

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Niko ŠTABUC

**VPLIV TEMPERATURE IN TRAJANJA
POSTOPKA TERMIČNE MODIFIKACIJE LESA
NA FUNGICIDNE LASTNOSTI MODIFICIRANEGA LESA**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**INFLUENCE OF TEMPERATURE AND DURATION
OF THERMAL MODIFICATION PROCESS
ON FUNGICIDAL PROPERTIES OF MODIFIED WOOD**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega 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. Miha Humarja, za somentorja dr. Boštjana Lesarja in za recenzenta prof. dr. Franca Pohlevna.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Niko ŠTABUC

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
DK UDK 630*844
KG les/termična modifikacija/temperatura/čas/odpornost/navzem
AV ŠTABUC, Niko
SA HUMAR, Miha (mentor)/LESAR, Boštjan (somentor)/POHLEVEN, Franc (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2012
IN VPLIV TEMPERATURE IN TRAJANJA
POSTOPKA TERMIČNE MODIFIKACIJE LESA
NA FUNGICIDNE LASTNOSTI MODIFICIRANEGA LESA
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP X, 49 str., 7 pregl., 22 sl., 32 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Termična modifikacija je eden izmed komercialno najuspešnejših postopkov modifikacije. Pomemben kazalnik kakovosti termične modifikacije lesa je izguba mase, ki je funkcija časa in temperature izpostavitve. Ugotavljali smo, kateri parameter bolj vpliva na odpornost lesa na glive razkrojevalke. Vzorce bukovine, ki so bili 1, 1,5; 2; 3; 4; 6; 8; 16; 36 ur termično modificirani pri temperaturi 180 °C in 220 °C, smo izpostavili glivi *Trametes versicolor*. Smrekovino, ki je bila 1, 1,5; 2; 3; 4; 6; 10; 16; 36; 72 ur termično modificirana pri temperaturi 180 °C in 220 °C, smo izpostavili glivi *Gloeophyllum trabeum*. Po 16 tednih izpostavitve vzorcev glivam smo z gravimetrično metodo določili izgubo mase in jo primerjali z izgubo mase med samim postopkom termične modifikacije. Ugotovili smo, da je odpornost lesa proti glivam v linearni povezavi z izgubo mase, nastale med postopkom termične modifikacije. Kako pridemo do izgube mase med termično modifikacijo (daljši čas in nižja temperatura ali krajši čas in višja temperatura) ni pomembno, saj je odpornost proti glivam primerljiva. Pri modifikaciji pri nižji temperaturi (180 °C) ne dosežemo dovolj velikih stopnje modifikacije, da bi les ustrezno zaščitili. Vpliv postopkov termične modifikacije na kratkotrajne navzeme vode smo določali s tenziometrom, in ugotovili, da so vzorci z višjo stopnjo modifikacije bolj hidrofobni.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 630*844
CX wood/thermal modification/ temperature/ time/resistance/sorption
AU ŠTABUC, Niko
AA HUMAR, Miha (supervisor)/LESAR, Boštjan (co-supervisor)/POHLEVEN, Franc (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2012
TI INFLUENCE OF TEMPERATURE AND DURATION OF THERMAL MODIFICATION PROCESS ON FUNGICIDAL PROPERTIES OF MODIFIED WOOD
DT Graduation Thesis (University studies)
NO X, 49 p., 7 tab., 22 fig., 32 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Thermal modification is one of the commercially most successful modification processes. One of the main parameters of quality of thermally modified wood is the loss of mass during the process, which is a function of time and temperature. We examined which parameter has more influence on wood resistance to fungus decay. Samples of beech were thermally modified at temperatures 180 °C and 220 °C for 1; 1,5; 2; 3; 4; 6; 8; 16; 36 hours, and exposed to *Trametes versicolor*. Samples of spruce were thermally modified at the same temperatures for 1; 1,5; 2; 3; 4; 6; 10; 16; 36; 72 hours, and exposed to *Gloeophyllum trabeum*. After 16 weeks of exposure to the fungi, the loss of mass was determined with a gravimetric method, and compared to the loss of mass caused by thermal modification process. The resistance of wood against decay caused by fungi is linearly correlated with the loss of mass due to thermal modification. It is not important how mass loss during the thermal modification is obtained (longer time and lower temperature or shorter time and higher temperature) the resistance to fungi being comparable. Using thermal modification at lower temperature (180 °C) we cannot achieve adequate modification to sufficiently protect the wood against fungi. The effect of thermal modification processes on short term absorption of water was determined with tensiometer; the samples with a higher level of modification were more hydrophobic.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD).....	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	X
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	2
1.2 CILJI NALOGE	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 NARAVNA ODPORNOST LESA	3
2.2 MODIFIKACIJA LESA.....	3
2.3 TERMIČNA MODIFIKACIJA LESA.....	4
2.4 PARAMETRI TERMIČNE MODIFIKACIJE.....	4
2.4.1 Temperatura in trajanje postopka modifikacije.....	4
2.4.2 Drevesna vrsta	5
2.5 KEMIČNE SPREMEMBE ZARADI TERMIČNE MODIFIKACIJE.....	5
2.5.1 Hemiceluloza.....	5
2.5.2 Celuloza	6
2.5.3 Lignin	6
2.6 FIZIKALNE SPREMEMBE ZARADI TERMIČNE MODIFIKACIJE	7
2.6.1 Izguba mase	7
2.6.2 Barva in vonj	8
2.6.3 Dimenzijska obstojnost in higroskopnost	9
2.6.4 Mehanske lastnosti	10
2.6.5 Vrednost pH.....	10
2.6.6 Odpornost proti glivam in insektom	10
2.7 GLIVE.....	11
2.7.1 Bela trohnoba	11
2.7.1.1 Pisana ploskocevka (<i>Trametes versicolor</i>).....	12
2.7.2 Rjava trohnoba.....	13
2.7.2.1 Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i>).....	13
3 MATERIAL IN METODE.....	15
3.1 MATERIALI.....	15

3.1.1	Vzorci lesa	15
3.1.2	Uporabljene lesne glive	16
3.2	METODE	16
3.2.1	Določanje odpornosti termično modificiranega lesa proti glivam.....	16
3.2.2	Določitev kratkotrajnega navzema vode s tenziometrom.	21
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	22
4.1	REZULTATI TERMIČNO MODIFICIRANE BUKOVINE.....	22
4.1.1	Izguba mase po 16 tednih izpostavitve glivi <i>Trametes versicolor</i>	22
4.1.2	Povezava med izgubo mase med modifikacijo in izgubo mase zaradi delovanja glive <i>Trametes versicolor</i>.....	25
4.1.3	Povezava med barvo vzorcev in izgubo mase zaradi delovanja glive <i>Trametes versicolor</i>.....	27
4.2	REZULTATI TERMIČNO MODIFICIRANE SMREKOVINE	30
4.2.1	Izguba mase po 16 tednih izpostavitve glivi <i>Gloeophyllum trabeum</i>.....	30
4.2.2	Povezava med izgubo mase med modifikacijo in izgubo mase zaradi delovanja glive <i>Gloeophyllum trabeum</i>	34
4.2.3	Povezava med barvo vzorcev in izgubo mase zaradi delovanja glive <i>Gloeophyllum trabeum</i>.....	36
4.3	VPLIV POSTOPKOV MODIFIKACIJE NA KRATKOTRAJNI NAVZEM VODE, DOLOČEN S TENZIOMETROM	38
4.3.1	Kratkotrajni navzemi vode pri bukovih vzorcih.....	38
4.3.2	Kratkotrajni navzemi vode pri smrekovih vzorcih.....	40
5	SKLEPI	43
6	POVZETEK.....	45
7	VIRI.....	46

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Glive razkrojevalke lesa uporabljene pri eksperimentu	16
Preglednica 2: Povprečne izgube mase in vlažnosti bukovih vzorcev izpostavljenih glivi <i>Trametes versicolor</i> , v odvisnosti od temperature modifikacije, časa modifikacije in staranja	23
Preglednica 3: Povezava med izgubo mase zaradi postopka modifikacije in izgubo mase po izpostavitvi glivi <i>Trametes versicolor</i>	26
Preglednica 4: Povezava med barvnimi spremembami modificiranih vzorcev in izgubo mase zaradi izpostavitve glivi <i>Trametes versicolor</i>	28
Preglednica 5: Povprečne izgube mase in vlažnosti smrekovih vzorcev izpostavljenih glivi <i>Gloeophyllum trabeum</i> , v odvisnosti od temperature modifikacije, časa modifikacije in staranja	32
Preglednica 6: Povezava med izgubo mase zaradi postopka modifikacije in izgubo mase po izpostavitvi glivi <i>Gloeophyllum trabeum</i>	35
Preglednica 7: Povezava med barvnimi spremembami modificiranih vzorcev in izgubo mase zaradi izpostavitve glivi <i>Gloeophyllum trabeum</i>	37

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Izguba mase v odvisnosti od trajanja in temperature modifikacije (Altgen in sod., 2012).....	8
Slika 2: Barvne spremembe v odvisnosti od izgube mase zaradi termične modifikacije (Altgen in sod., 2012).....	9
Slika 3: Eksikator (levo) in elektronska tehtnica (desno)	17
Slika 4: Sterilizirani kozarci s hranilnim gojiščem	18
Slika 5: Avtoklav.....	18
Slika 6: Eksperimentalni kozarec v katerem raste navadna tramovka.....	19
Slika 7: Popolnoma prekriti modificirani in kontrolni vzorci po 16 tednih izpostavitve.....	20
Slika 8: Tenzimeter Krüss K100 (levo) in vzorec v tenziometru (desno).....	21
Slika 9: Izguba mase staranih in ne starani bukovih vzorcev po izpostavitvi glivi <i>Trametes versicolor</i> v odstotkih, v odvisnosti od stopnje modifikacije.....	24
Slika 10: Izguba mase kontrolnih bukovih vzorcev po izpostavitvi glivi <i>Trametes versicolor</i>	25
Slika 11: Povezava med izgubo mase v procesu modifikacije in izgubo mase po 16 tedenski izpostavitvi glivi <i>Trametes versicolor</i>	27
Slika 12: Povezava med barvnimi spremembami in izgubo mase po izpostavitvi glivi <i>Trametes versicolor</i>	29
Slika 13: Bukovi modificirani vzorci po izpostavitvi glivi <i>Trametes versicolor</i>	29
Slika 14: Primerjava kontrolnih borovih in smrekovih modificiranih vzorcev po izpostavitvi glivi <i>Gloeophyllum trabeum</i>	31
Slika 15: Izguba mase staranih in ne staranih smrekovih vzorcev po izpostavitvi glivi <i>Gloeophyllum trabeum</i> v odstotkih, v odvisnosti od stopnje modifikacije.....	33
Slika 16: Izguba mase kontrolnih smrekovih vzorcev po izpostavitvi glivi <i>Gloeophyllum trabeum</i>	34
Slika 17: Povezava med izgubo mase zaradi termične modifikacije proti izgubi mase zaradi razkroja glive <i>Gloeophyllum trabeum</i>	36
Slika 18: Povezava med barvnimi spremembami in izgubo mase	38
Slika 19: Navzem vode bukovih vzorcev v času 200 sekund	39
Slika 20: Vpliv temperature in trajanja modifikacije na navzem vode	40

Slika 21: Navzem vode smrekovih vzorcev v času 200 sekund	41
Slika 22: Vpliv temperature in trajanja modifikacije na navzem vode	42

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

- Tv** *Trametes versicolor* – pisana ploskocevka
- Gt2** *Gloeophyllum trabeum* – navadna tramovka
- TNCS** točka nasičenja celičnih sten – stanje v katerem so celične stene nasičene z vezano vodo medtem, ko lumni ne vsebujejo proste vode
- R²** število med 0 in 1, ki nam pove kako blizu so ocenjene vrednosti trendne črte dejanskim podatkom. Trendna črta je zanesljivejša ko je njena vrednost R² blizu 1.
- PDA** krompirjev dekstrozni agar.

1 UVOD

Zaradi naše geografske lege rastejo pri nas in v celotni Evropi razmeroma slabše odporne drevesne vrste. V želji, da bi povečali trajnost lesenih izdelkov, uporabljamo različne postopke zaščite lesa. Bolj kot sama zaščita je potrebna pravilna konstrukcijska vgraditev in uporaba ustrezne drevesne vrste. Ker pa velikokrat teh pogojev ne moremo zagotoviti, les ustrezno zaščitimo. Ker je les okolju prijazen material moramo poskrbeti, da tak tudi ostane, zato se je razvila modifikacija lesa.

Termična modifikacija lesa se je v Evropi že uveljavila kot ustrezna zaščita lesa, tako z vidika zaščite proti glivam, kot tudi z okoljskega vidika. Okoljsko in ekonomsko gledano predstavlja glavni problem predvsem energija, ki jo potrebujemo za segrevanje lesa, vendar pa lahko to kompenziramo z daljšo življenjsko dobo izdelka, ob predpostavki, da les, ki je ustrezno modificiran, uporabimo v ustreznem okolju. Tako na primer toplotno modificiran les ni primeren za vgradnjo v zemlji ali v stiku z njo. Okoljsko primernost modificiranega lesa lahko močno izboljšamo z uporabo obnovljivih virov energije za pridobivanje toplotne energije.

Glavna prednost termične modifikacije je v tem, da je relativno enostavna in brez uporabe kemičnih sredstev. Les segrejemo pri zmanjšani koncentraciji kisika (da preprečimo razgradnjo gradnikov celične stene) na visoko temperaturo, kar pa ima za posledico spremembe v sami celični steni. Najprej pride do sprememb v hemicelulozi, nato še v celulozi in ligninu, kjer se polimeri delno razgradijo in ob ohlajanju ponovno premrežijo. Modificiran les tako ni več sposoben vezati enake količine vode kot prej, zato je dimenzijsko bolj obstojen, vendar se mu poslabšajo mehanske lastnosti, zato ni primeren za konstrukcijsko uporabo.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Postopek termične modifikacije poteka tako, da les za določen čas izpostavimo visoki temperaturi (170 °C do 240 °C), ob čim nižji koncentraciji kisika. Lastnosti modificiranega lesa so v največji meri odvisne od temperature modifikacije in časa trajanja postopka. Najpogosteje se kot merilo učinkovitosti modifikacije uporablja izguba mase. Izguba mase je funkcija časa modifikacije in temperature modifikacije. V okviru te naloge smo zato osvetlili vprašanje, ali ima les, ki je bil daljši čas modificiran pri nižji temperaturi primerljive lastnosti z lesom, ki je bil modificiran krajši čas pri višji temperaturi.

1.2 CILJI NALOGE

Pokazati kako vpliva postopek modifikacije na odpornost bukovega lesa proti pisani ploskocevki - *Trametes versicolor* in na odpornost smrekovega lesa proti navadni tramovki - *Gloeophyllum trabeum*. V drugem delu pa smo želeli dokazati povezavo med postopkom modifikacije in kratkotrajnim navzemom vode.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Les, modificiran pri višjih temperaturah in daljšem trajanju modifikacije, bo bolj odporen proti lesnim glivam, kot les pri nižjih temperaturah in krajšem času modifikacije. Temperatura modifikacije ima večji vpliv na zaščito lesa, kot čas modifikacije. Navzem vode določen s tenziometrom bo odvisen od stopnje modifikacije.

2 PREGLED OBJAV

2.1 NARAVNA ODPORNOST LESA

Dejavniki, ki vplivajo na razkroj lesa in s tem na njegovo naravno odpornost se delijo v dve skupini, na abiotske in biotske. Najpomembnejši abiotski faktorji razkroja so ogenj, vremenski vplivi, mehanske sile, UV (razgradnja lignina), kisik (celuloza, hemiceluloza) in povzročajo počasen razkroj, za približno 8 % v 10 letih. V primerjavi z večino abiotskih dejavnikov razkroja, so biotski dejavniki bistveno hitrejši (z izjemo ognja). Nekatere glive lahko povzročijo primerljivo izgubo mase lesa v desetih dneh, medtem ko nekateri abiotski dejavniki razkroja za to potrebujejo deset let. Najpomembnejši biotični dejavniki so: glive, insekti, bakterije...

Standard SIST EN 350-1 (1994) definira naravno odpornost kot lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in označuje dovzetnost na škodljivce. Razlike v odpornosti se dogajajo že znotraj drevesa, predvsem med beljavo in jedrovino, kjer ima jedrovina boljšo odpornost zaradi vsebnosti ekstraktivov, beljava pa pri vseh lesnih vrstah po standardu SIST EN 350-2 (1994) spada v najnižji peti odpornostni razred (Lesar in sod., 2008).

Na naravno odpornost vpliva več faktorjev, kot so razlike med različnimi vrstami lesa, razlike znotraj vrste, ki so odvisne predvsem od rastišča, vpliva pa tudi čas sečnje. Ker nimamo vedno na razpolago zelo odpornih lesnih vrst, kot so tropske vrste, se poslužujemo naših, ki pa imajo žal razmeroma nizko odpornost. V želji, da bi podaljšali njihovo uporabno vrednost se poslužujemo različnih zaščitnih ukrepov. Najbolj učinkovit in preprost je ta, da les pravilno konstrukcijsko zaščitimo. Kadar pa to ni mogoče, imamo na razpolago tudi nekatere okolju prijazne zaščitne postopke.

2.2 MODIFIKACIJA LESA

Modifikacija lesa obsega delovanje kemičnih, bioloških ali fizičnih sredstev na material, katerih posledica je izboljšanje izbranih relevantnih lastnosti modificiranega lesa.

Modificiran les ne sme vsebovati nobenih strupenih snovi med uporabo izdelka in tudi po koncu njegove uporabe mora omogočati reciklažo oziroma ponovno uporabo (Hill, 2006).

2.3 TERMIČNA MODIFIKACIJA LESA

Termična obdelava lesa je bila med prvimi industrijskimi postopki, s katerimi so zmanjšali dimenzijsko obstojnost lesa in je komercialno najbolj pogosto uporabljen postopek modifikacije lesa. Eden prvih raziskovalcev termične obdelave lesa je bil Tiemann, ki je že leta 1915 objavil, da se lesu, ki je izpostavljen visokim temperaturam, spremenijo fizikalne lastnosti (Hill, 2006; Gorišek, 2007).

Bistvo termične modifikacije je v tem, da spremenimo strukturo celične stene. Med procesom segrevanja in nato ohlajanja, nekateri polimeri razpadejo, zlasti hemiceluloza, in nastanejo nove spojine (Rep in Pohleven, 2001). Glavna posledica segrevanja je zmanjšana higroskopsnost (zmožnost snovi vezati vodo nase) lesa, zaradi zamreževanja, zmanjšanja števila prostih OH skupin ali nezaželenim cepljenjem verig polimerov (Homan in sod., 2000). Rezultat je torej manj higroskopen les in s tem tudi dimenzijsko obstojnejši material, ki je po drugi strani tudi bolj odporen proti glivam in insektom (Patzelt in sod., 2002).

V komercialnem merilu so razviti različni postopki termične modifikacije, z namenom, da se izboljša dimenzijska obstojnost, barva in odpornost na škodljivce. Postopki se razlikujejo predvsem v deležu prisotnega kisika med postopkom, temperaturi modifikacije, trajanju postopka, uporabi olj, mokrem ali suhem procesu. Temperature modifikacije lesa se gibljejo med 160 °C in 260 °C (Militz, 2002). Če so temperature pod 140 °C se material le malo spremeni, če pa so temperature lesa nad 300 °C pride do znatne degradacije materiala in les povsem poogleni (Hill, 2006).

2.4 PARAMETRI TERMIČNE MODIFIKACIJE

2.4.1 Temperatura in trajanje postopka modifikacije

Ko se les segreva, pride do spremembe mase, sprva zaradi difuzije vezane vode in hlapnih ekstraktivov. S povečevanjem temperature se začnejo dogajati kemijske spremembe na celičnih stenah, čemur sledi nadaljnja izguba mase in sprememba barve lesa (Hill, 2006).

Temperatura močno vpliva na lastnosti modificiranega lesa. Z višjo temperaturo dosežemo boljšo odpornost lesa proti glivam in boljšo dimenzijsko stabilnost. Slaba stran pa je, da se poslabšajo mehanske lastnosti, predvsem udarna žilavost. Zaradi tega je potrebno izbrati kompromis med temperaturo modifikacije glede na čas modifikacije in namenom uporabe modificiranega lesa (Patzelt in sod., 2002).

2.4.2 Drevesna vrsta

Termično modificiramo predvsem cenejše, manj odporne vrste lesa kot so: smrekovina, jelovina, topolovina, brezovina, borovina in jim s tem povečamo možnost uporabe (Kariž in Šernek, 2008). Proces modifikacije je za vsako drevesno vrsto različen. Končni rezultat je, zaradi različne kemijske sestave in anatomske zgradbe posamezne lesne vrste, različen. Glede na namen uporabe se običajno za iglavce uporablja strožji režim modifikacije kot za listavce, saj les iglavcev uporabljamo v zunanjih konstrukcijah, kjer je potrebna zaščita pred vlago. Listavce pa pogosteje vgrajujejo v notranje prostore in jih pogosto modificiramo zaradi estetskih razlogov (Syrjanen in Oy, 2001). Ker je termična modifikacija relativno draga, mora biti tudi kvaliteta lesa ustrezna. Predvsem grče, nepravilna orientiranost, rastne napetosti in neprimerna vlažnost lahko predstavljajo problem.

2.5 KEMIČNE SPREMEMBE ZARADI TERMIČNE MODIFIKACIJE

2.5.1 Hemiceluloza

Les vsebuje 25 % do 35 % hemiceluloze, s stopnjo polimerizacije 150 do 200 enot sestavljenih iz različnih monosaharidov. Hemiceluloza se razlikuje od celuloze po tem, da ima v stranskih verigah saharide, karboksilne kisline in acetilne estre, kar se odraža v nizki stopnji kristaliničnosti (Kirk in Cullen, 1998). Pri toplotni modifikaciji pride najprej do

razgradnje hemiceluloze, ki se začne z deacetilacijo, kjer se sprosti očetna kislina, ki deluje kot katalizator pri depolimerizaciji in s tem še poveča razgradnjo polisaharidov iz katerih nastanejo formaldehid, furfural in ostali aldehidi (Tjeerdsma, 1998). Sočasno prihaja do reakcije dehidracije s zmanjševanjem hidroksilnih skupin (Weiland in Guyonnet, 2003).

Po toplotni obdelavi, les vsebuje bistveno nižjo vsebnost hemiceluloze. Posledica tega je manjša dovzetnost za glivno okužbo in zmanjšano število hidroksilnih mest, kar se odraža v boljši dimenzijski obstojnosti. Po drugi strani spremembe v strukturi hemiceluloz ne vpliva bistveno na mehanske lastnosti (Mayes in Oksanen, 2003).

2.5.2 Celuloza

Les vsebuje od 40 % do 50 % celuloze, ki ima stopnjo polimerizacije od 5000 do 10000 enot. Sestavljajo jo β -D-glukopiranozne monomerne enote, ki so med seboj povezane z β (1-4)-glikozidnimi vezmi (Mayes in Oksanen, 2003). Celuloza je, zaradi kristalinične strukture, obstojnejša od hemiceluloze, zato se njena razgradnja začne pri višjih temperaturah med 240 °C in 350 °C. Pojav novih aromatskih, alkenjskih in alifatskih spojin po termični modifikaciji nakazuje na strukturne spremembe lesnih polimerov, kar je posledica razkroja amorfnega dela celuloze. Kristaliničnost celuloze se poveča zaradi manj urejenih ogljikovodikov, s tem pa se zmanjša dostopnost OH skupin, vodnim molekulam, kar se odraža v nižji ravnovesni vlažnosti lesa (Estevens in Pereira, 2009).

2.5.3 Lignin

V lesu iglavcev je med 25 % do 30 % lignina, v lesu listavcev pa med 20 % in 25 %. Natančne kemijske strukture lignina, zaradi kompleksne zgradbe, ki je posledica naključnega premreženja fenilpropanskih enot, ni moč določiti, znane pa so njegove komponente, sestavljene iz fenilpropanskih enot. Od vseh snovi v lesu ima lignin najboljšo toplotno obstojnost, saj se njegova termična razgradnja prične šele ko temperatura modifikacije preseže 200 °C (Mayes in Oksanen, 2003).

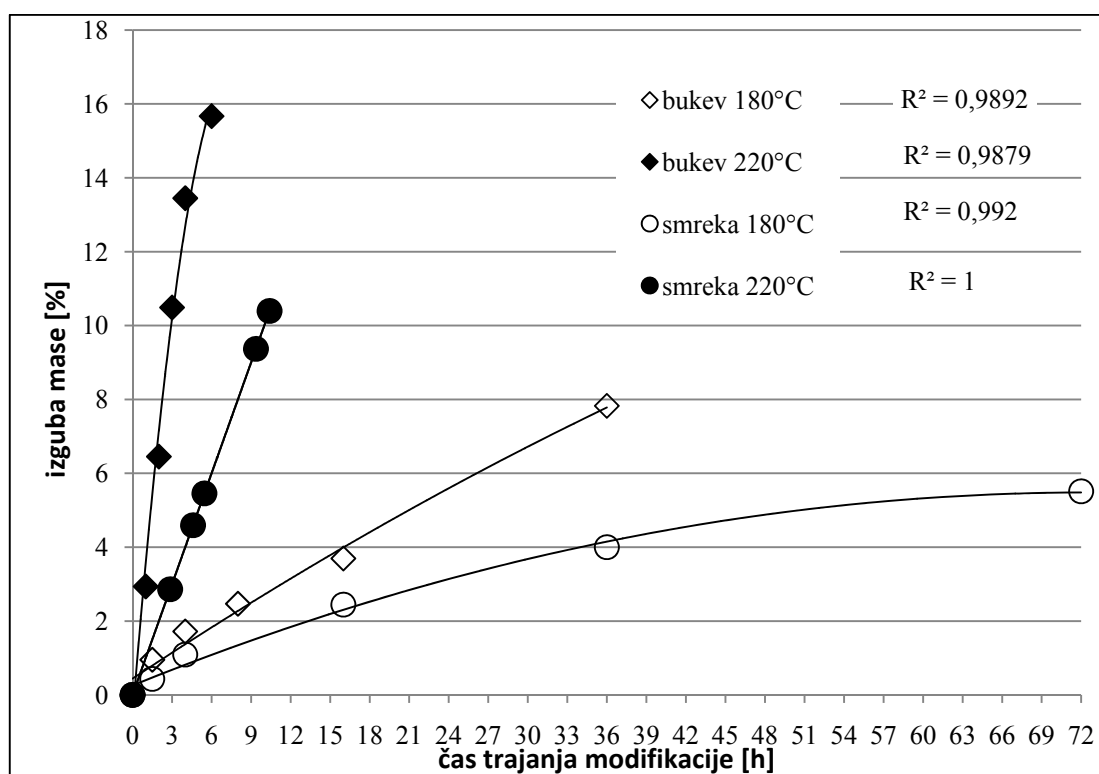
2.6 FIZIKALNE SPREMEMBE ZARADI TERMIČNE MODIFIKACIJE

2.6.1 Izguba mase

Izguba mase je ena najpomembnejših lastnosti toplotne obdelave in se često uporablja za prikaz stopnje modifikacije (Estevens in Pereira, 2009). Z izgubo mase pride tudi do zmanjšanja volumna in če se postopek ne vodi pravilno tudi do deformacije materiala. Specifična gostota se zmanjšuje z višanjem temperature in trajanjem postopka. Izguba mase je večja, če postopek izvajamo ob prisotnosti kisika, zato se postopki izvajajo v čim bolj anoksični atmosferi, ki jo zagotovimo s segrevanjem v olju, nasičeni vodni pari, dušikovi atmosferi ... (Hill, 2006).

Patzelt in sodelavci (2002) so ugotovili, da imajo bukovi vzorci večjo izgubo mase kot smrekovi, če so modificirani pri enakih pogojih modifikacije. Ta povezava je opazna tudi na vzporednih vzorcih, ki smo jih uporabili v naši raziskavi (slika 1) (Algent in sod., 2012). Vzorci modificirani pri nižji temperaturi, kljub daljšim časom trajanja modifikacije ne dosežejo tako velike izgube mase kot tisti pri višji temperaturi (slika 1). Izguba mase je odvisna od časa trajanja modifikacije, kisika in temperature (Kariž in Šernek, 2008).

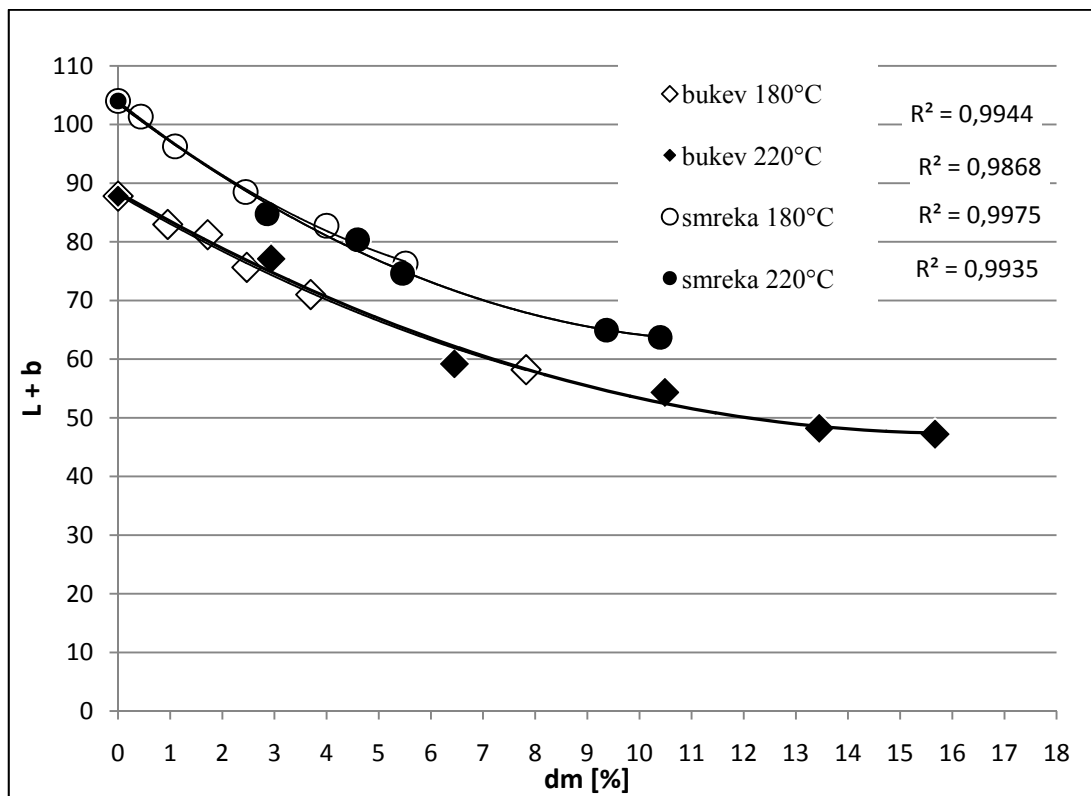
Welzbacher in sodelavci (2007) navajajo, da je izguba mase smrekovega lesa pri 240 °C in treh urah trajanja modifikacije znašala 12,5 %. Da se doseže enak rezultat pri nižji temperaturi, je potreben daljši čas trajanja modifikacije in sicer pri 220 °C in 8 ur, 210 °C in 14 ur, 200 °C in 20 ur, 180 °C in 72 ur.



Slika 1: Izguba mase v odvisnosti od trajanja in temperature modifikacije (Altgen in sod., 2012)

2.6.2 Barva in vonj

Značilnost termične modifikacije je, da les po modifikaciji potemni. Višja kot je temperatura modifikacije in daljše kot je trajanje modifikacije, temnejšo barvo ima modificiran les. Zaradi sproščanja furfurala se pojavi tudi značilen vonj po karameli, ki pa s časoma izgine (Militz, 2002). Les dobi temnejšo barvo, če ga modificiramo na zraku, manjše barvne spremembe pa dosežemo, če ga modificiramo v anoksični atmosferi (Hill, 2006). Barva toplotno obdelanega lesa se pod vplivom UV svetlobe vseskozi spreminja, in postaja siva (Rapp in Sailer, 2001). Bukovina ima naravno temnejšo barvo kot smrekovina, zato je tudi modificiran les bukve temnejši od smrekovega lesa (slika 2).



Slika 2: Barvne spremembe v odvisnosti od izgube mase zaradi termične modifikacije (Altgen in sod., 2012)

2.6.3 Dimenzijska obstojnost in higroskopnost

Les je higroskopen material, saj hidroksilne skupine v lesnem tkivu, iz zraka vežejo molekule vode z vodikovimi vezmi. Les ob povečani zračni vlažnosti ali stiku z vodo nabreka, pri zmanjševanju vlage pa se začne celična stena krčiti. Takšne spremembe dimenzij so nezaželene, ker povzročijo nastanek razpok. Les je dimenzijsko stabilnejši, če je sprejemanje in oddajanje vode čim manjše (Gorišek, 1994).

Toplotna modifikacija lesa, posledično zniža TNCS (točka nasičenja celičnih sten) lesa. Les modificiran pri 220 °C, ima kar za polovico nižjo TNCS, kot neobdelan les. Znižanje ravnovesne vlažnosti je eden glavnih namenov termične modifikacije. Kljub temu, da se TNCS zniža, pa se histerezna zanka med adsorpcijo in desorpcijo ne spremeni (Mayes in Oksanen, 2003; Estevens in Pereira, 2009). Dimenzijsko obstojnost največkrat vrednotimo s kazalnikom ASE (Antishrinking Efficiency – protikrčitvena učinkovitost), ki predstavlja

razliko v krčenju modificiranega in nemodificiranega lesa, v tangencialni smeri je nabrekanje oz. krčenje večje kot v radialni smeri (Gorišek, 1994).

2.6.4 Mehanske lastnosti

Za toplotno modifikacijo velja, da s povečevanjem temperature in časa dobimo bolj trajen produkt, vendar s slabšimi mehanskimi lastnostmi. Z nižjo temperaturo pa lesu le malo izboljšamo odpornost, vendar bistveno ne poslabšamo mehanskih lastnosti (Rep in Pohleven, 2001). Pod vplivom visoke temperature postane les bolj krhek, upogibna in natezna napetost pa se zmanjšata za 10 % do 30 %, trdota pa se za malenkost poveča. Zaradi teh lastnosti se uporablja modificiranega lesa za konstrukcijske namene ne priporoča (Rapp in Sailer, 2001; Mayes in Oksanen, 2003).

2.6.5 Vrednost pH

Sprememba vrednosti pH termično modificiranega lesa je sorazmerna z izgubo mase. Z večanjem izgube mase lesa, vrednost pH pada. Glede na izgubo mase vrednost pH lesa pada počasneje pri daljših časih izpostavitve termični modifikaciji (Patzelt in sod., 2001).

2.6.6 Odpornost proti glivam in insektom

Klasifikacijo uporabe termično modificiranega lesa določa standard SIST EN 335-1 (Trajnost lesa in lesnih materialov – Definicija razredov uporabe) in ga razvršča v pet razredov. Priporočljivo je, da se termično modificiran les uporablja v največ tretjem razredu uporabe (pogosto vlaženje, nad tlemi) in se ga ne sme uporabljati v četrtem in petem razredu uporabe (v stiku z zemljo, stalno v vodi) (Tjeerdsma in sod., 1998; Hill, 2006).

Termično modificiran les je odporen proti nekaterim vrstam lesnih insektov (hišnim kozličkom), ker ti insekti zaznajo terpenske emisije iz lesa (sestavine eteričnih olj in smol), to pa vpliva na samice in s tem zmanjša verjetnost odlaganja jajčec. Ker so emisije terpenov pri termično modificiranem lesu zelo zmanjšane, insekti raje izberejo

nemodificiran les. Proti termitom je termična modifikacija neučinkovita (Mayes in Oksanen, 2003).

Na večjo odpornost termično modificiranega lesa proti rjavi trohnobi v primerjavi z glivami bele trohnobe, vpliva predvsem izguba polisaharidov (Hill, 2006). Kamdem in sod. (2000) pa so predlagali, da bi lahko na zaščito pred glivami vplivali različni strupeni stranski produkti, ki nastanejo med postopkom termične modifikacije.

2.7 GLIVE

Lesne glive so največje razkrojevalke lesa pri nas, s tem pa povzročajo tudi veliko gospodarske škode, hkrati pa so tudi zelo koristne. Dolgo časa so bile glive uvrščene v rastlinsko kraljestvo, nato pa jih je Whittaker leta 1969 uvrstil v samostojno kraljestvo (Carlie in Watkinson, 1994). Od rastlin se razlikujejo v tem, da so brez klorofila, imajo hitin, glikogen predstavlja zaloge hrane, v načinu prehranjevanja, ki je heterotrofen in v tem, da se prehranjujejo na tri načine (kot paraziti, saprofiti in simbioti).

Razkroj poteka tako, da glive z izločenimi encimi hidrolizirajo ali oksidirajo elemente celične stene. Na splošno velja, da je prodor hif v celično steno bolj kemični kot mehanski proces (Eaton in Hale, 1993). Glive sistematiziramo glede na njihov razmnoževalni način. Za lesarstvo so pomembne predvsem tri skupine gliv, ki so: zaprtotrosnice (*Ascomycota*), prostotrosnice (*Basidiomycota*) in pa nepopolne glive (*Deuteromycota*).

2.7.1 Bela trohnoba

Les, ki je izpostavljen razgradnji z glivami bele trohnobe, izgublja gostoto, kar je posledica razgradnje lesne substance. Povečuje se tudi delež vrzeli v lesu, kar povečuje možnost navzema vode. Na koncu les razpade na velike snope vlaken, zato belo trohnobo imenujemo tudi vlaknasta ali korozivna trohnoba. V zelo dolgem času trajanja izpostavitve je bila zabeležena kar 97 % izguba mase (Pečenko, 1987; Schmidt, 2006).

Glive bele trohnobe razkrajajo predvsem lignin, ki je oksidativen proces, ektoencime pa uvrščamo med oksidaze. Zaradi razgradnje lignina les postaja svetlejši, in se v kasnejših fazah tudi vlaknasto cepi. Ker bela trohnoba prodira od znotraj navzven, lahko okužbe dolgo časa ne opazimo. Glive bele trohnobe razkrajajo tudi celulozo, vendar v kasnejših fazah.

Tipični predstavniki bele trohnobe so *Fomes fomentarius*, *Phellinus igniarius*, *Phellinus robustus*, *Pleurotus ostreatus*, *Hypoxylon fragiforme* in *Trametes versicolor*. Glive bele trohnobe, se pojavljajo predvsem na stoječih drevesih in na skladiščnem lesu listavcev. Nekatero glive bele trohnobe ustvarijo bariere, to so črne črte, ki med seboj ločijo, različne vrste gliv, nekompatibilen micelij iste vrste, ali pa še neokužen les. Ta pojav imenujemo piravost. Bariere so posledica fenolnih oksidaz, pri čemer se komponente glive ali pa snovi gostiteljskega lesa pretvorijo v melanin (Schmidt, 2006).

2.7.1.1 Pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*)

Pisana ploskocevka sodi med najbolj razširjene vrste na svetu in pri nas. Najdemo jo predvsem na lesu listavcev (bukev, hrast, kostanj, robinja) le redko na iglavcih (bor, smreka). Zelo pogosto jo najdemo na hlodovini, štorih, jamskem lesu, pragovih, drogovih, ipd. Stoječa drevesa okuži le, če so odmrta, ali pa, če je lubje zgorelo. Na bukovem lesu je zelo pogosto prvi kolonizator (Benko in sod., 1987; Schmidt, 2006). Pisana ploskocevka je hitrorastoča gliva, ki proizvede bariere ob stiku z drugimi glivami ali pa sama s seboj.

Trosnjaki so najpogosteje konzolaste oblike in so različnih barv, od koder je gliva dobila tudi ime (po angleško Turkey tail). Gliva je zelo odporna proti dolgotrajni suši in visokim temperaturam. Optimalna temperatura za rast je 30 °C

Pisana ploskocevka je s svojimi nespecifičnimi encimi sposobna razgraditi tudi poliklorirane organske biocide, ki so po zgradbi podobni gradnikom lignina. Zato jo uporabljajo tudi pri uničevanju posebnih odpadkov kot je z Lindanom in pentaklorofenolom impregniran les, ter za razstrupljanje poljskih površin. Ta postopek se imenuje mikoremediacija (Pohleven, 2008).

2.7.2 Rjava trohnoba

Rjavo trohnobo povzročajo prostotrosnice, ki v celičnih stenah lesa z encimatskim in ne encimatskim razkrojem presnavljajo ogljikove hidrate, celulozo in hemicelulozo, medtem ko pustijo lignin skoraj nerazkrojen a oksidiran. Razgradnja celuloze je hidrolitičen proces. Skupina encimov, ki ta proces opravlja so hidrolaze. Zaradi oksidiranega lignina se odraža les v rjavi barvi. Razlog za to je, da večina gliv rjave trohnobe ne proizvaja ligninolitičnih encimov, čeprav v nekaterih primerih poročajo tudi o dokazih za lignin peroksidazo, predvsem v kasnejšem razvoju glive, ko je razkrojena že večina celuloze (Schmidt, 2006).

Rjava trohnoba se pojavlja na stoječih in podrtih drevesih, tako na beljavi kot tudi na jedrovini in na obdelanem lesu. Pogosteje okužijo les iglavcev, kot les listavcev (Schmidt, 2006). Pri lesu okuženem z glivami rjave trohnobe pride do izgube mehanskih lastnosti še preden opazimo izgubo mase. Glive lesu znižajo vrednost pH, rjavo trohnobo, na lesu, pa lahko prepoznamo po njeni značilni prizmatični, lističasti ali luknjičasti obliki.

2.7.2.1 Navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*)

Tramovka je tipični predstavnik rjave trohnobe, njen rod pa najdemo praktično po vsem svetu, v Evropi, Avstraliji, Novi Zelandiji, Afriki in Severni Ameriki. Okužuje lesove iglavcev (smreka, bor) in redkeje lesove nekaterih listavcev (bukev, robinja). Najdemo jo predvsem na lesnih konstrukcijah, ostrešjih, mostovih, okenskih okvirjih, savnah, pragovih, drogovih, rudniškem lesu (Benko in sod., 1987).

Zaradi odpornosti na višje temperature (navadna tramovka lahko raste tudi pri temperaturi 40 °C) in sušo, lahko zlahka preživi v lesenih oknih ali tramovih, ki se čez dan na soncu močno segrejejo. Ob neugodnih pogojih preide v latentno stanje. Tramovka lahko preživi kar 10 let v lesu z 12 % vlažnostjo. Poleg tega, da lahko preživi v relativno suhem lesu, lahko razkrajata tudi močno vlažen les. Zato tramovko največkrat najdemo v lesu, ki je na prostem (Humar, 2008).

Plodišče navadne tramovke je oker do rjave barve z gostoto lamel med 20 in 40 lamel na cm. Razkrojen les se cepi po letnicah v obliki različno velikih prizem in ima značilen

sladkoben vonj, ki spominja na katran. Na površinah, ki so izpostavljene svetlobi, površinskega micelija ni videti. Tako razkroja dolgo ne opazimo, saj glive pustijo zunanjo plast nerazkrojeno. Ko iz razpok poženejo plodišča, pa je za ukrepanje navadno že prepozno. V primeru, da gliva okuži les v temnem, vlažnem prostoru, se na površini lesa pojavi rumenkasto rjav, gost, puhast micelij, ki ga zelo težko ločimo od lesa (Humar, 2008).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Vzorci lesa

Uporabili smo vzorce iz smrekovega (*Picea abies*) in bukovega (*Fagus sylvatica*) lesa, ki so bili razžagani iz večjih, 550 mm × 55 mm × 30 mm modificiranih palic, v manjše vzorce dimenzij 15 mm × 25 mm × 50 mm. Vzorci so bili brez grč in napak, ter enako orientirani. Uporabili smo 220 modificiranih vzorcev iz smrekovine ter dodatnih 220 kontrolnih vzorcev, ki so bili iz beljave borovega (*Pinus sylvestris*) lesa, kot to predpisuje standard SIST EN 113 (1989). Še 20 dodatnih kontrolnih vzorcev pa je služilo za kontrolo vitalnosti gliv. Vzporedno smo uporabili 230 modificiranih bukovih vzorcev in 210 nemodificiranih kontrolnih vzorcev, ter 20 vzorcev, ki smo jih uporabili za kontrolo vitalnosti posamezne lesne glive. Skupaj smo torej uporabili 920 vzorcev. Vsi vzorci so bili v celoti pripravljeni na Univerzi v Hannoveru. Vse vzorce smo pred izpostavitvijo ustrezno označili.

Polovica modificiranih vzorcev je bila pred izpostavitvijo lesnim glivam, že v Hannoveru, umetno postarana v skladu s standardom SIST EN 84 (1996). Ta postopek je namenjen umetnemu staranju vzorcev z izpiranjem pred biološkimi testiranjmi. Postopek je sestavljen iz dvotedenskega izpiranja, med katerim vzorcem desetkrat zamenjamo vodo.

Kontrolni vzorci niso bili obdelani na nikakršen način, v nadaljevanju pa so bili označeni in tretirani enako kot modificirani vzorci.

Za določanje kratkotrajnega navzema vode, smo uporabili predhodno modificirane vzorce, smrekovega (*Picea abies*) in bukovega (*Fagus sylvatica*) lesa iz Univerze v Hannoveru. Vzorci so bili naslednjih dimenzij 20 mm × 20 mm × 50 mm. Z vsako drevesno vrsto smo uporabili 100 vzorcev, ki so bili termično modificirani pri različnih temperaturah in časih in 10 kontrolnih vzorcev. Skupaj smo v celoti pripravili 220 vzorcev.

3.1.2 Uporabljene lesne glive

Pri raziskavi smo uporabili dve vrsti gliv, za vsako drevesno vrsto eno. Bukove vzorce smo izpostavili pisani ploskocevki (*Trametes versicolor*). Smrekove vzorce pa smo izpostavili navadni tramovki (*Gloeophyllum trabeum*) (preglednica 1).

Preglednica 1: Glive razkrojevalke lesa uporabljene pri eksperimentu

Latinsko ime	Slovensko ime	Oznaka	Trohnoba
<i>G. trabeum</i>	navadna tramovka	Gt2	rjava
<i>T. versicolor</i>	pisana ploskocevka	Tv	bela

Kulture gliv, ki smo jih uporabljali za test, smo dobili iz trajne zbirke gliv na Katedri za patologijo in zaščito lesa, na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete.

3.2 METODE

3.2.1 Določanje odpornosti termično modificiranega lesa proti glivam

Odpornost lesne vrste proti biološkim razkrojevalcem določamo z izgubo mase po standardu SIST EN 113 (1989).

Na začetku smo vse vzorce, ki smo jih dobili iz Univerze v Hannoveru, zaradi lažjega nadaljnjega dela in večje preglednosti, preštevilčili. Vzorce smo nato postavili v sušilno komoro, kjer so bili 20 ur izpostavljeni temperaturi (103 ± 2 °C). Po pretečenem času, smo vzorce vzeli iz sušilnika in jih postavili v eksikator za 10 minut, kjer so se lahko ohladili, brez možnosti, da bi se ponovno navlažili. Pomembno je, da ne tehtamo vročih vzorcev, saj vroč les hitreje absorbira vlago. Iz eksikatorja smo jemali po pet vzorcev naenkrat in vsakega postavili na elektronsko tehtnico in izmerili maso na 0,0001 g natančno (slika 3).



Slika 3: Eksikator (levo) in elektronska tehtnica (desno)

Nato smo 500 kozarcev, standardnih dimenzij ($V = 500 \text{ mL}$), razkužili z etanolom in jih posušili. V pokrovčke kozarcev smo izvrtali luknjo, jih razkužili z etanolom in vanjo zatlačili vato. S tem smo dosegli dostopnost prehoda zraka in vlage iz okolice v kozarce in preprečili prehod nezaželenih spor v kozarce. Izrezali smo tudi mrežice iz PVC, ki so se prilegale kozarcem, saj nismo želeli, da bi bili vzorci v neposrednem stiku s hranilnim gojiščem.

Za gojenje kultur gliv smo uporabili trdno hranilno gojišče iz krompirjevega dekstroznega agarja (PDA – Potato Dextrose Agar). Pripravili smo ga po navodilih proizvajalca (Difco Laboratories USA) tako, da smo zavreli 1,5 litra destilirane vode, v 3 dL smo zmešali 78 g (PDA), nato smo vsebino prelili v vrelo destilirano vodo in čašo oplaknili s preostalimi 2 dL destilirane vode. Torej smo potrebovali 2 L destilirane vode. Zmes smo mešali, dokler ni zavrela, jo odstranili iz grelca in mešali še 3 minute. Nato smo v vsak kozarec nalil 50 mL pripravljenega hranilnega gojišča (slika 4), jih pokrili z vnaprej pripravljenimi pokrovčki in jih zložili v avtoklav, kjer smo jih 45 minut sterilizirali pri $121 \text{ }^\circ\text{C}$ in 1,5 barih (slika 5).



Slika 4: Sterilizirani kozarci s hranilnim gojiščem



Slika 5: Avtoklav

Pred inokulacijo eksperimentalnih kozarcev, smo pripravili zadostno količino izhodiščne kulture. Izhodiščno kulturo smo inokulirali (cepili), v brezprašni komori, na hranilno gojišče v petrijevki in ga zatem 14 dni inkubirali v rastni komori, da je micelij prerasel celotno površino gojišča (slika 6).

Sterilne kozarce s hranilnim gojiščem smo postavili v brezprašno komoro (laminarij) jim obžgali rob in vanje vstavili vcepek micelija izbrane glive (pisane ploskocevke ali navadne tramovke). Nato smo kozarce prenesli v rastno komoro in jih teden dni inkubirali pri 25 °C in 85 % RH. Po tednu dni smo slabo preraščene in okužene kozarce izločili. Vzorce lesa in mrežice smo sterilizirali v avtoklavu (20 min, 1,5 bar), nato pa jih v brezprašni komori vstavili v kozarce. V vsak kozarec smo vstavili po en modificiran in en kontrolni vzorec z izjemo vzorcev za določanje aktivnosti glive. V tem primeru smo v kozarce vstavili po dva nemodificirana vzorca. Preden smo odprli ali zaprli kozarec, mu je bilo potrebno obžgati rob, pinceto smo po vsaki uporabi namočili v alkohol in obžgali nad plamenom, roke smo pred delom razkužili z alkoholom.



Slika 6: Eksperimentalni kozarec v katerem raste navadna tramovka

Modificirane smrekove in kontrolne borove vzorce smo vstavili v kozarce, kjer je rasla gliva navadna tramovka, bukove vzorce pa smo izpostavili pisani ploskocevki (slika 7). Kozarce smo nato zložili v rastno komoro s konstantno temperaturo 25 °C in relativno zračno vlažnostjo 85 % in jih v takšnih pogojih inkubirali 16 tednov.



Slika 7: Popolnoma prekriti modificirani in kontrolni vzorci po 16 tednih izpostavitve

Po 16 tednih smo vzorce izolirali iz kozarčkov, jim s papirnatim robčkom očistili površino in jih še vlažne stehali z elektronsko tehtnico na 0,0001 g natančno. Tako smo lahko določili relativno vlažnost vzorcev z gravimetrično metodo, ki smo jo izračunali po formuli (1).

$$u = \frac{m_1 - m_2}{m_2} * 100 \quad [\%] \quad \dots(1)$$

- u vlažnost vzorcev
- m₂ masa absolutno suhih vzorcev po izpostavitvi
- m₁ masa vlažnih vzorcev po izpostavitvi

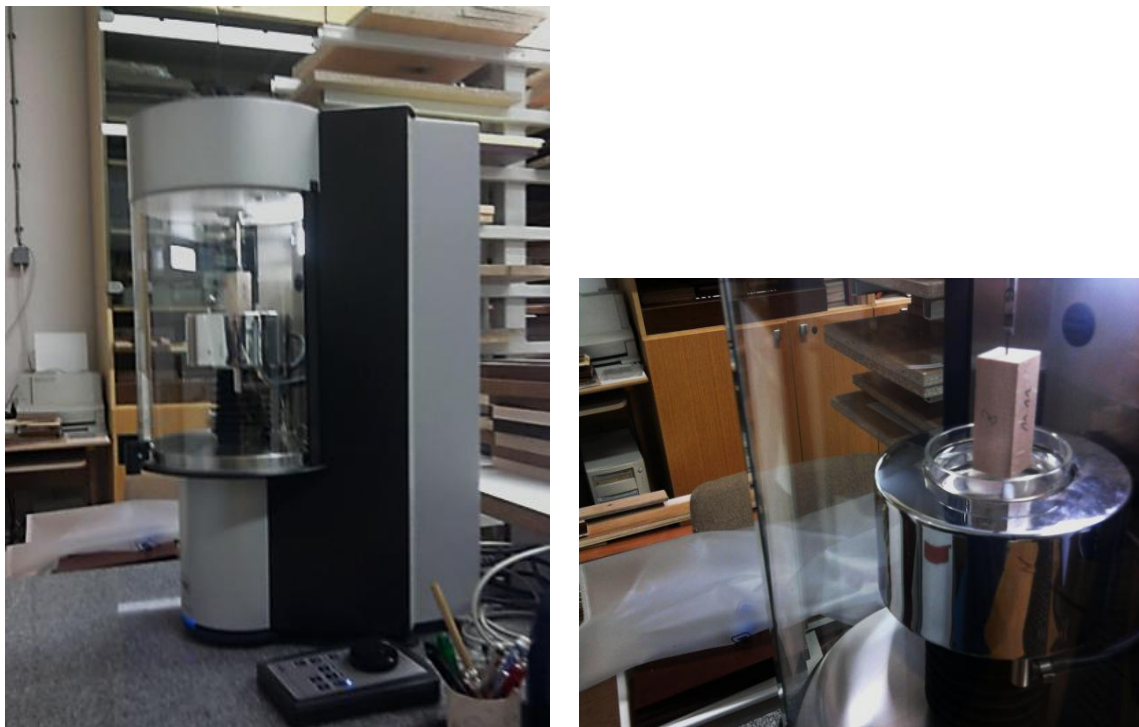
Nato smo vzorce zložili v sušilno komoro, kjer so bili 24 ur izpostavljeni temperaturi 103 ± 2 °C. Absolutno suhe vzorce smo zopet stehali na elektronski tehtnici in jim določili izgubo mase po formuli (2).

$$m_{izgube} = \frac{m_0 - m_2}{m_2} * 100 \quad [\%] \quad \dots(2)$$

- m_{izgube} izguba mase vzorcev
- m₀ masa absolutno suhih vzorcev
- m₂ masa absolutno suhih vzorcev po izpostavitvi

3.2.2 Določitev kratkotrajnega navzema vode s tenziometrom.

Vzorcem, ki so bili modificirani na Univerzi v Hannoveru, dimenzij 20 mm × 20 mm × 50 mm, smo na čelu določili središče in vanj, s kladivom zabili žebliček. Tako pripravljen vzorec smo vpeli v tenziometer in pazili, da je spodnja površina čim bolj vzporedna s površino vode pod njo. Prav tako je bilo potrebno paziti, da je bilo spodnje čelo čisto in se ga nismo dotaknili z rokami ter ga s tem onesnažili, saj bi to lahko vplivalo na rezultate (slika 8).



Slika 8: Tenziometer Krüss K100 (levo) in vzorec v tenziometru (desno)

S tenziometrom tipa Krüss K100 smo pripravljnim vzorcem določili navzem navadne vode. To smo storili tako, da smo v posebno čašo natočili vodo temperature 20 °C in jo položili v napravo. Nato se je miza s čašo dvigovala proti vzorcju, meritve pa so se začele v trenutku, ko se je vzorec dotaknil vode in so trajale 200 sekund. Na vsaki dve sekundi, smo stehntano maso zabeležili, tako smo za vsak vzorec dobili sto meritev.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 REZULTATI TERMIČNO MODIFICIRANE BUKOVINE

4.1.1 Izguba mase po 16 tednih izpostavitve glivi *Trametes versicolor*

Izgubo mase smo določili v skladu s standardom SIST EN 113 (1989), tako da smo primerjali maso vzorca pred in po izpostavitvi glivi.

V preglednici 2 so zbrani podatki o vplivu temperature in časa termične modifikacije bukovih vzorcev ter staranja na izgubo mase po 16 tednih izpostavitve glivi pisani ploskocevki. Izgube mase predstavljajo povprečje desetih posameznih vrednosti.

Kontrolni vzorci so v povprečju izgubili 61,76 % mase. Ta podatek nakazuje, da so vzorci izdelani iz ustreznega materiala, ter da so glive vitalne. Najnižjo izgubo mase smo določili pri vzorcih, ki so bili modificirani 6 ur pri temperaturi 220 °C (4,85 %) najvišjo izgubo mase modificiranih vzorcev, pa pri vzorcih, ki so bili modificirani 4 ure pri temperaturi 180 °C (61,03 %).

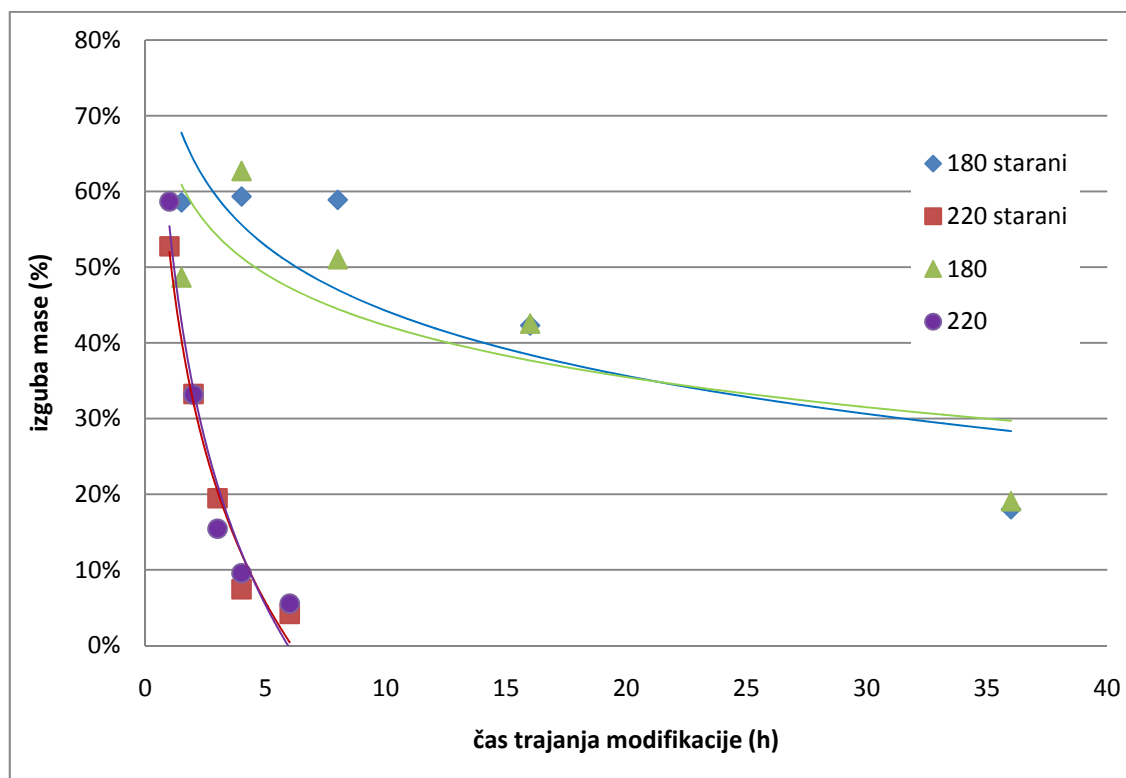
Iz preglednice 2 je razvidno, da se pri kratkih časih modifikacije, ne glede na temperaturo pri kateri poteka modifikacija, odpornost lesa proti glivi *Trametes versicolor* ne zviša. Poleg tega je lepo razvidno, da imajo največjo odpornost proti glivam vzorci 6 ur modificirani pri temperaturi 220 °C. V nadaljevanju je opazno, da pridemo do podobnih rezultatov pri vzorcih, ki jih 36 ur modificiramo pri temperaturi 180 °C in pri vzporednih bukovih vzorcih, ki jih 3 ure modificiramo pri temperaturi 220 °C.

Bukovi vzorci modificirani pri 180 °C ne dosežejo ustrezne zaščite pred glivo *T. versicolor*. Tudi modifikacije pri višji temperaturi, ne predstavlja popolne zaščite pred pisano ploskocevko.

Preglednica 2: Povprečne izgube mase in vlažnosti bukovih vzorcev izpostavljenih glivi *Trametes versicolor*, v odvisnosti od temperature modifikacije, časa modifikacije in staranja

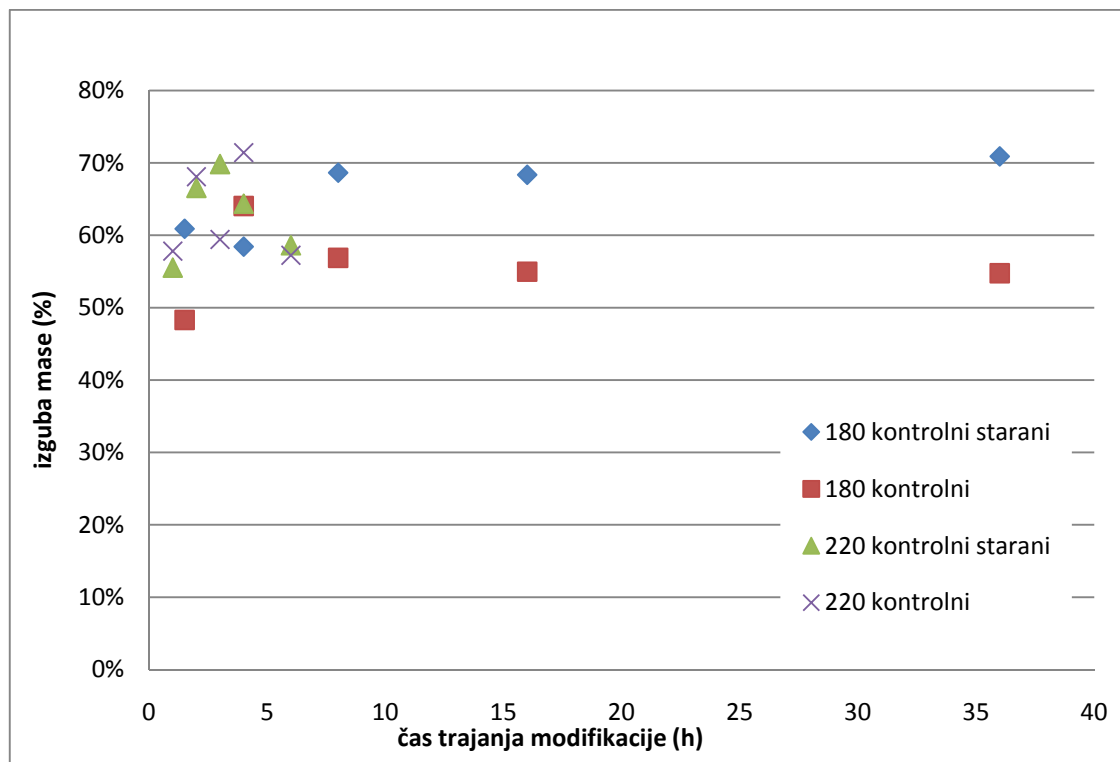
Lesna vrsta	Temperatura modifikacije (°C)	Staranje	Čas modifikacije (h)	Povprečna izguba mase (%)	Povprečna izguba mase kontrolnih vzorcev (%)	Povprečna vlažnost po izpostavitvi (%)	Povprečne vlažnost kontrolnih vzorcev po izpostavitvi (%)
Bukev	180	da	1,5	58,6	60,9	51,93	53,29
			4	59,3	58,4	58,09	61,36
			8	58,9	68,6	56,79	50,35
			16	42,3	68,4	49,77	53,95
			36	18,0	70,9	48,31	40,32
		ne	1,5	48,6	48,3	49,12	50,93
			4	62,7	64,0	58,84	48,23
			8	51,1	56,9	53,33	51,79
			16	42,5	55,0	55,02	47,17
			36	19,1	54,8	50,46	39,72
	220	da	1	52,8	55,5	48,93	54,40
			2	33,2	66,5	56,79	41,65
			3	19,5	69,8	54,05	42,05
			4	7,4	64,4	43,31	38,47
			6	4,2	58,6	34,86	40,39
		ne	1	58,7	57,8	58,57	51,34
			2	33,2	68,1	59,96	41,40
			3	15,4	59,4	49,24	43,69
		4	9,6	71,4	47,79	40,79	
		6	5,5	57,2	34,61	43,27	

Iz predstavljenih podatkov je jasno razvidno, da z višjo temperaturo in krajšim časom dosežemo boljšo odpornost proti glivam razkrojevalkam, kot pa z nižjo temperaturo in daljšim časom modifikacije. Tako so vzorci 36 ur modificirani pri temperaturi 180 °C izgubili kar 18 % mase med izpostavitvijo glivam. Vzoredni vzorci, 6 ur modificirani pri temperaturi 220 °C pa le nekaj več kot 4 %. Opazimo, da staranje vzorcev pred izpostavitvijo glivam, ne vpliva na odpornostne lastnosti (slika 9).



Slika 9: Izguba mase staranih in ne starani bukavih vzorcev po izpostavitvi glivi *Trametes versicolor* v odstotkih, v odvisnosti od stopnje modifikacije

Izguba mase kontrolnih vzorcev se giblje med 50 % in 70 % in ni odvisna od tega s katerimi modificiranimi vzorci so bili skupaj v eksperimentalnem kozarcu (slika 10).



Slika 10: Izguba mase kontrolnih bukovih vzorcev po izpostavitvi glivi *Trametes versicolor*

4.1.2 Povezava med izgubo mase med modifikacijo in izgubo mase zaradi delovanja glive *Trametes versicolor*

Izguba mase zaradi postopka termične modifikacije lesa predstavlja eno najpomembnejših karakteristik tega postopka in nakazuje na vse ostale biološke, kemijske in fizikalne lastnosti. Predstavlja neko merilo kakovosti postopka termične modifikacije. V splošnem velja, da večja kot je izguba mase, večja je stopnja modifikacije.

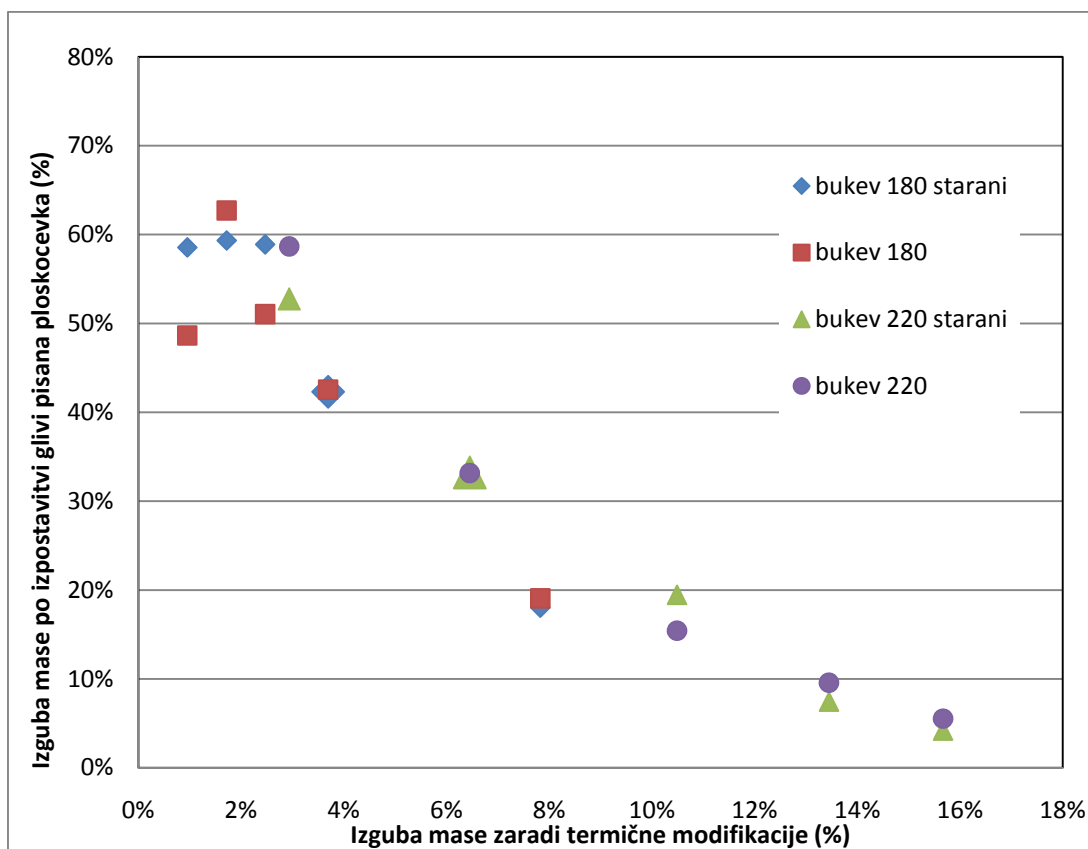
Slike 11 kaže, da se z večjo izgubo mase zaradi termične obdelave lesa, zmanjšuje izguba mase zaradi delovanja glive Tv. V našem poizkusu smo najboljšo zaščito lesa pred biološkimi razkrojevalci dosegli pri 15,67 % izgubi mase zaradi termične modifikacije (220 °C ; 6 ur). Ti vzorci so, po izpostavitvi glivi pisani ploskocevki, v povprečju izgubili le 4,86 % mase. Po drugi strani pa smo opazili, da ni pomembno kako pridemo do izgube mase, učinek na glivo je v vseh primerih primerljiv. Na primer, pri vzorcih, 36 ur modificiranih pri temperaturi 180 °C, smo dosegli 7,83 % izgubo mase zaradi modifikacije in 18,54 % povprečno izgubo mase zaradi delovanja pisane ploskocevke. Te vrednosti so

primerljive z izgubo mase bukovine, ki je bila 2 uri modificirana pri 220 °C. Izguba mase zaradi postopka modifikacije je bila 6,45 %, povprečna izguba mase zaradi razkroja pa kar 33,2 %. Prav tako je jasno opazno, da se pri kratkotrajnih časih (1 ura in 2 uri) tudi pri visoki temperaturi odpornost lesa bistveno ne poveča (preglednici 2 in 3).

Preglednica 3: Povezava med izgubo mase zaradi postopka modifikacije in izgubo mase po izpostavitvi glivi *Trametes versicolor*

Temperatura (°C)	Čas modifikacije (h)	Povprečna izguba mase zaradi termične modifikacije (%)	Povprečna izguba mase po izpostavitvi glivi Tv (%)
20	0	0	52,88
180	1,5	0,95	53,60
180	4	1,72	61,03
180	8	2,47	54,98
180	16	3,69	42,43
180	36	7,83	18,55
220	1	2,94	55,71
220	2	6,45	33,20
220	3	10,49	17,45
220	4	13,45	8,50
220	6	15,67	4,86

Ugotovili smo skoraj linearno povezavo med izgubo mase zaradi postopka modifikacije in izgubo mase zaradi glive razkrojevalke. Pri izgubi mase zaradi postopka modifikacije manjših od 4 % pa ni opaznih razlik med vzorci, ki so bili modificirani z neintenzivnim postopkom modifikacije in nemodificiranimi kontrolnimi vzorci (slika 11).



Slika 11: Povezava med izgubo mase v procesu modifikacije in izgubo mase po 16 tedenski izpostavitvi glivi *Trametes versicolor*

4.1.3 Povezava med barvo vzorcev in izgubo mase zaradi delovanja glive *Trametes versicolor*

Zaradi izpostavitve lesa visokim temperaturam, le ta dobi temnejšo barvo. Na barvo vpliva tako čas, kot tudi temperatura modifikacije. V praksi se je najbolj izkazal sistem za numerično vrednotenje barve v CIE Lab sistemu. Predstavlja matematično kombinacijo kartezijskega in cilindričnega koordinatnega sistema, kje je barva opredeljena s tremi osnovnimi vrednostmi (Golob in Golob, 2001):

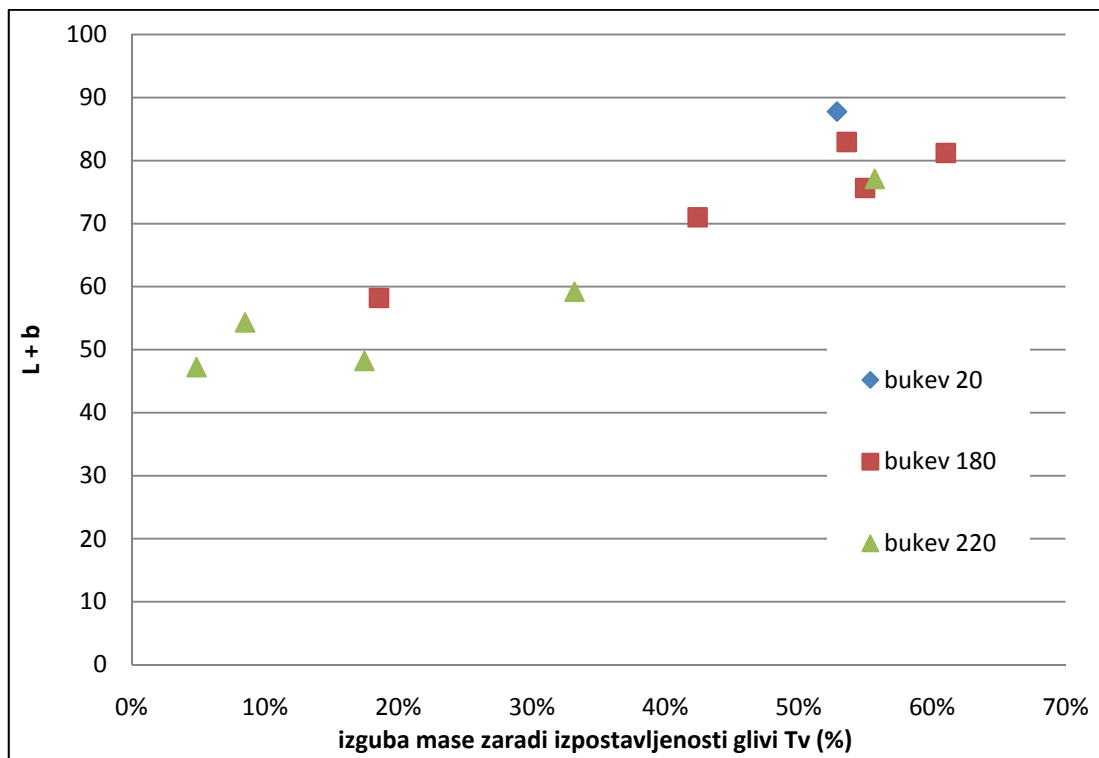
- L* določa svetlost barve in zavzema vrednost od 0 (absolutna črna) do 100 (absolutna bela)
- a* določa lego barve na rdeče (+) zeleni (-) osi
- b* določa lego barve na rumeno (+) modri (-) osi

Manjša kot je L+b vrednost, temnejši je les. Nemodificirani vzorci so imeli povprečno vrednost svetlosti in lege na rumeno-modri osi 87,8, pri najbolj modificiranih vzorcih pa je bila ta vrednost 47,2 (220 °C; 6 ur). Zanimivo je, da so barvne spremembe vzorcev 3 ure modificiranih pri 220 °C podobne tistim po 6 urah modifikacije pri isti temperaturi. Vendar pa smo opazili, da kljub temu, da so si barvne spremembe v tem primeru podobne, razlike v izgubi mase zaradi delovanja glive *T. versicolor* pa precej drugačne (48,2; 3 ure in 47,2; 6 ur) (preglednica 4).

Preglednica 4: Povezava med barvnimi spremembami modificiranih vzorcev in izgubo mase zaradi izpostavitve glivi *Trametes versicolor*

Temperatura modifikacije (°C)	Trajanje modifikacije (h)	L+b	Povprečna izguba mase po izpostavitvi glivi Tv (%)
20	0	87,79	52,87
180	1,5	82,96	53,60
180	4	81,21	61,03
180	8	75,65	54,97
180	16	71,01	42,43
180	36	58,21	18,54
220	1	77,10	55,71
220	2	59,21	33,20
220	3	48,22	17,45
220	4	54,34	8,50
220	6	47,22	4,86

Na sliki 12 vidimo, da s večanjem L+b vrednosti, odpornost lesa proti glivi Tv večja. Rezultat je pričakovan, saj temnejša barva nakazuje večjo stopnjo modifikacije. Sprememba barve nam lahko služi kot orientacijski prikaz stopnje termične modifikacije lesa, vendar pa se nanjo ne smemo preveč zanašati, saj je odvisna tudi od drugih dejavnikov. Pri podobni L+b vrednosti imajo vzorci modificirani pri 180 °C manjšo izgubo mase kot vzorci modificirani pri 220 °C.



Slika 12: Povezava med barvnimi spremembami in izgubo mase po izpostavitvi glivi *Trametes versicolor*



Slika 13: Bukovi modificirani vzorci po izpostavitvi glivi *Trametes versicolor*

4.2 REZULTATI TERMIČNO MODIFICIRANE SMREKOVINE

4.2.1 Izguba mase po 16 tednih izpostavitve glivi *Gloeophyllum trabeum*

V preglednici 5 so zbrani podatki o vplivu temperature in časa termične modifikacije bukovih vzorcev ter staranja na izgubo mase po 16 tednih izpostavitve glivi navadne tramovke. Izgube mase predstavljajo povprečje desetih posameznih vrednosti. Kontrolni vzorci so bili iz beljave bora.

Ugotovili smo, da so imeli vzorci modificirani pri 180 °C in 1,5 ure relativno nizko izgubo mase, vendar pa so imeli kontrolni vzorci podobno izgubo mase, zato je nizki izgubi mase ni pripisati postopku termične modifikacije. Pri temperaturi 180 °C ne dosežemo popolne zaščite proti rjavi trohnobi ne glede na trajanje modifikacije. Drugače je pri temperaturi 220 °C, kjer smo dosegli popolno zaščito že po šestih urah termične obdelave. Pri desetih urah trajanja toplotne obdelave in izpostavitvi glivi se je masa vzorcev celo za malenkost povečala, čemur gre pripisati prisotnost hif v celičnih lumnih. Zanimiva je tudi skupina 180 °C in 4 ure, kjer so kontrolni vzorci izgubili 6 % manj mase kot modificirani vzorci (preglednica 5). Do tega je lahko prišlo zaradi različnih dejavnikov, kot je heterogenost lesa (grče, širina branik, reakcijski les,...), razlike med vzorci (v sami strukturi lesa) in subjektivnost gliv. Bistveno je, da les pri teh pogojih modifikacije ni ustrezno zaščiten.

Iz preglednice 5 je razvidno tudi povprečje izgube mase za kontrolne vzorce, in skupno povprečje izgube mase vseh kontrolnih vzorcev, ki je bila 44,62 %. Dvajset kontrolnih vzorcev, ki so služili za kontrolo vitalnosti navadne tramovke, so imeli povprečno izgubo mase 51,43 %.

Ko smo vzorce vzeli iz rastne komore, so bili kontrolni vzorci na otip mokri in mehki, modificirani pa bolj suhi in trši, kar lahko razberemo tudi iz preglednici 5, saj je bila vlažnost kontrolnih vzorcev precej visoka. Na beljavi bora – kontrolnih vzorcih, je bil rani les bolj razkrojen kot kasni, na modificiranih pa so se trgala posamezna vlakna. Kontrolni vzorci so po sušenju izgubili pravilno prizmatično obliko (slika 14), kar je značilnost gliv, ki povzročajo prizmatično rjavo trohno.



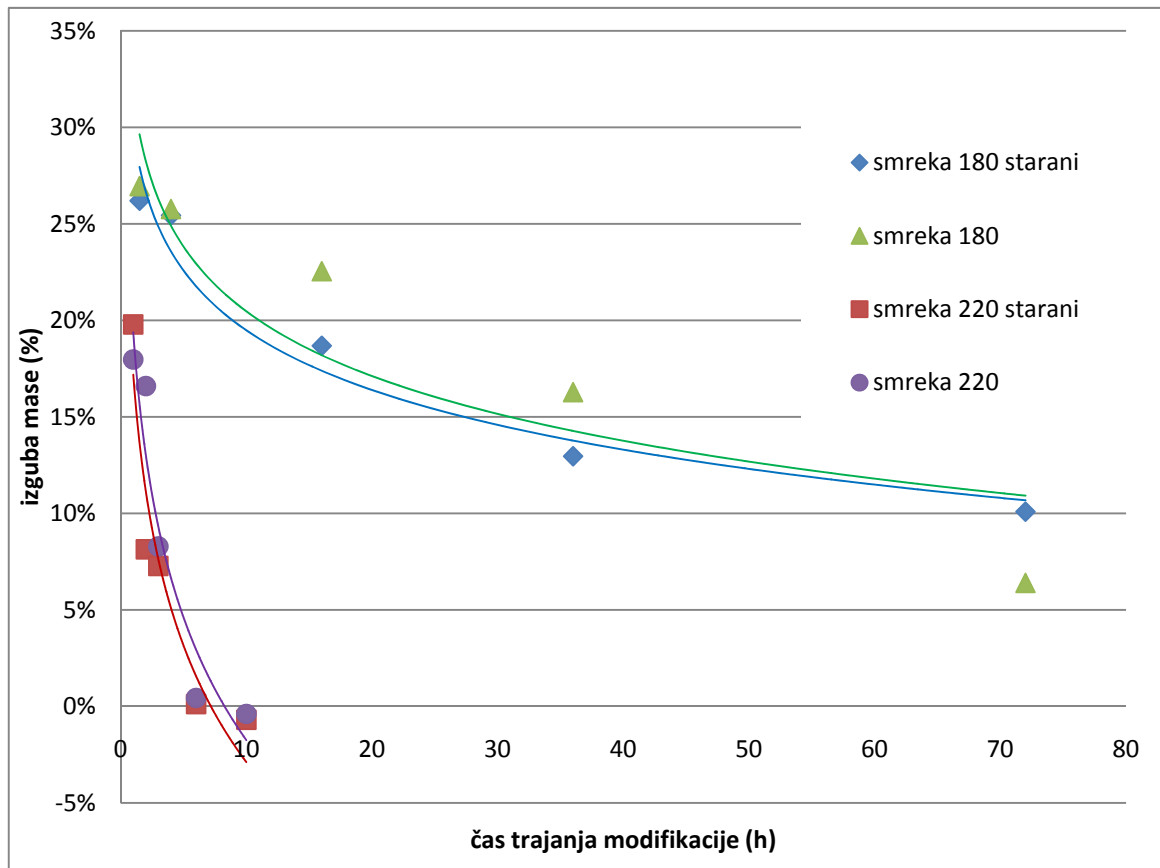
Slika 14: Primerjava kontrolnih borovih in smrekovih modificiranih vzorcev po izpostavit glivi *Gloeophyllum trabeum*

Preglednica 5: Povprečne izgube mase in vlažnosti smrekovih vzorcev izpostavljenih glivi *Gloeophyllum trabeum*, v odvisnosti od temperature modifikacije, časa modifikacije in staranja

Lesna vrsta	Temperatura modifikacije (°C)	Staranje	Čas modifikacije (h)	Povprečna izguba mase (%)	Povprečna izguba mase kontrolnih vzorcev(%)	Povprečna vlažnost po izpostavitvi (%)	Povprečne vlažnost kontrolnih vzorcev po izpostavitvi (%)
smreka	180	da	1,5	26,20	29,36	127,83	146,24
			4	25,44	19,44	123,85	166,79
			16	18,68	48,83	112,46	112,69
			36	12,96	50,00	120,40	118,27
			72	10,08	45,98	95,13	145,04
		ne	1,5	26,95	34,04	112,21	141,71
			4	25,76	34,61	111,32	139,59
			16	22,55	30,07	90,62	157,24
			36	16,28	47,73	88,22	118,89
			72	6,39	54,32	106,42	131,62
	220	da	1	19,79	43,11	98,32	139,31
			2	8,14	53,15	114,05	132,98
			3	7,28	50,45	77,77	117,91
			6	0,12	49,66	99,82	116,70
			10	-0,69	41,46	87,59	140,41
		ne	1	17,97	51,23	113,27	128,79
			2	16,60	49,17	93,12	151,99
			3	8,29	54,04	93,12	142,38
			6	0,44	53,74	94,48	120,62
			10	-0,39	46,97	86,58	121,94

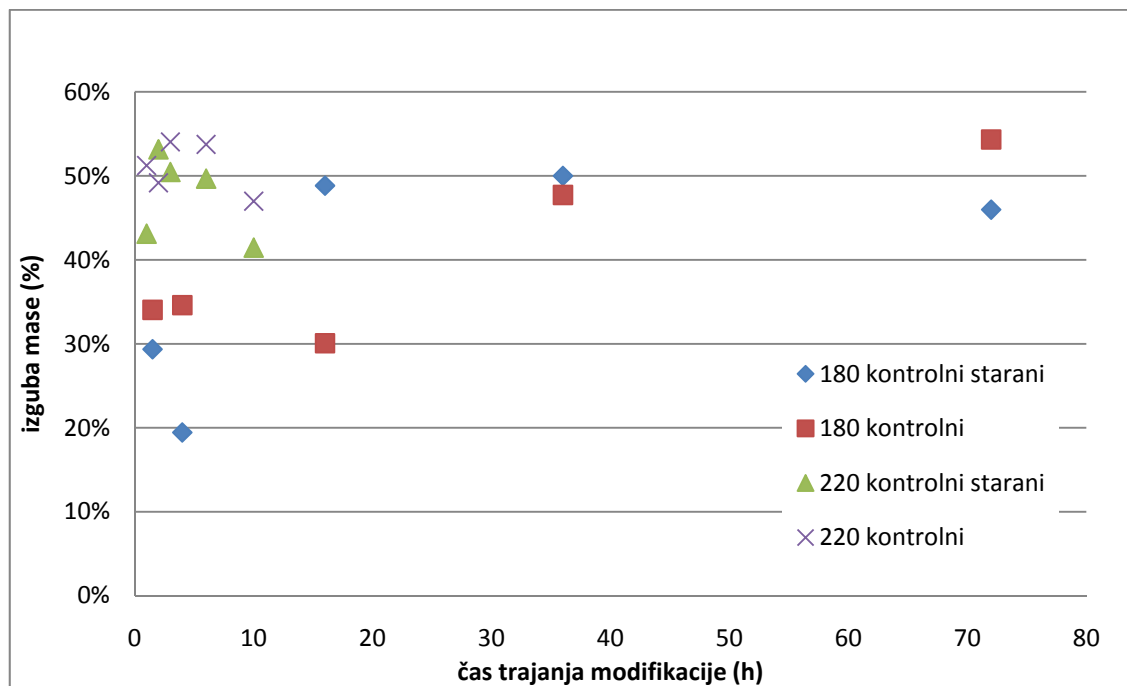
Iz predstavljenih podatkov je razvidno, da z višjo temperaturo dosežemo, že pri kratkih časih modifikacije, vidno zaščito pred rjavo trohno. Da bi dosegli podobno odpornost s temperaturo 180 °C, kot po eni uri modifikacije pri 220 °C, bi morali les toplotno obdelovati kar 16 ur. Pri 72 ur modifikacije pri 180°C se približamo istim rezultatom kot pri treh urah modifikacije smrekovine pri 220 °C. Pri teh pogojih je smrekovina izgubila

približno 8 % izgube mase, kar še vedno ne zagotavlja zadostne zaščite. Razlike med staranimi in ne staranimi vzorci so zanemarljive, saj imajo ponekod ne starani vzorci celo večje izgube mase, po delovanju glive navadne tramovke. Popolna zaščita je dosežena pri 220 °C in 6 urah, torej ni smotrno podaljševati časa modifikacije (slika 15, preglednica 6).



Slika 15: Izguba mase staranih in ne staranih smrekovih vzorcev po izpostavitvi glivi *Gloeophyllum trabeum* v odstotkih, v odvisnosti od stopnje modifikacije

Večina kontrolnih vzorcev ima izgubo mase v istem rangi in ni odvisna od tega s katerimi modificiranimi vzorci so bili v paru v eksperimentalnem kozarcu. Največja izguba mase pri kontrolnih vzorcih ne preseže 55 %. Najbolj izstopajo vzorci, ki so bili v paru z modificiranimi vzorci pri 180 °C in 4 urah. Ti vzorci so med izpostavitvijo glivam izgubili le 19,44 % mase, kar je manj od izgube mase vzporednih modificiranih vzorcev (slika 16).



Slika 16: Izguba mase kontrolnih smrekovih vzorcev po izpostavitvi glivi *Gloeophyllum trabeum*

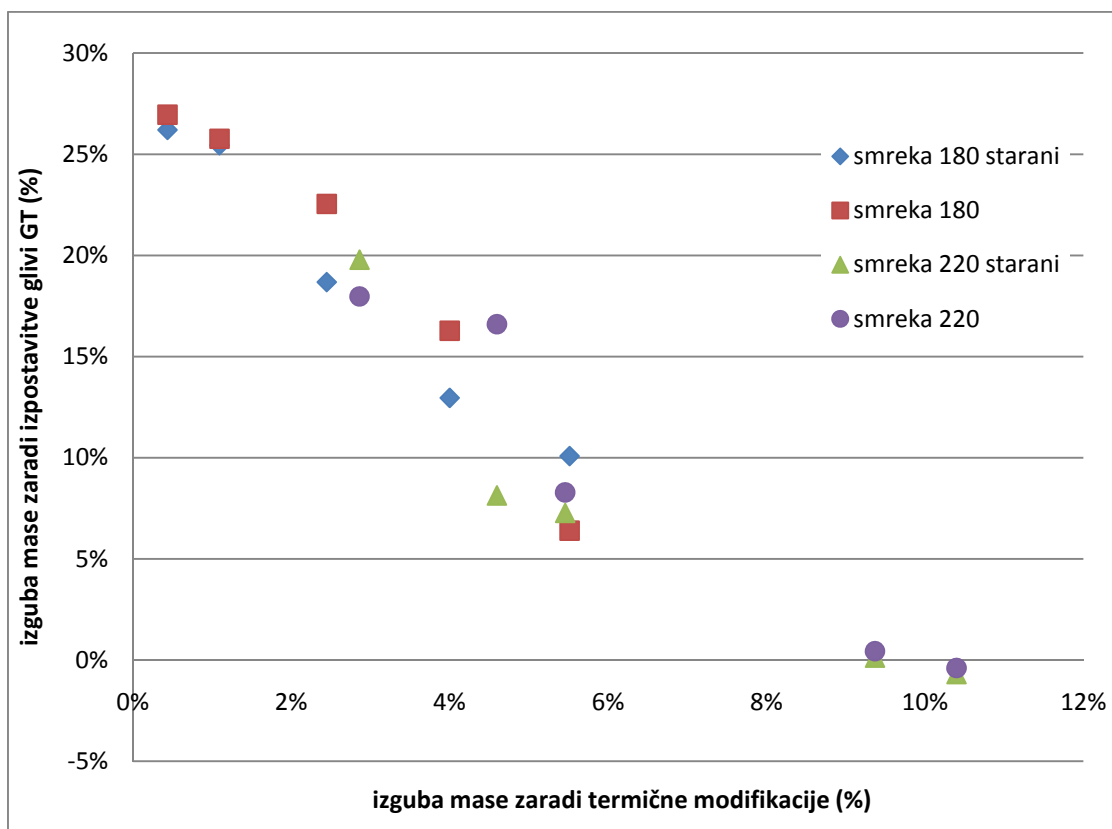
4.2.2 Povezava med izgubo mase med modifikacijo in izgubo mase zaradi delovanja glive *Gloeophyllum trabeum*

Pri večji izgubi mase zaradi termične modifikacije lesa, se izguba mase zaradi razkroja glive *Gloeophyllum trabeum* zmanjšuje, torej se poveča odpornost lesa proti glivi. Povprečna izguba mase zaradi modifikacije pri 220 °C je bila 10,40 %, pri 180 °C pa enkrat manjša, 5,51 %. Pri podobnih izgubah mase zaradi termičnega postopka, sledijo tudi podobne izgube mase, zaradi razkroja glive navadne tramovke. To je še posebej opazno v primerih: 180 °C ; 16 ur in 220 °C ; ena ura, kjer je izguba mase zaradi delovanja glive rjave trohnobe okoli 20 % in pri 180 °C ; 72 ur ter 220 °C ; tri ure kjer znaša izguba mase približno 8 % (slika 17, preglednica 6).

Preglednica 6: Povezava med izgubo mase zaradi postopka modifikacije in izgubo mase po izpostavitvi glivi
Gloeophyllum trabeum

Temperatura modifikacije (°C)	Čas modifikacije (h)	Povprečna izguba mase zaradi termične modifikacije (%)	Povprečna izguba mase po izpostavitvi glivi Gt2 (%)
20	0	0,00	26,13
180	1,5	0,44	26,58
180	4	1,09	25,60
180	16	2,45	20,61
180	36	4,00	14,62
180	72	5,51	8,24
220	1	2,86	18,88
220	2	4,59	12,37
220	3	5,46	7,78
220	6	9,37	0,28
220	10	10,40	-0,54

Na sliki 17 je opazna linearna povezava med izgubljeno maso po končanem postopku termične modifikacije in izgubo mase zaradi razkroja glive. Staranje vzorcev ni vplivalo na izgubo mase zaradi delovanja gliv, oziroma je ta vpliv zanemarljiv. Pri upoštevanju samo obeh izgub mase dobimo graf v katerem je linearna trendna črta R^2 enaka 0,966 (preglednica 6).



Slika 17: Povezava med izgubo mase zaradi termične modifikacije proti izgubi mase zaradi razkroja glive *Gloeophyllum trabeum*

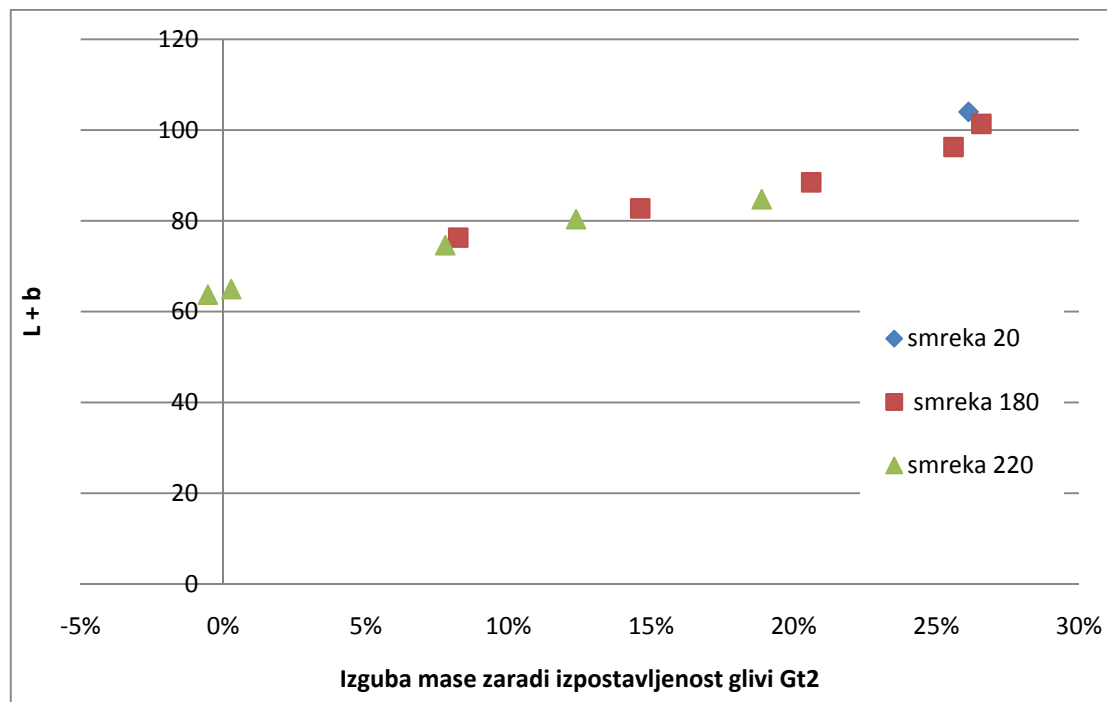
4.2.3 Povezava med barvo vzorcev in izgubo mase zaradi delovanja glive *Gloeophyllum trabeum*

Smreka ima naravno svetlejšo in bolj rumenkasto barvo lesa, kar predstavlja vrednost L in b vrednost. Že pri kratkotrajnih izpostavitvah temperaturi 180 °C les močno potemni. Z daljšanjem trajanja izpostavitve visokim temperaturam vrednost L+b pada, prav tako pada tudi izguba mase zaradi razkroja glive (preglednica 7).

Preglednica 7: Povezava med barvnimi spremembami modificiranih vzorcev in izgubo mase zaradi izpostavitve glivi *Gloeophyllum trabeum*

Temperatura (°C)	Trajanje modifikacije (h)	L+b	Povprečna izguba mase po izpostavitvi glivi Gt2 (%)
20	0	104,02	26,13
180	1,5	101,36	26,58
180	4	96,27	25,60
180	16	88,50	20,61
180	36	82,73	14,62
180	72	76,31	8,24
220	1	84,76	18,88
220	2	80,36	12,37
220	3	74,63	7,78
220	6	64,93	0,28
220	10	63,71	-0,54

Na sliki 18 je opazna linearna povezava med izgubo mase in barvnimi spremembami. Manjša kot je L+b vrednost manjša je izguba mase. Ta slika jasno kaže na to, da so temnejši vzorci bolj odporni na glivni razkroj, kot svetlejši.

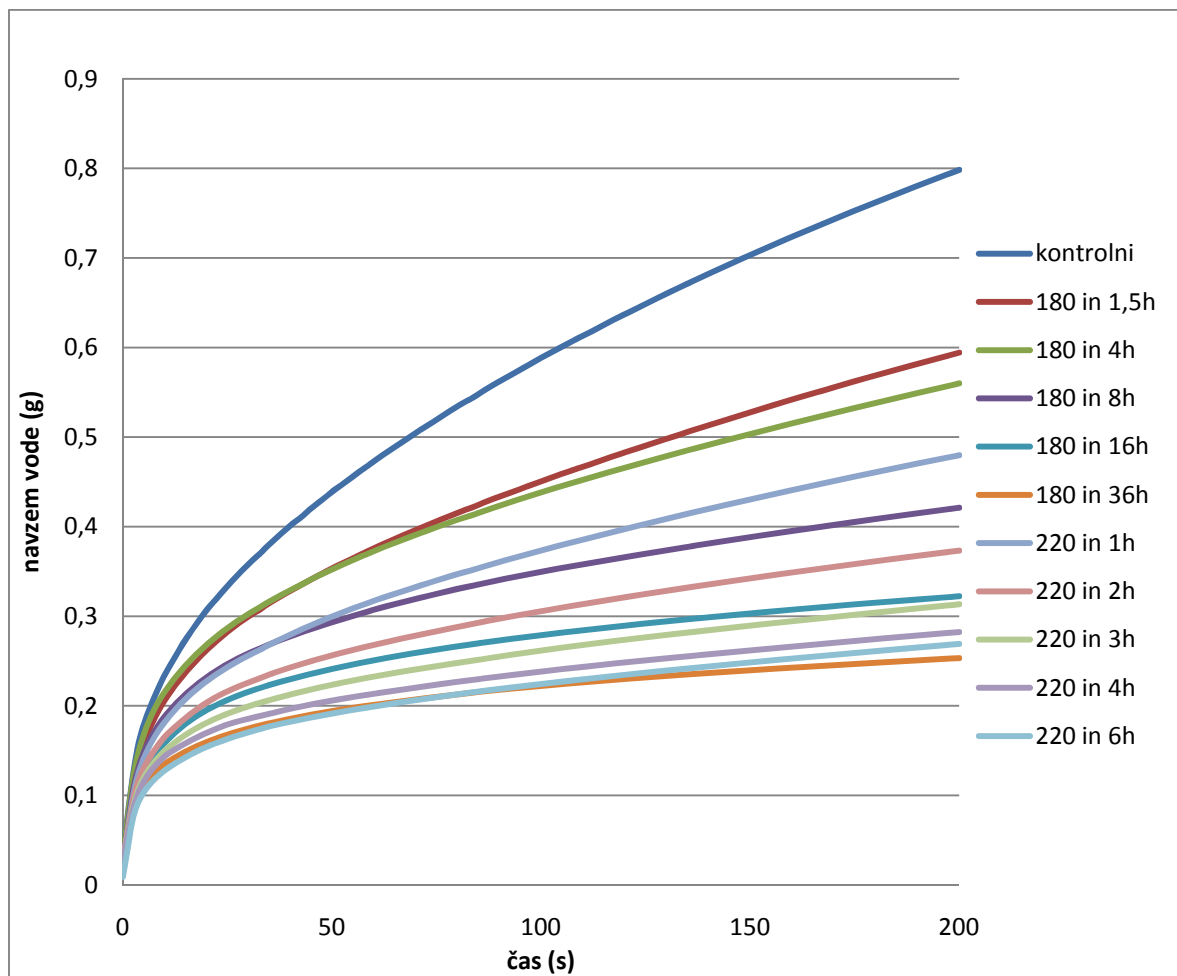


Slika 18: Povezava med barvnimi spremembami in izgubo mase

4.3 VPLIV POSTOPKOV MODIFIKACIJE NA KRATKOTRAJNI NAVZEM VODE, DOLOČEN S TENZIOMETROM

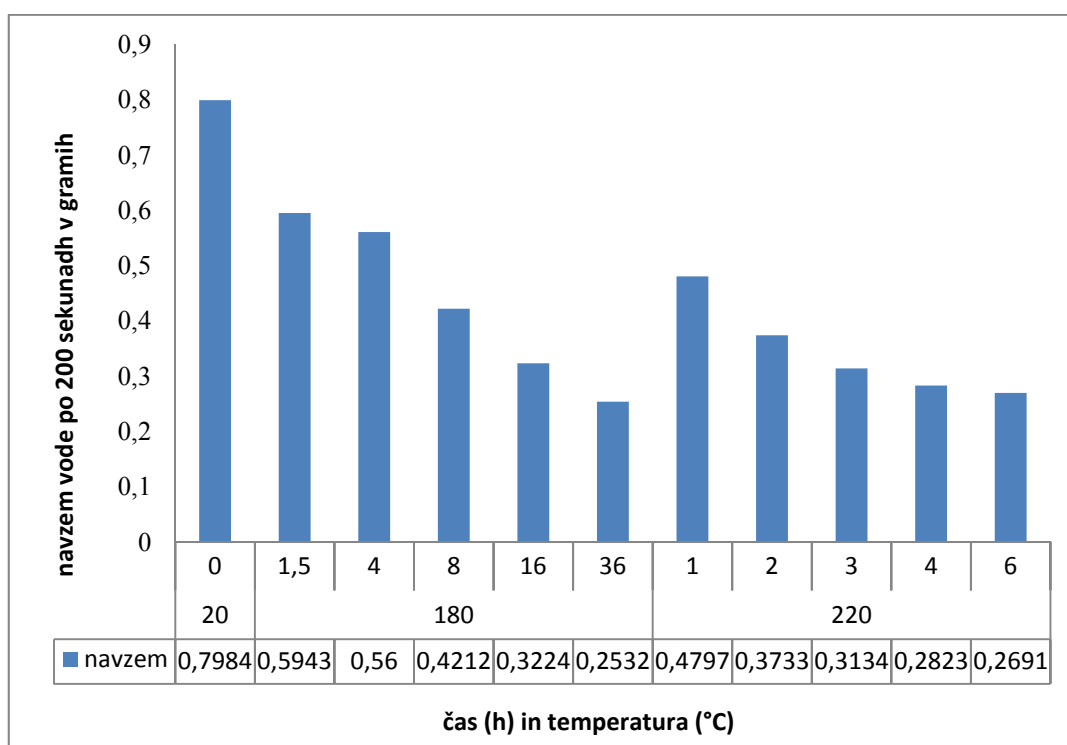
4.3.1 Kratkotrajni navzemi vode pri bukovih vzorcih

Na sliki 19 je prikazanih 11 različnih krivulj. Vsaka krivulja predstavlja povprečje stotih meritev na desetih vzporednih vzorcih in prikazuje časovno dinamiko navzema vode v čela vzorcev v 200 sekundah. Krivulje lahko razdelimo v tri glavne skupine. Prva je kontrolna nemodificirana skupina, ki predstavlja eno krivuljo in kaže na največji navzem vode. V drugi skupini je zajetih pet krivulj, kjer so bili vzorci, ki so bili od 1,5 ure do 36 ur modificirani pri 180 °C in v tretji pa so bili vzorci, ki so bili različno časovno obdobje modificirani pri 220 °C. Zanimivo je, da smo najnižji navzem vode določili pri bukovih vzorcih, ki so bili 36 ur modificirani pri 180 °C.



Slika 19: Navzem vode bukovih vzorcev v času 200 sekund

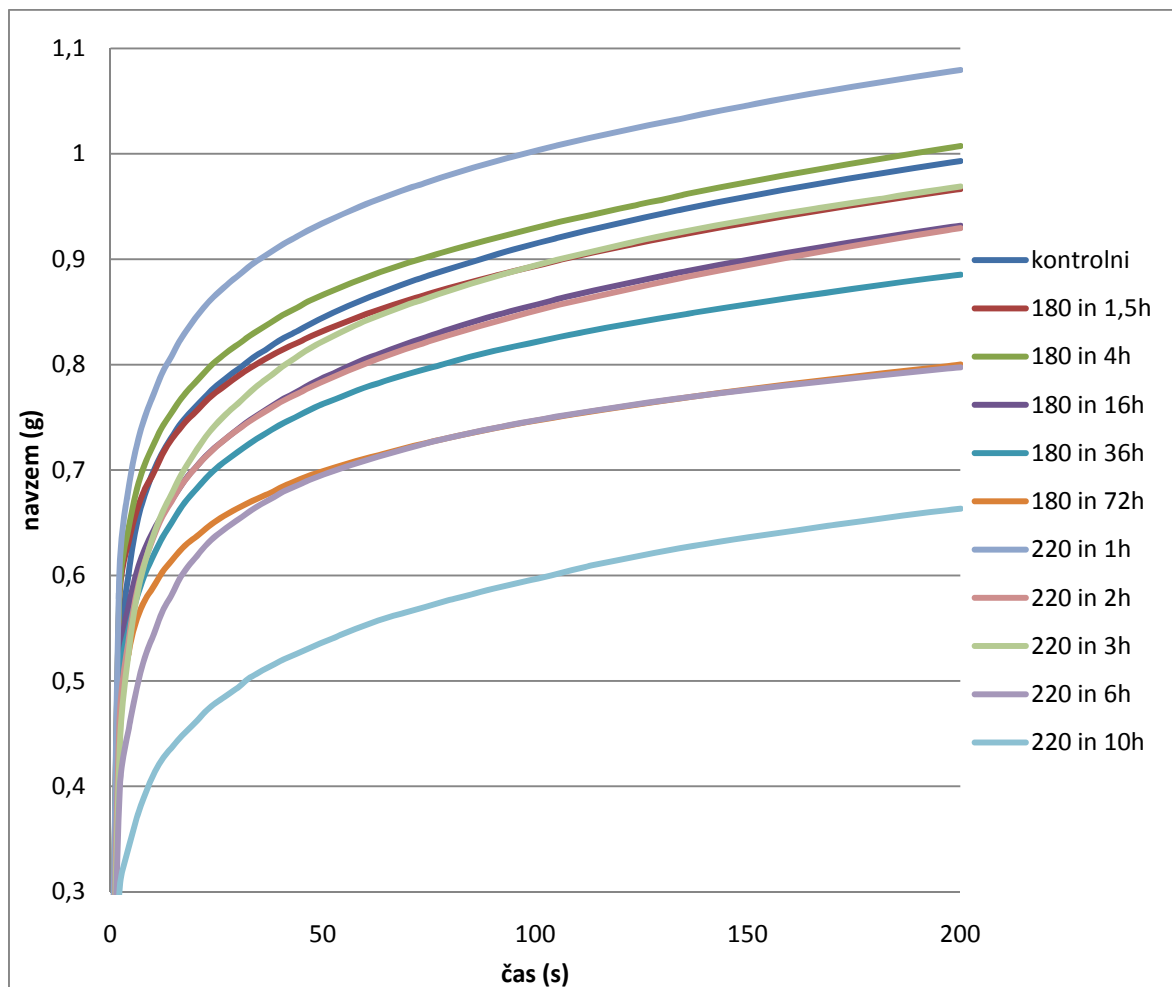
V kolikor primerjamo podatke o navzem vode v vzorce med seboj opazimo, da so imeli najbolj hidrofobni vzorci (0,25 g), kar trikrat nižji navzem kot kontrolni vzorci (0,80 g). Poleg tega so opazne padajoče vrednosti navzema, z višjo stopnjo modifikacije (slika 20).



Slika 20: Vpliv temperature in trajanja modifikacije na navzem vode

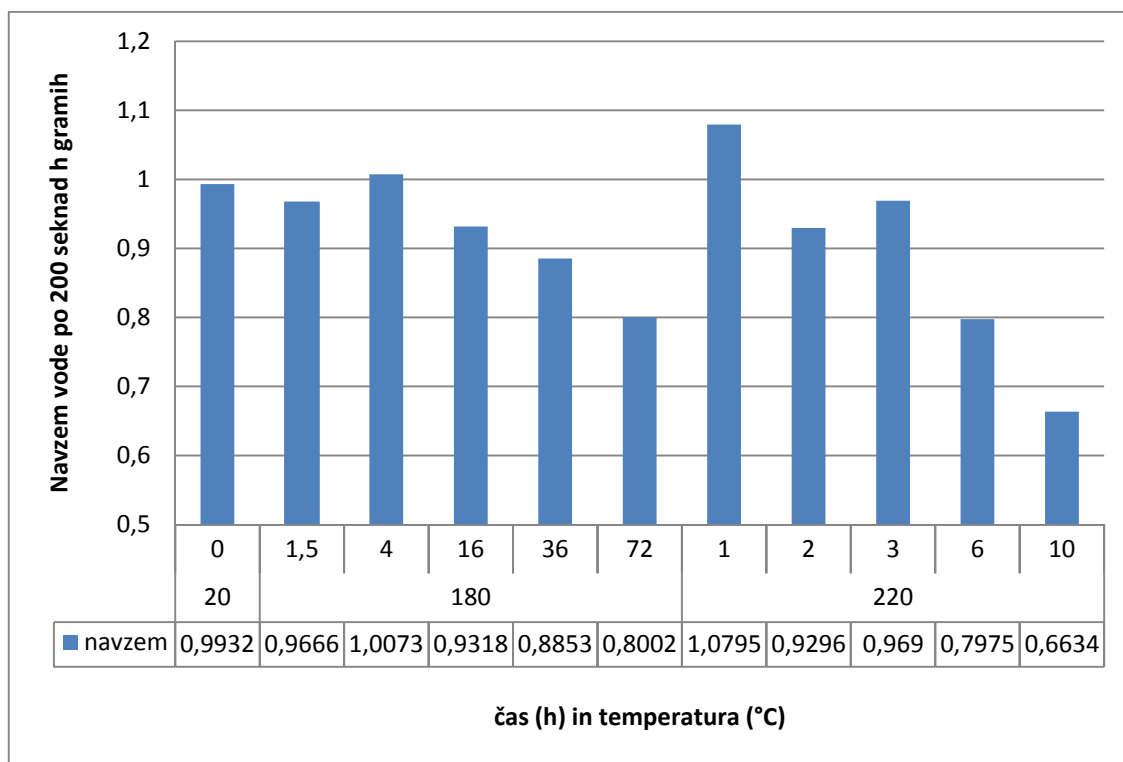
4.3.2 Kratkotrajni navzemi vode pri smrekovih vzorcih

Slika 22 je podobna sliki 20, le da prikazuje kratkotrajni navzem vode v smrekove vzorce. Vrednosti do 0,3 g navzema, naraščajo približno primerljivo, od tu naprej pa se pokažejo večje razlike med posameznimi skupinami vzorcev. Najnižji navzem je znašal 0,66 g (220 °C ; 10 ur), ki je precej nižji od ostalih, sledijo pa mu vzorci modificirani pri (220 °C ; 6 ur) ter (180 °C ; 72 ur), ki imajo primerljiv končni navzem vode po 200 sekundah 0,80 g. Kontrolni vzorci so vpili 0,99 g vode, kar je še en dokaz, da so modificirani vzorci bolj hidrofobni od nemodificiranih.



Slika 21: Navzem vode smrekovih vzorcev v času 200 sekund

Najpomembnejši podatki pri navzemu so končne vrednosti sprejete vode, torej vrednosti po 200 sekundah. Ugotovili smo, da nimajo največjega navzema kontrolni vzorci, temveč vzorci, ki so bili eno uro izpostavljeni temperaturi 220 °C (1,08 g). Na sliki 22 je prav tako razvidno, da se navzem vode med kratkotrajnim namakanjem s stopnjo modifikacije zmanjšuje. Postopek termične modifikacije je pri 220 °C in desetih urah bolj učinkovit kot pa pri 180 °C in 72 urah. Pri najbolj modificiranih vzorcih se navzem vode zmanjša za približno 30 % (slika 22).



Slika 22: Vpliv temperature in trajanja modifikacije na navzem vode

5 SKLEPI

Rezultate raziskave lahko strnemo v naslednje ugotovitve:

- Pri izpostavitvi lesa visokim temperaturam pride do izgube mase zaradi sprememb, ki se zgodijo v strukturi celične stene in tako dobimo nov material. Glavna posledica segrevanja je zmanjšana higroskopsnost lesa, posledica te higroskopsnosti pa je boljša dimenzijska obstojnost in večja odpornost proti lesnim glivam.
- Pri istih pogojih toplotne modifikacije pride pri bukovini do večjih izgub mase kot pri smrekovini.
- Izguba mase zaradi postopka termične modifikacije lesa predstavlja eno najpomembnejših karakteristik tega postopka. Velja, da večja kot je izguba mase večja je stopnja modifikacije in s tem večja zaščita pred delovanjem gliv. Najboljšo odpornost lesa proti glivam smo dosegli pri tistih vzorcih, ki so imeli največjo izgubo mase zaradi termične modifikacije. Ugotovili smo, da ni pomembno kako pridemo do izgube mase (visoka temperatura in kratek čas ali nižja temperatura in daljši čas trajanja postopka modifikacije), ker je učinek na glivo primerljiv v vseh primerih.
- Vpliv temperature na odpornost modificiranega lesa proti glivam je večji, kot vpliv trajanja postopka termične modifikacije. Z višjo temperaturo dosežemo višjo stopnjo zaščite termično modificiranega lesa.
- S termično modifikacijo bukovine ne dosežemo popolne zaščite proti glivi *Trametes versicolor*.
- S termično modifikacijo smrekovine pri 180 °C ne dosežemo ustrezne zaščite proti glivi *Gloeophyllum trabeum*. S temperaturo 220 °C pa dosežemo popolno zaščito že po šestih urah modifikacije smrekovega lesa.

- Termično modificiran les ima podobne izgube mase zaradi delovanja gliv, kot umetno staran modificiran les.
- Pri termični modifikaciji les potemni. Stopnja spremembe barve je odvisna od temperature in trajanja modifikacije, kot tudi od postopka in samega materiala. Termično modificirana bukovina ima temnejšo barvo, kot termično modificirana smrekovina. Pri istem postopku termične modifikacije imajo vzorci z večjimi barvnimi spremembami manjšo izgubo mase.
- Navzem vode se z večanjem stopnje modifikacije zmanjšuje, tako pri smrekovih kot tudi pri bukovih vzorcih, torej je termično modificiran les bolj hidrofoben.

6 POVZETEK

Da bi zaščitili manj odporne vrste lesa na okoljsko sprejemljiv način, se poslužujemo različnih postopkov modifikacije lesa. Toplotna modifikacija predstavlja relativno enostaven postopek z zadovoljivim povišanjem odpornosti lesa proti lesnim glivam. Kljub temu se priporoča, da se toplotno modificiran les ne uporablja v stiku z zemljo in v konstrukcijske namene.

V želji, da bi določili optimalne pogoje termične modifikacije za njegovo največjo odpornost proti glivam, smo testirali dve različni vrsti lesa, smrekovino proti glivi navadni tramovki, bukovino pa proti glivi pisana ploskocevka. Vsaka vrsta lesa je bila modificirana pri dveh temperaturah ($T = 180\text{ °C}$ in $T = 220\text{ °C}$), trajanje modifikacije pa je bilo različno za vsako vrsto in za vsako temperaturo in je znašalo med 1 uro in 72 ur.

Za določitev odpornosti lesa proti glivam smo uporabili standard SIST EN 113 (1989), kjer smo po 16 tednih izpostavitve posamezni glivi določili izgubo mase, zaradi delovanj te glive.

Potrdili smo, da predstavlja izguba mase, zaradi termične modifikacije, pomemben podatek za prikaz stopnje modifikacije, saj so imeli vzorci z višjo izgubo mase med postopkom termične modifikacije, nižjo izgubo mase zaradi delovanja gliv. Termično modificiran les tudi potemni. Barva lesa lahko predstavlja orientacijsko vrednost za določanje stopnje modifikacije in odpornosti proti glivam.

S kratkotrajnimi navzemi vode določenimi s tenziometrom smo dokazali, da je modificiran les bolj hidrofoben, kar pa predstavlja pomembno lastnost za dimenzijsko stabilnost in v prvi fazi vpliva tudi na odpornost proti glivam, zaradi nezadostne vlažnosti.

7 VIRI

- Altgen M., Welzbacher C., Humar M., Militz H. 2012. ESR-spectroscopy as a potential method for the quality control of thermally modified wood. V: COST FP0904 Workshop, Current and Future Trends of Thermo-Hydro-Mechanical Modification of Wood, Opportunities for new markets? Nancy, France, Marec 26-28, 2012. <http://www.cost-fp0904.ahb.bfh.ch> (7.2.2012)
- Benko R., Kervina-Hamovič L., Gruden M. 1987. Patologija lesa - lesna fitopatologija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 122 str.
- Carlie M., Watkinson S.C. 1994. The fungi. London, Academic press limited: 482 str.
- Eaton R.A., Hale M.D.C. 1993. Wood decay, pests and protection. London, Chapman and Hall: 250 str.
- Estevens M. B., Pereira M. H. 2009. Wood modification by heat treatment – a review. BioResources, 4,1: 370-404
- Golob V., Golob D. 2001 Teorija barve matrike. V: interdisciplinarnost barve. 1. Del. V znanosti, Maribor, 2001. Jeler S., Kumar M. (ur.). Ljubljana, Tiskarna Pleško: 199-230
- Gorišek Ž. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva slovenije: 235 str.
- Gorišek Ž. 2007. Modifikacija lesa. Korak, 8, 6: 26-29
- Hill C.A.S. 2006. Wood modification. Chemical, thermal and other processes. Chichester, John Wiley & Sons: 239 str.
- Homan W., Tjeerdsma B., Beckers E., Jorissen A. 2000. Structural and other properties of modified wood. <http://timber.ce.wsu.edu/Resources/papers/3-5-1.pdf> (5.3.2012)

- Humar M. 2008. Tramovka, najbolj kozmopolitanska lesna gliva. *Les*, 60, 4: 159
- Kamden D.P., Pizzi A., Triboulot M.C. 2000. Heat-treated timber: potentially toxic byproducts presence and extent of cell wall degradation. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 58, 4: 253-257
- Kariž M., Šernek M. 2008. Lepljenje termično modificiranega lesa. *Les*, 60, 7/8: 275-282
- Kirk T.K., Cullen D. 1998. Enzymology and molecular genetics of wood degradation by white-rot fungi. V: *Environmentally friendly technology for the pulp and paper industry*. Young R.A., Akhtar M. (eds.). New York, John Wiley and sons: 273-307
- Lesar B., Humar M., Oven P. 2008. Dejaniki naravne odpornosti lesa in njegove trajnosti. *Les*, 60, 11-12: 408-412
- Mayes D., Oksanen. 2003. *Thermo wood Handbook*. Helsinki, Finnish Thermowood Association. <http://www.vandormaeltimber.com/TW%20handbook%20FF.pdf> (23.4.2012)
- Militz H. 2002. Thermal treatment of wood: European processes and their background. IRG/WP 02-40241: 12-18
- Patzelt M., Stingel R., Teischinger A. 2002. Thermische Modifikation von Holz und deren Einfluss auf ausgewählte Holzeigenschaften, V: *Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte*. Teischinger A., Stingel R. (ed.). Wein, LIGNOVISINEN: 101-147
- Pečenko G. 1987. *Zaščita lesa v praksi*. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije: 221 str.
- Pohleven F. 2008. Pisana ploskocevka, najbolj pogosta lesna goba. *Les*, 60, 3: 115

- Rapp A.O., Sailer M. 2001. Oil heat treatment of wood in Germany – state of the art. V: Review on heat treatments of wood. Rapp A.O. (ur.) Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities: 18 str.
- Rep G., Pohleven F. 2001. Wood modification - a promising method for wood preservation = Modifikacija drva - obvečajúća metoda za zaštitu drva. Drvna industrija, 52, 2: 71-76.
- Schmidt O. 2006. Wood and tree fungi: Biology, Damage, Protection, and Use. Heidelberg, Springer-Verlang Berlin: 334 str.
- SIST EN 84. Wood preservatives; Accelerated ageing of treated wood prior to biological testing; Leaching procedure. 1996: 7 str.
- SIST EN 113 Zaščitna sredstva za les – Določanje meje učinkovitosti proti glivam odprtotrošnicam. 1989: 14 str.
- SIST EN 335-1 (Durability of wood and wood-base products; Definition of hazard classes of biological attack; Part 1: General = Trajnost lesa in lesnih materialov – Definicija razredov izpostavitve pred biološkim napadom. 1 del: Splošno). 1995: 4 str.
- SIST EN 350-1 (1994) Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood – Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood
- SIST EN 350-2 (1994) Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood – Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe.
- Syrjanen T., 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.

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

Weiland J., Guyonnet R. 2003. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. Holz als Roh und- Werkst., 61: 216-220

Welzbacher C. R., Brischke C., Rapp A. O. 2007. Influence of treatment temperature and duration on selected biological, mechanical, physical and optical properties of thermally modified timber. Wood Material Science and Engineering, 1, 1: 34-38

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Mihi Humarju za zanimivo temo diplomskega dela, za usmerjanje ter vso strokovno pomoč, s katero je pripomogel k nastanku tega dela.

Seveda gre enaka zahvala tudi somentorju dr. Boštjanu Lesarju in ostalim zaposlenim na katedri za patologijo lesa. Prav tako bi se rad zahvalil prof. dr. Francu Pohlevnu za opravljeno recenzijo.

Posebno bi se rad zahvalil staršem, ki so me podpirali in mi omogočili izbran študij ter bratoma Brinu in Mihi za vso strpnost in podporo.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Niko ŠTABUC

**VPLIV TEMPERATURE IN TRAJANJA
POSTOPKA TERMIČNE MODIFIKACIJE LESA
NA FUNGICIDNE LASTNOSTI MODIFICIRANEGA LESA**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2012