \quad [m/m] \quad \dots(2a)$$

$$\alpha_{l,r,t} = \frac{l_{vl} - l_0}{l_0} \times 100 \quad [\%]$$

$$\alpha_{l,r,t} - \text{nabrekanje v vzdolžni, radialni in tangencialni smeri } [m] \quad \dots(2b)$$

l_{vl} – dimenzije vlažnega vzorca $[m]$

l_0 – dimenzije absolutno suhega vzorca $[m]$

3.2.4 Uravnovešanje nepremazane ter premazane naravne in termično modificirane resonančne smrekovine pri štirih različnih klimatskih pogojih

Po končani termični modifikaciji v vakuumu smo naravne (kontrolne) in termično modificirane vzorce postavili v sušilnik, kjer smo jih 24 ur sušili pri temperaturi 103 ± 2 °C, da smo jih osušili do absolutno suhega stanja. Nato smo jih stehali na laboratorijski tehtnici na 0,001 g natančno. Zatem je sledilo postopno uravnovešanje vzorcev pri štirih različnih relativnih zračnih vlažnostih, ki smo jih dosegli z nasičenimi solnimi raztopinami različnih soli ($MgCl_2 \rightarrow \varphi = 33 \pm 1$ %, $K_2CO_3 \rightarrow \varphi = 44 \pm 1$ %, $NaNO_2 \rightarrow \varphi = 65 \pm 1$ % in $ZnSO_4 \rightarrow \varphi = 88 \pm 1$ %) pri konstantni temperaturi 20 ± 1 °C. V dobro zatesnjenih steklenih komorah smo vzpostavili konstantne pogoje (relativne zračne vlažnosti) ter z

ventilatorjem zagotavljali enakomerno porazdelitev vlage po celotni komori. Pogoje smo kontrolirali s higrometrom in termometrom.

Uravnovešanje smo pričeli pri relativni zračni vlažnosti 33 %. Vzorci so dosegli ravnovesno vlažnost v sedmih dneh. Tako smo jih v začetku postopno izpostavljali višjim relativnim zračnim vlažnostim, do 88 % (postopek procesa adsorpcije). Nato pa smo vzorce v enakih časovnih intervalih postopno izpostavljali čedalje nižjim relativnim zračnim vlažnostim (postopek procesa desorpcije) do relativne zračne vlažnosti 33 %. S tem smo hoteli ugotoviti razlike sorpcijskih lastnosti naravnih in termično modificiranih vzorcev v vakuumu.

Vlažnosti vzorcev smo določili tako, da smo primerjali mase absolutno suhih vzorcev z doseženimi masami vzorcev, ki smo jo izmerili po sedemdnevni izpostavitvi pri določeni relativni zračni vlažnosti.

Vzorci smo nato premazali s tremi izbranimi premazi in jih vstavili za 21 dni v stekleno komoro z vzpostavljeno 65 % relativno zračno vlažnostjo pri temperaturi 20 ± 1 °C. V tem času je potekel proces utrjevanja filma na površini vzorcev. Pri teh pogojih pa se je v lesu tudi vzpostavilo ravnovesno stanje primerno za okolje, v katerem ga običajno uporabljamo.

Po končanem uravnovešanju pri 65 % relativni zračni vlažnosti smo vzorce postopoma uravnovešali pri nižjih relativnih zračnih vlažnostih, do relativne zračne vlažnosti 33 % (postopek desorpcije). Nato pa so jih postopoma uravnovešali pri čedalje višjih relativnih zračnih vlažnostih, do relativne zračne vlažnosti 88 % (postopek adsorpcije). Na koncu smo jih ponovno uravnovesili pri 65 % relativni zračni vlažnosti. Prav tako smo premazane vzorce izpostavili enakim pogojem v enakih časovnih intervalih, kot pri nepremazanih vzorcih.

Premazanim vzorcem smo določevali vlažnost tako, da smo primerjali mase absolutno suhih vzorcev z masami vzorcev, ki smo jih dosegli pri posameznih ravnovesnih vlažnostih ter pri konstantni temperaturi. Da smo ugotovili kolikšen vpliv ima premaz na dosežene ravnovesne vlažnosti, smo masam vseh vzorcev odšteli mase premaza.

3.2.5 Merjenje debeline filma z mikroskopom

Debelino utrjenih filmov smo na naših vzorcih izmerili z mikroskopsko metodo po SIST EN ISO 2808 (1999). Debelino suhega filma smo merili na vseh vzorcih, ki so bili premazani z dvokomponentnim poliuretanskim ter uretansko–alkidnim lakom. Pri vzorcih, ki smo jih premazali s propolisom, debelin filmov nismo merili, ker jih pod mikroskopom nismo mogli odčitati. Da bi izmerili debelino slednjim vzorcem, bi morali pripraviti mikrotomske preparate.

Da smo lahko izmerili debelino filmov, smo vzorce razžagali na primerne dimenzije. Nato smo jih postavili na mizico pod objektiv in pri primerni povečavi ocenjevali minimalno in maksimalno debelino filma na prečni površini vzorca. Ocenjene vrednosti smo zapisovali v mikrometrih.

3.2.6 Merjenje sijaja

Sijaj smo merili v skladu z navodili standarda ISO EN 2813 (1994). Meritve smo opravili na površini vzorcev s popolnoma utrjenimi filmi vseh treh vrst premazov s predhodno umerjeno merilno napravo, delujočo na fotoelektričnem principu. Odčitavali smo sijaj pri vpadnem kotu 60° in opravili po eno meritev na vsakem vzorcu v vzdolžni smeri. Rezultate smo podali v relativnih enotah, pri čemer znaša vrednost sijaja na črni stekleni standardni plošči 100.

3.2.7 Določanje prožnosti premaznih sistemov z metodo po Petersu (DIN 53 155)

Na steklene vzorce dimenzij $130\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ smo z laboratorijskem nanašalcem nanесли tri premazne sisteme z odprtino reže $240\text{ }\mu\text{m}$. Proces utrjevanja filma na stekleni podlagi je trajal 21 dni pri relativni zračni vlažnosti 65 % in pri temperaturi $20\text{ }^\circ\text{C}$. Po končanem procesu utrjevanja smo izvedli preizkus tako, da smo z ostrim rezilom pod kotom 10° glede na ravnino stekla izrezovali struglje v smeri proti sebi. Obliko izrezanih strugljev smo ocenjevali po standardu DIN 53 155 (1971) (preglednica 1).

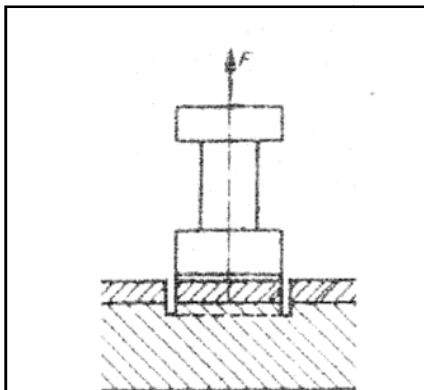
Preglednica 1: Opisi standardiziranih vrednosti za ocenjevanje prožnosti (po DIN 53 155)

Vrednost	Opis
1,1	Na dolžini vsaj 30 mm je izrezan gladek, kompakten strugelj
1,2	Strugelj se pri rezanju zavija, toda dopušča, da ga brez poškodb ponovno zravnamo in zgladimo
1,3	Med izrezovanjem se strugelj zavije v kodre, ki jih ne moremo izravnati, ker se zaradi pritiskanja lomijo
2,0	Med rezanjem struglja nastanejo koščki filma, dolžine od 3 do 30 mm.
3,0	Med rezanjem struglja nastanejo delci filma z dolžino manj kot 3 mm prašnate oblike

3.2.8 Merjenje oprijemnosti premazov

Adhezijo oz. oprijemnost premazov smo ugotavljali po prilagojeni standardni metodi, SIST EN 24624: 1997. Vzorce smo kondicionirali pri normalni klimi ($\varphi = 65 \%$, $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Po 21 dnevnem kondicioniranju smo jim nalepili (dvokomponentno epoksidno lepilo) pečate premera 11,25 mm. Po utrditvi lepila (24 ur) smo zarezali film premaza okoli pečata vse do podlage (slika 5). Tako pripravljene pečate smo vstavili v trgalni stroj in ugotavljali silo, ki je bila potrebna za porušitev spoja. Na vsak vzorec, premazan z dvokomponentnim poliuretanskim ter uretansko–alkidnim lakom, smo nalepili po en pečat, skupno torej enajst za posamezen sistem. Na vzorcih, premazanih s propolisom, nismo merili adhezije, saj dva nanosa premaza nista zadostovala, da bi se na površini lesa tvoril kompakten film.

Poleg absolutne vrednosti razslojne trdnosti (v MPa) smo navedli tudi naravo loma. Če je prišlo do razslojevanja na meji med podlago in lakom (vsaj 60 % podlage) govorimo o adhezijski trdnosti oz. lomu (A). Če pa je prišlo do drugačne narave loma, govorimo o kohezijski trdnosti (K) podlage ali površinskega sistema. Natezno trdnost, ki je bila potrebna za zlom pečata, smo zapisali in pregledali površino loma.



Slika 5: Shematski prikaz prečnega prereza pečata, nalepljenega na površino vzorca, z zarezanim filmom premaza okoli pečata do podlage

4 REZULTATI

4.1 TERMIČNA MODIFIKACIJA

4.1.1 Izguba mase

Izguba mase vzorcev zaradi termične modifikacije se giblje med 0,63 in 2,31 %. Najvišjo vrednost izgube mase (2,31 %) je dosegel vzorec O8, modificiran pri temperaturi 180 °C, najnižjo vrednost (0,63 %) pa vzorec O5, modificiran pri temperaturi 170 °C (preglednica 2). Izguba mase vzorca je razen od temperature, očitno odvisna tudi od njegovega položaja v komori.

Preglednica 2: Izguba mase resonančne smrekovine med postopkom termične modifikacije pri treh temperaturah, 170 °C, 180 °C in 190 °C

Oznaka vzorca	Postopek termične modifikacije (°C)	Izguba mase (%)	Povprečje (%)
O1	170	1,14	1,04 ± 0,29
O2		1,16	
O3		1,40	
O4		0,86	
O5		0,63	
O6	180	1,45	1,72 ± 0,45
O7		2,03	
O8		2,31	
O9		1,64	
O10		1,17	
O11	190	1,04	1,48 ± 0,63
O12		1,00	
O13		1,04	
O14		2,27	
O15		2,07	

4.2 DIMENZIJSKA STABILNOST

4.2.1 Volumsko in linearno nabrekanje

a) Volumsko in linearno nabrekanje naravne resonančne smrekovine, zaradi namakanja v vodi

Pri vzorcih naravne resonančne smrekovine volumski nabrek zajema vrednosti med 14,51 in 18,98 %. Povprečni longitudinalni nabrek se je gibal v območju med 0,09 in 0,32 %, radialni med 3,91 in 6,35 %, ter tangencialni med 9,64 in 11,72 % (preglednica 3).

Preglednica 3: Povprečne vrednosti treh meritev volumskega – α_v in linearnega nabreka (longitudinalni – α_l , radialni – α_r in tangencialni – α_t) naravne resonančne smrekovine

Oznaka vzorca	α_v (%)	α_l (%)	α_r (%)	α_t (%)
N1	16,03	0,17	3,91	11,47
N2	15,61	0,22	4,47	10,41
N3	15,78	0,32	4,54	10,40
N4	15,27	0,15	5,06	9,55
N5	17,18	0,15	4,68	11,77
N6	17,01	0,15	4,57	11,72
N7	15,06	0,13	4,67	9,78
N8	15,42	0,30	4,53	10,10
N9	14,51	0,12	4,32	9,64
N10	15,84	0,13	4,73	10,47
N11	18,98	0,14	6,35	11,72
N12	15,33	0,09	4,70	10,05
N13	14,82	0,15	4,42	9,79
N14	17,81	0,18	5,81	11,14
N15	15,56	0,19	4,55	10,32
Povprečje	16,01 ± 1,22	0,17 ± 0,06	4,75 ± 0,60	10,56 ± 0,80

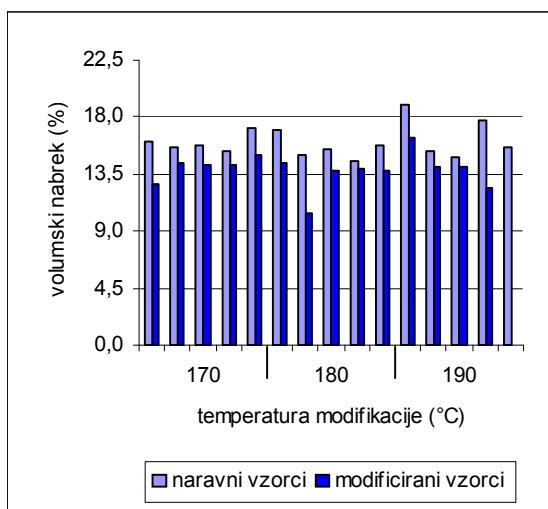
b) Volumsko in linearno nabrekanje termično modificirane resonančne smrekovine

V primeru termično modificirane resonančne smrekovine je znašal volumski nabrek med 10,37 in 16,44 %. V longitudinalni smeri je približno 0,1 %, v radialni smeri okoli 4 %, v tangencialni smeri pa okoli 9 % (preglednica 4).

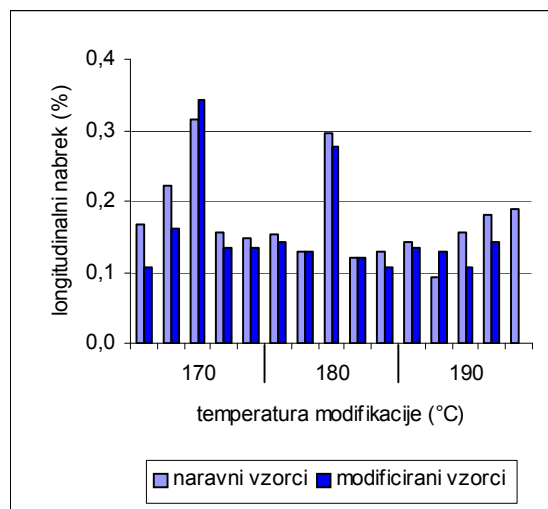
Preglednica 4: Povprečne vrednosti treh meritev volumnskega – α_v in linearnega nabreka (longitudinalni – α_l , radialni – α_r in tangencialni – α_t) termično modificirane resonančne smrekovine

Oznaka vzorca	T modifikacije (°C)	α_v (%)	α_l (%)	α_r (%)	α_t (%)
O1	170	12,70	0,11	4,07	8,18
O2		14,46	0,16	4,24	9,63
O3		14,18	0,34	4,13	9,27
O4		14,18	0,13	4,78	8,82
O5		14,98	0,13	4,56	9,81
Povprečje		14,10 ± 0,85	0,18 ± 0,10	4,36 ± 0,31	9,14 ± 0,66
O6	180	14,42	0,14	3,62	10,27
O7		10,37	0,13	2,91	7,11
O8		13,72	0,28	4,05	9,00
O9		13,94	0,12	4,03	9,40
O10		13,81	0,11	4,05	9,26
Povprečje		13,25 ± 1,63	0,15 ± 0,07	3,73 ± 0,49	9,01 ± 1,16
O11	190	16,44	0,13	5,31	10,43
O12		14,11	0,13	4,29	9,27
O13		14,04	0,11	4,09	9,45
O14		12,38	0,14	3,62	8,30
O15		/	/	/	/
Povprečje		14,24 ± 1,67	0,13 ± 0,02	4,23 ± 0,71	9,36 ± 0,87

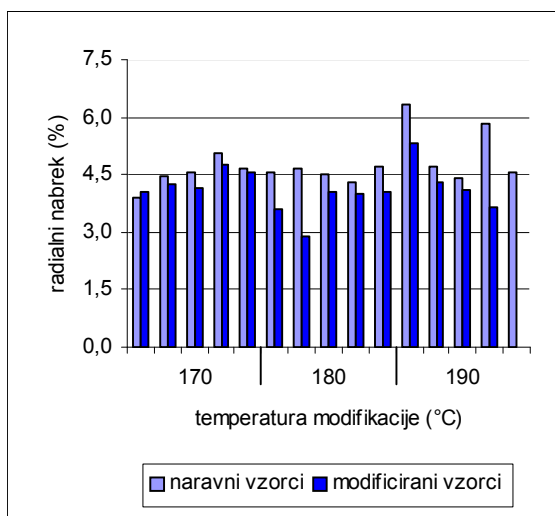
Na slikah 6, 7, 8 in 9 so prikazane primerjave povprečnih vrednosti volumnskega in linearnega nabreka med vzorci naravne in termično modificirane resonančne smrekovine.



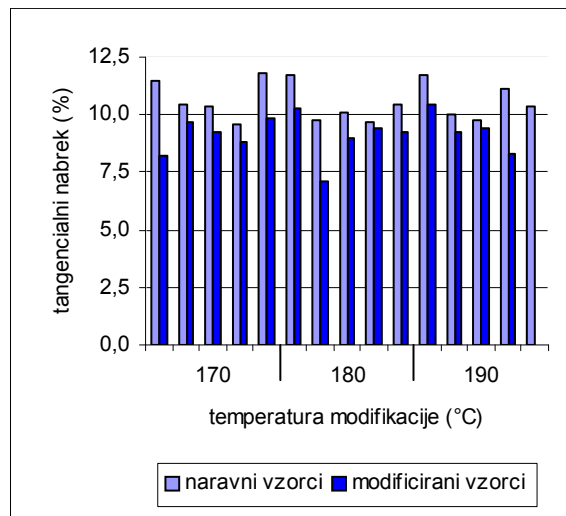
Slika 6: Volumski nabrek



Slika 7: Longitudinalni nabrek



Slika 8: Radialni nabrek



Slika 9: Tangencialni nabrek

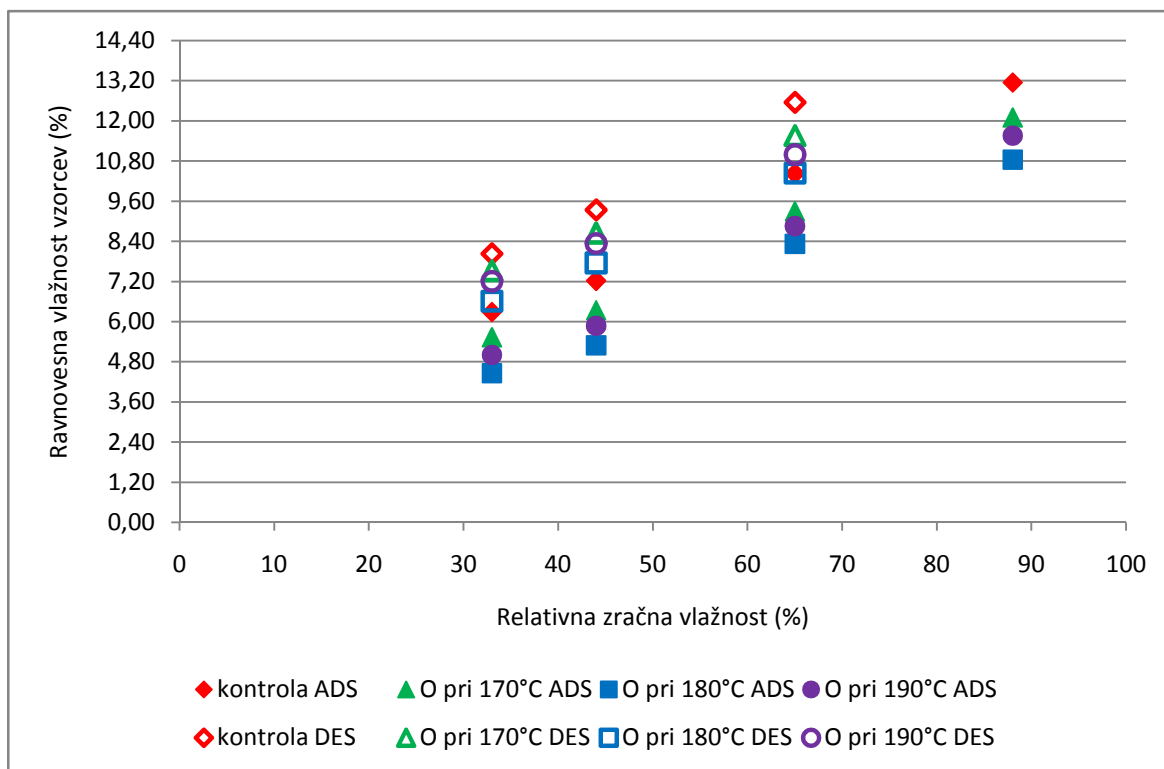
4.3 SORPCIJSKE LASTNOSTI

4.3.1 Sorpcijske lastnosti naravne in termično modificirane resonančne smrekovine

Iz preglednice 5 in slike 10 je razvidno, da modificirani vzorci dosegajo nižje ravnovesne vlažnosti v primerjavi z naravnimi (kontrolnimi) vzorci. Najnižje vrednosti dosegajo vzorci, modificirani pri 180 °C. Sledijo jim vzorci, modificirani pri temperaturi 190 °C in nato še vzorci, modificirani pri 170 °C. Največje razlike v ravnovesni vlažnosti med termično modificiranimi in naravnimi vzorci se kažejo v uravnovešanju vzorcev pri 88 % relativne zračne vlažnosti (preglednica 5, slika 10).

Preglednica 5: Povprečne ravnovesne vlažnosti (u_r), izražene v odstotkih, termično modificiranih vzorcev pri treh različnih temperaturah in kontrolnih vzorcev v odvisnosti od relativne zračne vlažnosti, s standardnimi odkloni v oklepaju

	ADSORPCIJA				DESORPCIJA		
	u_r pri $\varphi = 33 \%$	u_r pri $\varphi = 44 \%$	u_r pri $\varphi = 65 \%$	u_r pri $\varphi = 88 \%$	u_r pri $\varphi = 65 \%$	u_r pri $\varphi = 44 \%$	u_r pri $\varphi = 33 \%$
kontrola	6,29 (0,21)	7,22 (0,21)	10,43 (0,14)	13,14 (0,19)	12,55 (0,12)	9,33 (0,22)	8,03 (0,082)
170 °C	5,53 (0,22)	6,34 (0,19)	9,30 (0,33)	12,10 (0,263)	11,55 (0,28)	8,64 (0,175)	7,52 (0,15)
180 °C	4,46 (1,08)	5,29 (1,18)	8,32 (1,46)	10,83 (1,55)	10,43 (1,53)	7,75 (1,38)	6,61 (1,34)
190 °C	5,00 (0,27)	5,87 (0,30)	8,85 (0,51)	11,55 (0,56)	10,99 (0,52)	8,33 (0,36)	7,20 (0,301)



Slika 10: Grafični prikaz sorpcijskih lastnosti naravnih (kontrolnih) vzorcev in termično modificiranih vzorcev pri različnih temperaturah.

4.3.2 Sorpcijske lastnosti naravne in termično modificirane resonančne smrekovine, premazane s tremi tipi premazov

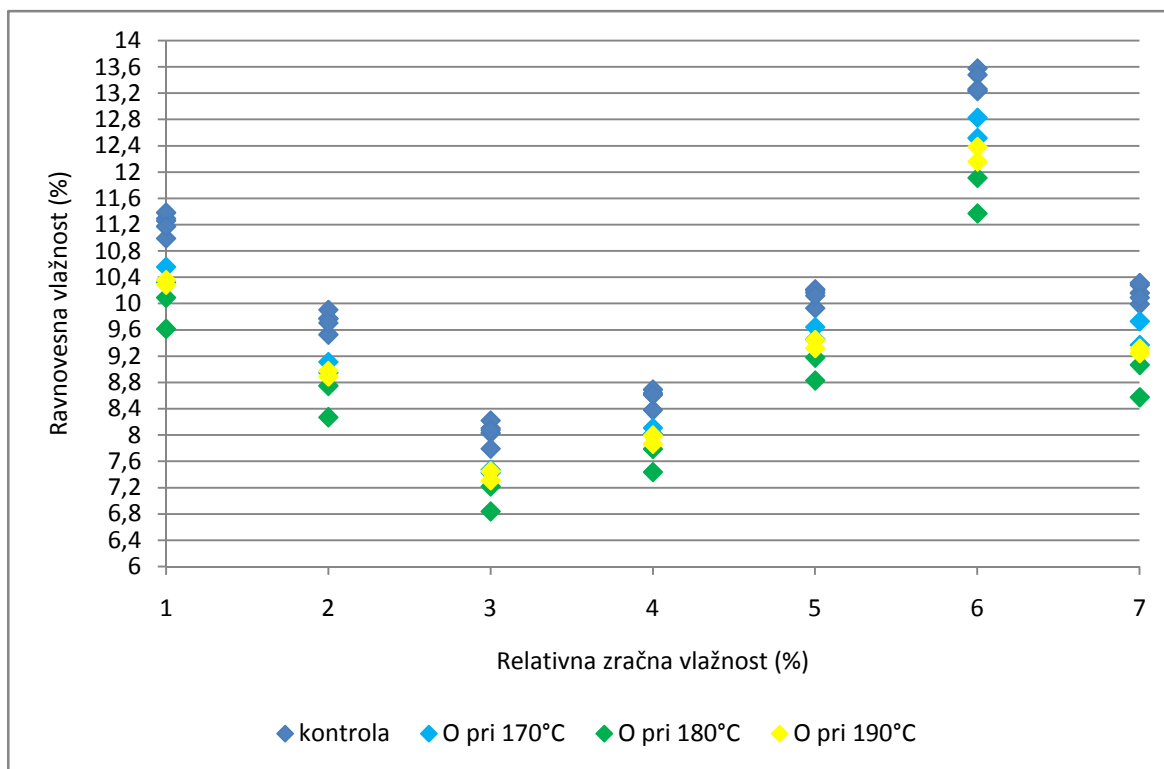
- a) Naravna in termično modificirana resonančna smrekovina premazana z dvokomponentnim poliuretanskim lakom

Pri posameznih relativnih zračnih vlažnostih ($\phi = 33, 44, 65$ in 88%) in pri konstantni temperaturi $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, vzorci premazane resonančne smrekovine dosežejo za približno 1% višjo ravnovesno vlažnost v primerjavi s premazanimi in termično modificiranimi vzorci. Razlike v vlažnosti med modificiranimi vzorci glede na stopnjo modifikacije pa so majhne, vendar opazne, če podatkom prilagodimo trendno črto. V tem primeru dosežejo najvišjo vlažnost vzorci, modificirani pri $170\text{ }^{\circ}\text{C}$, sledijo jim vzorci, modificirani pri temperaturi $190\text{ }^{\circ}\text{C}$, najnižjo vlažnost pa dosežejo vzorci, modificirani pri $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ (preglednica 6, slika 11).

Preglednica 6: Ravnovesne vlažnosti naravne in termično modificirane resonančne smrekovine, premazane z dvokomponentnim poliuretanskim lakom pri spreminjajočih se relativnih zračnih vlažnostih ($\varphi = 33, 44, 65$ in 88%) pri konstantni temperaturi $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

T modifikacije (%)	oznaka vzorca	ZAČ u_r pri $\varphi=65\%$	DES u_r pri $\varphi=44\%$	DES u_r pri $\varphi=33\%$	ADS u_r pri $\varphi=44\%$	ADS u_r pri $\varphi=65\%$	ADS u_r pri $\varphi=88\%$	DES u_r pri $\varphi=65\%$
Naravni vzorci	PU1	11,30	9,76	8,03	8,63	10,21	13,57	10,16
	PU2	11,26	9,77	8,10	8,63	10,16	13,48	10,28
	PU3	10,99	9,52	7,79	8,38	9,93	13,23	9,99
	PU4	11,38	9,90	8,22	8,69	10,20	13,26	10,31
	PU5	11,17	9,70	8,07	8,61	10,12	13,24	10,09
Povprečje		11,22 (0,15)	9,73 (0,14)	8,04 (0,16)	8,59 (0,12)	10,12 (0,12)	13,36 (0,16)	10,17 (0,13)
190	PU6	10,28	8,88	7,31	7,86	9,3	12,16	9,24
	PU7	10,35	8,97	7,45	7,99	9,44	12,38	9,31
Povprečje		10,32 (0,05)	8,93 (0,06)	7,38 (0,19)	7,93 (0,09)	9,38 (0,09)	12,27 (0,16)	9,28 (0,05)
180	PU8	10,08	8,74	7,22	7,78	9,17	11,91	9,06
	PU9	9,61	8,26	6,83	7,43	8,83	11,37	8,57
Povprečje		9,85 (0,34)	8,51 (0,34)	7,03 (0,27)	7,61 (0,25)	9,00 (0,25)	11,64 (0,38)	8,82 (0,35)
170	PU10	10,32	8,95	7,43	8,01	9,45	12,52	9,37
	PU11	10,55	9,11	7,47	8,11	9,64	12,82	9,73
Povprečje		10,44 (0,16)	9,03 (0,11)	7,45 (0,03)	8,06 (0,07)	9,55 (0,13)	12,67 (0,22)	9,55 (0,25)

Na abscisni osi (osi x) je prikazana relativna zračna vlažnost (φ) in sicer po točkah:
1 = 65% (ZAČ); 2 = 44% (DES); 3 = 33% (DES); 4 = 44% (ADS); 5 = 65% (ADS); 6 = 88% (ADS) in 7 = 65% (DES).



Slika 11: Grafični prikaz ravnovesnih vlažnosti vzorcev, premazanih z dvokomponentnim poliuretanskim lakom. Na abscisni osi je prikazana relativna zračna vlažnost (φ) in sicer po točkah: 1 = 65 % (ZAC); 2 = 44 % (DES); 3 = 33 % (DES); 4 = 44% (ADS); 5 = 65 % (ADS); 6 = 88 % (ADS) in 7 = 65 % (DES).

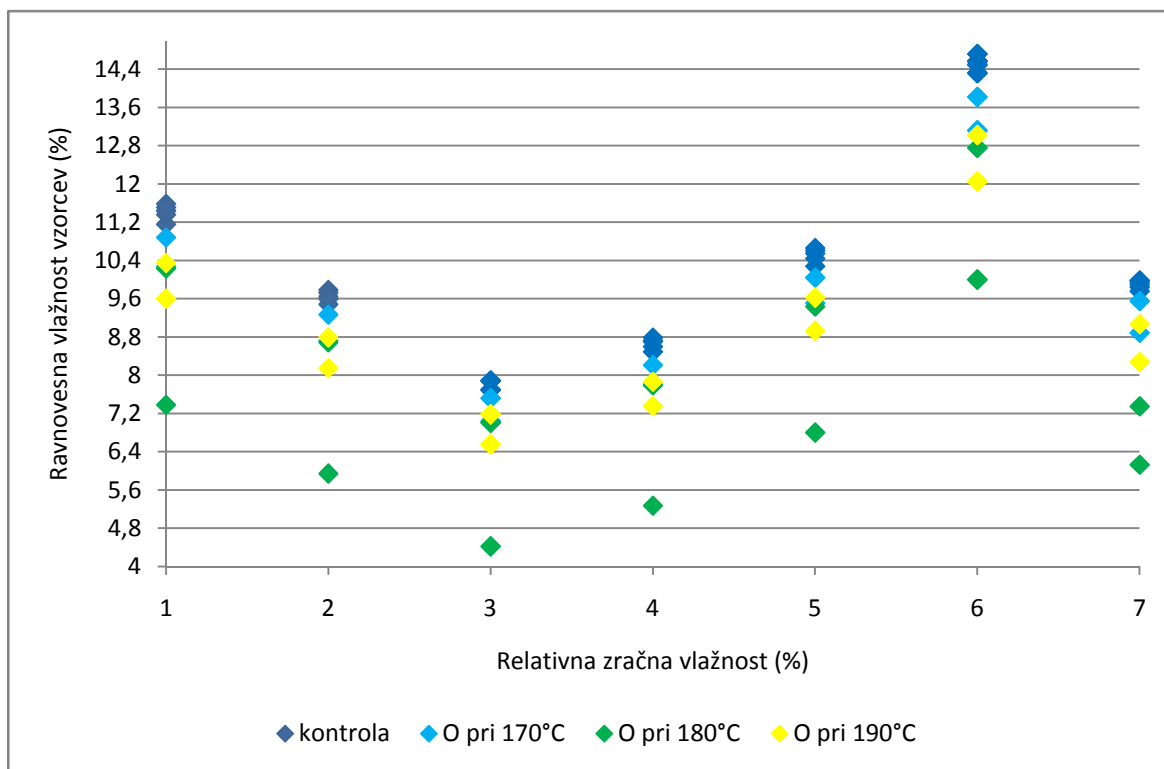
b) Naravna in termično modificirana resonančna smrekovina, premazana z brezbarvnim uretansko–alkidnim lakom

Na splošno se ravnovesne vlažnosti vzorcev naravnega lesa in termično modificirane resonančne smrekovine razlikujejo za približno 1 %. Opazimo, da med modificiranimi vzorci v posameznih temperaturah izstopa vzorec PJ8, modificiran pri temperaturi 180 °C. Ta doseže približno 3 % nižjo ravnovesno vlažnost pri posameznih relativnih zračnih vlažnostih in konstantni temperaturi. Najvišjo vlažnost dosežejo vzorci, modificirani pri 170 °C, nato sledijo vzorci modificirani pri 190 °C, opazno najnižje vlažnosti pa izkazujejo vzorci, modificirani pri 180 °C (preglednica 7, slika 12).

Preglednica 7: Ravnovesne vlažnosti(u_r) naravne in termično modificirane resonančne smrekovine, premazane z uretansko-alkidnim lakom pri spreminjajočih se zračnih vlažnostih ($\varphi = 33, 44, 65$ in 88%) pri konstantni temperaturi 20°C

T modifikacije (%)	oznaka vzorca	ZAČ u_r pri $\varphi=65 \%$	DES u_r pri $\varphi=44 \%$	DES u_r pri $\varphi=33 \%$	ADS u_r pri $\varphi=44 \%$	ADS u_r pri $\varphi=65 \%$	ADS u_r pri $\varphi=88 \%$	DES u_r pri $\varphi=65 \%$
Naravni vzorci	PJ1	11,58	9,78	7,89	8,78	10,66	14,71	9,98
	PJ2	11,44	9,73	7,88	8,72	10,55	14,32	9,90
	PJ3	11,16	9,48	7,70	8,49	10,28	14,49	9,76
	PJ4	11,36	9,59	7,69	8,60	10,44	14,57	9,85
	PJ5	11,51	9,64	7,88	8,71	10,61	14,56	9,96
Povprečje		11,41 (0,16)	9,65 (0,12)	7,81 (0,10)	8,66 (0,12)	10,51 (0,15)	14,53 (0,14)	9,89 (0,09)
190	PJ6	10,34	8,79	7,18	7,86	9,62	13,02	9,06
	PJ7	9,59	8,15	6,55	7,35	8,93	12,05	8,27
Povprečje		9,97 (0,53)	8,47 (0,45)	6,87 (0,44)	7,60 (0,36)	9,27 (0,49)	12,53 (0,69)	8,67 (0,56)
180	PJ8	7,38	5,94	4,42	5,27	6,80	10,00	6,13
	PJ9	10,23	8,69	7,01	7,79	9,43	12,75	7,35
Povprečje		8,81 (2,02)	7,32 (1,94)	5,72 (0,34))	6,53 (0,29)	9,74 (1,86)	11,38 (1,95)	6,74 (0,86)
170	PJ10	10,88	9,27	7,52	8,21	10,04	13,82	9,55
	PJ11	10,27	8,71	7,04	7,81	9,51	13,12	8,89
Povprečje		10,57 (0,43)	8,99 (0,39)	7,28 (0,34)	8,01 (0,29)	9,77 (0,38)	13,47 (0,49)	9,22 (0,49)

Na abcisni osi (osi x) je prikazana relativna zračna vlažnost (φ) in sicer po točkah:
1 = 65 % (ZAČ); 2 = 44 % (DES); 3 = 33 % (DES); 4 = 44% (ADS); 5 = 65 % (ADS); 6 = 88 % (ADS) in 7 = 65 % (DES).



Slika 12: Grafični prikaz ravnovesnih vlažnosti vzorcev, premazanih z uretansko–alkidnim lakom. Na abscisni osi je prikazana relativna zračna vlažnost (ϕ) in sicer po točkah: 1 = 65 % (ZAČ); 2 = 44 % (DES); 3 = 33 % (DES); 4 = 44% (ADS); 5 = 65 % (ADS); 6 = 88 % (ADS) in 7 = 65 % (DES).

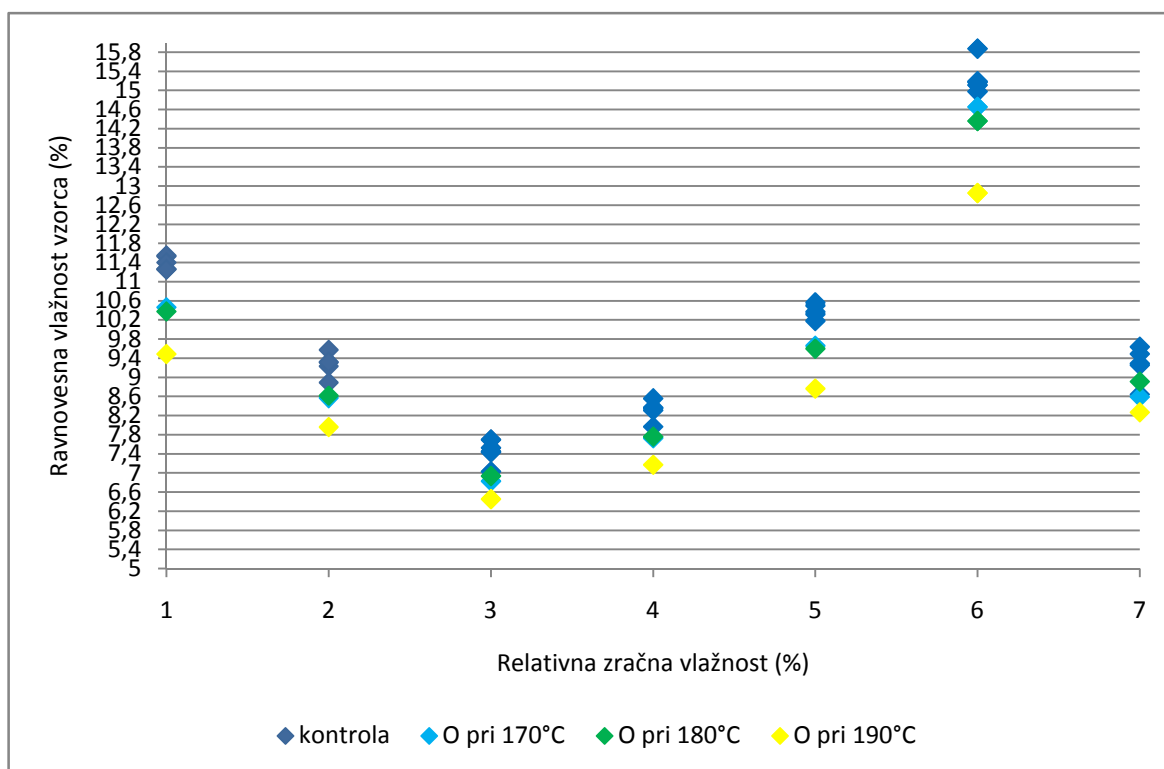
c) Naravna in termično modificirana resonančna smrekovina, premazana s propolisom

Ne glede na stopnjo modifikacije vzorcev se tudi ravnovesne vlažnosti teh vzorcev od vlažnosti nemodificirane smrekovine razlikujejo približno za 1 %. Med vzorci, modificiranimi pri temperaturah 170 °C in 180 °C so razlike skoraj zanemarljive, vendar opazno višje od vlažnosti vzorca, modificiranega pri temperaturi 190 °C (preglednica 8, slika 13).

Preglednica 8: Ravnovesne vlažnosti(u_r) z raztopino propolisa premazane naravne in termično modificirane resonančne smrekovine pri spreminjajočih se vlažnostih ($\varphi = 33, 44, 65$ in 88%) pri konstantni temperaturi $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

T modifikacije (%)	oznaka vzorca	ZAČ u_r pri $\varphi=65\%$	DES u_r pri $\varphi=44\%$	DES u_r pri $\varphi=33\%$	ADS u_r pri $\varphi=44\%$	ADS u_r pri $\varphi=65\%$	ADS u_r pri $\varphi=88\%$	DES u_r pri $\varphi=65\%$
Naravni vzorci	PR1	11,53	9,24	7,44	8,37	10,50	15,87	9,25
	PR2	11,27	9,32	7,53	8,31	10,32	15,17	9,49
	PR3	11,55	9,58	7,70	8,56	10,57	14,98	9,64
	PR4	11,40	9,32	7,46	8,35	10,37	15,11	9,29
	PR5	11,26	8,89	7,03	7,97	10,18	15,19	8,64
Povprečje		11,40 (0,14)	9,27 (0,25)	7,43 (0,24)	8,31 (0,22)	10,39 (0,15)	15,26 (0,35)	9,26 (0,38)
190	PR6	9,49	7,96	6,45	7,17	8,76	12,86	8,27
180	PR8	10,38	8,62	6,94	7,76	9,60	14,36	8,91
170	PR9	10,46	8,57	6,83	7,73	9,66	14,65	8,59

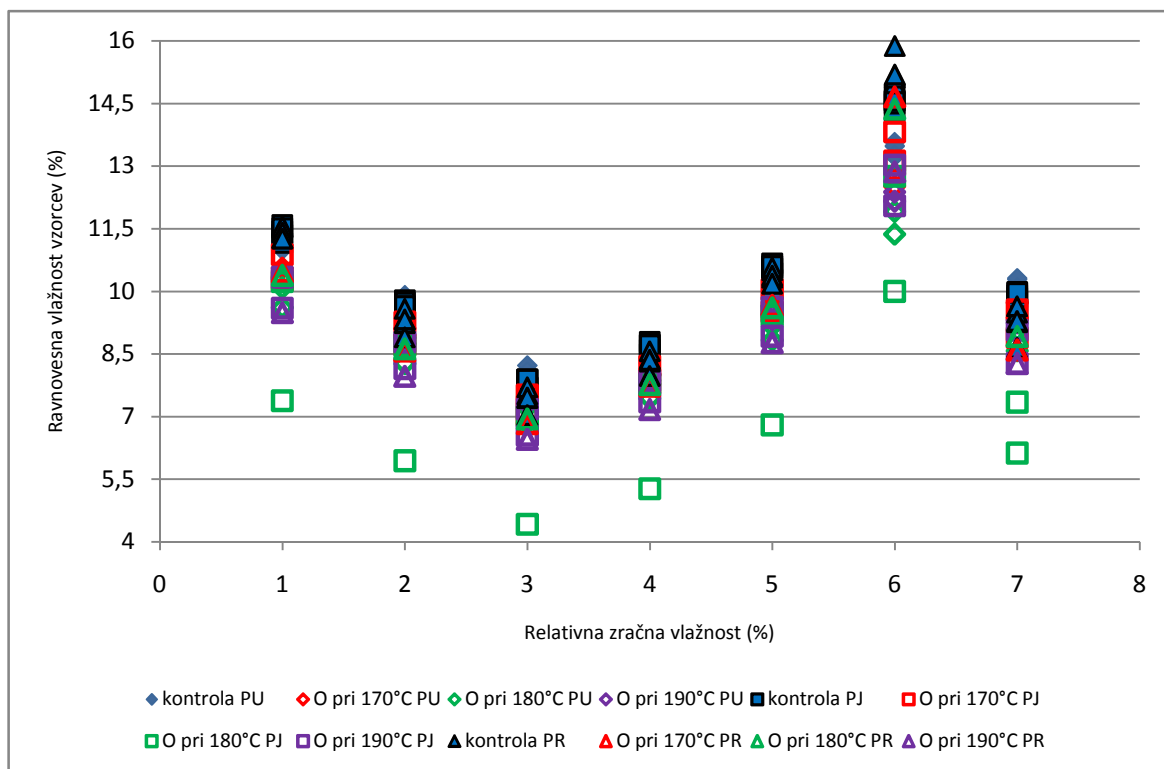
Na abcisni osi (osi x), je prikazana relativna zračna vlažnost (φ) in sicer po točkah:
1 = 65% (ZAČ); 2 = 44% (DES); 3 = 33% (DES); 4 = 44% (ADS); 5 = 65% (ADS);
6 = 88% (ADS) in 7 = 65% (DES).



Slika 13: Grafični prikaz ravnovesne vlažnosti vzorcev, premazanih s propolisom. Na abscisni osi je prikazana relativna zračna vlažnost (ϕ) in sicer po točkah: 1 = 65% (ZAČ); 2 = 44 % (DES); 3 = 33 % (DES); 4 = 44% (ADS); 5 = 65 % (ADS); 6 = 88 % (ADS) in 7 = 65 % (DES).

Na sliki 14 so prikazane dosežene ravnovesne vlažnosti vseh premazanih vzorcev. Na spremembe v relativni vlažnosti se najbolj odzivajo vzorci, premazani s propolisom, najmanj pa vzorci, premazani z dvokomponentnim poliuretanskim lakom.

Na abscisni osi (osi x) je prikazana relativna zračna vlažnost (ϕ) in sicer po točkah: 1 = 65% (ZAČ); 2 = 44 % (DES); 3 = 33 % (DES); 4 = 44% (ADS); 5 = 65 % (ADS); 6 = 88 % (ADS) in 7 = 65 % (DES) (slika 14).



Slika 14: Grafični prikaz ravnovesnih vlažnosti vseh premazanih vzorcev (dvokomponentni poliuretanski, uretansko-alkidni lak in propolis). Na abscisni osi je prikazana relativna zračna vlažnost (ϕ) in sicer po točkah: 1 = 65 % (ZAC); 2 = 44 % (DES); 3 = 33 % (DES); 4 = 44 % (ADS); 5 = 65 % (ADS); 6 = 88 % (ADS) in 7 = 65 % (DES).

4.4 LASTNOSTI UTRJENIH PREMAZOV

4.4.1 Sijaj

Dvokomponentni poliuretanski lak ima najvišji sijaj (96,2 %), za 3 % višji od brezbarvnega uretansko-alkidnega laka. Propolis doseže le 4,1 % sijaja. Vzrok temu je količina nanosa, saj smo na vzorec nanесли samo dva nanosa, ki na površini vzorca nista tvorila kompaktnega filma (preglednice 9, 10, 11).

a) Resonančna smrekovina, premazana z dvokomponentnim poliuretanskim lakom

V povprečju sijaj na naravnih vzorcih znaša 95,4 %, najmanjšo vrednost sijaja med meritvami znaša 91,3 %, največja pa 98,0 %. Standardni odklon sijaja na naravnih vzorcih znaša 2,5 %. Na vzorcih, ki so bili modificirani pri 190 °C, znaša povprečje dveh meritev

95,5 %, s standardnim odklonom 2,3 %. Na vzorcih, modificiranih pri 180 °C, znaša povprečje 96,9 %, s standardnim odklonom 0,2 %. Na vzorcih, modificiranih pri 170 °C, znaša povprečna vrednost sijaja 98,6 %, s standardnim odklonom 0,9 % (preglednica 9).

Preglednica 9: Sijaj vzorcev (v %), premazanih z dvokomponentnim poliuretanskim lakom

	NARAVNI VZORCI					TERMIČNO MODIFICIRANI VZORCI					
						REŽIM MODIFIKACIJE					
						190 °C		180 °C		170 °C	
Vzorec	PU 1	PU2	PU3	PU4	PU5	PU6	PU7	PU8	PU 9	PU10	PU11
Vrednost (%)	94, 8	91,3	98,0	96,5	96,3	93,9	97,1	96,7	97,0	97,9	99,2
Povprečje (%)	95,4					95,5		96,9		98,6	
Min (%)	91,3					93,9		96,7		97,9	
Maks (%)	98,0					97,1		97,0		99,2	
STDEV	2,5					2,3		0,2		0,9	

b) Resonančna smrekovina, premazana z brezbarvnim uretansko–alkidnim lakom

V povprečju znaša sijaj na naravnih vzorcih 92,2 %, najmanjša vrednost sijaja znaša 90,4 %, največja pa 94,2 %. Standardni odklon sijaja znaša 1,4 %. Na vzorcih, ki so bili modificirani pri 190 °C, znaša povprečje dveh meritev 94,6 %, s standardnim odklonom 0,1 %. Na vzorcih, modificiranih pri 180 °C, znaša povprečje 93,8 %, s standardnim odklonom 0,6 %. Na vzorcih, modificiranih pri 170 °C, znaša povprečna vrednost sijaja 94,1 %, s standardnim odklonom 0,8 % (preglednica 10).

	NARAVNI VZORCI					TERMIČNO MODIFICIRANI VZORCI					
						REŽIM MODIFIKACIJE					
						190 °C		180 °C		170 °C	
Vzorec	PJ1	PJ2	PJ3	PJ4	PJ5	PJ6	PJ7	PJ8	PJ9	PJ10	PJ11
Vrednost (%)	90,4	92,4	92,4	94,2	91,5	94,5	94,7	94,0	93,5	94,6	93,5
Povprečje (%)	92,2					94,6		93,8		94,1	
Min (%)	90,4					94,5		93,5		93,5	
Maks (%)	94,2					94,7		94,0		94,6	
STDEV	1,4					0,1		0,6		0,8	

V povprečju znaša sijaj na naravnih vzorcih 4,0 %, najmanjša vrednost sijaja med meritvami znaša 2,6 %, največja pa 5,3 %. Standardni odklon znaša 1,1 %. Na vzorcu, modificiranem pri 190 °C, znaša sijaj 4,5 %. Na vzorcu, modificiranem pri 180 °C znaša 4,2 % in na vzorcu, modificiranem pri 170 °C 5,0 % (preglednica 11).

	NARAVNI VZORCI					TERMIČNO MODIFICIRANI VZORCI		
						REŽIM MODIFIKACIJE		
						190 °C	180 °C	170 °C
Vzorec	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5	PR6	PR7	PR8
Vrednost (%)	2,6	3,5	5,0	5,3	3,6	4,4	4,2	5,0
Povprečje (%)	4,0					4,4	4,2	5,0
Min (%)	2,6							
Maks (%)	5,3							
STDEV	1,1							

4.4.2 Prožnost premaznih sistemov

Dvokomponentni poliuretanski lak doseže vrednost 2,0, kar kaže, da so med rezanjem strugljev nastali koščki filma, dolžine od 3 do 30 mm. Uretansko–alkidni lak doseže vrednost 1,1, kar pomeni, da se je na dolžini vsaj 30 mm izrezal gladek, kompakten strugelj. Propolis pa doseže vrednost 3,0, kar dokazuje, da so med rezanjem struglja nastajali delci filma z dolžino manj kot 3 mm prašnate oblike (preglednica 12).

Preglednica 12: Prožnost različnih premaznih sistemov

vzorci	PU	PJ	PR
vrednost	2,0	1,1	3,0

4.4.3 Oprijemnost premazov

Vrednosti, ki smo jih ugotovili pri določanju oprijemnosti brezbarvnega uretansko–alkidnega laka (tako pri naravni kot pri termično modificirani smrekovini), so za približno 1 MPa večje kot pri dvokomponentnem poliuretanskem laku. Povsod pa je prišlo do kohezijskega loma podlage. Adhezije in vrste loma med propolisom in podlago nismo mogli izmeriti in določiti, ker se pri propolisu film ni formiral, zaradi premajhnega števila nanosa (preglednici 13 in 14).

a) Oprijemnost dvokomponentnega poliuretanskega laka

Iz preglednice 13 lahko vidimo oprijemnost dvokomponentnega poliuretanskega laka na vzorcih naravne in termično modificirane resonančne smrekovine. Razvidno je, da ni bistvenih razlik v oprijemnosti med naravnimi ter termično modificiranimi vzorci, saj se vrednosti adhezije gibajo med 3,19 in 4,29 MPa. Iz preglednice 13 je tudi razvidna narava loma, ki je lahko adhezijska (A) ali kohezijska (K). V našem primeru je prišlo povsod do kohezijskega loma podlage. To pomeni, da je bila prava vrednost oprijemnosti poliuretanskega laka večja od izmerjenih vrednosti.

Preglednica 13: Rezultati testa oprijemnosti in vrsta loma na vzorcih, premazanih z dvokomponentnim poliuretanskim lakom

T modifikacije (°C)	Vzorec	Debelina filma (μm)	Izmerjena vrednost (MPa)	Vrsta loma
Naravni vzorci	PU1	50 – 60	3,60	K
	PU2	45	4,29	K
	PU3	45 – 50	4,29	K
	PU4	45 – 50	3,88	K
	PU5	35 – 45	3,88	K
Povprečje			3,99 ± 0,30	
190	PU6	50	3,74	K
	PU7	45 – 50	3,74	K
Povprečje			3,74	
180	PU8	45 – 50	3,88	K
	PU9	45 – 50	3,19	K
Povprečje			3,54 ± 0,49	
170	PU10	45 – 50	3,74	K
	PU11	45 – 50	3,74	K
Povprečje			3,74	

b) Oprijemnost brezbarvnega uretansko–alkidnega laka

Iz preglednice 14 lahko vidimo, da so vrednosti, ki smo jih ugotovili pri določanju oprijemnosti laka (tako pri naravnih kot pri termično modificiranih vzorcih) v območju med 3,46 in 4,43 MPa. V vseh primerih je prišlo do kohezijskega tipa loma podlage. To pomeni, da so bile dejanske oprijemnosti uretansko-alkidnega laka višje od teh, ki smo jih izmerili.

Preglednica 14: Oprijemnost in vrsta loma na vzorcih, premazanih z uretansko-alkidnim lakom

T modifikacije (°C)	Vzorec	Debelina filma (μm)	Izmerjena vrednost (MPa)	Vrsta loma
Naravni vzorci	PJ1	60 – 65	4,29	K
	PJ2	50 – 60	4,01	K
	PJ3	60 – 65	4,29	K
	PJ4	50 – 60	4,43	K
	PJ5	50 – 60	4,01	K
Povprečje			4,21 ± 0,19	
190	PJ6	50	4,29	K
	PJ7	60	3,46	K
Povprečje			3,88 ± 0,59	
180	PJ8	50 – 60	3,46	K
	PJ9	45 – 50	4,15	K
Povprečje			3,81 ± 0,49	
170	PJ10	45 – 50	4,01	K
	PJ11	65	4,15	K
Povprečje			4,08 ± 0,10	

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

5.1.1 Izguba mase termično modificiranih vzorcev v vakuumu

Med termično modifikacijo les izgubi del svoje mase, ki je posledica izločanja hlapnih sestavin lesa. Izguba mase lesa je odvisna od temperature in časa trajanja procesa termične modifikacije. Z višanjem temperature procesa termične modifikacije naj bi se masa lesa zniževala. Vendar pa tega naši rezultati eksperimenta ne potrjujejo, kar je razvidno iz preglednice 15, ki prikazuje povprečne vrednosti izgube mase, pri treh različnih temperaturah (170, 180 in 190 °C) termične modifikacije vzorcev v vakuumu. V povprečju vzorci termično modificirane resonančne smrekovine pri temperaturi 180 °C izgubijo več mase, kot pa vzorci pri temperaturi 190 °C. Razlog za to je verjetno vakuumsko tlačna komora, ki ni popolnoma prirejena za eksperimente termične modifikacije vzorcev lesa v vakuumu. Manjka ventilator, ki bi izenačeval temperaturo po celotni komori, zato je izguba mase odvisna od položaja vzorcev v komori. Ker pa so lastnosti vzorcev sorazmerne z izgubo mase, nas omenjena pomanjkljivost pri nadaljnjih raziskavah ni motila.

Preglednica 15: Povprečne izguba mase vzorcev termično modificirane resonančne smrekovine v odvisnosti od temperature procesa termične modifikacije v vakuumu

Temperatura termične modifikacije (°C)	Izguba mase (%)
170	1,04 ± 0,29
180	1,72 ± 0,45
190	1,48 ± 0,63

5.1.2 Sorpcijske lastnosti, nabrek in dimenzijska stabilnost

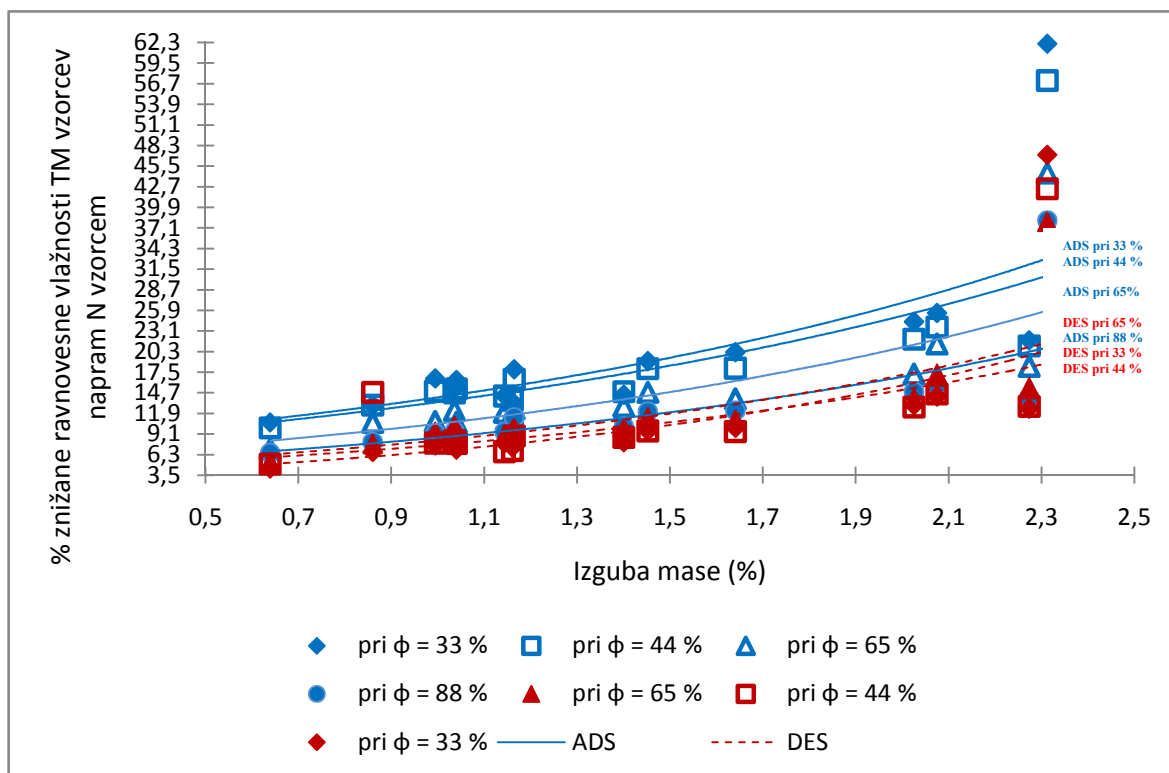
Zaradi svoje pestre kemijske sestave, je les higroskopen material, saj vsebuje hidroksilne skupine, katere preko vodikovih vezi vežejo molekule vode v strukturo celične stene. Ob zmanjšani vlažnosti oz. sušenju lesa se te vodne molekule odcepijo in izhlapijo iz lesa. To sprejemanje in oddajanje molekul vode spremljajo tudi dimenzijske spremembe – nabrekanje in krčenje, ki je izrazito anizotropno.

Higroskopski lastnosti lesa se ne moremo izogniti, lahko pa jo z različnimi ukrepi omilimo. Med te ukrepe spadata termična modifikacija lesa in zaščita lesa s površinskimi premazi. S kombinacijo obojega dosežemo boljše učinke.

5.1.2.1 Sorpcijske lastnosti, nabrek in dimenzijska stabilnost naravne in termično modificirane resonančne smrekovine v vakuumu

Termično modificirani vzorci, ne glede na temperaturo modifikacije, dosegajo nižje ravnovesne vlažnosti (v postopkih adsorpcije in desorpcije) v primerjavi s kontrolnimi (naravnimi) vzorci. Lepo je tudi razvidno, da vzorci, ki so bili modificirani pri temperaturi 180 °C, dosegajo pri postopkih adsorpcije in desorpcije najnižje vlažnosti. Ugotovitev lepo sovпада z izgubami mase pri termični modifikaciji. Vzorci, modificirani pri 180 °C, so v povprečju izgubili največ mase. Izguba mase vpliva na vse ostale biološke, fizikalne in kemijske lastnosti termično modificiranega lesa. Zato ima izguba mase najpomembnejšo vlogo pri nadaljnji uporabi termično modificiranega lesa (slika 15).

Torej, če se osredotočimo na izgubo mase med termično modifikacijo v vakuumu, ne glede na temperaturo procesa ugotovimo, da višja kot je izguba mase vzorca, nižja je dovzetnost za sprejemanje in oddajanje vodnih molekul med postopkoma adsorpcije in desorpcije, kar je lepo razvidno s slike 15. Slika 10 prikazuje, za koliko odstotkov se zniža vlažnost termično modificiranih vzorcev resonančne smrekovine v primerjavi s kontrolnimi vzorci, glede na odstotek izgube mase posameznega vzorca zaradi termične modifikacije.



Slika 15: Grafični prikaz odstotka znižanja vlažnosti pri procesu adsorpcije in desorpcije termično modificiranih vzorcev resonančne smrekovine v primerjavi z naravnimi vzorci, v odvisnosti od izgube mase

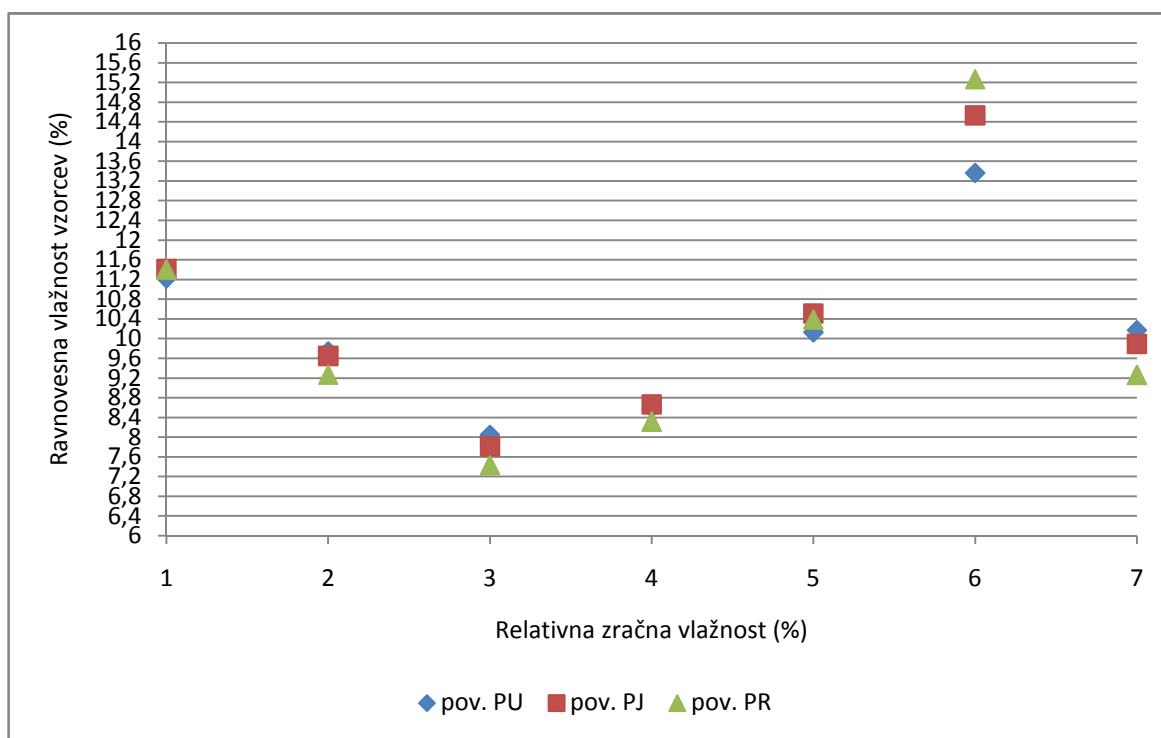
Ker se termično modificiranemu lesu zmanjša odzivanje na spreminjajoče se klimatske razmere, se prav tako zmanjšajo dimenzijske spremembe (volumsko in linearno krčenje in nabrekanje). Kot je razvidno s slik 6, 7, 8 in 9, prihaja do prevelikega sipanja rezultatov, predvsem pri longitudinalnem nabreku. Ta odstopanja pripisujemo napakam in nehomogenosti lesa ter majhnim debelinam vzorcev in s tem možnih velikih napak. Vendarle pa je na splošno krčenje in nabrekanje v longitudinalni smeri zanemarljivo, saj mikrofibrile potekajo bolj ali manj v smeri osi vlaken in osi drevesa.

Prav tako smo poskušali prikazati anizotropijo nabrekanja vzorcev v odvisnosti od izgube mase, vendar zaradi zgoraj omenjenih dejstev, odvisnost ni popolnoma jasno prikazana (priloga A).

5.1.2.2 Sorpcijske lastnosti naravne in termično modificirane smrekovine, premazane s tremi različnimi površinskimi premazi

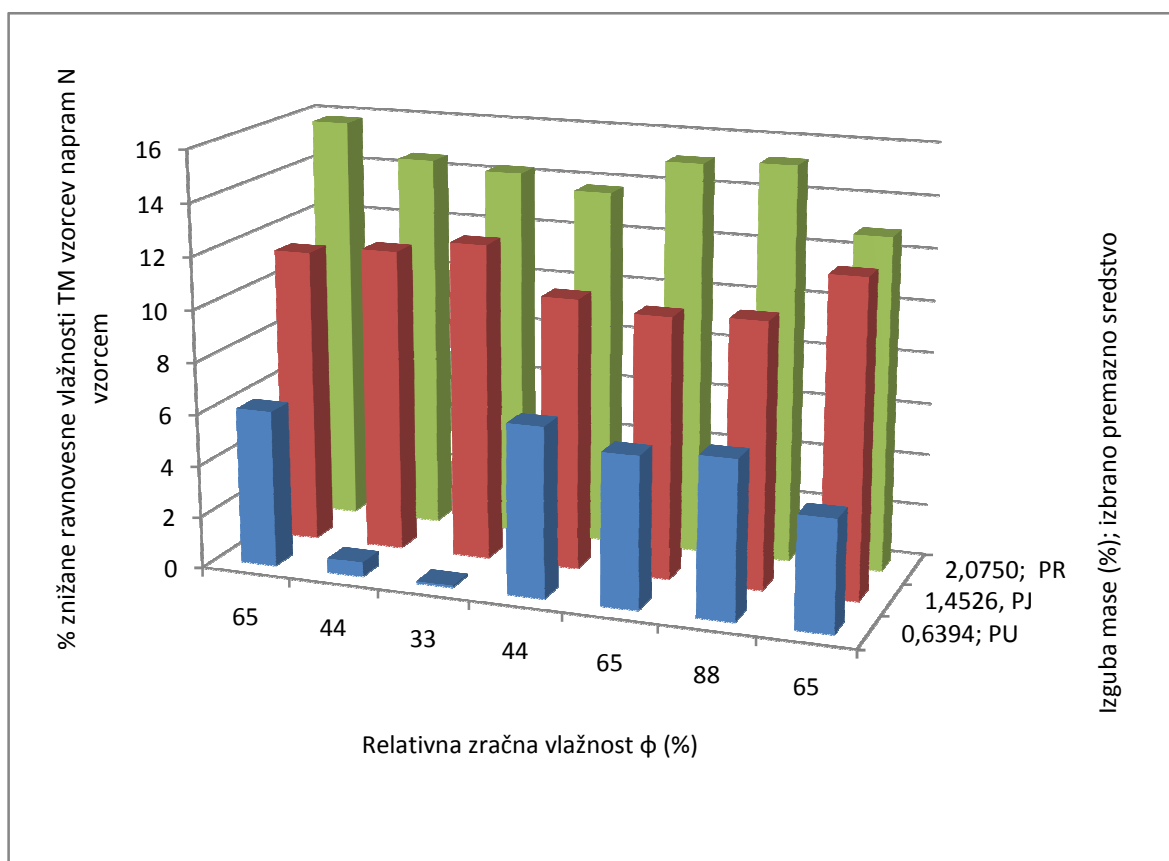
Pri proučevanju sorpcijskih lastnosti smo bili pozorni predvsem na odzivnost vzorcev na spreminjajočo se relativno zračno vlažnost v odvisnosti od izbrane vrste površinskega premaza in predhodnega procesa termične modifikacije vzorcev v vakuumu. Rezultati, ki so prikazani na sliki 16, nakazujejo, da izbrani površinski premazi nimajo pomembnega vpliva na ravnovesno vlažnost vzorcev. Ugotovili smo, da ima na odzivanje lesa na spremembe klimatskih pogojev močnejši vpliv termična modifikacija v vakuumu.

Za kontrolne (nemodificirane) vzorce velja, da se na spreminjajočo se zračno vlažnost pri konstantni temperaturi 20 °C, najmanj odzivajo vzorci, premazani z dvokomponentnim poliuretanskim lakom. Sledijo mu vzorci, premazani z uretansko alkidnim lakom, nato pa vzorci z raztopino propolisa (slika 16).



Slika 16: Grafični prikaz doseženih povprečnih ravnovesnih vlažnosti naravnih oz. kontrolnih vzorcev pri določenih relativnih zračnih vlažnostih v odvisnosti od izbranega površinskega premaznega sredstva. Na abscisni osi je prikazana relativna zračna vlažnost (φ) in sicer po točkah: 1 = 65 % (ZAČ); 2 = 44 % (DES); 3 = 33 % (DES); 4 = 44 % (ADS); 5 = 65 % (ADS); 6 = 88 % (ADS) in 7 = 65 % (DES).

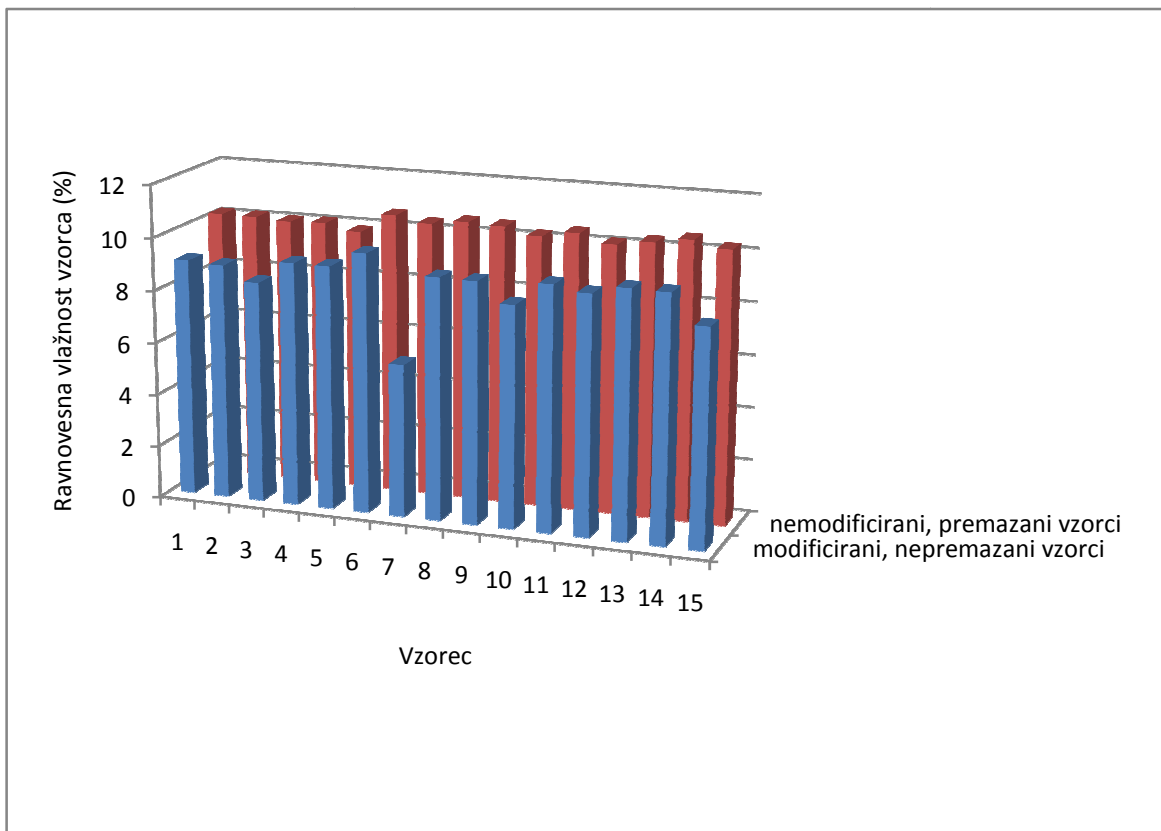
Pri proučevanju vpliva režima termične modifikacije in izbranega premaznega sredstva na sorpcijske lastnosti naravnih in modificiranih vzorcev, smo ugotovili, da ima na sorpcijske lastnosti večji vpliv izguba mase termično modificiranih vzorcev, kot pa izbrano premazno sredstvo. To je jasno razvidno na sliki 17, saj vzorec z izgubo mase 2,07 %, ki je premazan s propolisom, dosega najvišje odstotke znižane vlažnosti v primerjavi s kontrolnim vzorcem, pri določenih relativnih zračnih vlažnostih. Sledi mu vzorec, premazan z uretansko-alkidnim lakom (1,45 % izguba mase), nato pa vzorec, premazan z dvokomponentnim poliuretanskim lakom (0,64 % izguba mase).



Slika 17: Grafični prikaz odstotka znižane vlažnosti termično modificiranih vzorcev v primerjavi z naravnimi vzorci, pri uravnotežanju pri določenih relativnih zračnih vlažnostih, v odvisnosti od izgube mase in izbranega površinskega premaza

V prilogah B, C in D je prikazan vpliv izgube mase termično modificiranih vzorcev na sorpcijske lastnosti, ko smo jih primerjali z vzporednimi, kontrolnimi vzorci, za vsak površinski premaz posebej.

Na sliki 18 je razvidno, da imajo nepremazani termično modificirani vzorci pri istih pogojih nižjo vlažnost, kot premazani in termično nemodificirani vzorci. Glede na to lahko število slojev premazov na termično modificiranih zmanjšamo, s tem izboljšamo akustične lastnosti, premaz pa na modificiranem lesu služi samo še zgolj za estetske namene.



Slika 18: Grafični prikaz ravnovesnih vlažnosti termično modificiranih, nepremazanih in termično modificiranih premazanih vzorcev resonančne smrekovine, pri 65 % relativni zračni vlažnosti.

5.1.3 LASTNOSTI UTRJENIH PREMAZOV

5.1.3.1 Sijaj

Najvišji sijaj je imel poliuretanski premaz, za približno 3 odstotke višjega od uretansko–alkidnega laka (preglednici 9 in 10). V povprečju ima propolis nizek sijaj (4,1 %). To lahko razložimo s tem, da dva sloja premaza na površini ne zmoreta tvoriti gladkega, kompaktnega filma.

5.1.3.2 Prožnost

Rezultati nakazujejo, da je najbolj prožen uretansko-alkidni lak, kar je pričakovano, saj je njegov prvotni namen, zaščita plovil. Manj prožen je poliuretanski lak, kot togega pa smo označili film, ki je nastal z nanosom raztopine propolisa.

5.1.3.3 Oprijemnost ali adhezija

Iz rezultatov testa določanja oprijemnosti poliuretanskega in uretansko-alkidnega laka na površinah termično modificiranega naravnega, nemodificiranega lesa resonančne smrekovine lahko razberemo, da je v vseh primerih prišlo do kohezijskega loma podlage (K). Zato lahko sklepamo, da imata ti dve vrsti premaza večjo oprijemnost od kohezijske trdnosti podlage (3,19 MPa do 4,29 MPa) Spodnja meja oprijemnosti za še sprejemljiv izdelek, po izkušnjah laboratorija za površinsko obdelavo, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete, ima vrednost 2 MPa. Izmerjene vrednosti na termično modificiranih vzorcih se ne zmanjšajo ali pa so zelo majhne (maksimalno zmanjšanje za 1,1 MPa), kar nakazuje le majhno znižanje trdnosti podlage, zaradi postopka termične modifikacije oz. izgube mase pri procesu termične modifikacije (preglednici 16 in 17). Vzorcem, ki so bili premazani s propolisom, nismo mogli izmeriti oprijemnosti in določiti tipa loma, zaradi premajhne debeline utrjenega filma na površini.

Preglednica 16: Izmerjena vrednost kohezijske trdnosti podlage naravnih vzorcev in glede na izgubo mase termično modificiranih vzorcev, premazanih z dvokomponentnim poliuretanskim lakom

T modifikacije (°C)	Vzorec	Izguba mase (%)	Izmerjena vrednost (MPa)
	PU1		3,60
	PU2		4,29
	PU3		4,29
	PU4		3,88
	PU5		3,88
190	PU6	1,04	3,74
	PU7	0,995	3,74
180	PU8	1,45	3,88
	PU9	2,03	3,19
170	PU10	1,14	3,74
	PU11	0,86	3,74

Preglednica 17: Izmerjena vrednost kohezijske trdnosti podlage naravnih vzorcev in glede na izgubo mase termično modificiranih vzorcev, premazanih z uretansko-alkidnim lakom

T modifikacije (°C)	Vzorec	Izguba mase (%)	Izmerjena vrednost (MPa)
	PJ1		4,29
	PJ2		4,01
	PJ3		4,29
	PJ4		4,43
	PJ5		4,01
190	PJ6	1,04	4,29
	PJ7	2,27	3,46
180	PJ8	2,31	3,46
	PJ9	1,64	4,15
170	PJ10	0,64	4,01
	PJ11	1,40	4,15

5.2 SKLEPI

- Med postopkom termične modifikacije v vakuumu les izgubi del svoje mase, kar vpliva na njegove fizikalne in mehanske lastnosti.
- S proučevanjem sorpcijskih lastnosti površinsko neobdelanih vzorcev naravne in termično modificirane resonančne smrekovine smo dokazali, da imajo termično modificirani vzorci nižje ravnovesne vlažnosti od nemodificiranih podlag, pri vseh klimah izpostavitve. S poskusi smo tudi dokazali, da je ravnovesna vlažnost pri posameznih klimatskih pogojih odvisna od izgube mase lesa med postopkom termične modifikacije. Višja kot je izguba mase lesa, nižja je njegova ravnovesna vlažnost.
- S poskusi za ugotavljanje sorpcijskih lastnosti naravnih vzorcev, površinsko premazanih s tremi različnimi premazi (dvokomponentni poliuretanski, enokomponentni uretansko–alkidni lak, raztopina propolisa) smo ugotovili, da se na spreminjajoče se klimatske pogoje najmanj odzivajo oz. navlažujejo in sušijo vzorci, premazani z dvokomponentnim poliuretanskim lakom. Razlike med različno premazanimi vzorci se povečujejo pri klimah z višjo relativno zračno vlažnostjo. Pri klimi z 88 % relativno zračno vlažnostjo imajo vzorci, premazani s poliuretanskim lakom, za približno odstotek nižjo ravnovesno vlažnost od vzorcev, premazanih z enokomponentnim uretansko–alkidnim lakom in za 2 odstotka nižjo ravnovesno vlažnost v primerjavi z vzorci, premazanimi z raztopino propolisa.
- Na sorpcijske lastnosti površinsko premazanih termično modificiranih vzorcev ima izguba mase med modifikacijo večji vpliv kot pa samo premazno sredstvo. S tem potrjujemo hipotezo, da bi lahko pri glasbenih instrumentih zmanjšali število plasti površinskega premaznega sredstva, ki bi tako služilo le še estetski funkciji.
- Lastnosti, kot so oprijemnost premaza, sijaj in prožnost filma premaznega sredstva na termično modificirani resonančni smrekovini, so primerljive z lastnostmi premazov na naravnem lesu.

6 POVZETEK

Osnovni namen diplomske naloge je bil proučiti razlike v sorpcijskih lastnostih površinsko nepremazane ter premazane naravne in v vakuumu termično modificirane resonančne smrekovine. Prav tako smo želeli ugotoviti, ali so lastnosti utrjenega filma na površini termično modificirane smrekovine primerljive z lastnostmi utrjenega filma na površini naravne resonančne smrekovine.

Poskuse smo opravljali tako na naravnih (kontrolnih) vzorcih, kot na preskušancih, ki smo jih termično modificirali v vakuumsko tlačni komori v odsotnosti kisika, pri treh različnih temperaturah ($T_1 = 170\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $T_3 = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$). Med postopkom termične modifikacije vzorci izgubijo maso, kar smo določali gravimetrično. V nadaljnjih raziskavah smo ugotavljali, kolikšen vpliv ima izguba mase termično modificiranih vzorcev na sorpcijske lastnosti v primerjavi z naravnim lesom.

Vsem vzorcem smo proučevali sorpcijske karakteristike, kot se odražajo v doseganju ravnovesnih vlažnosti v postopkih adsorpcije in desorpcije pri štirih stopnjah relativne zračne vlažnosti ($\varphi_1 = 33\%$, $\varphi_2 = 44\%$, $\varphi_3 = 65\%$ in $\varphi_4 = 88\%$). Iz adsorpcijskih in desorpcijskih krivulj smo ugotovili, da termično modificirani vzorci dosegajo nižje ravnovesne vlažnosti tako v postopku adsorpcije kot desorpcije, v primerjavi z naravnimi. Sorpcijske lastnosti so torej v tesni povezavi z izgubo mase. Večja kot je izguba mase, nižja je ravnovesna vlažnost termično modificiranega lesa.

Na enak način smo proučevali tudi sorpcijske karakteristike vzorcev, premazanih s tremi različnimi premaznimi sredstvi (dvokomponentnim poliuretanskim lakom, enokomponentnim uretansko-alkidnim lakom in z raztopino propolisa v etanolu). Na naravnih vzorcih smo ugotovili, da je raztopina propolisa najbolj permeabilna, sledi ji uretansko-alkidni lak, najmanj permeabilen pa je dvokomponentni poliuretanski lak. Primerjava sorpcijskih karakteristik premazanih naravnih s premazanimi termično modificiranimi vzorci pa je pokazala, da ima izguba mase med modifikacijo večji vpliv na sorpcijske lastnosti kot pa sami premazi.

Raziskave smo zaključili s preizkušanjem lastnosti utrjenih filmov, kot so sijaj, prožnost in oprijemnost na podlago. Sijaj smo izmerili po standardu SIST EN ISO 2813, prožnost smo ocenili z metodo po Petersu DIN 53 155 in oprijemnosti določili z metodo odtrgovanja pečatov po SIST EN 24624: 1997. Ugotovili smo, da so te lastnosti na termično modificiranih vzorcih primerljive z lastnostmi premazov na naravnih vzorcih.

7 VIRI

- Beament J. 1997. The violin explained: Components Mechanisem and sound. Oxford University Press Inc., New York: 245 str.
- Bease G. L. 1985. Classic Italian violin varnish. Its History, Materials, Preparation and Application. Fort Collins, 99 str.
- Buro A. 1954. Die Wirkung von Hitzebehandlung auf die Pilzresistenz von Kiefern-und Buchenholz. Holz Roh- Werkstoff 12: 297- 304.
- Coombe P. 2007. Use of Imported and Australian Native Timbers in Mandolins. Mandolin by Peter Combe, Publications (15. oct. 2007)
http://www.petercoombe.com/ant.html#European_Spruce (26. feb. 2008)
- Curtin J. in Alf G. T. 1986. Varnish. Joseph Curtin Studios. Concert Violins and Violas
<http://www.josephcurtinstudios.com/about/varnish.htm> (26. feb. 2008)
- DIN 53 155. Prüfung von Anstrichstoffen und ähnlichen Beschichtungsstoffen - Spanpprüfung (nach Peters) von Anstrichen. 1971.
- Feist W.C. in 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.
- Hammerl J. in Hammerl R. 1988. Violin Varnishes. Interesting information on resin and basic materials for violin varnish and advice on varnishing Baiersdorf, samozaložba: 127 str.
- Herzog L. 2006. Seeking the secret of the Stradivarius. Press Release. EMPA - Materials Science and Technology: (4. sept. 2006)
http://www.empa.ch/plugin/template/empa/355/*/--/dat_id=52808/l=2 (26. feb. 2008)
- Hill K. 1994. Varnish: A modern Alchemist's Recipe. American Luthiers. 37/spring 1994: 44 - 49
<http://www.instrumentmaking.keithhillharpichords.com/hillviolinvarnish.html> (26. feb. 2008).
- Hori R., Müller M., Watanabe U., Lichtenegger H. C., Fratzl P., Sugiyama J. 2002. The importance of seasonal differences in the cellulose microfibril angle in softwoods in determining acoustic properties. Journal of Materials Science 37, 4279-4284
<http://info.tuwien.ac.at/werkstoffkunde/publications.html> (26. feb. 2008)
- Hostetter P. 2001. Here is more than you perhaps ever cared to know about European spruce... or what to think when someone proclaims they have a top of German (or Italian, or Swiss, or Carpathian, or French, or Yugoslavian) spruce.
<http://www.lutherie.net/eurospruce.html> (26. feb. 2008)
- Hsieh A. 2004. Cremona Revised: The Science of Violin Making. Engineering & Science, LXVII, 4.: 28 - 35
<http://pr.caltech.edu/periodicals/EandS/ESarchive-frame.html> (26. feb. 2008)

- ISO EN 2813. Paints and varnishes - Determination of specular gloss of non metallic paint films at 20°, 60° and 85°. 1994: 9 str.
- Jamsa S. in Viitaniemi P. 2001. Heat treatment of wood - better durability without Chemicals. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A. O. (ur.). Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities: 6 str.
- Jamsa S. in Viitaniemi P. 1998. Heat treatment of wood. Better durability without chemicals. Nordiske Trebeskyttelsesdager: 47-51.
- Ledinek P. 2002. Relevantne lastnosti lesa za izdelavo violin. Diplomsko delo: Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 59 str.
- Meinel H. 1973: Regarding the Sound Quality of Violins and a Scientific Basis for Violin Construction. The Journal of the Acoustical Society of America, 29, 7: 817-822.
- Michelman J. 1946. Violin Varnish. A Plausible Re-creation of the Varnish Used by Italian Violin Makers Between the Years 1550 and 1750, A.D., samozaložba 185 str.
<http://www.archive.org/details/violinvarnish007521mbp> (26. feb 2008)
- Militz H. 2002. Heat Treatment Technologies in Europe: Scientific Background and Technological State-of-Art. Proceedings of Conference on "Enhancing the durability of lumber and engineered wood products" February 11-13, 2002, Kissimmee, Orlando. Forest Products Society, Madison, US.
<http://www.wood.uni-goettingen.de/pdf-dateien/heateuropefps2002.pdf> (26. feb 2008)
- Militz H. in Tjeerdsma B. 2000. Heat treatment of wood by the Plato-process: Proceedings of Seminar "Production and development of heat treated wood in Europe", Nov. 2000, Helsinki, Stockholm, Oslo.
- Padding K. 2005. A rational look at the classical Italian coatings. The violin society of America. 1, 1: 11 - 25
[http://www.classicalvarnish.com/VSA %20Papers %20Padding %2011-25.pdf](http://www.classicalvarnish.com/VSA%20Papers%20Padding%2011-25.pdf) (26. feb. 2008)
- Patzelt M., Stingel R. in Teischinger A. 2002. Thermische Modification von Holz und deren Einfluss auf Ausegeählte Holzeigenschaften. V: Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte. Teischinger A., Stingel R. (ed.) Wein, LIGNOVISINEN: 101 - 147
- Pavlič M. 2003. Lastnosti premazov in premaznih sistemov za zunanjo zaščito lesa. Gradivo za SIST seminar Ljubljana. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Pfriem A., Wagenführ A., Ziegenhals G. 2005. The Use of Wood Modified by Heat - Treatment for Musical Instruments. Wood modification: Processes, Properties and Commercialisation. Militz H. and Callum H. (ed.) Göttingen, Germany.
- Priročni slovar tujk Cankarjeve založbe. 2005. 1. izdaja. Ljubljana: Cankarjeva založba: 904 str.
- Pohleven F. 2008. »Proizvodnja termično modificiranega lesa v Sloveniji«. Ljubljana, Katedra za patologijo in zaščito lesa, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani (*osebni vir, avgust 2008*).

- Rajčán E. 2002. Defects in wood from aspect of physical acoustic. SK – 960 53 Zvolen Department of Physics & Applied Mechanics, Technical University in Zvolen, Slovakia. <http://www.sea-acustica.es/Sevilla02/phagen027.pdf> (26. feb. 2008)
- Rapp A. O. in 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.) Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities: 18 str.
- Rep G. 2008. »Proizvodnja termično modificiranega lesa v Sloveniji«. Ljubljana, Katedra za patologijo in zaščito lesa, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani (*osebni vir, junij 2008*).
- Rep G. in Pohleven F. 2001. Wood modification - a promising method for wood preservation = Modifikacija drva - obvečajúca metoda za zaščitu drva. Drvna industrija 52, 2: 27-76.
- Rep G., Pohleven F. 2008. Postopek toplotne obdelave lesa in priprava za izvedbo postopka.P-200800023
- Rep G., Pohleven, F., Bučar, B. 2004. Characteristics of termally modified wood in vacuum. IRG/WP 04-40287: 8 str.
- Rowell R. M. 1995. One way to keep wood from going this way and that. Can chemical treatment make wood more reliable for instrument makers? American Recorder, XXXVI, 5: 12-16
<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1995/rowel95d.pdf> (26. feb. 2008)
- Rivolta A. 2007. Italian alpine spruce: a typical italian product.
<http://www.riwoods.com/liuteria2.asp> (26. feb. 2008)
- Sailer M., Rapp A. O., Leithoff H. 2000. Improved resistance of Scot pine and spruce by application of an oil - heat treatment. IRG/WP 00 - 40102: str. 12.
- SIST EN 24624. Paints and varnishes - Determination of film thickness. 1978: 6 str.
- SIST EN ISO 2808. Paints and varnishes - Determinatipn of film thickeness. (ISO 2808: 1997). 1999: 46 str.
- Syrjanen T., Jamsa S., Viitaniemi P. 2000. Heat treatment of wood in Finland. Proceedings of Seminar "Production and development of heat treated wood in Europe", Nov. 2000, Helsinki, Stockholm, Oslo.
- Syrjanen T. in Oy K. 2001. Production and Classification of heat treated wood in Finland. V: review on heat treatments of wood. Rapp A. O. (ur.) Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities: 9 str.
- Šali S. 2001. O kitari - od drevesa do zvoka. EPTA bilt: 3, str: 87-89
http://salilab.org/samo/web7/o_kitari.htm (2008. feb. 2008)
- Time B. 1998. Hygroscopic Moisture Transport in wood. Doctor Thesis. Norwegian University of Science and Technology, Department of Boilding and Construction Engeenering, 216 str.
<http://www.ivt.ntnu.no/bat/bm/phd/AvhandlingBeritTime.pdf> (26. feb. 2008)
- Tjeerdsma B. F., Stevens M., Militz H. 2000. Durability aspect of (hydro) thermal treated wood. IRG/WP 00 – 40160: 10 str.

- Torelli N. 1989. Zgradba in lastnosti lesa, za interno uporabo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Katedra za tehnologijo lesa.
- Vernois M. 2000. Heat treatment in France. Proceedings of Seminar "Production and development of heat treated wood in Europe", Nov. 2000, Helsinki, Stockholm, Oslo
- 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: 18 str.
- Viitaniemi P. in Jamsa S. 1996. Puun modifiointi lampokasittelylla (Modification of wood with heat-treatment). Espo 1996, VTT Julkaisuja – Publikationer 814.
- Viitaniemi P., Jamsa S., Ek P., Viitanen H. 1997. Method for improving biodegradation resistance and dimensional stability of cellulosic products. Patent N° 5678324 (US005678324)
<http://patft.uspto.gov/netahtml/PTO/srchnum.htm> (26. feb. 2008)
- Wadsø L. 1993. Studies of water vapour transport and sorption in wood. Doctoral Dissertation, Report TVBM – 1013, Building Materials, Lund University
- Whitehouse D. 2003. Stradivarius Sound due to Sun. BBC News (17. dec. 2003).
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/3323259> (26. feb. 2008)
- Zierl B. 2005. Wood - decomposing fungi improve the acoustic properties of wood. Obtaining the perfect violin sound, EMPA - Materials Science & Technology, News 15. jun. 2005
http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/40307/---/l=2 (26. feb. 2008)

ZAHVALA

Hvala prof. dr Marku PETRIČU za mentorstvo in za vso pomoč pri izdelavi diplomskega dela. Obenem hvala prof. dr Francu POHLEVNU za somentorstvo ter prof. dr. Željku GORIŠKU za opravljeno recenzijo.

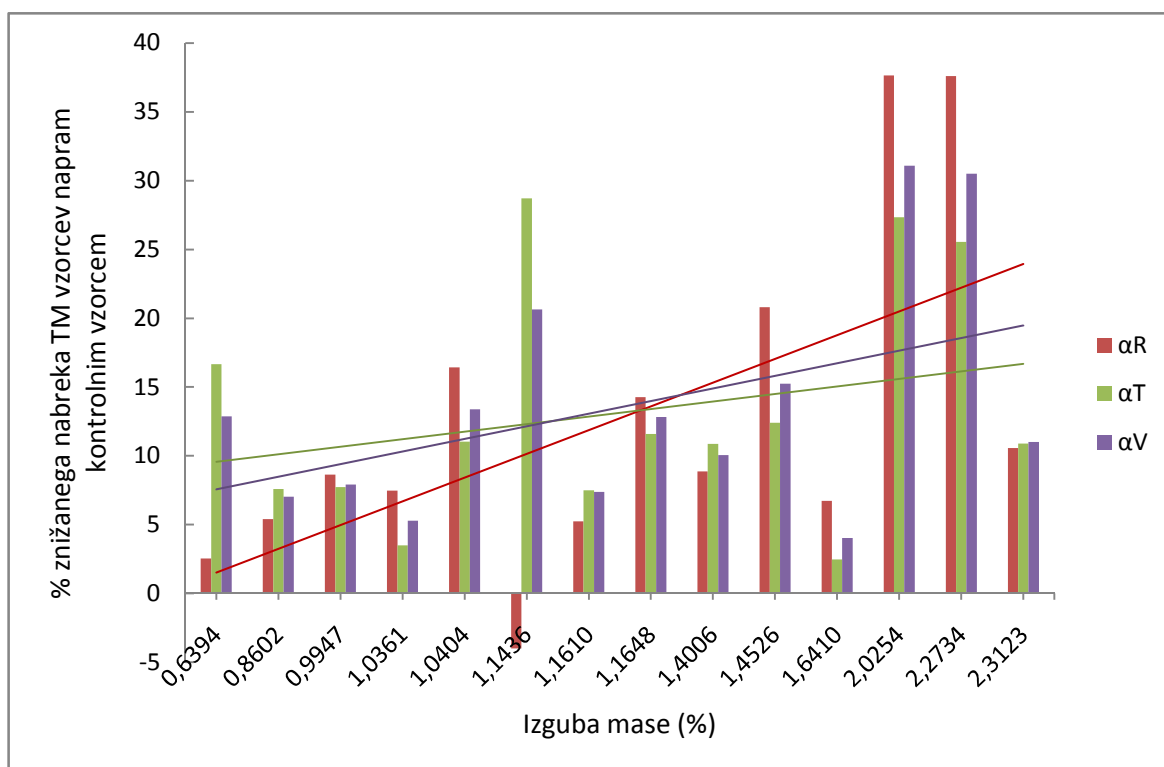
Prav tako hvala strokovnemu svetniku Borutu KRIČEJU in asistentu Gregorju REPU za vso pomoč pri laboratorijskih raziskavah in za moralno podporo.

Hvala pa tudi mojim domačim in Simonu za zaupanje.

PRILOGE

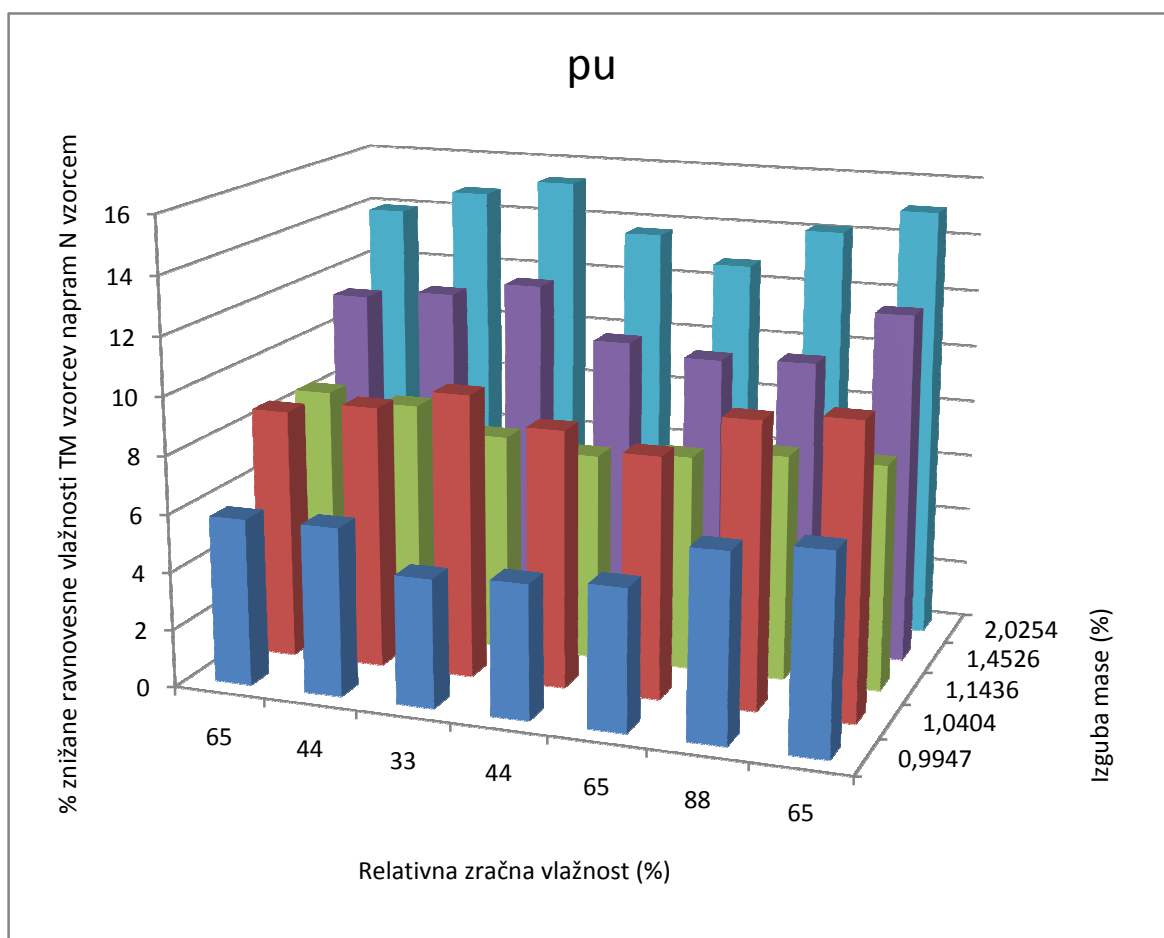
Priloga A

Odstotek znižanja nabrekov (linearnih: radialni – α_R in tangencialni – α_T ter volumskega nabreka - α_V) termično modificiranih vzorcev napram naravnim vzorcem, glede na izgubo mase med termično modifikacijo v vakuumu.



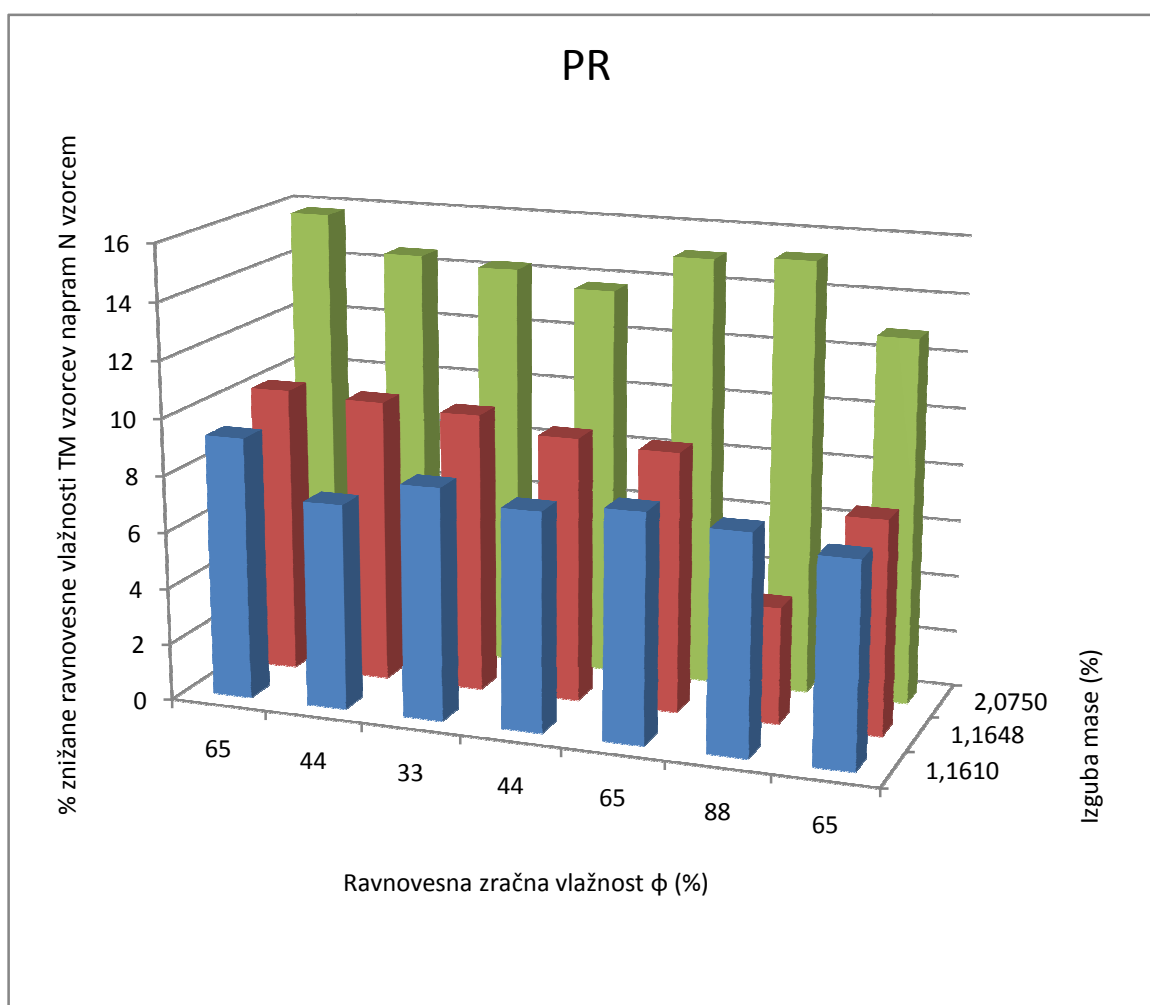
Priloga B

Odstotek znižane ravnovesne vlažnosti termično modificiranih in premazanih vzorcev, klimatiziranih pri posameznih relativnih zračnih vlažnostih, v primerjavi s premazanimi kontrolnimi vzorci, pri izmerjeni izgubi mase vzorca med termično modifikacijo v vakuumu. Vzorci so premazani z dvokomponentnim poliuretanskim lakom.



Piloga C

Odstotek znižane ravnovesne vlažnosti termično modificiranih in premazanih vzorcev, klimatiziranih pri posameznih relativnih zračnih vlažnostih, v primerjavi s premazanimi kontrolnimi vzorci, pri izmerjeni izgubi mase vzorca med termično modifikacijo v vakuumu. Vzorci so premazani z uretansko-alkidnim lakom.



Priloga D

Odstotek znižane ravnovesne vlažnosti termično modificiranih in premazanih vzorcev, klimatiziranih pri posameznih relativnih zračnih vlažnostih, v primerjavi s premazanimi kontrolnimi vzorci, pri izmerjeni izgubi mase vzorca med termično modifikacijo v vakuumu. Vzorci so premazani z raztopino propolisa v 96 % etanolu.

