

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Boris VRAVNEK

**PROUČEVANJE NABREKANJA TERMIČNO
MODIFICIRANEGA LEPLJENEGA KUHINJSKEGA
PULTA IN NJEGOVE ODPORNOSTI PROTI
MODRENJU**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Boris VRAVNEK

**PROUČEVANJE NABREKANJA TERMIČNO MODIFICIRANEGA
LEPLJENEGA KUHINJSKEGA PULTA IN NJEGOVE ODPORNOSTI
PROTI MODRENJU**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**EXAMINING OF SWELLING OF THERMALLY MODIFIED GLUED
KITCHEN PANEL AND ITS RESISTANCE TO BLUE STAIN FUNGI**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za patologijo in zaščito lesa, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Franca Pohlevna in za recenzenta izr. prof. dr. Milana Šerneka.

Mentor: prof. dr. Franc Pohleven

Recenzent: izr. prof. dr. Milan Šernek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Boris VRAVNEK

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*841.1
KG	modifikacija lesa/dimenzijska stabilnost/glive modrivke
AV	VRAVNEK, Boris
SA	POHLEVEN, Franc (mentor)/ŠERNEK, Milan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2010
IN	PROUČEVANJE NABREKANJA TERMIČNO MODIFICIRANEGA LEPLJENEGA KUHINJSKEGA PULTA IN NJEGOVE ODPORNOSTI PROTI MODRENJU
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	X, 41 str., 2 pregl., 30 sl., 20 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Les je zelo nagnjen k krčenju in nabrekanju. Da bi ga ustrezno stabilizirali, smo ga termično modificirali. Ugotavljali smo, kako vpliva termična modifikacija na dimenzijsko stabilnost in odpornost proti glivam modrivkam. Modifikacijo hrastovega in bukovega pulta smo opravili v vakuumu pri temperaturi 170 °C in 200 °C. V prvem primeru smo modificirali že zlepljen pult, v drugem pa elemente lesa, ki smo jih kasneje zlepili v pult. Dimenzijsko stabilnost smo preizkušali tako, da smo vzorce namakali v vodi in nato spremljali nabrekanje. Za ocenjevanje odpornosti proti glivam modrivkam smo uporabili standardizirano metodo SIST EN 152. Ugotovili smo, da termična modifikacija poveča dimenzijsko stabilnost lesa že pri 170 °C, še izraziteje pa pri 200 °C. Večjo dimenzijsko stabilnost smo ugotovili pri kasneje zlepljenih pultih. Modifikacija je povečala odpornost pulta proti glivam modrivkam. Pri hrastu je bila bolj učinkovita, saj je preprečila pomodrelost že pri 170 °C, pri bukovini pa se je odpornost na modrivke pokazala pri temperaturi modifikacije 200 °C.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs

DC UDC 630*841.1

CX wood modification/ dimensional stability/blue stain fungi

AU VRAVNEK, Boris

AA POHLEVEN, Franc (supervisor)/ŠERNEK, Milan (reviewer)

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

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

PY 2010

TI EXAMINING OF SWELLING OF THERMALLY MODIFIED GLUED
KITCHEN PANEL AND ITS RESISTANCE TO BLUE STAIN FUNGI

DT Graduation Thesis (Higher professional studies)

NO X, 41 p., 2 tab., 30 fig., 20 ref.

LA sl

AL sl/en

AB Wood is very vulnerable to shrinkage and swelling. To stabilise it accordingly, we have modified it thermally. We wished to determine the impact of thermal modification on the dimensional stability and resistance to blue stain fungi. Modification of oak and beech panel was performed in a vacuum at a temperature of 170 °C and 200 °C. In 1st case, we modified a previously glued panel. In 2nd case, we modified the wooden elements and glued them together subsequently. Dimensional stability was tested by soaking the samples in water and monitoring the swelling. To assess resistance to blue stain fungi we used a standardised method SIST EN 152. We established that thermal modification increased the dimensional stability of wood already at 170 °C, but even more explicitly at 200 °C. Greater dimensional stability was observed in panels glued together later. The modification increased the resistance of panels against blue stain fungi. In the case of oak wood, it was more effective as it prevented blue staining already at 170 °C, and in the case of beech wood, the resistance to blue stain fungi was indicated at 200 °C.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA.....	1
2 SPLOŠNI DEL.....	2
2.1 LES	2
2.1.1 Les kot gradivo.....	2
2.1.2 Anatomska zgradba lesa	2
2.1.2.1 Mikroskopska zgradba lesa	2
2.1.2.2 Kemična zgradba lesa.....	2
2.1.3 Krčenje in nabrekanje lesa	3
2.1.4 Naravna odpornost lesa.....	4
2.2 MODIFIKACIJA LESA	4
2.2.1 Načini modifikacije lesa	4
2.2.2 Opis posameznih vrst modifikacij.....	4
2.2.3 Kemične spremembe pri termično modificiranem lesu	7
2.3 PARAMETRI, KI VPLIVAJO NA LASTNOSTI TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA.....	8
2.3.1 Vrsta lesa	8
2.3.2 Temperatura	8
2.3.3 Čas modifikacije lesa	9
2.4 LASTNOSTI MODIFICIRANEGA LESA.....	9
2.4.1 Mehanske lastnosti	9
2.4.2 Dimenzijska stabilnost	10
2.4.3 Izguba mase.....	11
2.4.4 Odpornost proti vremenskim vplivom	11

2.4.5	Ognjeodpornost	12
2.4.6	Trdnost lepilnega spoja	12
2.4.7	Akustične lastnosti	12
2.4.8	Barva	13
2.4.9	Vonj	13
2.4.10	Odpornost proti glivam in insektom	13
2.5	ŠKODLJIVCI	13
2.5.1	Insekti	13
2.5.2	Glive	14
2.5.2.1	Lesne glive	14
2.5.3	Modrenje	15
3	MATERIALI IN METODE DELA	16
3.1	MATERIALI	16
3.1.1	Vzorci	16
3.1.2	Komora	16
3.1.3	Učinkovitost modificiranega lesa proti glivam modrivkam	18
3.1.4	Preizkus dimenzijske stabilnosti modificiranega lesa	19
3.2	METODE DELA	20
3.2.1	Priprava 1 M NaOH	20
3.2.2	Priprava 0,1 M HCl	20
3.2.3	Priprava tekočega hranilnega gojišča za glive modrivke	20
3.2.4	Inokulacija hranilnega gojišča	20
3.2.5	Avtoklaviranje pribora in vzorcev	21
3.2.6	Vstavljanje vzorcev v Kollejeve steklenice	22
3.2.7	Postavitev Kollejevih steklenic v rastno komoro	23
3.2.8	Postopek ocenjevanja	24
3.2.9	Preizkus dimenzijske stabilnosti modificiranega lesa	25
4	REZULTATI	26
4.1	IZGUBA MASE VZORCEV PO MODIFIKACIJI	26
4.1.1	Izguba mase bukovine po modifikaciji	26
4.1.2	Izguba mase hrasta po modifikaciji	26

4.2	VPLIV TERMIČNE MODIFIKACIJE PULTA NA NABREK	27
4.2.1	Predhodno lepljen in nato modificiran hrastov pult	27
4.2.2	Lepljen hrastov pult iz predhodno modificiranih elementov	28
4.2.3	Predhodno lepljen in nato modificiran bukov pult	29
4.2.4	Lepljen bukov pult iz predhodno modificiranih elementov	29
4.3	KRITERIJI POMODRELOSTI PULTA Z GLIVAMI MODRIVKAMI	30
4.3.1	Povprečne ocene obarvanosti površine vzorcev hrastovine.....	30
4.3.1.1	Globina obarvanja	31
4.3.2	Povprečne ocene obarvanosti površine vzorcev bukovine.....	32
4.3.2.1	Globina obarvanja	33
4.3.3	Povprečne ocene obarvanosti pod mikroskopom	34
4.3.3.1	Povprečne ocene obarvanosti vzorcev hrastovine.....	34
4.3.3.2	Povprečne ocene obarvanosti vzorcev bukovine	34
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	35
5.1	RAZPRAVA.....	35
5.1.1	Izguba mase vzorcev po modifikaciji.....	35
5.1.2	Nabrek pulta modificiranega pri 170 °C in 200 °C.....	35
5.1.3	Odpornost različno temperaturno modificiranega pulta na glive modrivke.....	38
5.2	SKLEPI.....	38
6	POVZETEK	40
7	VIRI	41
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Ocena pomodrelosti po standardu SIST EN 152	24
Preglednica 2: Modificiran les ThermoWood-a, razvrščen v dva standardizirana razreda...	6

KAZALO SLIK

Slika 1: Diagram termične modifikacije ThermoWood-a po fazah	6
Slika 2: Vzorci lesa hrasta in bukovine za preverjanje dimenzijske stabilnosti	16
Slika 3: Vakuumsko/tlačna komora.....	17
Slika 4: Barvna razlika kontrolnega, modificiranega pri 170 °C in 200 °C, hrastovega in bukovega lesa	17
Slika 5: Preraščen micelij gliv <i>Aureobasidium pullulans</i> in <i>Sclerophoma pithyophila</i> v tekočem gojišču	19
Slika 6: Stresalnik za priraščanje gliv.....	21
Slika 7: Avtoklav za sterilizacijo vzorcev in pribora	21
Slika 8: Suspenzija spor <i>Aureobasidium pullulans</i> in <i>Sclerophoma pithyophila</i>	22
Slika 9: Postavitev vzorcev v Kollejevo steklenico.....	22
Slika 10: Postavitev Kollejevih steklenic v rastno komoro	23
Slika 11: Ocena vzorcev pod mikroskopom.....	23
Slika 12: Vzorci za testiranje dimenzijske stabilnosti	25
Slika 13: Izguba mase vzorcev bukovine po modifikaciji.....	26
Slika 14: Izguba mase vzorcev hrasta po modifikaciji	27
Slika 15: Nabrek predhodno lepljenega in nato modificiranega hrastovega pulta	28
Slika 16: Nabrek predhodno modificiranega in nato lepljenega hrastovega pulta	28
Slika 17: Nabrek predhodno lepljenega in nato modificiranega bukovega pulta	29
Slika 18: Nabrek predhodno modificiranega in nato lepljenega bukovega pulta.....	30
Slika 19: Povprečne ocene obarvanosti vzorcev hrasta.....	31
Slika 20: Obarvanost hrasta v globino: A-kontrolni pult, B-modificiran pult 170 °C, C- modificiran pult 200 °C.....	31
Slika 21: Obarvanost hrasta v globino: A-kontrolni pult, B-modificiran in kasneje lepljen pult 170 °C, C-modificiran in kasneje lepljen pult 200 °C.....	32
Slika 22: Povprečne ocene obarvanosti površine vzorcev bukovine.....	32
Slika 23: Obarvanost bukovine v globino: A-kontrolni pult, B-modificiran pult 170 °C, C- modificiran pult 200 °C.....	33
Slika 24: Obarvanost bukovine v globino: A-kontrolni pult, B-modificiran in kasneje lepljen pult 170 °C, C-modificiran in kasneje lepljen pult 200 °C.....	33

Slika 25: Povprečne ocene obarvanosti vzorcev hrastovega pulta	34
Slika 26: Povprečne ocene obarvanosti vzorcev bukovega pulta.....	34
Slika 27: Nabrek modificiranega hrastovega pulta in pulta izdelanega iz modificiranih elementov hrasta	36
Slika 28: Razpoke na hrastovih vzorcih: A-kontrola, B-modificiran pult 170 °C, C- modificiran pult 200 °C.....	36
Slika 29: Nabrek modificiranega bukovega pulta in pulta izdelanega iz modificiranih elementov bukve	37
Slika 30: Razpoke na bukovih vzorcih: A-kontrola, B-modificiran pult 170 °C, C- modificiran pult 200 °C.....	37

1 UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA

Les je odličen, naravno obnovljiv material. Uporabljajo ga v gradbeništvu, papirništvu, za galanterijske izdelke ter pri proizvodnji stavbnega in notranjega pohištva. Lesu in lesnim proizvodom lahko podaljšamo življenjsko dobo tako, da ga primerno zaščitimo. S tem mu podaljšamo oz. omogočimo dolgoročno uporabo. Eden od načinov zaščite lesa je tudi modifikacija.

Prve raziskave modificiranega lesa segajo v obdobje po drugi svetovni vojni. Največ raziskav je bilo opravljenih v smeri izboljšanja stabilnosti in biološke odpornosti lesa. To lahko dosežemo tudi tako, da les termično obdelamo. Pri zaščiti lesa z modifikacijo gre za sodoben način izboljšanja naravne odpornosti in uporabnih lastnosti lesa. Z različnimi postopki modifikacije spremenimo strukturo osnovnih gradnikov ali polimerov v celični steni, ki so odgovorni za fizikalne in kemične lastnosti lesa. Z modifikacijo lesnih polimerov v lesu vplivamo na dimenzijsko stabilnost, na odpornost proti abiotičnim in biotičnim dejavnikom ter na mehanske in kemične lastnosti.

Pohištvo iz masivnega lesa postaja vedno bolj aktualno, kar velja tudi za kuhinjske pulte. V kuhinjah je pult izpostavljen velikim spremembam kontaktne in zračne vlage ter temperaturi. Zato je potrebno kuhinjske pulte predhodno ustrezno termično obdelati oz. stabilizirati.

Namen diplomske naloge je proučevanje nabrekanja termično modificiranega lepljenega kuhinjskega pulta in njegove odpornosti proti modrenju.

2 SPLOŠNI DEL

2.1 LES

Je zelo pomemben naraven material in ima v svetu velik ekonomski pomen. V zgodovini človeštva predstavlja enega izmed najpomembnejših obnovljivih materialov. Njegove izjemne lastnosti in naravna odpornost nekaterih vrst so človeku zagotavljale material za najrazličnejšo uporabo.

2.1.1 Les kot gradivo

Za termično modifikacijo najpogosteje uporabljamo drevesne vrste, kot so smreka, jelka, bor, breza. Uporabljajo se tudi druge drevesne vrste. Proces termične modifikacije je za vsako drevesno vrsto specifičen. Končni rezultat modifikacije se razlikuje glede na kemično sestavo lesa in celično strukturo. Pri iglavcih se uporabljajo strožji režimi kot pri listavcih, zaradi drugačnega namena uporabe tega lesa. Les iglavcev se uporablja za konstrukcije, kjer je potrebna zaščita pred škodljivci in vlago. Listavce pa se pogosteje vgrajuje v notranje prostore, poleg tega so večinoma naravno odpornejši, ter jih velikokrat modificiramo le zaradi estetskih razlogov (Syrjanen in Oy, 2001).

2.1.2 Anatomska zgradba lesa

2.1.2.1 Mikroskopska zgradba lesa

Celična stena zagotavlja trdnostne lastnosti lesa. Sestavljena je iz primarne in sekundarne stene. To velja za celice skoraj vseh lesnih vrst, razen za celice trakovnega parenhima nekaterih iglavcev. Primarna stena sestoji iz ohlapnega pleteža celuloznih fibril. Sekundarna stena je sestavljena iz slojev S_1 , S_2 in S_3 . S_1 sloj je zelo tanek, in ima menjajoči Z in S-heliks. Najdebelejša je S_2 stena, ki zajema od 60 % do 80 % sekundarne celične stene. Značilen je majhen fibrilni kot in ovijanje mikrofibril v Z-heliksu. Stena S_3 je zelo tanka s S-heliksom in strmim fibrilnim kotom.

2.1.2.2 Kemična zgradba lesa

Glavne kemične komponente olesenele celične stene se delijo na organske in mineralne snovi. Organske snovi se delijo na skeletne in ekstraktivne snovi. Med skeletne snovi spadajo celuloza, lignin in hemiceluloze.

Celuloza tvori skelet celične stene in ima veliko natezno trdnost. V celični steni jo je okoli 50 %. Molekule celuloze, ki so nitaste, so zgrajene iz večjega števila molekul grozdnega sladkorja, ki nastane pri fotosintezi. Celuloza je brezbarvna snov brez okusa in vonja. Ne topi se v vodi, niti alkoholu ali acetonu. Celuloza se uporablja za proizvodnjo papirja, umetnih vlaken, lakov.

Lignina je v celični steni od 20 % do 30 %. S starostjo drevesa delež lignina narašča. Molekule lignina so brezlične (amorfne). Lignin je tudi manj odporen na reagente kot celuloza. Ima večjo tlačno trdnost, kar je tudi glavni pomen lignina kot sestavine celične stene.

Hemiceluloze predstavljajo od 25 % do 35 % celične stene. Po kemični sestavi so podobne celulozi (polisaharidi). Niso tako odporne proti kemičnim reagentom kot celuloza. Na trajnost lesa vplivajo negativno, ker predstavljajo hrano za insekte in mikroorganizme.

Med ekstraktivne snovi uvrščamo snovi, kot so škrob, smole, čreslovine, barvila in strupi. V celični steni se nahajajo v manjših količinah, se pa razlikujejo glede na drevesne vrste. Nekatere ekstraktivne snovi vplivajo pozitivno, nekatere pa negativno na trajnost lesa.

Mineralne snovi so snovi, ki ostanejo po zgoretnosti lesa, imenujemo jih tudi pepel. Količina pepela je med 0,2 % in 5,7 %, odvisna pa je od drevesne vrste, dela drevesa, starosti in letnega časa. Kemična sestava pepela sestavljajo elementi, kot so: kalij, fosfor, silicij, natrij, železo.

2.1.3 Krčenje in nabrekanje lesa

Pri krčenju in nabrekanju ločimo linearno in prostorninsko zmanjšanje oz. povečanje dimenzij. Tako kot pri krčenju, je tudi nabrekanje v aksialni smeri najmanjše, največje pa je v tangencialni smeri. Radialno nabrekanje je po obsegu nekje na sredini. Les nabreka šele tedaj, kadar se v njem povečuje delež vezane – higroskopske vode. Kadar vstopa le-ta v interkristalitne prostore, se kristaliti razmikajo, in s tem povečujejo volumen lesa. Seveda pa povečanje volumna pri nabrekanju ni sorazmerno povečanju gostote. Ko je doseženo maksimalno povečanje volumna, lahko les z nadaljnjim vpijanjem vode svojo gostoto še povečuje. Pri nabrekanju se poveča volumen lesa od 5 % do 12 %, gostota pa od 60 % do

100 % in tudi več. Dejavniki, ki vplivajo na krčenje in nabrekanje lesa, so: anatomska zgradba lesa, drevesna vrsta, delež beljave in jedrovine, gostota lesa.

2.1.4 Naravna odpornost lesa

Naravna odpornost lesa je lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju, ko nanj še niso vplivali razni škodljivi dejavniki. Od naravne odpornosti je odvisna trajnost lesa in s tem tudi uporabnost. Odpornost lesa je odvisna od kemičnih sestavin in anatomske zgradbe. Med zelo odporne vrste prištevamo hrast (*Quercus robur*), tiso (*Taxus baccata*), kostanj (*Castanea sativa*), slabo odporne vrste pa so: javor (*Acer pseudoplatanus*), hruška (*Pyrus communis*), bukev (*Fagus Sylvatica*), breza (*Betula pendula*), jelša (*Alnus glutinosa*), topol (*Populus nigra*).

2.2 MODIFIKACIJA LESA

Stene lesnih celic so sestavljene predvsem iz celuloze, hemiceluloze in lignina. Z modifikacijo teh molekul se spremenijo lastnosti lesa. Zmanjša se zmožnost vpijanja vlage, s tem pa posledično tudi nabrekanje in krčenje. Z modifikacijo lignina lahko povečamo tudi odpornost lesa proti razgradnji z UV žarki. Po drugi strani pa zaradi spremenjene kemične zgradbe komponent lesa glive ali insekti modificiranega lesa ne prepoznajo več kot vir hrane. Tako se zmanjša možnost okužbe z lesnimi glivami. Največkrat modificiramo cenejše in manj odporne drevesne vrste. Sem prištevamo drevesne vrste, kot so smreka, jelka, breza, bor, bukev, evropska trepetlika in topol.

2.2.1 Načini modifikacije lesa

Poznamo naslednje postopke modifikacije lesa: modifikacija z encimi, kemična modifikacija in termična modifikacija. Najbolj so razviti postopki termične modifikacije lesa (Rep in Pohleven, 2001).

2.2.2 Opis posameznih vrst modifikacij

Kemična modifikacija

Pri tem načinu modifikacije poteče reakcija med kemičnim reagentom in strukturami olesenele celične stene. Večina reagentov reagira s hidroksilnimi (OH) skupinami lesnih polimerov. Najbolj raziskan je trenutno postopek acetiliranja, s katerim je možno bistveno

izboljšati nekatere lastnosti lesa, kot so: manjše krčenje in nabrekanje, biološka odpornost, odpornost na UV žarke (Rep in Pohleven, 2001).

Modifikacija z encimi

Encimska modifikacija je manj raziskana, in se še ni širše uveljavila v praksi. Uporaba encimov omogoča modifikacijo lesa že pri sobnih pogojih. Encim lakaza, na primer, spremeni strukturo lignina, in s povečanjem števila reaktivnih mest omogoča učinkovitejše stiskanje lesnih vlaken (Rep in Pohleven, 2001).

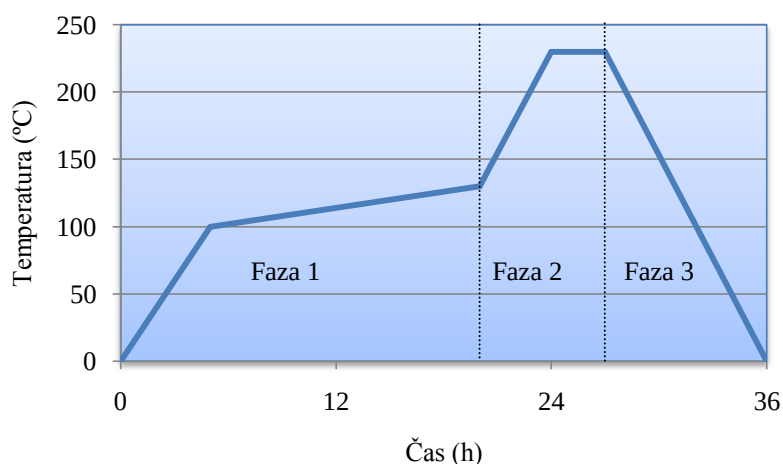
Termična modifikacija

Ideja termične modifikacije za zaščito lesa ni nova, saj so jo predlagali že strokovnjaki v 50-ih letih prejšnjega stoletja. V ZDA in nekaterih evropskih državah, kot so Francija, Nemčija, Finska, so razviti različni postopki termične modifikacije. Delno prihaja tudi do cepitev vezi v molekulah hemiceluloze in lignina ter delnega razkroja in posledično stranskih produktov, kot so hlapne snovi furfural, voda, ogljikov dioksid in metanol. Pri termični modifikaciji lesa pride do zmanjšanja števila hidroksilnih skupin in delne cepitve polimernih verig, pa tudi do nastanka novih vezi. Zaradi zmanjševanja števila prostih hidroksilnih skupin se zniža higroskopsnost. Rezultat je manj higroskopen in s tem dimenzijsko stabilnejši les, s povečano biološko odpornostjo proti glivam in insektom (Patzelt in sod., 2002).

Najbolj izrazite termične spremembe nastanejo med 180 °C in 260 °C, pri temperaturi nižji od 140 °C pa nastanejo zgolj rahle spremembe v strukturi celične stene. Pri obdelavi lesa nad 300 °C so študije omejene, saj se les zelo razgradi. Obstajajo tudi dokazi, ki kažejo na izrazite spremembe lesa pri teh temperaturah (Elder, 1991). Zato procesi termične modifikacije potekajo pri temperaturi do 260 °C.

ThermoWood je les modificiran s toplotno obdelavo ob prisotnosti pare. Para deluje kot medij, ki preprečuje oksidacijo in razkroj lesa. Pojavijo pa se tudi reakcije, ki nastopijo kot posledica prisotnosti pare. Para izpodrine zrak iz komore, in je le tega med procesom od 3 % do 5 %. Proizvodnja ThermoWood-a je razdeljena na 3 faze (slika 1):

- **Zvišanje temperature in sušenje lesa:** kombinacija toplote in pare služi za dvig temperature lesa na 100 °C. Temperatura se nato naglo poveča na 130 °C, kar les izsuši.
- **Toplotna obdelava:** ko je sušenje na visoki temperaturi končano, se temperatura v peči poveča na 185 °C do 230 °C, in se vzdržuje približno 2 do 3 ure. Temperatura in čas sta odvisna od zahtevnosti kupcev.
- **Hlajenje in vlaženje:** v tej fazi postopka se temperatura počasi znižuje, dokler ni v območju 80 °C do 90 °C. V lesu je po tej fazi 4 % do 7 % vlage.



Slika 1: Diagram termične modifikacije ThermoWood-a po fazah (Mayes in Oksanen, 2002)

Čeprav so bili predvideni trije razredi uporabe modificiranega lesa, se je industrija odločila za samo dva standardna razreda, in sicer Thermo-S in Thermo-D (preglednica 2).

Preglednica 1: Modificiran les ThermoWood, razvrščen v dva standardizirana razreda (Mayes in Oksanen, 2002)

Razred	Iglavci	Listavci
Thermo - S	190 ± 3 °C	185 ± 3 °C
Thermo - D	212 ± 3 °C	200 ± 3 °C

Termična modifikacija poteka v odsotnosti kisika in segrevanja lesa. Da odstranimo kisik iz komore, so znani različni postopki:

- z vodno paro,
- z dušikom,
- z vročim oljem,
- z vakuumom.

Fizikalne in kemijske lastnosti lesa se spremenijo kot posledica termično induciranih kemijskih sprememb na makromolekulah. Te spremembe so:

- večja dimenzijska stabilnost, kar je odvisno od višine temperature modifikacije,
- znižana higroskopičnost,
- izboljšana odpornost na škodljivce,
- povečanje žilavosti,
- zmanjševanje odpornosti proti obrabi,
- občutljivost na razpoke, vozle ipd.,
- barvne spremembe lesa.

Lastnosti termično obdelanega lesa so zelo odvisne od same termične obdelave. Zelo pomembno pa je, da se jih upošteva pri namenu uporabe in zahtevam tehnologije.

2.2.3 Kemične spremembe pri termično modificiranem lesu

Segrevanje lesa privede do različnih procesov v lesu. Dopušča se, da se hemiceluloza degradira oz. razgradi v večji meri kot pa makromolekularne komponente (Shafizadeh in Chin, 1977), vendar je relativno stabilnost celuloze in lignina težje določiti. Splošno gledano to pomeni, da material z izgubo polisaharidov postane precej spremenjen pri temperaturi nad 180 °C. Vendar so spremembe večinoma odvisne od samih pogojev, pri katerih poteka proces. Natančen opis relativnih stopenj degradacije je odvisen od vrste procesa modifikacije, zato je posledično literatura na tem področju zelo kompleksna in marsikdaj nasprotujoča eksperimentalnim metodam. Metode za določitev deležev sestavnih delov imajo veliko vrednost, vendar jih je potrebno obravnavati z neko previdnostjo, saj material velikokrat ne nakazuje sprememb notranjosti oz. ne nakazuje, kaj se je z lesom sploh zgodilo. Veliko študij pojasnjuje kemijsko termolizo lesa z obnašanjem

posameznih komponent lesa, kar opisujejo tudi zgodnja dela nekaterih avtorjev (Beall in Eickner, 1970).

2.3 PARAMETRI, KI VPLIVAJO NA LASTNOSTI TERMIČNO MODIFICIRANEGA LESA

Lastnosti termično modificiranega lesa so odvisne od različnih parametrov, in sicer: vlažnost lesa, vrta lesa, čas trajanja procesa, temperature modifikacije, vrste in tlak medija. Kot medij se uporabljajo dušik, vodna para ali razna rastlinska olja. Če uporabljamo rastlinsko olje, se med postopkom modifikacije nanj kemijsko veže kisik (Sailer in Rapp, 2000; Rapp in Sailer, 2001; Rep in Pohleven, 2001).

2.3.1 Vrsta lesa

Najpogostejše uporabljene pri termični modifikaciji so mehkejšje, manj odporne drevesne vrste, kot so smreka, jelka, breza, bor. Pri termični modifikaciji moramo biti posebno pozorni na ustrezno kvaliteto lesa. Probleme lahko povzročajo pokajoče in izpadle grče. Razkrojen in okužen les lahko povzroči dodatne nezaželene barvne spremembe lesa. Velik vpliv na modifikacijo lesa ima orientacija sortimentov. Klasičen tangencialen rez, posebno pri iglavcih, lahko povzroči luščenje posameznih branik, če lete potekajo horizontalno na površino žaganice. Najbolje je, da so letnice pod kotom 45 °, tako so deformacije manjše, trdnost površine je večja, in tudi splošni izgled površine je lepši ter prijetnejši.

2.3.2 Temperatura

Potek termične modifikacije se sestoji iz treh faz:

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

V prvi fazi temperatura narašča (segrevanje), največkrat med 100 °C in 150 °C. Temperatura med fazo modifikacije znaša med 150 °C in 260 °C, in je med procesom konstantna. Pri termični modifikaciji ima temperatura večji vpliv kot čas modificiranja. Modifikacija pri nižjih temperaturah z daljšim časom trajanja ne daje enakih lastnosti lesa, kot modifikacija pri višji temperaturi v bistveno krajšem času (Sailer in sod., 2000). S podaljševanjem trajanja procesa modifikacije lesa se povečuje dimenzijska stabilnost,

poslabšajo pa se mehanske lastnosti ter zmanjša gostota lesa. Prav tako se pri daljšem trajanju procesa močneje spremenita barva in sijaj lesa (Patzelt in sod., 2002).

Temperatura v fazi ohlajanja pada, in sicer od temperature modifikacije na temperaturo okolice. Pri vseh treh fazah je pomembno, da razlika med temperaturo zraka in temperaturo lesa ni prevelika. V kolikor pride do prevelike razlike, se kvaliteta modificiranega lesa močno poslabša (Teischinger in Stingl, 2002).

Temperatura modifikacije v veliki meri vpliva na lastnosti modificiranega lesa, saj trajno spremeni biološke, fizikalne in mehanske lastnosti lesa. Pri nižjih temperaturah je razgradnja lesnih substanc še sorazmerno majhna, pri temperaturi nad 150 °C pa se že opazijo večje spremembe. Izbrana temperatura modifikacije je odvisna od namena uporabe lesa. Visoka temperatura zelo poveča biološko odpornost lesa, močno pa poslabša mehanske lastnosti. Za modifikacijo iglavcev uporabljajo višje temperature kot pa za les listavcev (Teischinger in Stingl, 2002). Pri višjih temperaturah modifikacije lahko pride ne samo do razgradnje hemiceluloze, temveč tudi do delne razgradnje lignina (Feist in Sell, 1987).

2.3.3 Čas modifikacije lesa

Trajanje modifikacije lesa je odvisno od več dejavnikov: od velikosti in kvalitete komore, dimenzij lesa in časa ohlajanja (Sailer in Rapp, 2000).

Velik pomen ima čas segrevanja, ki mora biti dovolj dolg, da se segreje celoten volumen lesa. Enakomerno modifikacijo lesa dosežemo le takrat, ko je temperatura lesa v sredini enaka končni temperaturi modifikacije. Trajanje modifikacije je odvisno od uporabljenega postopka.

2.4 LASTNOSTI MODIFICIRANEGA LESA

2.4.1 Mehanske lastnosti

Modifikacija lesa lahko poslabša mehanske lastnosti lesa. To je odvisno predvsem od postopka in načina vzpostavitve pogojev. Velik vpliv na mehanske lastnosti ima vlažnost lesa. S postopkom modifikacije znižamo vsebnost vode v lesu, ko je v ravnovesnem stanju. Z nekaterimi postopki kemične modifikacije v les vnesemo dodatno maso, ki poveča gostoto, ta pa mehansko odpornost. S termično modifikacijo lesa se mehanske lastnosti

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

2.4.2 Dimenzijska stabilnost

Les je higroskopen material, saj hidroksilne skupine v lesnem tkivu vežejo molekule vode. Navlaževanje povzroča nabrekanje, sušenje pa krčenje celične stene. Takšne spremembe dimenzij lesa so nezaželene, ker lahko povzročijo nastanek razpok. Čim manjše je oddajanje in sprejemanje vode, bolj dimenzijsko stabilen je les (Gorišek, 1994). Na higroskopičnost termično modificiranega lesa vplivajo različni pogoji, pri katerih poteka modifikacija. Proces modifikacije je potrebno optimizirati tako, da dosežemo maksimalno dimenzijsko stabilnost in odpornost proti razkroju z glivami ter čim manjše poslabšanje mehanskih lastnosti. Vsekakor so zaželeni zmerni pogoji modifikacije, ki zagotavljajo visoke proizvodne kapacitete ter ustrezno izboljšanje kvalitete lesa, potrebno za različne namene uporabe (Tjeerdsma in sod., 1998).

Dimenzijska stabilnost je v veliki meri odvisna od procesa termične modifikacije, povezanega s trajanjem, temperaturo in drevesno vrsto. S povečanjem izgube mase se zmanjšuje krčenje in nabrekanje lesa (Rapp in Sailer, 2001). Dimenzijsko stabilnost pri termični modifikaciji lahko ovrednotimo z dvema parametroma:

ASE (antishrink efficiency–protikrčitvena učinkovitost) v radialni ASE_r in ASE_t v tangencialni smeri.

Ti dve vrednosti podata informacijo, za koliko je krčenje modificiranega lesa manjše od krčenja nemodificiranega lesa. ASE_r in ASE_t se ocenjujeta med dvema ravnovesnima stanjema, večinoma med vlažnim in sušilnično suhim stanjem. Je kazalnik dimenzijske stabilnosti, in ne vsebuje informacij o mehanskih lastnostih materiala (Rapp in Sailer, 2001).

Največkrat sta vrednosti ASE_r in ASE_t med 40 % in 50 %. Možno pa je, da izboljšamo dimenzijsko stabilnost celo za 90 %. Teoretični mejni vrednosti ASE_r in ASE_t sta med 0 %

in 100 %. Vrednost 100 % pomeni material, ki se med dvema ravnovesnima stanjema lesa ne skrči.

MEE (moisture excluding effectiveness–sposobnost preprečevanja navlaževanja) je pokazatelj za kvantificiranje uspešnosti dimenzijske stabilnosti lesa s površinskimi premazi. Pove nam, za koliko odstotkov sprejme neobdelan vzorec več vode kot tretiran (Gorišek, 1994).

2.4.3 Izguba mase

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

- trajanje modifikacije,
- tlaka,
- temperature.

V največji meri izgubo mase pogojujeta temperatura in čas modifikacije. V manjši meri pa nanjo vpliva tudi drevesna vrsta. Pomembna dejavnika sta tudi začetna vlažnost lesa ter medij, s katerim prenašamo toploto na les. Vzorci smrekovine, modificirani pri temperaturi med 190 °C in 230 °C, izgubijo med 3,5 % in 24 % svoje mase (Rep in sod., 2004). Pri istih pogojih termične modifikacije les bukovine izgubi več mase kot les smrekovine (Patzelt in sod., 2002).

2.4.4 Odpornost proti vremenskim vplivom

Izpostavljenost nezaščitenega lesa abiotskim dejavnikom (vlaga, svetloba, temperatura, kisik) ima za posledico krčenje in nabrekanje lesa, nastanek razpok na površini, spremembo barve, razgradnjo lignina ter druge poškodbe. Zaradi izboljšane dimenzijske stabilnosti modifikacija deluje pozitivno na odpornost lesa proti vremenskim vplivom. Kakovost termično modificiranega lesa se močno razlikuje od kakovosti navadnega lesa. Modificiran les je namenjen zunanji in notranji uporabi, kjer je zahtevana povečana odpornost proti škodljivcem ali pa dimenzijska stabilnost, ni pa zahtev po velikih mehanskih obremenitvah. Pomembna prednost modificiranega lesa je, da ne vsebuje smole.

Termično modificiran les se najpogosteje uporablja za:

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

2.4.5 Ognjeodpornost

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

2.4.6 Trdnost lepilnega spoja

Nezadostne interakcije med lepilom in lepilno površino lesa ter spremembe dimenzij lesa, zaradi spremembe vlažnosti, sta najpogostejša vzroka za popustitev lepilnega spoja pri nemodificiranemu lesu. Termično modificiran les počasneje absorbira vodo. Zato je pri lepilih na vodni osnovi potreben daljši čas stiskanja. Primerna lepila za lepljenje modificiranega lesa so resorcinol fenolna, poliuretanska in druga dvokomponentna lepila. Zaradi krhkosti materiala moramo paziti na tlake stiskanja. Trdnosti lepilnega spoja modificiranih vzorcev je med 66 % in 95 % trdnosti lepilnega spoja naravnih vzorcev. Ustrezna trdnost lepilnega spoja je dosežena, če uporabljamo lepilo z visokim bazičnim deležem, ki v kombinaciji s kislo površino termično obdelanega lesa doseže pozitiven učinek pri kvaliteti lepljenja (Teischinger in Stingl, 2002).

2.4.7 Akustične lastnosti

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

2.4.8 Barva

Pri visoki temperaturi dobi termično modificiran les večinoma značilno rjavo barvo. Kot večina sprememb v lesu, med procesom modifikacije, je tudi barva modificiranega lesa povezana z višino temperature in trajanjem procesa. Čim višja je temperatura in čim daljši je proces, temnejša je barva. Barva pa je odvisna tudi od lesne vrste (Raggers, 2007). Barva termično modificiranega lesa se pod vplivom UV svetlobe vseskozi spreminja (Rapp in Sailer, 2001).

2.4.9 Vonj

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

2.4.10 Odpornost proti glivam in insektom

Pri modifikaciji dosežemo zaščito proti glivam in insektom na dva načina. Prvi način je z zasedenostjo hidroksilnih skupin v celični steni, kar zmanjša adsorpcijo vode, in tako les ne doseže primerne vlažnosti za razvoj gliv. Drugi način je s spremembo lesnih polimerov med postopkom modifikacije, in tako so specifični encimi, ki jih škodljivci izločajo za razgradnjo lesnega tkiva, neučinkoviti. Klasifikacija termično modificiranega lesa temelji na standardu SIST EN 335-1 (Trajnost lesa in lesnih materialov–definicija razredov izpostavitve pred biološkim napadom-1995). Termično modificiran les lahko uporabljamo v največ tretjem razredu izpostavitve (pogosto vlaženje, nad tlemi), medtem ko se odsvetuje uporaba v četrtem razredu izpostavitve (stalno v vodi ali v stiku s tlemi) (Tjeerdsma in sod.,1998).

2.5 ŠKODLJIVCI

2.5.1 Insekti

Lesni insekti se hranijo s celulozo, hemicelulozami, škrobom, sladkorji in beljakovinami. Med seboj se razlikujejo glede na sestavine lesa, s katerimi se prehranjujejo. Od tega je odvisno, katero vrsto in kateri del lesa bodo napadli. Glede na to, v kakšnem lesu živijo, delimo lesne insekte v štiri razrede (Pečenko, 1987).

Primarni insekti živijo v zdravem rastočem drevju. Pri nas najbolj pomembni predstavniki so: veliki in mali hrastov kozliček, veliki topolov kozliček, krojaček, vrbov zavrtač.

Sekundarni insekti živijo v rastočem, vendar oslabiljenem drevju in sveže posekanem lesu. Škodo predstavljajo predvsem na skladiščih hlodovine. Predstavniki so: hrastov strženar, bukov vrtovin, progasti lestvičar, bukov in hrastov lestvičar, lesne ose.

Terciarni insekti napadajo suh, vgrajen les. Škodo delajo na lesenih stavbah, ostrešjih, okenskih okvirjih, podih, pohištvu itd. Najpogostejši terciarni insekti so: hišni kozliček, navadni trdoglav, pisani trdoglav, navadni parketar, ladijski vrtovin, modri kozliček.

Kvartarni insekti napadajo moker, nekoliko strohnel in strohnel les. Najpogostejši predstavniki so: rdečevratni kozliček, kovač, termiti, mravlje, vztrajnik, rilčkarji, rogač.

2.5.2 Glive

Organizme iz kraljestva gliv najdemo na vseh področjih. Obsega tako s prostim očesom nevidne organizme, kot so kvasovke in podobne glive, rje, sneti, plesni ter s prostim očesom vidne glive z betom in klobukom, ki jih večina ljudi pozna pod pojmom goba.

Glive kot heterotrofni organizmi so v svoji prehrani vezane na organske snovi. Za hrano uporabljajo rastlinske pa tudi živalske snovi, bodisi odmrle, gnijoče, trohneče ali žive. Zato najdemo veliko gliv tam, kjer se je nakopičilo mnogo organskih snovi, npr. v gozdovih, lesu, na kompostu itd. Nekatere glive pa živijo v sožitju z rastlinami. Glive dajejo rastlinam vodo in te glivam organske snovi. Obstajajo pa tudi mikoriza glive, ki so zajedalke ali paraziti.

Glive so organizmi, ki živijo saprofitsko, parazitsko in simbiotsko. Glavni vir energije pridobijo iz organskih snovi. Prehranjujejo pa se lizotrofno. To pomeni, da v substrat sproščajo eksoencime, ki razgradijo substrat, presnovne produkte nato posrkajo v hife. Njihova slaba lastnost je, da si ne morejo pridelovati lastne hrane (Schmidt, 2006).

2.5.2.1 Lesne glive

Rjava trohnoba razkrajajo celulozo (glive z encimi razkrajajo celulozo), lignin ostane v ostanku in les obarva rjavo. Po razkroju les prizmatično razpoka, se posuši. Pogosteje napade iglavce. Izgubo mehanskih lastnosti opazimo pred izgubo mase. Povzročitelji so

zaprtotrošnice in nepopolne glive. Predstavniki rjave trohnobe so žvepleni lukničar, borov glivec, tramovka, kletna goba, hrastova labirintnica, siva in bela hišna goba.

Bela trohnoba razkrajja lignin, razkroj zaradi hkratne okužbe z več vrstami gliv poteka zelo hitro in neenakomerno. Glive razkrajajo oksidante za razgradnjo lignina, pri izgubi lignina les spremeni barvo na belo. Hitra poraba lignina privede do zmanjšanja mehanskih lastnosti, posledica je lomljivost lesa. Predstavniki so štorovke, kresilna goba, jelov koreničnik, borov plutač, luskasti luknjač, ostrigar.

Plesni se pojavijo na različnih materialih. Na površini povzročajo intenzivna obarvanja različnih barv. Na srečo ta površinska obarvanja ne predstavljajo velike ekonomske škode, in ne vplivajo na mehanske lastnosti lesa. Na končnih in umetniških izdelkih pa je škoda občutna ali neprecenljiva.

2.5.3 Modrenje

Je globinska obarvanost beljave iglavcev in redkeje nekaterih listavcev. Povzroča jih okoli 100 vrst gliv modrivk iz skupine zaprtotrošnic (Ascomycotina) in nepopolne glive (Fungi imperfecti). Pojavlja se na stoječih oslabilih drevesih iglavcev, sveže posekani hlodovini iglavcev ter razžaganih vlažnih sortimentih na skladišču. Čeprav modro obarvane glive bistveno ne zmanjšajo mehanskih lastnosti lesa, predstavlja obarvanje estetsko poškodbo, kar je problem pri lesnih izdelkih (Schmidt, 2006).

Modrivke okužijo les s sporami, ki prodrejo skozi poškodovano skorjo ali režno površino v beljavo. Beljavo lahko z modrivkami okužijo tudi insekti, ko vrtajo v les. Razgrajujejo ekstraktivne organske snovi parenhimskih celic beljave (beljakovine, škrob, sladkorji). Najugodnejši čas za razvoj modrivk je spomladi in jeseni, takoj po poseku, ko je les dovolj vlažen in bogat s topnimi organskimi snovmi. Spore vzklijejo in hife hitro prodirajo po strženovih trakovih in preko pikenj po trahejah beljave (s površine v notranjost). Optimalna temperatura za razvoj je od 22 °C do 27 °C, optimalna vlaga lesa je od 50 % do 60 %, zračna vlažnost pa okoli 90 %.

3 MATERIALI IN METODE DELA

3.1 MATERIALI

3.1.1 Vzorci

V tovarni podjetja Svea d.d. smo dobili vzorce hrastovega in bukovega zlepljenega pulta ter posamezne elemente bukovega in hrastovega lesa. Elemente pulta in kasneje lepljene elemente smo razžagali na dimenzije $30\text{ cm} \times 7\text{ cm} \times 4\text{ cm}$. Za preizkušanje dimenzijske stabilnosti je bila dimenzija preizkušancev $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ (slika 2). Potopili smo jih v vodo in spremljali njihovo nabrekanje. Za preizkušanje odpornosti na glive modrivke je bila dimenzija preizkušancev $7\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 1\text{ cm}$.



Slika 2: Vzorci lesa hrasta in bukovine za preverjanje dimenzijske stabilnosti

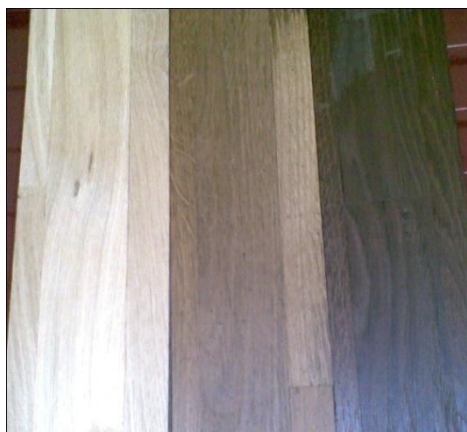
3.1.2 Komora

Vzorci pulta ter nezlepljene elemente (vzorci) smo najprej dali v laboratorijski sušilnik (Kambič) in jih sušili 24 ur pri temperaturi $103 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, da smo dobili absolutno suhe ter jih stehali. Nato smo jih postavili v komoro za termično modifikacijo z vakuumom (slika 3). Modifikacija je potekala pri dveh temperaturah, in sicer pri $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Začetek procesa v komori se prične s segrevanjem vzorcev ter vklopom vakuumske črpalke. Vakuumsko črpalko pustimo vklopljeno toliko časa, da se doseže podtlak $-0,930\text{ bar}$.

Temperatura počasi narašča do želene, in se vzdržuje tri ure. Na koncu ponovno vklopimo vakuum, da izčrpamo odvečno vlago (paro). Nato ugasnemo grelce in pričnemo z ohlajanjem, ki traja do naslednjega dne. Barva vzorcev je odvisna od temperature modifikacije (slika 4). Po modifikaciji smo elemente lesa v podjetju Svea d.d. zlepili, da so bili primerljivi s prej zlepljenimi kuhinjskimi pulti. Iz modificiranega pulta ter modificiranega in kasneje lepljenega pulta smo izdelali vzorce za dimenzijsko stabilnost ter odpornost na glive modrivke.



Slika 3: Vakuumsko/tlačna komora



Slika 4: Barvna razlika kontrolnega, modificiranega pri 170 °C in 200 °C, hrastovega in bukovega lesa

3.1.3 Učinkovitost modificiranega lesa proti glivam modrivkam

Aparature in inštrumenti:

- avtoklav Sutjeska,
- laminarij Iskra,
- rastna komora,
- elektronska tehtnica,
- pH meter.

Laboratorijski pripomočki:

- 100 ml čaša,
- 400 ml čaša,
- merilni valj 15 ml,
- Kollejeve steklenice,
- filter papir,
- folija, papir in gumice,
- papir za avtoklaviranje,
- pincete,
- spatule,
- avtomatska pipeta,
- steklena palčka.

Uporabljene kemikalije:

- destilirana voda,
- alkohol za čiščenje,
- krompirjev dekstrozni agar (PDA-Potato dextrose agar) v prahu,
- citronska kislina monohidrat,
- NaOH,
- 1 M HCl,
- 0,1 M HCl.

Uporabljene glive

Za preizkus učinkovitosti modifikacije proti glivam modrivkam smo uporabili dve vrsti gliv modrivk, kot predvideva standard SIST EN 152 (slika 5):

- *Aureobasidium pullulans* (de Barry) Arnaud,
- *Sclerophoma pithyophila* (Corda) Höhn.

Izbrani vrsti gliv smo dobili iz banke glivnih kultur na Biotehniški fakulteti–Oddelka za lesarstvo–Katedri za patologijo in zaščito lesa. Pred uporabo smo kulturi micelija večkrat precepili na krompirjev glukozni agar. Inokulacija je potekala pod sterilnimi pogoji v brezprašni komori. V sterilizirane petrijevke smo nalili vroče hranilno gojišče, da je pokrito dno. Na strjeno gojišče smo vstavili cepiče. Petrijevke smo zatesnili s polietilensko folijo, in jih za štirinajst dni postavili v rastno komoro ($T = 25\text{ °C}$, $Rh = 75\%$). Ko je micelij prerasel podlago, smo pripravili tekoči hranilni medij v skladu z zahtevami standarda SIST EN 152 (1988).



Slika 5: Preraščen micelij gliv *Aureobasidium pullulans* in *Sclerophoma pithyophila* v tekočem gojišču

3.1.4 Preizkus dimenzijske stabilnosti modificiranega lesa

Laboratorijski pripomočki:

- kljunasto merilo,
- posoda z vodo,
- pinceta.

3.2 METODE DELA

3.2.1 Priprava 1 M NaOH

$$c = \frac{n}{V} = \frac{m}{M \times V} ; \quad M(\text{NaOH}) = 40,0 \text{ g/mol}$$

$$1 \text{ mol/l} = m (40,0 \text{ g/mol} \times 0,1 \text{ l})$$

Zrna NaOH stehamo na papir. V merilno bučko nalijemo nekaj vode, vanjo stresemo stehtano maso NaOH in dopolnimo do značke 100 ml.

3.2.2 Priprava 0,1 M HCl

Na voljo imamo 37 % HCl z gostoto 1,186 g/ml, $M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g/mol}$.

Z redčenjem pripravimo 250 ml 0,1 M HCl.

3.2.3 Priprava tekočega hranilnega gojišča za glive modrivke

V 500 ml merilno bučko nalijemo 150 ml destilirane vode. Dodamo 10 gramov koncentriranega sladnega ekstrakta (malt extract), 6,25 gramov citronske kisline monohidrata, dolijemo 60 ml 1 M NaOH in 195 ml 0,1 M HCl. Razredčimo z destilirano vodo na 500 ml. Končni pH raztopine mora biti 4,2. Če ni, ga uravnavamo z dodajanjem raztopine NaOH ali pa raztopine HCl.

3.2.4 Inokulacija hranilnega gojišča

Hranilno raztopino smo prelili v šest sterilnih 500 ml erlenmajeric, in jih zaprli z aluminijasto folijo ter sterilizirali 20 minut pri 121 °C. Zatam smo jih inokulirali s kulturo micelija glive *Aureobasidium pullulans* in *Sclerophoma pithyophila*. Velikost cepiča je bila okrog 1 cm². Da ni prišlo do okužbe, je delo potekalo v sterilnih pogojih, v brezprašni komori z ustrezno filtracijo zraka. Lanceto in vrat erlenmajeric smo obžgali nad gorilnikom. Erlenmajerice smo zaprli z aluminijasto folijo, jih zatesnili z gubicami ter namestili na stresalnik, kjer sta glivi priraščali (slika 6).



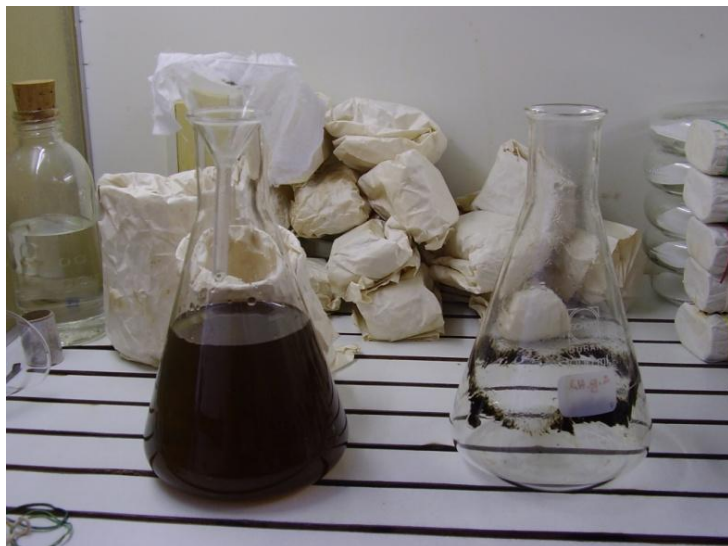
Slika 6: Stresalnik za priraščanje gliv

3.2.5 Avtoklaviranje pribora in vzorcev

Pripravili smo pribor: dve 100 ml čaši, dve 400 ml čaši, dva mala steklena merilna valja. Vsak kos posebej smo zavili v papir za avtoklaviranje. Pripravili smo vzorce in jih vsakega posebej zavili v papir. Na papirju smo s svinčnikom označili skupino vzorcev. Nato smo pripravili Kollejeve steklenice, ki smo jih sterilno oprali. V steklenico smo vstavili filtrirni papir (na spodnjo stran) ter zaprli z alu folijo in papirjem za avtoklaviranje ter zatesnili z gumico. Ves pribor, vzorce in Kollejeve steklenice, smo nato avtoklavirali 20 minut pri temperaturi 121 °C (slika 7). Med avtoklaviranjem smo pripravili suspenzijo spor (filtriranje in združitev pripravljenih gojišč) (slika 8).



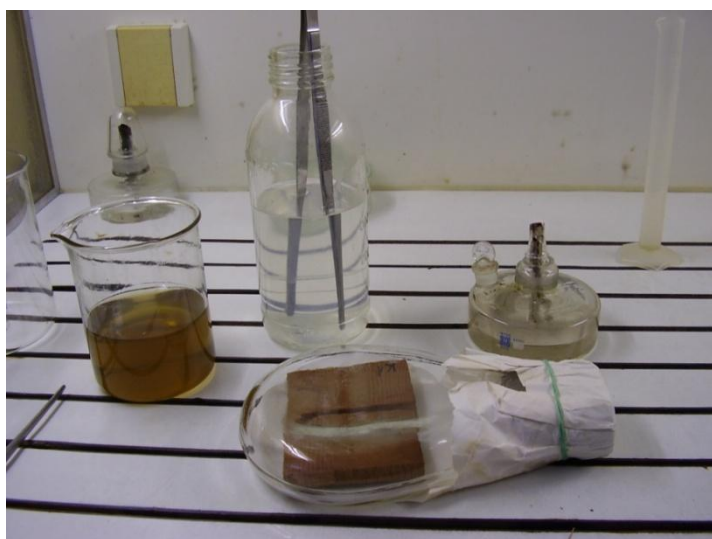
Slika 7: Avtoklav za sterilizacijo vzorcev in pribora



Slika 8: Suspenzija spor *Aureobasidium pullulans* in *Sclerophoma pithyophila*

3.2.6 Vstavljanje vzorcev v Kollejeve steklenice

Pod sterilnimi pogoji smo v vsako Kollejevo steklenico vlili 15 ml filtrata, ki je vseboval spore obeh vrst gliv modrivk. Nato smo vzorec potegnili čez plamen, ga na kratko potopili v filtrat (v 400 ml čaši) ter ga pod sterilnimi pogoji vstavili v Kollejevo steklenico. V steklenice smo postavljali po dva vzorca. Na koncu smo obžgali odprtino steklenic in jih zaprli (slika 9).



Slika 9: Postavitev vzorcev v Kollejevo steklenico

3.2.7 Postavitev Kollejevih steklenic v rastno komoro

Kollejeve steklenice z vstavljenimi vzorci smo nato za šest tednov postavili v rastno komoro (slika 10). Nato je sledilo s prostim očesom ocenjevanje stopnje pomodrelosti lesnih vzorcev po standardu SIST EN 152. Naknadno smo površino ocenjevali še pod lupo (slika 11).



Slika 10: Postavitev Kollejevih steklenic v rastno komoro



Slika 11: Ocena vzorcev pod mikroskopom

3.2.8 Postopek ocenjevanja

Učinkovitost zaščitnih sredstev proti glivam modrivkam običajno testiramo po evropski standardni metodi SIST EN 152. Za testiranje uporabimo spore dveh vrt gliv modrivk (*Aureobasidium pullulans* (de Barry) Arnaud in *Sclerophoma pithyphila* (Corda) v Höhn), vzgojene v tekočem hranilnem gojišču.

Zaščitene in nezaščitene (kontrolne) lesne vzorce v Kollejevih steklenicah izpostavimo delovanju spor. Vrsta lesa, dimenzije in oblika vzorcev ter postopek zaščite so natančno predpisani. Po določenem času izpostavitve sporam vizualno ocenimo pomodrelost vzorcev, in tako določimo učinkovitost zaščitnega sredstva (preglednica 1).

Preglednica 2: Ocena pomodrelosti po standardu SIST EN 152

Ocena / stopnja	Opis vzorca
0	Površina ni pomodrela , madežev na površini ne opazimo.
1	Površina je minimalno in zato nepomembno pomodrela. Največji dovoljen premer madežev je 2mm, vseh madežev ni več kot 10.
2	Les je pomodrel: - če so madeži med seboj povezani, in je pomodrelo do 1/3 zgornje površine vzorca, - če madeži med seboj niso povezani, in je pomodrelo do 1/2 zgornje površine vzorca.
3	Les je močno pomodrel: - če so madeži med seboj povezani, in je pomodrelo več kot 1/3 zgornje površine vzorca, - če madeži med seboj niso povezani, in je pomodrelo več kot 1/2 zgornje površine vzorca.

Kontrolni vzorci dobijo oceno 3 (tudi ocena 2 pomeni, da je test regularen), učinkovitost zaščitnega sredstva pa določimo z ocenjevanjem zaščitnih vzorcev. Učinkovitost sredstva je zadovoljiva, če pomodrelost zaščitnih vzorcev ocenimo z 0 in 1.

3.2.9 Preizkus dimenzijske stabilnosti modificiranega lesa

Za ugotavljanje dimenzijske stabilnosti smo uporabili vzorce hrasta in bukovine dimenzij $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 1\text{ cm}$. Najprej smo jih v obeh dimenzijah s kljunastim merilom izmerili na 0,01 milimetra natančno. Označili smo jih po smeri meritve z A in B. Vzorci so bili predhodno debelinsko in širinsko zlepljeni. Označene vzorce bukve in hrasta (kontrolni, modificirani pri $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $200\text{ }^{\circ}\text{C}$) smo postavili v posodo, jih obtežili in nanje nalili vodo. Njihovo nabrekanje smo spremljali toliko časa, dokler se dimenzije vzorcev niso več spreminjale. Meritve smo opravljali najprej po 12 urah in nadaljnje po 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 in 10 dneh. Po desetih dneh smo meritve končali, saj se dimenzije niso več spreminjale (slika 12).



Slika 12: Vzorci za testiranje dimenzijske stabilnosti

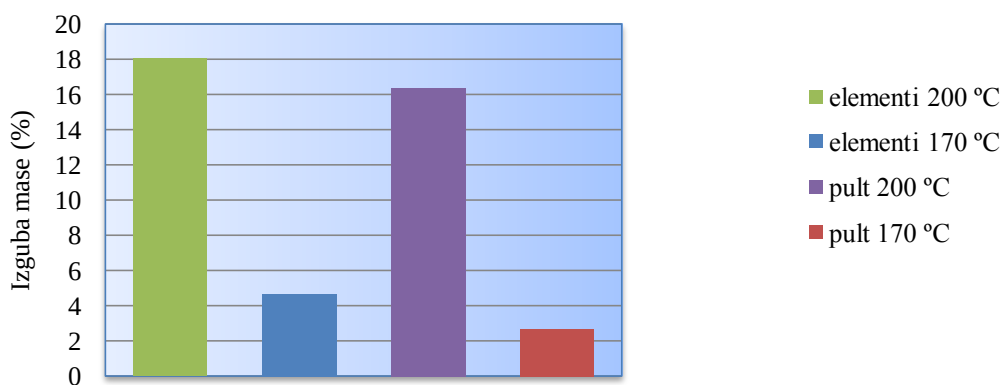
4 REZULTATI

4.1 IZGUBA MASE VZORCEV PO MODIFIKACIJI

Izgubo mase vzorcev smo določili tako, da smo vzorce najprej v sušilniku sušili 24 ur pri temperaturi 103 ± 2 °C na absolutno suho stanje, ter jih nato stehali. Enak postopek smo ponovili po modifikaciji, in tako ugotovili delež izgubljene mase.

4.1.1 Izguba mase bukovine po modifikaciji

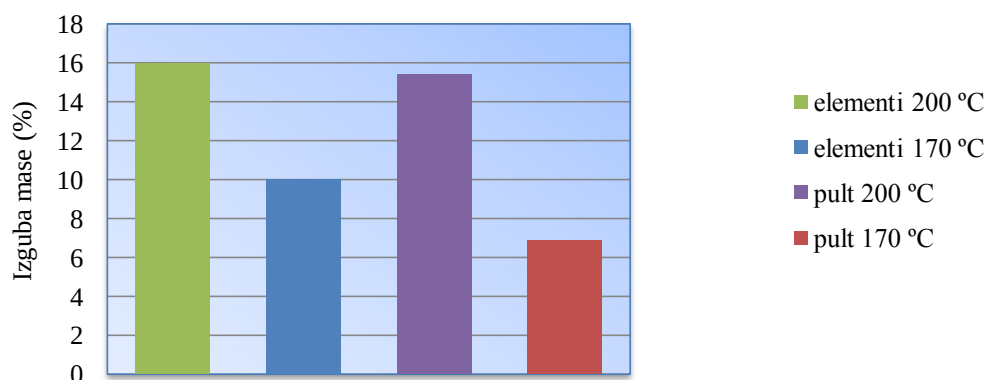
Najmanj mase so izgubili vzorci elementov pulta pri 170 °C, in sicer 2,7 %, posamezni še ne zlepljeni elementi lesa pa pri enaki temperaturi 4,7 %. Največjo izgubo mase pa smo zabeležili pri 200 °C, in sicer je znašala pri elementih pulta 16,4 %, pri elementih lesa pa 18,0 %. Večjo izgubo mase smo ugotovili pri elementih pred lepljenjem. Pri višji temperaturi je bila izguba mase skoraj štirikrat večja (slika 13).



Slika 13: Izguba mase vzorcev bukovine po modifikaciji

4.1.2 Izguba mase hrasta po modifikaciji

Prav tako kot pri bukovini so najmanj mase izgubili vzorci iz elementov pulta pri 170 °C, in sicer 6,9 %, posamezni elementi lesa pa pri enaki temperaturi 10,0 %. Največji odstotek izgubljene mase pa smo zabeležili pri 200 °C, in sicer je pri elementih pulta znašala 15,4 %, pri elementih lesa pa 16,0 %. Tudi pri hrastovini so večji delež mase izgubili elementi za pult. Razlika je bolj očitna pri 170 °C (slika 14).

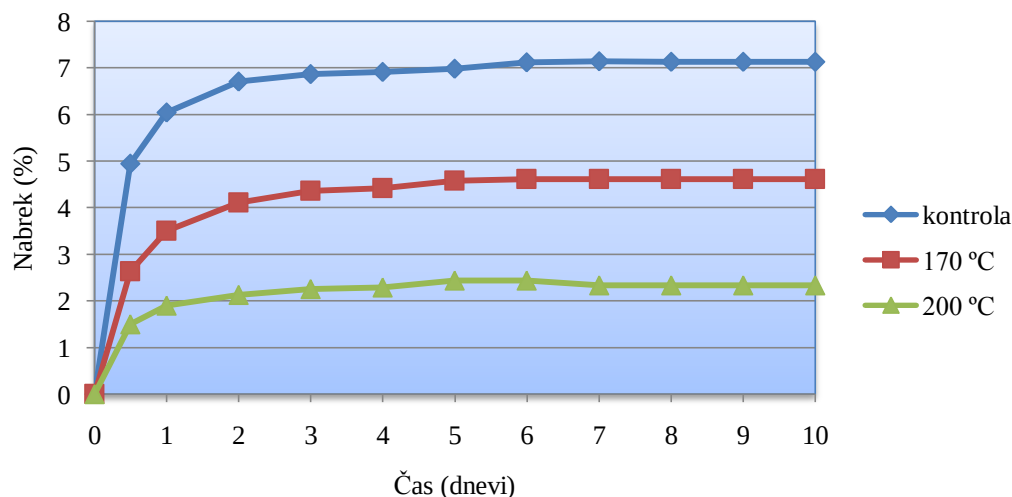


Slika 14: Izguba mase vzorcev hrasta po modifikaciji

4.2 VPLIV TERMIČNE MODIFIKACIJE PULTA NA NABREK

4.2.1 Predhodno lepljen in nato modificiran hrastov pult

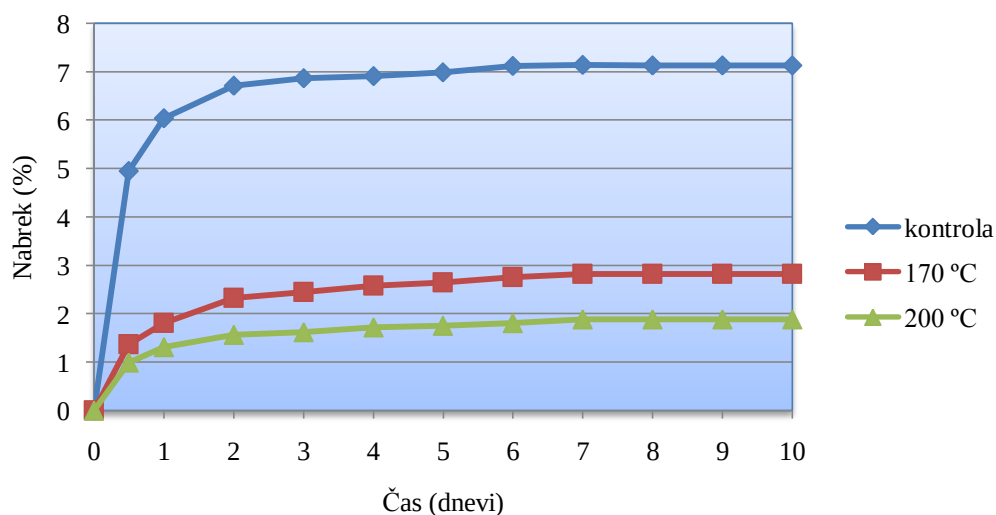
Dimenzijska stabilnost lesa je zelo pomembna za pult. Nemodificiran pult je zelo podvržen vpijanju vode in posledično nabrekanju. Dimenzije so se v povprečju povečale za kar 7,14 %. Veliko bolje so se izkazali modificirani vzorci pri 170 °C, ki so dosegli maksimalni nabrek 4,62 %. Najmanjši nabrek pa smo ugotovili pri 200 °C, saj je njihovo nabrekanje doseglo le 2,34 %. Kot zanimivost moramo omeniti, da je najintenzivnejše nabrekanje potekalo prva dva dni. Kontrolni ter modificirani pri 170 °C so maksimalen nabrek dosegli po šestih dneh, modificirani pri 200 °C pa že po petih dneh, nakar je nabrekanje nekoliko upadlo in se po sedmih dneh zaustavilo (slika 15).



Slika 15: Nabrek predhodno lepljenega in nato modificiranega hrastovega pulta

4.2.2 Lepljen hrastov pult iz predhodno modificiranih elementov

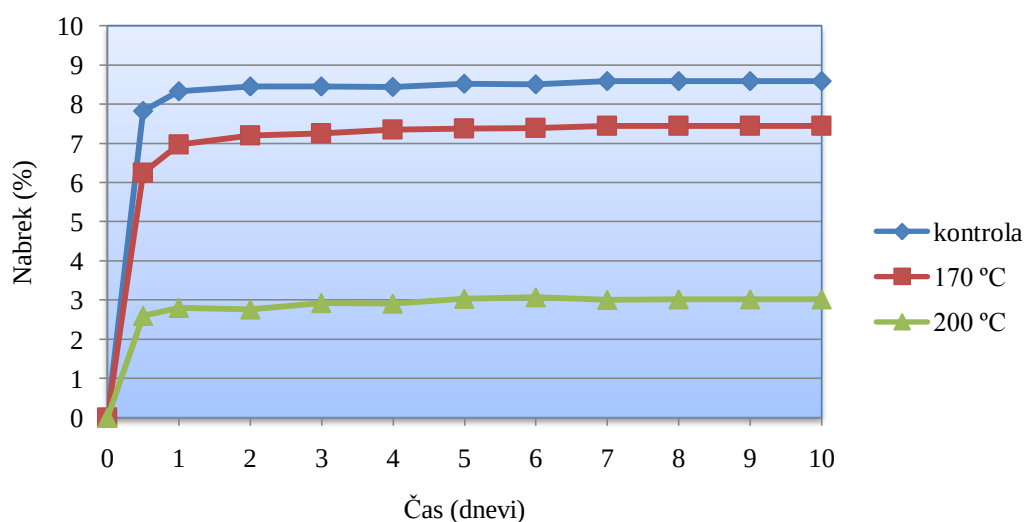
Pri predhodno modificiranem in nato lepljenem hrastovem pultu je opaziti, da v dinamiki med krivuljami ni tako velike razlike. Vzorci pri 170 °C so dosegli svoj maksimalni dimenzijski nabrek 2,83 % po sedmih dneh. Tudi tukaj so se najboljše odrezali vzorci pri 200 °C, ki so maksimalni nabrek 1,89 % dosegli po sedmih dneh (slika 16).



Slika 16: Nabrek predhodno modificiranega in nato lepljenega hrastovega pulta

4.2.3 Predhodno lepljen in nato modificiran bukov pult

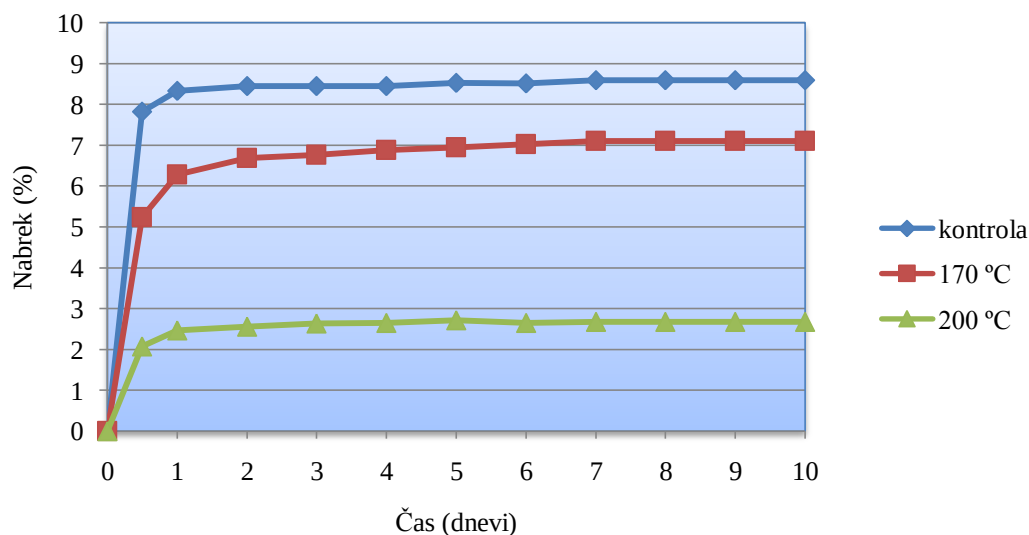
Nemodificirani kontrolni vzorci so že po prvem dnevu dosegli 8,30 % nabrek, maksimum pa po sedmih dneh, in sicer 8,59 %. Vzorci, modificirani pri 170 °C, so bili za dober odstotek boljši od kontrolnih, največji nabrek je bil izmerjen po osmih dneh, in je znašal 7,45 %. Modificirani vzorci pri 200 °C so bili v primerjavi s kontrolnimi dobro dimenzijsko stabilni, saj je po sedmih dneh nabrek na koncu znašal 3,02 % (slika 17).



Slika 17: Nabrek predhodno lepljenega in nato modificiranega bukovega pulta

4.2.4 Lepljen bukov pult iz predhodno modificiranih elementov

Pri predhodno modificiranem in nato lepljenem bukovem pultu ni prišlo do bistvenih razlik glede na prejšnji način obdelave. Pri 170 °C modificiranih vzorcih je opaziti le nekoliko boljšo dimenzijsko stabilnost, saj je po sedmih dneh nabrek znašal 7,11 %. Tudi v tem primeru so se najboljše odrezali vzorci modificirani pri 200 °C. Njihov maksimalni povprečni nabrek je po osmih dneh znašal 2,68 % (slika 18).

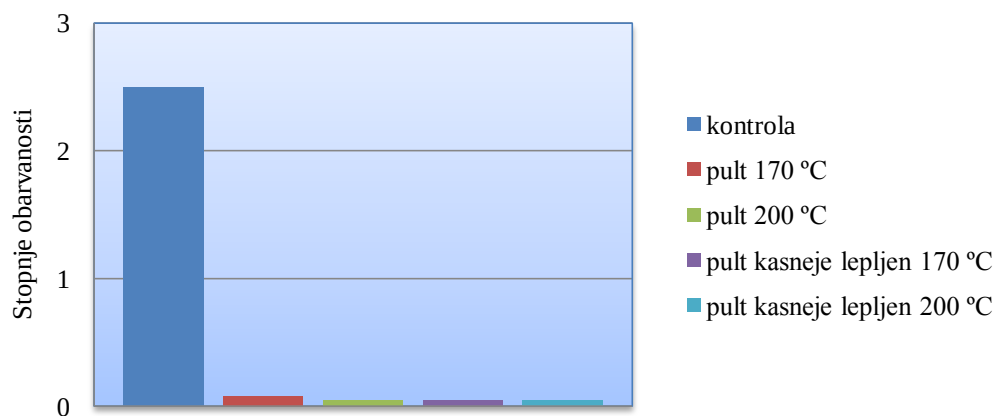


Slika 18: Nabrek predhodno modificiranega in nato lepljenega bukovega pulta

4.3 KRITERIJI POMODRELOSTI PULTA Z GLIVAMI MODRIVKAMI

4.3.1 Povprečne ocene obarvanosti površine vzorcev hrastovine

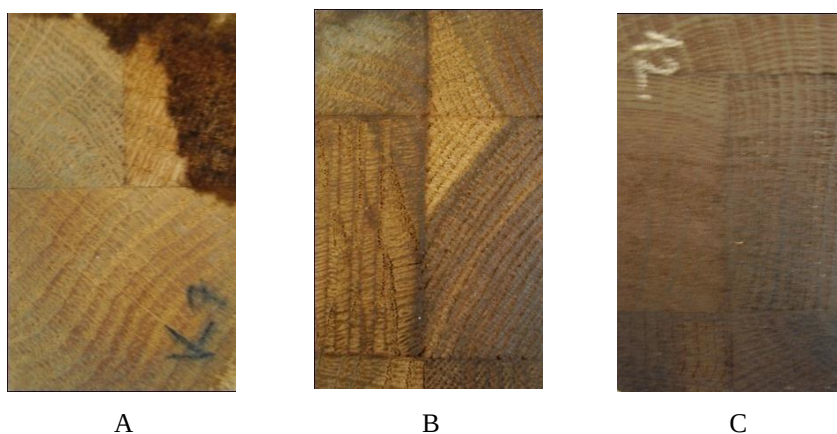
Postopek ocenjevanja smo opravljali po standardni metodi SIST EN 152. Stopnje pomodrelosti so bile različne glede na način obdelave in modifikacije. Kontrolni nemodificirani vzorci so zelo pomodreli v povprečju za 2,5 stopnje obarvanosti. Hrastovi vzorci so bili s pomočjo termične modifikacije dobro odporni na glive modrivke, le na nekaterih vzorcih pulta 170 °C se je nekaj poznalo, v povprečju za 0,08 stopnje. Na vzorcih pulta 200 °C ter kasneje lepljenih elementih pulta 170 °C in 200 °C pa nismo opazili nikakršnih sprememb (slika 19).



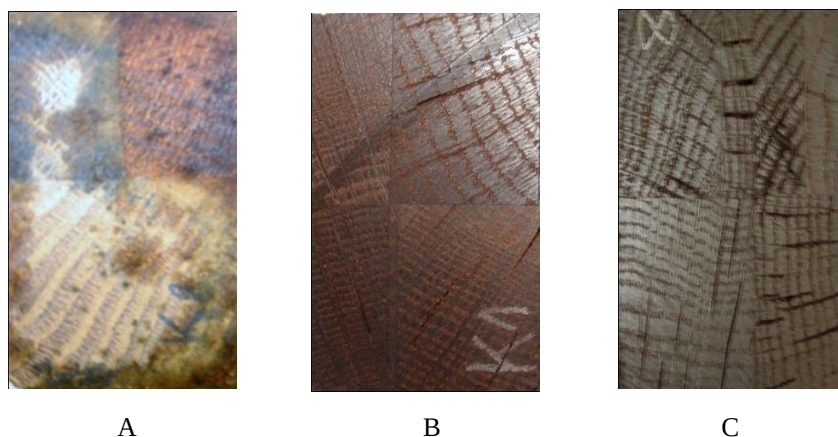
Slika 19: Povprečne ocene obarvanosti vzorcev hrasta

4.3.1.1 Globina obarvanja

Globinsko obarvanje smo zaznali le pri kontrolnih vzorcih. Le na nekaterih vzorcih pulta modificiranega pri 170 °C so se poznali sledovi gliv modrivk, vendar globinskega obarvanja nismo opazili. Ocenitev je oteževala tudi temnejša barva, ki je posledica termične modifikacije (slika 20 in 21).



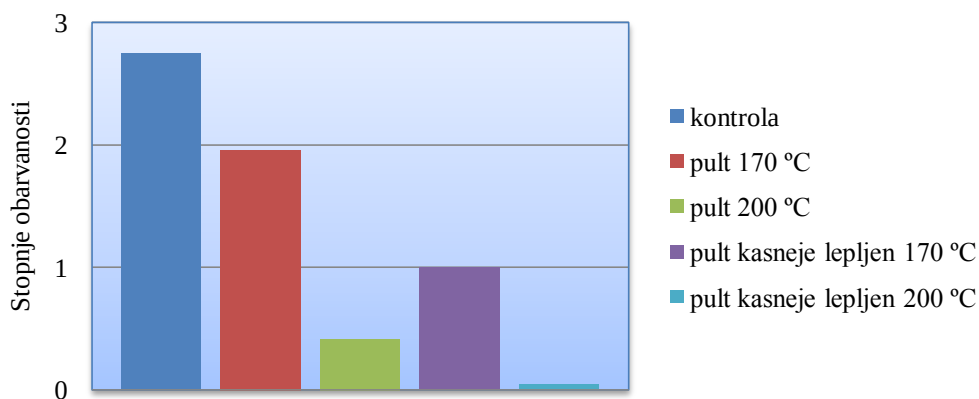
Slika 20: Obarvanost hrasta v globino: A-kontrolni pult, B-modificiran pult 170 °C, C-modificiran pult 200 °C



Slika 21: Obarvanost hrasta v globino: A-kontrolni pult, B-modificiran in kasneje lepljen pult 170 °C, C-modificiran in kasneje lepljen pult 200 °C

4.3.2 Povprečne ocene obarvanosti površine vzorcev bukovine

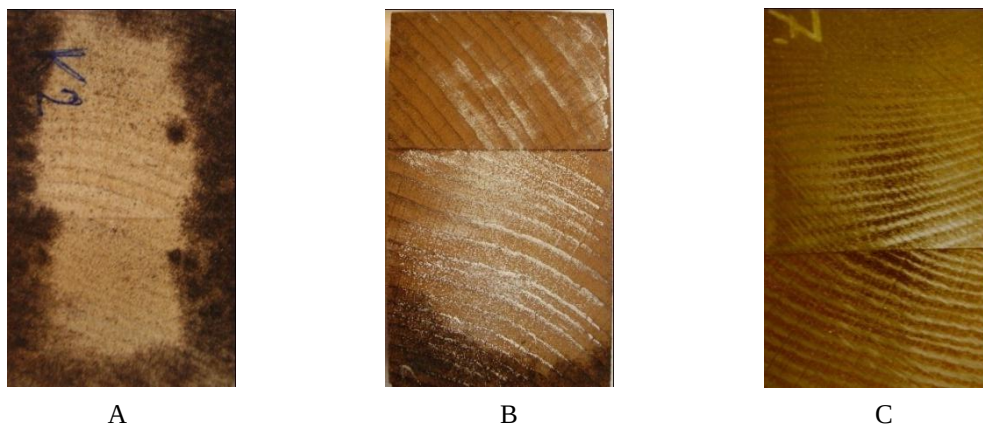
Kontrolni nemodificirani vzorci so zelo obarvani, v povprečju za kar 2,75 stopnje, kar kaže na vitalnost gliv. Elementi pulta modificirani pri 170 °C so pomodreli do 1,96 stopnje, elementi kasneje lepljenega pulta 170 °C z oceno 1 stopnje. Zelo dobro odpornost so pokazali vzorci pulta 200 °C, saj so dobili oceno 0,42. Najbolje pa so se odrezali elementi kasneje lepljenega pulta 200 °C, na katerih pa ni bilo opaziti nobenih barvnih sprememb (slika 22).



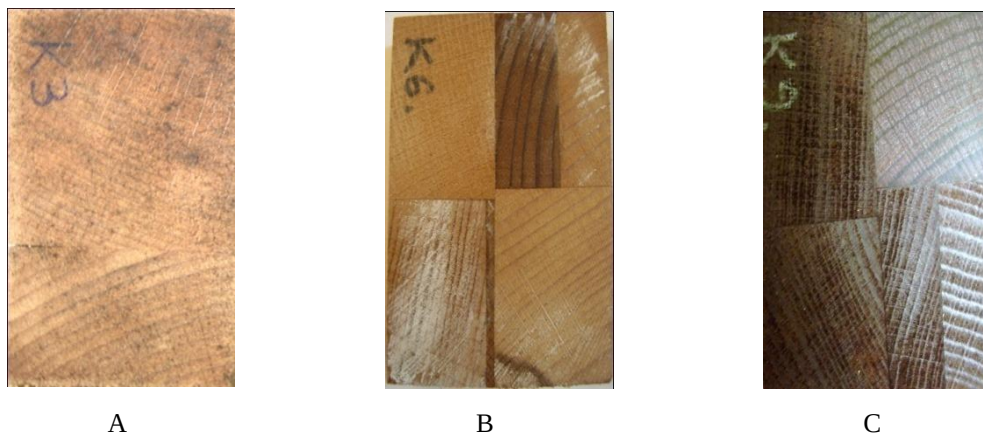
Slika 22: Povprečne ocene obarvanosti površine vzorcev bukovine

4.3.2.1 Globina obarvanja

Vzorci iz hrastovega lesa so bili bolj odpornejši na glive modrivke kot bukovi. Globinsko obarvanje smo opazili na kontrolnih vzorcih. Čeprav se je na vzorcih, ki so bili modificirani pri 170 °C, poznalo dosti površinske obarvanosti, globinskega obarvanja nismo zaznali. Tudi pri teh vzorcih je ocenjevanje oteževalo temnejše obarvanje (slika 23 in 24).



Slika 23: Obarvanost bukovine v globino: A-kontrolni pult, B-modificiran pult 170 °C, C-modificiran pult 200 °C

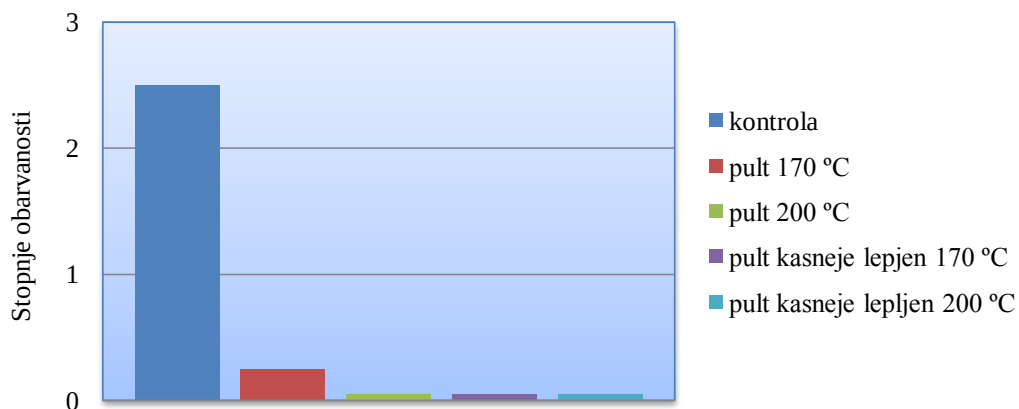


Slika 24: Obarvanost bukovine v globino: A-kontrolni pult, B-modificiran in kasneje lepljen pult 170 °C, C-modificiran in kasneje lepljen pult 200 °C

4.3.3 Povprečne ocene obarvanosti pod mikroskopom

4.3.3.1 Povprečne ocene obarvanosti vzorcev hrastovine

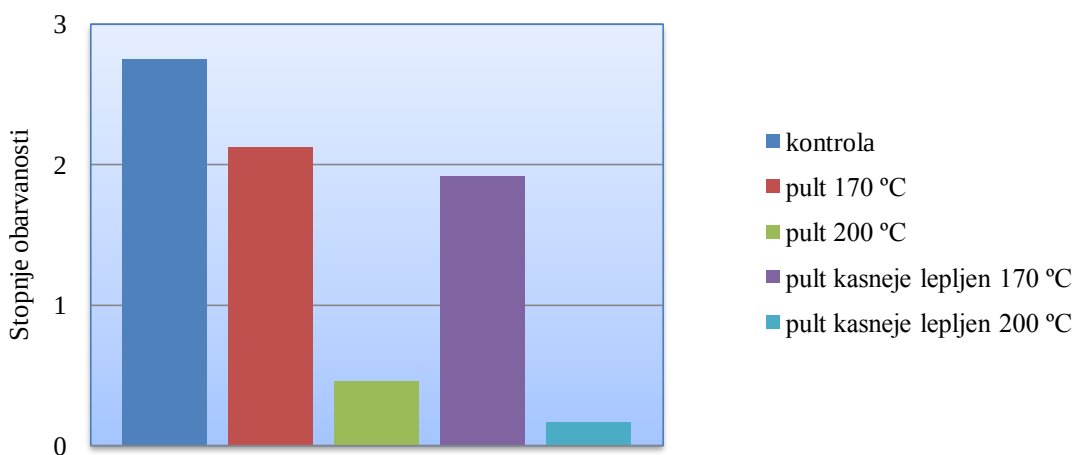
Pri hrastovih vzorcih se spremeni ocena obarvanosti le pri predhodno lepljenem pultu 170 °C, in sicer z 0,08 na 0,25 stopnje (slika 25).



Slika 25: Povprečne ocene obarvanosti vzorcev hrastovega pulta

4.3.3.2 Povprečne ocene obarvanosti vzorcev bukovine

Pod mikroskopom so ocene bukovih podobne vizualnim, le nekoliko se pri kasneje lepljenih elementih pulta 170 °C ocena poveča z 1 na 1,96 stopnje, pri 200 °C pa opazimo zelo majhno obarvanje ne nekaterih vzorcih, ki dosežejo vrednost 0,17 stopnje obarvanosti (slika 26).



Slika 26: Povprečne ocene obarvanosti vzorcev bukovega pulta

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Odpornost lesnih izdelkov na različne dejavnike je zelo pomembna. Za drevesne vrste, ki so manj odporne, je priporočljivo, da poskrbimo za preventivo - zaščito. Zelo pomembna je tudi dimenzijska stabilnost. Vendar pa se vedno pojavlja vprašanje okoljske sprejemljivosti. Eden od načinov okolju prijazne zaščite je termična modifikacija lesa. Modificiran les je dimenzijsko stabilnejši ter odpornejši na škodljivce.

Ugotovili smo, da so elementi hrastovega in bukovega pulta, modificirani pri 170 °C in 200 °C, dimenzijsko stabilnejši ter odpornejši na glive modrivke. Dimenzijsko stabilnost smo ugotavljali z namakanjem vzorcev v vodi, pri čemer smo merili povprečno povečanje dimenzij v radialni in tangencialni smeri. Pri ocenjevanju pomodrelosti smo uporabili vizualno oceno po standardu SIST EN 152. Na koncu smo jih ocenili še pod mikroskopom.

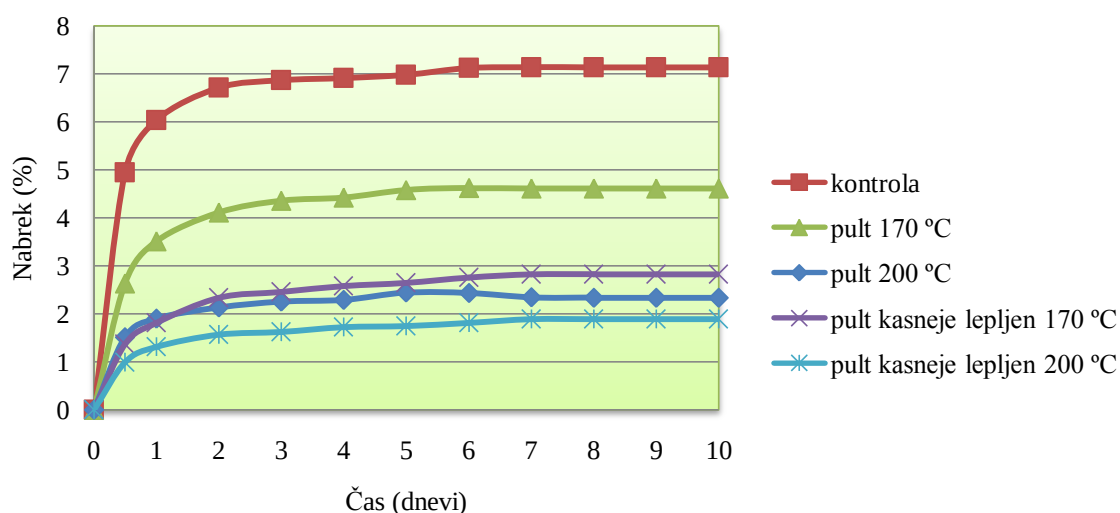
5.1.1 Izguba mase vzorcev po modifikaciji

Kot smo predvideli, so največ mase izgubili posamezni elementi lesa. Pri bukovini so pri 170 °C zgubili 4,7 %, pri 200 °C pa 18,0 %. Lepljeni elementi pulta so na masi najmanj izgubili v povprečju pri 170 °C 2,7 %, pri 200 °C pa 16,4 % mase. Največjo izgubo mase smo zabeležili pri vzorcih modificiranih pri 200 °C, pri elementih pulta 170 °C za kar šestkrat manj. Pri hrastu so največ mase izgubili modificirani vzorci pri 200 °C, pa vendar manj v primerjavi z bukovino, najmanj pa pri 170 °C. Pri hrastu ni tako velikih razlik med elementi lesa in vzorci pulta kot pri bukovini. Elementi za pult so izgubili 16,0 % mase pri 200 °C, ter 10,0 % pri 170 °C. Tako kot pri bukovini, smo tudi pri hrastu dobili manjšo izgubo mase pri elementih pulta, ki pa je znašala 15,4 % pri 200 °C, ter 6,9 % pri 170 °C.

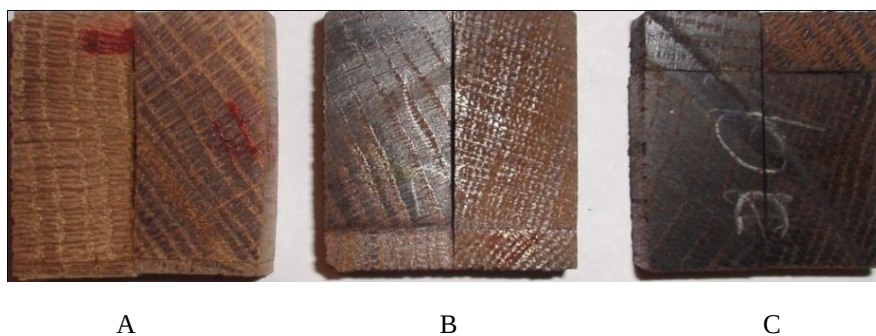
5.1.2 Nabrek pulta modificiranega pri 170 °C in 200 °C

Kot smo pričakovali, so imeli najmanjšo dimenzijsko stabilnost kontrolni hrastovi vzorci, saj so pri namakanju v povprečju dosegli 7,14 % povečanje dimenzij. Že po 12 urah smo izmerili skoraj 5 % nabrek, ki je nato le še rasel do šestega dne namakanja. Skoraj za polovico večjo stabilnost so imeli vzorci izdelani iz pulta, modificirani pri 170 °C. Njihov nabrek je po šestih dneh znašal 4,62 %, in so bili najslabše dimenzijsko stabilni izmed vseh testiranih modificiranih hrastovih vzorcev. Vzorci hrastovega pulta, ki so bili modificirani

pri 200 °C, so bili v primerjavi s kontrolnimi zelo dimenzijsko stabilni. Njihov maksimalen nabrek je po petih dneh znašal 2,34 %. Vzorci pulta, katerega elementi so bili najprej modificirani in nato zlepljeni v pult, so dosegli najboljše rezultate, tako pri 170 °C kot 200 °C. Pri 170 °C modificiranih vzorcih je prišlo po šestih dneh namakanja do manjših nihanj, ki pa so se stabilizirale po sedmih dneh na 2,83 % povečanje dimenzij. Pri hrastovih vzorcih, katerih modifikacija je potekala pri 200 °C, pa smo dobili najboljše rezultate med vsemi testiranimi vzorci. Njihovo nabrekanje je počasi naraščalo, in je po sedmih dneh doseglo le 1,89 % (slika 27). Pri nabrekanju so se pri nekaterih hrastovih vzorcih pojavile razpoke, predvsem pri predhodno lepljenih in nato modificiranih vzorcih. Do odstopanj je prišlo predvsem na lepilnih spojih (slika 28).

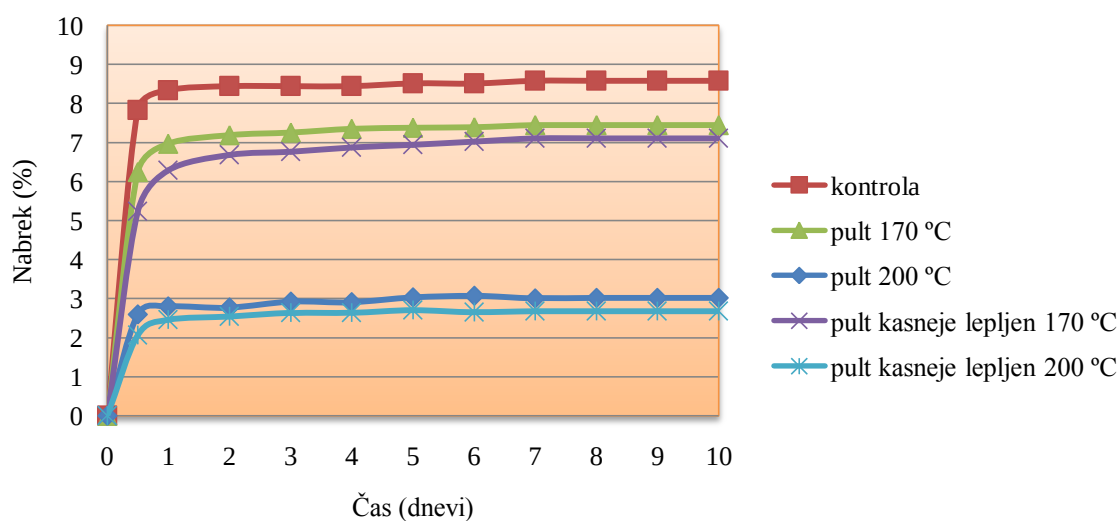


Slika 27: Nabrek modificiranega hrastovega pulta in pulta izdelanega iz modificiranih elementov hrasta

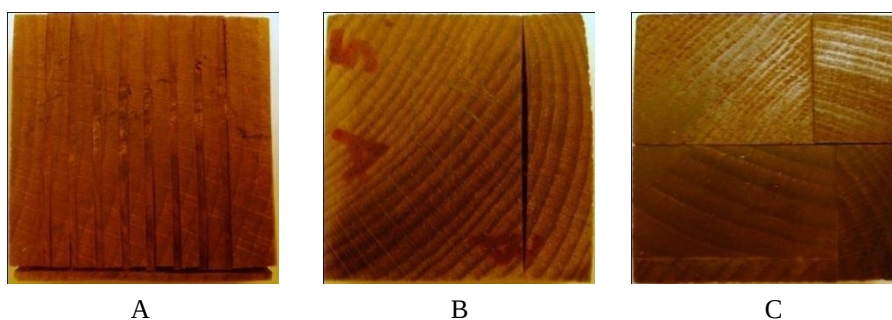


Slika 28: Razpoke na hrastovih vzorcih: A-kontrola, B-modificiran pult 170 °C, C-modificiran pult 200 °C

Tudi pri bukovih kontrolnih vzorcih smo zabeležili najslabšo dimenzijsko stabilnost, ki je po sedmih dneh namakanja znašala 8,59 % nabreka. Sledijo jim vzorci pulta modificirani pri 170 °C z nabrekom 7,45 %. Le nekoliko boljšo stabilnost smo zabeležili pri kasneje lepljenih vzorcih pulta modificiranih pri 170 °C, kjer je njihov nabrek znašal 7,11 %. Vzorci pulta, modificirani pri 200 °C, so se izkazali za precej bolj dimenzijsko stabilne v primerjavi z vzorci, ki so bili modificirani pri 170 °C. Njihov maksimalen nabrek je znašal 3,02 %, izmerili pa smo ga po petih dneh meritev. Najboljše rezultate, izmed vseh bukovih vzorcev, smo dobili pri vzorcih kasneje lepljenega pulta, modificiranega pri 200 °C. Nabrek teh je znašal 2,68 % (slika 29). Vendar so se pri teh vzorcih pojavljale posamezne razpoke, največkrat na lepilnih spojih (slika 30).



Slika 29: Nabrek modificiranega bukovega pulta in pulta izdelanega iz modificiranih elementov bukve



Slika 30: Razpoke na bukovih vzorcih: A-kontrola, B-modificiran pult 170 °C, C-modificiran pult 200 °C

5.1.3 Odpornost različno temperaturno modificiranega pulta na glive modrivke

Odpornost proti glivam modrivkam smo ocenjevali po standardni metodi SIST EN 152. Kontrolni bukovi in hrastovi vzorci so bili zelo podvrženi modrenju, kar je tudi pogoj, da so testi regularni (vsaj druga stopnja obarvanosti).

Hrastovi kontrolni vzorci so zelo pomodreli. Njihova ocena je bila 2,5 stopnje obarvanosti. Izmed vseh modificiranih vzorcev smo samo na vzorcih pulta, modificiranega pri 170 °C, zasledili malo pomodrelosti, in sicer v povprečju 0,08 stopnje. Na ostalih modificiranih vzorcih nismo zaznali barvnih sprememb, kar priča o odpornosti hrasta v kombinaciji s termično modifikacijo. Tudi pod mikroskopom ni bilo zaznati bistvenih sprememb. Le pri vzorcih pulta, modificiranega pri 170 °C, se je vrednost nekoliko dvignila na 0,25 stopnje obarvanosti. Glede na močno pomodrelost hrastovih kontrolnih vzorcev je zaščitni učinek modifikacije na pomodrelost pri hrastu najbolj izrazit.

Vzorci bukovega pulta modificiranega pri 170 °C so bili bolj slabo odporni. Njihova povprečna obarvanost je znašala 1,96 stopnje. Dosti boljšo odpornost smo opazili pri vzorcih kasneje lepljenega pulta 170 °C, saj je povprečna ocena znašala 1 stopnje. Zelo majhno pomodrelost smo zaznali na vzorcih pulta 200 °C. Njihova vrednost je znašala 0,42 stopnje. Pri vzorcih kasneje lepljenega pulta, modificiranega pri 200 °C, pa nismo opazili nobenih barvnih sprememb oz. sledi modrenja. Kot je bilo pričakovati, so bili vzorci, ki so bili modificirani pri 200 °C, dosti bolj odporni na glive modrivke, kot vzorci modificirani pri 170 °C, nemodificirani pa so bili zelo podvrženi modrenju. Pri pregledu vzorcev pod mikroskopom so se ocene le nekoliko dvignile. Razlike so se pokazale na vzorcih kasneje lepljenega pulta, modificiranega pri 200 °C, in sicer 0,17 stopnje, česar s prostimi očmi nismo opazili.

5.2 SKLEPI

Z raziskavami smo ugotovili, da se z večanjem temperature modifikacije povečuje tudi delež izgube mase. Vendar pa je zmanjšanje mase odvisno tudi od obdelave, saj so vzorci pulta, ki so bili najprej lepljeni in kasneje modificirani, izgubili precej manj mase od samih modificiranih elementov lesa.

Tudi dimenzijska stabilnost se povečuje z večanjem temperature modifikacije. Pri hrastovini smo opazili največje odstopanje pri vzorcih pulta 170 °C, saj so bili najbolj

podvrženi nabrekanju (4,62 %). Vzorci, pri 200 °C modificiranega pulta ter kasneje lepljeni vzorci pulta modificirani pri 170 °C in 200 °C, so si bili po rezultatih dokaj blizu. Najbolj dimenzijsko stabilni so bili vzorci kasneje lepljenega pulta, modificirani pri 200 °C, in sicer 1,89 %.

Pri bukovini se razlika v dimenzijski stabilnosti med vzorci, modificiranimi pri 170 °C in 200 °C, kaže bolj izrazito. Vendar pa se ta ni bistveno izboljšala pri vzorcih pulta in kasneje lepljenega pulta, ki so bili modificirani pri 170 °C. Dosti boljšo dimenzijsko stabilnost so imeli vzorci modificirani pri 200 °C. Razlike med obdelavama niso bile izrazite, kljub temu so bili stabilnejši vzorci kasneje lepljenega pulta. Njihov nabrek je znašal 2,68 %. Modificirani vzorci so po nabrekanju imeli manj razpok pri 200 °C kot pri 170 °C.

Termično obdelan les je zanesljiva zaščita pred glivami modrivkami. Vendar je stopnja zaščite odvisna od vrste lesa in temperature modifikacije. Bukovi vzorci, modificirani pri 170 °C, so bili slabo odporni na modrenje, skoraj popolnoma neobarvani pa so bili vzorci modificirani pri 200 °C, kar se smatra za uspešno zaščito. Modificirani hrastovi vzorci so bili zelo odporni na glive modrivke že pri 170 °C. Le na posameznih delih so se poznale sledi obarvanja. Vzorci pri 200 °C pa so bili povsem odporni na modrenje.

6 POVZETEK

Namen diplomske naloge je bil ugotoviti dimenzijsko stabilnost termično modificiranega kuhinjskega pulta ter njegovo odpornost proti modrenju. Ugotavljali smo tudi, kako vpliva na dimenzijsko stabilnost različna termična obdelava pulta. Uporabili smo vzorce pulta, ki so bili najprej zlepljeni in nato modificirani ter vzorce, ki so bili najprej modificirani in nato zlepljeni v pult.

Vzorci so bili izdelani iz lesa hrasta in bukovine. Dimenzije vzorcev za dimenzijsko stabilnost so bile $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 1\text{ cm}$, za preizkušanje odpornosti proti glivam pa $7\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 1\text{ cm}$.

Postopek modifikacije je potekal v vakuumsko tlačni komori Kambič s predhodnim vakuumom pri temperaturi $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Postopek je bil sestavljen iz treh faz: vakuumiranja in segrevanja na določeno temperaturo, vzdrževanja temperature (v našem primeru tri ure) ter ohlajanja.

Preizkušanje dimenzijske stabilnosti smo opravljali na vzorcih potopljenih za določen čas v vodi. V časovnih presledkih (12 ur, 1, 2, ... 10 dni) smo jim s kljunastim merilom izmerili nabrek na $0,01\text{ mm}$ natančno. To smo opravljali tako dolgo, da se dimenzije niso več spreminjale.

Odpornost na glive modrivke je potekala po standardni metodi SISI EN 152. Vzorce, ki smo jih za štiri tedne izpostavili glivam modrivkam, smo vizualno ocenjevali pomodrelost. Na koncu smo vzorce ocenjevali še pod mikroskopom.

Iz rezultatov je razvidno, da se dimenzijska stabilnost lesa z modifikacijo pri $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ kot pri $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ poveča. Posebej je to opaziti pri bukovini, kjer je razlika kar $4,43\%$. Pri hrastovini so razlike manjše, izstopa hrastov pult, modificiran pri $170\text{ }^{\circ}\text{C}$, ki je še vedno precej nabrekal ($4,62\%$). Nekoliko manjše nabrekanje pa je bilo pri kasneje lepljenih hrastovih vzorcih. Domnevamo, da zaradi nekoliko večje stopnje modifikacije elementov lesa, v primerjavi s hrastovimi vzorci pulta.

Odpornost modificiranega hrastovega lesa proti glivam modrivkam je zelo učinkovita tako na modifikaciji pri $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ kot $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Modificirana bukovina je bila na modrenje manj odporna tako pri $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ kot pri $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Odpornost na modrivke je torej odvisna od drevesne vrste, kot tudi od temperature modifikacije.

7 VIRI

- Beall F.C., Eickner H.W. 1970. Thermal degradation of wood components. *Wood Science and Technology*, 5, 3: 159-175
- Elder T. 1991. The pyrolysis of wood. V: *Wood and Cellulose Chemistry*. Hon, D.N.S., Shiraishi N. (ed.). New York, Marcel Dekker: 665 - 699
- Feist W.C., Sell J. 1987. Weathering behavior of dimensionally stabilized wood treated by heating under pressure of nitrogen gas. *Wood and fiber science*, 19, 2: 183-195
- Gorišek Ž. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije: 235 str.
- Hill C.A.S. 2006. Wood modification, Chemical, Thermal and Other processes. Chichester, Wiley & Sons: 239 str.
- Mayes D. and Oksanen O. 2002. *ThermoWood Handbook*. Finnforest: 52 str.
- Patzelt M., Stingl R., Teischinger A. 2002. Thermische Modifikation von Holz und deren Einfluss auf ausgewählte Holzeigenschaften. V: *Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte*. Teischinger A., Stingl R. (ed.). Wien, Lignovisionen: 101-147
- Pečenko G. 1987. Zaščita lesa v praksi. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije: 221 str.
- Rapp A.O., Sailer M. 2001. Oil heat treatment of wood in Germany – state of the art. V: *Review on heat treatments of wood*. Rapp A.O. (ed.). Luxemborg, Office for Official Publications of the European Communities: 18 str.
- Raggers J. 2007 *Process / Durability*, Larenstein, Velp: 91 str.
<http://www.ivalsa.cnr.it/euris/english/4/4.pdf>
- Rep. G., Pohleven F. 2001. Wood modification – a promising method for wood preservation. *Drvna industrija*, 52, 2: 71-76
- Rep G., Pohleven F., Bučar B. 2004. Characteristics of thermally modified wood in vacuum. *IRG/WP 04 – 40287*: 8 str.
- Sailer M., Rapp A. O. 2000. Upgrading of wood by application of oil-heat treatment. *Holz als Roh und Werkstoff*, 58, 1-2: 15-22
- Schmidt O. 2006. *Wood and Tree Fungi, Biology, Damage, Protection, and Use*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag: 334 str.

SIST EN 152/1. Metode preizkušanja zaščitnih sredstev za les – Laboratorijska metoda za določanje preventivne učinkovitosti zaščitnega sredstva proti glivam modrivkam – 1. Del: Nanašanje s premazovanjem. 1988: 31 str.

Shafizadeh F., Chin P.P.S. 1977. Thermal deterioration of wood. V: Wood Technology: Chemical Aspects. Goldstein, I.S. (ed.) ACS Symposium Series, 43: 57-81

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

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

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

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

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Francu Pohlevnu za pomoč in vodenje pri opravljanju diplomske naloge, recenzentu izr. prof. dr. Milanu Šerneku za opravljeno strokovno recenzijo ter ostalim na Katedri za patologijo in zaščito lesa, ki so mi kakorkoli pomagali. Hvala tudi podjetju SVEA Lesna industrija d.d., Zagorje ob Savi, kjer so mi pripravili vzorce za testiranje.

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