

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej PFEIFER

**VPLIV TERMIČNE MODIFIKACIJE ZGOŠČENEGA
LESA NA ODPORNOST PROTI GLIVAM
RAZKROJEVALKAM**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2013

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej PFEIFER

**VPLIV TERMIČNE MODIFIKACIJE ZGOŠČENEGA LESA NA
ODPORNOST PROTI GLIVAM RAZKROJEVALKAM**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

**INFLUENCE OF THERMAL MODIFICATION OF DENSIFIED
WOOD ON FUNGICIDAL PROPERTIES**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2013

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknastih kompozitov na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Raziskava je bila opravljena v laboratorijih Delovne skupine za patologijo in zaščito lesa.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Miha Humarja, za somentorico doc. dr. Andrejo Kutnar, za recenzenta pa prof. dr. Franca Pohlevna.

Mentor: prof. dr. Miha Humar
Somentorica: doc. dr. Andreja Kutnar
Recenzent: prof. dr. Franc Pohleven

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Matej Pfeifer

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*844.2
KG	<i>Picea abies/Fagus sylvatica</i> /viskoelastično toplotno zgoščen (VTC) <i>les/Gloeophyllum trabeum/Trametes versicolor</i>
AV	PFEIFER, Matej
SA	HUMAR, Miha (mentor)/KUTNAR, Andreja (somentorica)/POHLEVEN, Franc (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2013
IN	VPLIV TERMIČNE MODIFIKACIJE ZGOŠČENEGA LESA NA ODPORNOST PROTI GLIVAM RAZKROJEVALKAM
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
OP	X, 39 str., 11 pregl., 25 sl., 26 vir
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Viskoelastično toplotno zgoščen (VTC) les ima zaradi visoke gostote in s tem izboljšanih mehanskih lastnosti velik potencial pri razvoju visokokakovostnih lesnih proizvodov. Širšo uporabo omejuje med drugim tudi slaba odpornost na glive razkrojevalke. Termična modifikacija je eden od načinov, s katerim lahko izboljšamo odpornost lesa proti lesnim glivam. S kombinacijo zgostitve in termične modifikacije lesa smo dosegli sinergijske učinke in pridobili material, ki je ohranil pozitivne lastnosti obeh postopkov. Termično modificiran VTC les je bistveno bolj odporen proti glivam kot nezgoščen les ali kot nemodificiran VTC les.

KEY WORDS DOKUMENTATION

DN	Dv
DC	UDK 630*844.2
CX	<i>Picea abies/ Fagus sylvatica/ viscoelastic thermal compressed (VTC) wood /Gloeophyllum trabeum/ Trametes versicolor</i>
AU	PFEIFER, Matej
AA	HUMAR, Miha (supervisor)/KUTNAR, Andreja (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	2013
TI	INFLUENCE OF THERMAL MODIFICATION OF DENSIFIED WOOD ON FUNGICIDAL PROPERTIES
DT	B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
NO	X, 39 p., 11 tab., 25 fig., 26 ref.
LA	sl
AL	en
AB	Viscoelastic thermal compressed (VTC) wood has due to its high density considerably better mechanical properties, and therefore, expresses a great potential for the development of the high quality wood products. The wider application is limited, among others, also because its weak resistance to the wood decay fungi. The thermal modification is one of the methods able to improve the resistance of wood against wood decay fungi. By applying the VTC compressions and the thermal modifications of wood the synergy effects were achieved, and material preserving the positive features of both procedures gained. The thermal modified VTC wood is significantly more resistant to fungi than the non-compressed wood or the non-modified VTC wood.

KAZALO VSEBINE

s.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOKUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 CILJI NALOGE	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE.....	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 LES.....	3
2.1.1 Smreka (<i>Picea abies</i>)	3
2.1.2 Smrekovina.....	5
2.1.3 Bukev (<i>Fagus sylvatica</i>)	6
2.1.4 Bukovina.....	8
2.2 NARAVNA ODPORNOST LESA	9
2.3 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA	10
2.4 LESNE GLIVE	11
2.5 VPLIV GLIVNEGA RAZKROJA NA LES	12
2.5.1 Rjava trohnoba.....	13
2.5.2 Bela trohnoba.....	13
2.5.3 Piravost - posebna oblika bele trohnobe	14
2.5.4 Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i>).....	14
2.5.5 Pisana ploskocevka (<i>Trametes versicolor</i>)	15
2.6 TERMIČNA MODIFIKACIJA LESA	16

2.7	POSTOPEK VISKOELASTIČNE TOPLOTNE ZGOSTITVE	16
3	MATERIALI IN METODE	18
3.1	MATERIALI.....	18
3.1.1	Lesni vzorci	18
3.1.2	Lesne glive	18
	<i>Trametes versicolor</i>	18
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	18
3.2	METODE	18
3.2.1	Postopek VTC.....	18
3.2.2	Termična modifikacija	20
3.2.3	Določanje odpornosti lesa v skladu z mini blok metodo	21
3.3	PRIPRAVA HRANILNEGA GOJIŠČA, STERILIZACIJA IN INOKULACIJA.....	23
3.3.1	Priprava hranilnega gojišča	23
3.3.2	Sterilizacija in inokulacija	24
4	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	27
4.1	VPLIV TEMPERATURE MODIFIKACIJE NA IZGUBO MASE NEZGOŠČENEGA LESA BUKVE	27
4.2	VPLIV TEMPERATURE MODIFIKACIJE NA IZGUBO MASE NEZGOŠČENEGA LESA SMREKE	28
4.3	VPLIV TEMPERATURE MODIFIKACIJE NA ODPORNOST SMREKOVINE, ZGOŠČENE S POSTOPKOM VTC	30
4.4	VPLIV TEMPERATURE MODIFIKACIJE NA ODPORNOST BUKOVINE, ZGOŠČENE S POSTOPKOM VTC	32
5	SKLEPI	35
6	POVZETEK.....	36
7	VIRI IN LITERATURA.....	37

KAZALO PREGLEDNIC

s.

Preglednica 1: Opis, lastnosti, obdelava in uporaba smrekovine (povzeto po Polanc in Leban, 2004)	5
Preglednica 2: Opis, lastnosti, obdelava in uporaba bukovine (povzeto po Polanc in Leban, 2004)	8
Preglednica 3: Lesne glive, uporabljene pri eksperimentu	18
Preglednica 4: Lastnosti VTC vzorcev in kontrolnih vzorcev bukovine in smrekovine	20
Preglednica 5: Oštevilčenje vzorcev	22
Preglednica 6: Izguba mase nezgoščenega lesa bukve v odvisnosti od temperature modifikacije zaradi izpostavitve glivi pisana ploskocevka	27
Preglednica 7: Izguba mase nezgoščenega lesa smreke v odvisnosti od temperature modifikacije zaradi izpostavitve glivi navadna tramovka	29
Preglednica 8: Izguba mase zgoščenega lesa smreke v odvisnosti od temperature modifikacije zaradi izpostavitve glivi navadna tramovka v postopku A	30
Preglednica 9: Izguba mase zgoščenega lesa smreke v odvisnosti od temperature modifikacije zaradi izpostavitve glivi navadna tramovka v postopku B	31
Preglednica 10: Izguba mase zgoščenega lesa bukve v odvisnosti od temperature modifikacije zaradi izpostavitve glivi pisana ploskocevka (postopek A)	33
Preglednica 11: Izguba mase zgoščenega lesa bukve v odvisnosti od temperature modifikacije zaradi izpostavitve glivi pisana ploskocevka (postopek B)	33

KAZALO SLIK

s.

Slika 1: Smreka (<i>Picea abies</i>) (foto: Matej Pfeifer)	4
Slika 2: Izdelki iz smrekovine (foto: Matej Pfeifer)	5
Slika 3: Bukev (<i>Fagus sylvatica</i>) (foto: Matej Pfeifer)	6
Slika 4: Izdelki iz bukovine (foto: Matej Pfeifer)	8
Slika 5: Terenski test naravne odpornosti lesa, kjer se vzorci lahko zelo hitro sušijo (foto: Miha Humar)	9
Slika 6: Biotični in abiotični razkrojevalci lesa (Kervina-Hamović, 1990)	10
Slika 7: Razkroj lesa zaradi rjave trohnobe (Belinka)	13
Slika 8: Razkroj lesa zaradi bele trohnobe (Humar, 2012)	14
Slika 9: Piravost lesa (Humar, 2012)	14
Slika 10: Plodišče navadne tramovke (<i>G. trabeum</i>) (Humar, 2008)	15
Slika 11: 3-slojni VTC kompozit (Kutnar in Šernek, 2009)	17
Slika 12: Naprava VTC (foto: Andreja Kutnar)	19
Slika 13: Komora za termično modifikacijo lesa (foto: Franc Pohleven)	21
Slika 14 : Oštevilčeni vzorci (foto: Matej Pfeifer)	22
Slika 15: Tehtnica Sartorius (foto: Matej Pfeifer)	23
Slika 16: Avtoklav (foto: Matej Pfeifer)	24
Slika 17: PVC mrežice (foto: Matej Pfeifer)	25
Slika 18: Brezprašna komora (foto: Matej Pfeifer)	25
Slika 19: Vzorci lesa, izpostavljeni glivam razkrojevalkam (foto: Matej Pfeifer)	25
Slika 20: Lesni vzorci po izpostavitvi glivam razkrojevalkam (foto: Matej Pfeifer)	26
Slika 21: Izguba mase nezgoščenega lesa bukve v odvisnosti od temperature termične modifikacije zaradi izpostavitve glivi pisana ploskocevka	28
Slika 22: Izguba mase nezgoščenega lesa smreke v odvisnosti od temperature termične modifikacije zaradi izpostavitve glivi navadna tramovka	29
Slika 23: Izguba mase zgoščenega lesa smreke v odvisnosti od temperature termične modifikacije zaradi izpostavitve glivi navadna tramovka v postopku A	31

Slika 24: Izguba mase zgoščenega lesa smreke v odvisnosti od temperature termične modifikacije zaradi izpostavitve glivi navadna tramovka v postopku B	32
Slika 25: Izguba mase zgoščenega lesa bukve v odvisnosti od temperature termične modifikacije zaradi izpostavitve glivi pisana ploskocevka v postopku B	34

SLOVARČEK

Bela trohnoba	Bela trohnoba je trohnoba, ki jo povzročajo glive; le-te razgrajujejo predvsem lignin, delno tudi celulozo in hemicelulozo, pri čemer ostaja celuloza v presežku (prebitku, v večjem deležu) (Česen in sod., 2008).
Rjava trohnoba	Rjava trohnoba je trohnoba, ki jo povzročajo glive, ki razgrajujejo celulozo in hemicelulozo, v (presežku) prebitku pa ostane lignin, ki rjavo obarva strohneli les; zanjo so značilne razpoke vzdolžno in prečno na vlakna (Česen in sod., 2008).
VTC les	Viskoelastično toplotno zgoščen les. Les, zgoščen po posebnem postopku s pomočjo nasičene vodne pare, visoke temperature in tlaka.
Jedrovina	Starostni in dedni pojav, ki nastane v osrednjem delu debla posameznega drevesa; parenhimske celice odmrejo, začne se odlaganje raznih jedrovinskih snovi v celične stene in lumne, zaprejo se obokane piknje; pri nekaterih drevesnih vrstah je ta jedrovina temneje obarvana.
Tv	<i>Trametes versicolor</i> (pisana ploskoceevka), tipična predstavnica gliv, ki povzročajo belo trohnobo.
Gt2	<i>Gloeophyllum trabeum</i> (navadna tramovka), tipična predstavnica gliv, ki povzročajo rjavo trohnobo.

1 UVOD

Les zaradi vedno večje zahteve po uporabi obnovljivih gradbenih materialov pridobiva na pomembnosti. Je naraven, obnovljiv in relativno odporen material. Res je, da so tropske vrste lesa odpornejše, vendar se kvaliteta domačega lesa (predvsem odpornost) z različnimi tehnikami lahko bistveno izboljša. Najbolj razširjena oblika zaščite lesa je uporaba biocidov, ki je učinkovita in poceni, vendar pa lahko ob neprimerni uporabi predstavlja tveganje za okolje in zdravje ljudi.

Biocidni proizvodi za zaščito lesa ne delujejo samo proti lesnim glivam in insektom, temveč so lahko potencialno škodljivi tudi za ljudi, živali ... Zato je potrebno pred postopkom zaščite biocidne proizvode za les dobro poznati in upoštevati predpise za uporabo in obdelavo zaščitene lesa (Eckhard in sod., 2008).

Zaradi vedno večjega okoljskega ozaveščanja uporabnikov, ki ne želijo uporabiti lesa iz tropskih pragozdov in se izogibajo biocidom, so se uveljavili okolju prijazni tehniški postopki zaščite lesa, med katere sodita modifikacija lesa in v zadnjih letih zlasti termična modifikacija lesa.

Z modifikacijo lesa povzročimo spremembe na osnovnih komponentah olesenele celične stene (hemicelulozi, celulozi ali ligninu).

Glede na to, kako izvedemo proces, delimo modifikacijo na:

- kemično (spremenimo strukturo kemične stene),
- fizikalno (s toploto in/ali tlakom),
- z impregnacijo s smolami ali monomeri,
- biotehnološko ... (Hill, 2006).

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Viskoelastično toplotno zgoščen (VTC) les ima zaradi visoke gostote in s tem izboljšanih mehanskih lastnosti velik potencial pri razvoju visokokakovostnih lesnih produktov. Njegovo širšo uporabo omejuje med drugim tudi slaba odpornost proti glivam razkrojevalkam. Termična modifikacija je eden od načinov, s katerim lahko izboljšamo odpornost lesa proti lesni glivi, vendar pa lahko negativno vpliva na mehanske lastnosti. Načrtujemo, da bomo s kombinacijo zgostitve in termične modifikacije lesa dosegli sinergijske učinke in pridobili material, ki bo ohranil pozitivne lastnosti obeh postopkov. V okviru diplomske naloge smo se osredotočili na odpornost zgoščenega lesa in termično modificiranega lesa na glive razkrojevalke lesa.

1.2 CILJI NALOGE

Cilji diplomske naloge so:

- Določiti vpliv temperature termične modifikacije na odpornost smrekovine in bukovine na glive razkrojevalke.
- Določiti vpliv temperature termične modifikacije na odpornost viskoelastično toplotno zgoščene smrekovine na navadno tramovko.
- Določiti vpliv temperature termične modifikacije na odpornost viskoelastično toplotno zgoščene bukovine na pisano ploskocevko.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

V diplomski nalogi smo postavili dve delovni hipotezi:

- Hipoteza 1: Termična modifikacija izboljša odpornost VTC lesa proti glivam razkrojevalkam.
- Hipoteza 2: S kombinacijo termične modifikacije in zgostitve lesa v skladu s postopkom VTC dosežemo sinergijske učinke na odpornost proti glivam razkrojevalkam.

2 PREGLED OBJAV

2.1 LES

Po Torelliju (1990) je les sekundarni ksilem; glavno mehansko in za vodo prevodno tkivo debel in korenin, za katerega so značilni trahealni elementi.

Les je olesenelo vlaknasto bolj ali manj trajno tkivo rastlin (dreves in grmov), ki nastaja v času sekundarne rasti z delitvijo celic v kambiju. Premer debel, vej in korenin se tako od stržena navzven povečuje. V sekundarni rasti lesnih rastlin nastajajo v kambiju z delitvijo navzven tudi celice skorje. Kambij običajno proizvede več celic lesa kot skorje (Gorišek, 2009).

Najpomembnejši lesni vrsti v Sloveniji sta smreka in bukev. Skupaj predstavljata skoraj dve tretjini lesne zaloge v Sloveniji (ZGS, 2011). Žal sta obe vrsti neodporni, zato moramo les na takšen ali drugačen način zaščititi, če ga želimo uporabiti na prostem. V naslednjih podpoglavjih sta predstavljeni obe lesni vrsti, ki smo ju uporabili tudi v okviru naše raziskave.

2.1.1 Smreka (*Picea abies*)

Smreka je drevo severne poloble. Uspeva v severnih in hribovitih predelih srednje Evrope. Pri nas je razširjena po celi Sloveniji, redkeje na Primorskem in v Istri. Zaradi velikega gospodarskega pomena jo že od nekdaj načrtno gojijo (Pippa, 1997).

Smreka ima ravno, vitko in polnolesno deblo, zlasti če raste v strnjenem gozdu (slika 1). Krošnja je stožčasta oziroma piramidasta. Zraste v višino od 30 do 50 m, redko več, in doseže prsni premer tudi do 2 m. Skorja je tanka, rjavo rdečkasta in dolgo gladka (Pippa, 1997).



Slika 1: Smreka (*Picea abies*) (foto: Matej Pfeifer)

Pippa (1997) podrobneje opiše lastnosti, napake in uporabo smrekovega lesa. Smreka nima obarvane jedrovine, les je rumenkasto bele do rumenkasto rjave barve in diši po smoli (preglednica 1). Za smrekovino lahko rečemo, da je podobna jelovini, ki pa nima smolnatih kanalov in je bolj belkasta, pogosto z modrikastim odtenkom. Smrekov les je redek do srednje gost, se zmerno krči, je elastičen in trden, lahko cepljiv in se dobro suši. Uvrščamo ga med neodporne lesne vrste, saj ni odporen proti glivam in insektom. Če ga uporabljamo na prostem, njegovo trajnost lahko povečamo z impregnacijsko zaščito. Grčavost, smolike, modrikavost, trohnoba in rovi insektov so najpogostejše napake smrekovega lesa. Smrekovina se uporablja kot gradbeni ter konstrukcijski les za nizke in visoke gradnje, v stavbnem in pohištvenem mizarstvu, za embalažo, lesno volno in za proizvodnjo lesnih tvoriv, kamor prištevamo furnir ter vezane in mizarske plošče. Za izdelavo glasbil, športnih orodij, letal in plovil uporabljamo resonančno smrekovino (preglednica 1, slika 2).

2.1.2 Smrekovina

Preglednica 1: Opis, lastnosti, obdelava in uporaba smrekovine (povzeto po Polanc in Leban, 2004)

Opis lesa	Lastnosti lesa	Obdelava	Uporaba
Beljava in jedrovina sta rumenkasto bele do rdečkasto bele barve. Star les je rumenkasto rjav. Meja med branikami je razločna. Prehod iz ranega v kasni les v braniki je postopen. Smolni kanali so videti v kasnem lesu kot svetle točke. Opazimo jih na gladkem prečnem prerezu in na vzdolžnih prerezih. Trakovi so ozki in jih ne vidimo s prostim očesom. Prečni prerez grč je praviloma ovalen. Les ima prijeten vonj in se rahlo sveti. Skobljan les ima svilen sijaj.	Gostota smrekovine je nizka do srednja. Les je zelo mehak. Gostota absolutno suhega lesa: 300 - 490 - 860 kg/m³. Gostota zračno suhega lesa: 330 - 510- 890 kg/m³. Tlačna trdnost je srednja, upogibna trdnost nizka. Modul elastičnosti in razcepni odpor sta nizka. Ni odporen proti glivam in insektom, zmerno odporen je na vremenske vplive, če ni v stiku z zemljo. Zmerno odporen je proti šibkim kislinam in bazam. Po končanem sušenju je dimenzijsko stabilen.	Dobro in lahko se suši, malo nagnjen k veženju in pokanju. Izdelamo lahko gladke površine, dobro se mehansko obdeluje in struži. Zmerno dobro se lepi, luži in lakira, težko se impregnira.	Smrekovina se uporablja za: - furnir, - vezane plošče, - pohištvo, - obloge, - notranjo opremo, - stavbno pohištvo, - ostrejša hiše, - iverne in vlaknene plošče, - izdelavo glasbil, - embalažo, - celulozo.



Slika 2: Izdelki iz smrekovine (foto: Matej Pfeifer)

2.1.3 Bukev (*Fagus sylvatica*)

Pippa (1997) opiše bukev kot zelo razširjeno drevesno vrsto. Poznamo več vrst in podvrst. Bukev raste po zahodni, srednji in južni Evropi, pri nas pa raste na severnih pobočjih, kjer je dovolj vlage. Danes sodi med najpomembnejše vrste listavcev. V preteklosti so jo uporabljali predvsem za energetske namene.



Slika 3: Bukev (*Fagus sylvatica*) (foto: Matej Pfeifer)

Bukev zraste do 30 m visoko, redkeje več, in obsega prsne premere od 100 do 150 cm (slika 3). V strnjenem gozdu oblikuje ravno in polnolesno deblo. Skorja je tanka in gladka, srebrno sive barve, z leti v spodnjem delu debla razpoka, potemni in je pogosto pokrita z lišaji (Pippa, 1997).

Pippa (1997) prišteva bukev med raztreseno porodne listavce, ki nima obarvane jedrovine. Les bukve je rdečkasto bele barve, pri starejših drevesih je zelo pogosto »rdeče srce«, ki ga vidimo na prečnem prerezu kot nepravilno oblikovano rdečerjavo navidezno jedrovino. Bukov les je gost, trd in se zelo krči. Je plastičen, malo elastičen, dobro cepljiv in se dobro suši. Pri sušenju moramo paziti, da le-to poteka počasi in previdno, sicer les razpoka, se zvija in obarva. Les se lepo obdeluje, lušči in reže v furnir. Značilno »rdeče srce«, piravost,

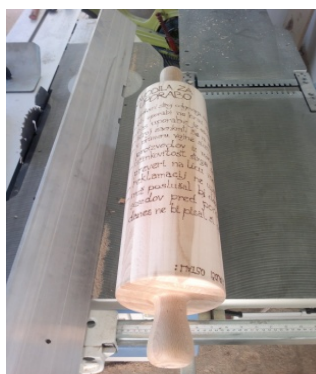
trohnoba, rovi insektov in grčavost so najbolj značilne napake bukovega lesa. Nezaščiten bukovina na prostem hitro propade.

Bukovino uporabljamo predvsem v gradbenem in pohištvenem mizarstvu. Krivljen in vezan les se uporablja za šolsko in pisarniško pohištvo. Iz bukovine izdelujemo železniške pragove, ročaje, igrače, embalažo, galanterijske izdelke in različne stružene izdelke. Bukovina se uporablja za izdelavo furnirja, ki je osnova za proizvodnjo vezanih in mizarskih plošč. Bukov les je tudi surovina za izdelavo oglja, ivernih plošč, celulozo in številne lesne kompozite (preglednica 2, slika 4).

2.1.4 Bukovina

Preglednica 2: Opis, lastnosti, obdelava in uporaba bukovine (povzeto po Polanc in Leban, 2004)

Opis lesa	Lastnosti lesa	Obdelava	Uporaba
Rdečkasto bele barve, potemni v rumenkasto rjavo barvo. Pogosto se pojavi diskoloriran les »rdeče srce«. Les je raztreseno porozen, traheje so manjše, nerazločne. Trakovi so široki, razločni, izgledajo temnejši kot tkivo okoli njih. Skobljane površine so motne, se ne svetijo. Parjena bukovina je rdečkasto rjave barve.	Les ima visoko gostoto in je zelo trd. Gostota absolutno suhega lesa: 490 - 680 - 800 kg/m³. Gostota zračno suhega lesa: 540 - 720 - 910 kg/m³. Tlačna in upogibna trdnost sta visoki. Modul elastičnosti je visok. Les ni odporen niti proti vremenskim vplivom niti proti glivam in insektom. Po končanem sušenju ima bukovina slabo dimenzijsko stabilnost. Brusni prah povzroča vnetja kože in bronhialno astmo, obstoja utemeljen sum, da povzroča rakava obolenja.	Bukovina se počasi suši, nagnjena je k pokanju in se močno krči. Dobro se mehansko obdeluje, tudi struži in krivi. Dobro se lepi in površinsko obdeluje. Diskoloriran les se težko impregnira. Med obdelavo bukovine je izredno pomembno brezhibno odsesavanje prahu.	Bukovina se uporablja za: - furnir, - vezane plošče, - pohištvo, - stopnice, - parket, - ročaje pri orodju, - izdelavo vozil, - športne naprave, - iverne plošče, - vlaknene plošče, - celulozo, - papir, - kurjavo, - oglje.



Slika 4: Izdelki iz bukovine (foto: Matej Pfeifer)

2.2 NARAVNA ODPORNOST LESA

Les velja za okolju prijazen material in njegova naravna lastnost postaja vedno bolj cenjena. Uporaba kemikalij v biocidnih proizvodih za les postaja zaradi varovanja narave vedno bolj sporna. Naravna odpornost lesa je vse pomembnejša lastnost, saj je ključnega pomena za dolgo uporabo nezaščitenega lesa.

Znano je, da je bilo generacijam v preteklosti glavno vodilo pridobiti kakovosten les tako za gradnjo kot za kurjavo. Sečnjo lesa so prilagodili letnemu času in luninim menam. Za sečnjo najbolj ugodna obdobja so bila ob stari luni, od druge polovice decembra do prve polovice februarja. Takrat je hranljivih snovi v lesu najmanj. Les so sekali tudi po velikem šmarnu (15. avgust), saj se je vegetacijski proces takrat nekoliko umiril.

V zadnjem obdobju so raziskave potrdile, da čas sečnje nima neposrednega vpliva na lastnosti lesa in na njegovo naravno odpornost. Po drugi strani zima predstavlja neugoden čas za delovanje gliv in insektov, s čimer zmanjšamo možnost okužbe lesa. Les zimske in letne sečnje naj bi bil enako podvržen razkroju, če je med uporabo izpostavljen klimatskim pogojem, ki so ugodni za rast in razvoj gliv (Lesar in sod., 2008).

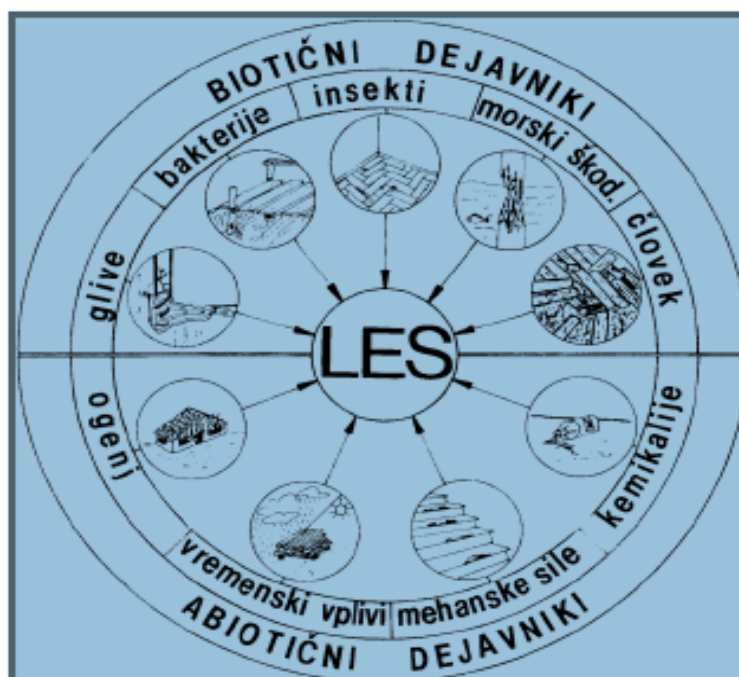


Slika 5: Terenski test naravne odpornosti lesa, kjer se vzorci lahko zelo hitro sušijo (foto: Miha Humar)

Na naravno odpornost lesa v največji meri vplivajo ekstraktivne snovi, vendar pa samo z ekstraktivi ni možno pojasniti naravne odpornosti. Poleg ekstraktivov na naravno odpornost vplivajo še hidrofobnost sestavin celične stene, zgradba lesa, gostota idr. Naravna odpornost lesa iste vrste ni vedno enaka, ampak se spreminja tako v drevesu kot tudi med posameznimi drevesi. Zaradi velike variabilnosti naravne odpornosti lesa se močno razlikuje tudi njegova trajnost, ki je odvisna tudi od mesta vgradnje in načina uporabe. Trajnost lesa je za uporabnika lesa pomembnejša od same naravne odpornosti, saj nam pove, koliko časa bo les obdržal svoje relevantne lastnosti. Zato je pomembno, da pri testiranju naravne odpornosti dobimo čim bolj natančno oceno trajnosti lesa, da lahko izberemo pravo lesno vrsto za določen namen uporabe (slika 3) (Lesar in sod., 2008).

2.3 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA

Les zaradi različnih dejavnikov iz organskih snovi razpada v anorganske (slika 6). Razgradnja ima v naravi pozitivno vlogo, saj razpadanje omogoča rast in razvoj rastlin. V naravi koristen razkroj lesa pa za izdelke poteka prehitro, zato ga poskušamo z različnimi ukrepi upočasniti.



Slika 6: Biotični in abiotični razkrojevalci lesa (Kervina-Hamović, 1990)

Razkroj lesa povzročajo biotični in abiotični dejavniki. Biotični so dejavniki žive narave, zlasti glive in insekti, abiotični pa dejavniki nežive narave, kot so vremenski (visoke in nizke temperature, vlaga, veter ...) in kemični vplivi. Najhujši destruktor je ogenj, ki uničuje ogromne količine lesa (Kervina-Hamović, 1990).

Les propade zaradi gliv in insektov, ker ga le-ti uporabljajo za svojo prehrano. Glive ga uničujejo kemijsko, insekti pa mehansko. Spremembe, ki jih povzročajo eni in drugi, se kažejo v izgubah tehničnih in drugih lastnostih lesa. Te spremembe so v začetku neopazne, lokalizirane, sčasoma postajajo vse bolj vidne. Na koncu od lesa ostane brezoblična prašna masa (Kervina-Hamović, 1990).

2.4 LESNE GLIVE

Glive uvrščamo v samostojno kraljestvo, ki poleg živali, rastlin, protoktistov, kamor sodijo alge in evklenoidi, ter prokariotov tvorijo sistem petih kraljestev. Glive razvrščamo v pet rodov, iz stališča lesnih gliv pa so pomembni predvsem naslednji trije:

- Ascomycota (zaprtotrosnice),
- Basidiomycota (prostotrosnice) in
- Deuteromycota ali Fungi imperfecti (nepopolne glive) (Janeš, 2008).

Glive so na prvi pogled zelo podobne rastlinam, saj se ne gibljejo in črpajo hranila iz okolja. Kljub svoji podobnosti z rastlinami se od njih v ključnih pogledih razlikujejo. Glive so evkariotski, heterotrofni, absorptivni organizmi, ki razvijajo difuzno, razvejano tubularno telo in se razmnožujejo s pomočjo spor. Za njih je značilno naslednje:

- glavna skeletna snov celičnih sten je hitin,
- zalogo hrane predstavlja glikogen,
- način prehranjevanja je heterotrofen (lizotrofija),
- prehranjujejo se na tri načine (kot zajedavci, gniloživke ali pa so simbionti) (Janeš, 2008).

Glive so sestavljene iz prehranjevalnega in razmnoževalnega dela. Prehranjevalni del sestavljajo neorganizirani spleti nitk ali hif, ki tvorijo micelij ali podgobje. Celice hif izločajo encime, s katerimi glive razkrajajo les, nato pa posrkajo vase produkte, ki jih potrebujejo za rast in razmnoževanje. S podgobjem glive črpajo hrano in vodo ter se širijo na še neokužen les. Na rast in razvoj gliv vplivajo vlaga, temperatura, svetloba, hrana, zrak in vrednost pH (Janeš, 2008).

Lesne glive (Janeš, 2008) povzročajo v lesu številne kemijske in fizikalne spremembe, ki se kažejo v razkroju lesa (trohnenje), zaradi česar les izgublja naravne lastnosti. Okužba lesa z glivami se najprej pokaže v spremembi naravne barve lesa. Na osnovi določenih značilnih poškodb lesa lahko določimo skupine gliv, ki te spremembe povzročajo. Delimo jih na:

- glive, povzročiteljice rjave ali destruktivne trohnobe,
- glive, povzročiteljice bele ali korozivne trohnobe in piravosti,
- glive mehke trohnobe,
- modrivke in
- glive plesni, povzročiteljice površinskih sprememb barv.

Glive, ki povzročajo rjavo trohnobo, pogosteje okužijo les iglavcev kot listavcev, kjer razgrajujejo celulozo in hemicelulozo, medtem ko ostane lignin skoraj nerazkrojen. Les zaradi presežka oksidiranega lignina postane rdečkasto rjave do temno rjave barve.

Glive, ki povzročajo belo trohnobo, razgradijo lignin. Les postaja vse svetlejši in se začne vlaknasto cepiti. Glive povzročiteljice bele trohnobe pogosteje okužijo les listavcev kot iglavcev.

Glive, povzročiteljice mehke trohnobe, se hranijo predvsem s celulozo in hemicelulozo, lahko pa tudi z ligninom. Okužba se pojavi, kadar zaradi različnih dejavnikov (visoke vlažnosti, zatohlih pogojev) okužba z drugimi oblikami trohnob ni mogoča. Površina okuženega lesa je mehka in izrazito temne barve (kadar je les moker). Pri posušenem lesu se pojavijo podobne razpoke kot pri rjavi trohnobi, le da so bolj plitke; notranjost lesa ostane nepoškodovana.

Glive modrivke povzročajo globinsko obarvanje beljave iglavcev (smreka, bor) in listavcev (topol, breza, lipa). Trosi gliv modrivk se razvijejo le, če padejo direktno na beljavo ali če jih določeni insekti (predvsem podlubniki) vnesejo v les. Modrivke se hranijo s škrobom, beljakovinami in sladkorji, zato ne vplivajo na mehanske lastnosti lesa.

V nadaljevanju sta opisani dve glivi, ki spadata med tipični predstavnici gliv prave trohnobe in smo ju uporabili v tej raziskavi.

2.5 VPLIV GLIVNEGA RAZKROJA NA LES

Trohnoba je poškodba, ki je rezultat razgradnje lesa z glivami. Je razkroj lesa, ki ga z encimi povzročajo lesne glive. Na ta način se zmanjša masa, poslabšajo se mehanske lastnosti ter nastanejo spremembe teksture in barve lesa (Česen in sod., 2008).

Glive razkrojevalke lesa, izjemoma tudi nekatere bakterije, povzročajo trohnobe.

Pippa (1997) trohnobe deli po:

- spremembi barve lesa,
- spremembi vlažnosti lesa,
- smeri razkroja lesa in
- lokalizaciji (položaju) v lesu.

Glede na razdelitev po spremembi barve lesa razlikujemo naslednje tipe trohnobe:

- rjavo (destruktivno) trohnobo,
- belo (korozivno) trohnobo,
- modrenje in
- plesenje lesa.

2.5.1 Rjava trohnoba

Pri rjavi trohnobi se zaradi razgraditve celuloze les obarva rjavo. Nastale notranje napetosti se zaradi razgradnje celuloze začnejo sproščati in les začne pokati v vzdolžni in prečni smeri. Les razpoka v prizme (prizmatična ali kockasta trohnoba) (slika 7). V zadnji fazi razkroja rjave lesne trohnobe les postane drobljiv in ga lahko stremo s prsti. Po nekaj tednih delovanja gliv se občutno zmanjšajo mehanske lastnosti ter gostota lesa, povečata pa se sposobnost vpijanja vlage in poroznost lesa (povzeto po Pippa, 1997).



Slika 7: Razkroj lesa zaradi rjave trohnobe (Belinka)

2.5.2 Bela trohnoba

Belo trohnobo povzročajo glive, ki razgrajujejo predvsem lignin pa tudi celulozo in hemicelulozo, pri čemer ostaja celuloza v presežku (prebitku, v večjem deležu) (Česen in sod., 2008).

Kot piše Pippa (1997), pri beli trohnobi pride do razkrajanja lignina, medtem ko je celuloza bolj ali manj poškodovana, odvisno od vrste glive. Posledica je belo obarvan les (slika 8). Mehanske lastnosti lesa upadejo v nekaj tednih na polovico prvotnih vrednosti. Les se prelomi že pri majhni obremenitvi in ga za tehnične namene ne moremo uporabljati.

Posebna oblika bele trohnobe je piravost, za katero je značilen neenakomeren razkroj in prisotnost temnih črt, ki ločijo področje lesa različnih stopenj razkroja. Bela trohnoba je najbolj pogosta pri listavcih.



Slika 8: Razkroj lesa zaradi bele trohnobe (Humar, 2012)

2.5.3 Piravost - posebna oblika bele trohnobe

Piravost se pojavlja na nekaterih listavcih, predvsem na bukvi. Od navadne bele trohnobe se razlikuje po tem, da se ne razvije enakomerno (slika 9). Pojavi se lahko že v jedrovini poškodovanega rastočega drevesa, pogosta pa je pri posekani bukovini in hlodovini. Piravost se stožčasto širi po lesu, barva piravega lesa se spreminja od bele prek rumenkaste do rjave. Značilno za piravost je, da so nekateri deli lesa že popolnoma strohneli, drugi pa še povsem zdravi (povzeto po Pippa, 1997).



Slika 9: Piravost lesa (Humar, 2012)

2.5.4 Navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*)

Tramovka je ena izmed najpomembnejših razkrojevalk lesa na skladiščih vrtnega pohištva, ograj, telekomunikacijskih drogov, ostrešij, mostov, lesenih plovil ... Zelo pogosto jo najdemo tudi na neustrezno vzdrževanih lesenih oknih. Pogosta je na tehničnem lesu, ki se občasno navlažuje. Nevarna je zlasti takrat, kadar zaradi napačne konstrukcije ali slabega

vzdrževanja zamaka ali zastaja voda. Izjemoma raste tudi na fiziološko oslabeledih drevesih. Znotraj stavb teh gliv navadno ne najdemo. Pojavnost posameznih tramovk je največkrat odvisna od drevesne vrste; hojeva razkraja smreko in jelko, sivo rjava borovino, okužuje pa tako listavce kot iglavce (slika 10) (Humar, 2008).



Slika 10: Plodišče navadne tramovke (*G. trabeum*) (Humar, 2008)

Tramovke povzročajo tipično rjavo trohnobo. Razkrojeni les se cepi po letnicah v obliki različno velikih prizem in ima značilen slahek vonj, ki spominja na katran. Na površinah, ki so izpostavljene svetlobi, površinskega micelija ni videti. Tako razkraja dolgo ne opazimo, saj glive pustijo zunanjo plast nerazkrojeno. Ko iz razpok poženejo plodišča, je navadno za ukrepanje že prepozno (Humar, 2008).

2.5.5 Pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*)

Pisana ploskocevka, *Trametes versicolor* (L. ex Fr.) Pilat ali *Coriolus versicolor* (L. ex Fr.) Quel je ena najpogostejših lesnih gliv pri nas in v svetu. Razširjena je v listnatih in mešanih gozdovih po vseh kontinentih. Pojavlja se na lesu listavcev, rada razkraja zlasti bukovino. Okužuje posekan les in poškodovana oslabljen drevesa, lahko pa tudi izdelke iz lesa, ki so v stiku z zemljo, in s tem povzroča precejšnjo škodo. Na lesu povzroča belo trohnobo, kar pomeni, da razkraja predvsem lignin, celuloza pa ostaja v prebitku, kar se izrazi v značilni beli barvi strohnelega lesa. Ob hkratni okužbi lesa z več vrstami lesnih gliv se z njimi bojuje za substrat, kar se odraža v neenakomernem razkroju in temnih črtah. Ta tip trohnobe imenujemo piravost. Podgobje v lesu je snežno bele barve. Ko se podgobje oskrbi z dovolj energije, iz lesa poženejo tanki klobuki, ki so usnjato žilave strukture. Veliki so od 5 do 9 cm. Izražajo v skupinah eden vrh drugega in so različnih barv, od svetlo do temno rjave, okrasto rdeče do sive pa vse do črno modre barve (slika 8) (Pohleven, 2008).

2.6 TERMIČNA MODIFIKACIJA LESA

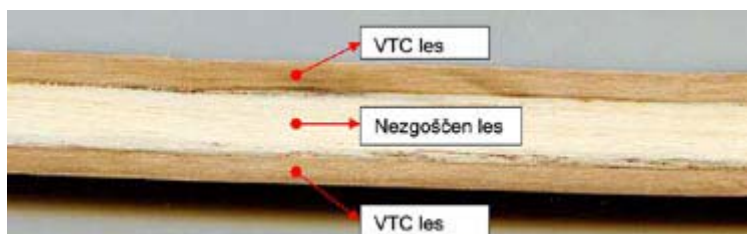
Stene lesnih celic so sestavljene iz celuloze, hemiceluloze in lignina. Z modifikacijo teh molekul se spremenijo nekatere lastnosti lesa. Zmanjša se higroskopsnost, s tem pa posledično tudi nabrekanje in krčenje. Hkrati se zmanjša možnost okužbe z lesnimi glivami. Zaradi spremenjene kemične zgradbe glive ali insekti modificiranega lesa ne prepoznajo več kot vir hrane. Z modifikacijo lignina lahko povečamo tudi odpornost lesa proti razgradnji z UV-žarki (Hill, 2006). Najbolj so razviti postopki termične modifikacije, ki se največkrat uporabljajo za les manj odpornih drevesnih vrst (smreke, topola, zelenega bora, breze). Prve raziskave s tega področja so bile izvedene že v sredini prejšnjega stoletja, največ pa jih je bilo opravljenih v zadnjih dveh desetletjih. Modifikacija lesa v splošnem poteka pri maksimalnih temperaturah med 160 in 260 °C. Temperatura med postopkom bistveno vpliva na barvo lesa in druge pomembne lastnosti. Med segrevanjem pri visokih temperaturah moramo poskrbeti, da kisik ni prisoten, zato les segrevamo v različnih medijih: v vodni pari, vročem olju ali kakem drugem mediju. Rezultat teh procesov je obstojnejši material z lepšim videzom in povečano odpornostjo proti lesnim škodljivcem (Rep in Pohleven, 2001; Hill, 2006). Modificiran les se v primerjavi z neobdelanim bistveno manj krči, nabreka in poka. Manjše pokanje prispeva k boljši trajnosti, saj v razpokah ne zastaja voda. Zaradi manjšega delovanja lesa so tudi površinski premazi na njem obstojnejši. Nižja ravnovesna vlažnost izboljša odpornost proti lesnim glivam. Žal pa ima termično modificiran les tudi slabost: poslabšajo se mehanske lastnosti, kar omejuje njegovo uporabo v gradbeništvu. Zato ga večinoma uporabljamo za izdelke, pri katerih nosilnost nima odločilnega pomena: stenske in talne obloge, ograje, vrtno pohištvo, zvočne bariere ob avtocestah, savne ... (Humar, 2009; Rep in Pohleven, 2004; 2012).

2.7 POSTOPEK VISKOELASTIČNE TOPLOTNE ZGOSTITVE

Mehanske lastnosti lesa so v neposredni zvezi z njegovo gostoto. Ker se z naraščajočo gostoto lesa izboljšujejo njegove mehanske lastnosti, so v preteklosti številni raziskovalci poskušali razviti primeren postopek zgoščevanja lesa. Zgoščevanje namreč omogoča modificiranje nizko gostotnih in komercialno nezanimivih lesnih vrst v visokokakovostne produkte. Zgostitev lesa lahko dosežemo z impregnacijo, s stiskanjem v prečni smeri ali s kombinacijo impregniranja in stiskanja (Kutnar in Šernek, 2009).

Nedavno pa je raziskovalcem uspelo doseči visoko gostoto, trdnost in dimenzijsko stabilnost zgoščenega lesa s postopkom viskoelastične toplotne zgostitve (VTC) (Kamke in Sizemore, 2008). S kombinacijo pare in toplote ter mehanskim stiskanjem se poveča gostota lesa za 100 do 300 %. Visoka temperatura in visok tlak vodne pare med postopkom stiskanja plastificirata les in preprečita lom celičnih sten pod ekstremnimi napetostmi. VTC les ima spremenjene

anatomske, fizikalne in mehanske lastnosti. Zaradi visoke gostote in s tem izboljšanih mehanskih lastnosti ter dobre dimenzijske stabilnosti bi lahko imel VTC les velik pomen v prihodnjem razvoju lesne industrije. Postopek VTC namreč omogoča modifikacijo komercialno nezanimivih lesnih vrst z nizko gostoto in njihovo uporabo za najrazličnejše kompozite (slika 12) (Kutnar in Šernek, 2009).



Slika 11: 3-slojni VTC kompozit (Kutnar in Šernek, 2009)

Viskoelastična toplotna zgostitev lesa uporablja ustrezno kombinacijo temperature in vodne pare, ki med postopkom stiskanja plastificirata les in preprečita lom celičnih sten pod ekstremnimi napetostmi. Višja je stopnja zgostitve, večje je zmanjšanje prostornine praznih prostorov – lumnov trahej in vlaken. VTC proces zgostitve lesa spremeni mehanske, morfološke in površinske lastnosti VTC lesa, vendar nima negativnega vpliva na njegov adhezijski potencial (Kutnar, 2008).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Lesni vzorci

V raziskavi smo uporabili vzorce smrekovine (*Picea abies*) in bukovine (*Fagus sylvatica*), zgoščene s postopkom VTC. Vzorci so bili zgoščeni v laboratoriju na Oregon State University v skladu s postopom VTC (preglednica 3).

Deske bukovine (*Fagus sylvatica*) in smrekovine (*Picea K. abies*) so bile sušene na zraku in nato uravnovešene v klimi s temperaturo 20 °C in 65 % relativno zračno vlažnostjo, dokler ni bila dosežena ravnovesna vlažnost 12 %. Deske so bile nato poskobljane na debelino 6 mm (radialno). Iz desk smo narezali preskušance dolžine 500 mm (vzdolžno) in širine 240 mm (tangencialno).

3.1.2 Lesne glive

Pri raziskavi smo lesne vzorce izpostavili glivam. Vzorci bukovine smo izpostavili pisani ploskocevki (*Trametes versicolor*), vzorce smrekovine pa navadni tramovki (*Gloeophyllum trabeum*) (preglednica 3).

Preglednica 3: Lesne glive, uporabljene pri eksperimentu

Latinsko ime	Slovensko ime	Oznaka	Trohnoba
<i>Trametes versicolor</i>	pisana ploskocevka	Tv	bela trohnoba
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	navadna tramovka	Gt2	rjava trohnoba

3.2 METODE

3.2.1 Postopek VTC

Postopek zgoščevanja je bil izveden v tlačni posodi, opremljeni z ogrevano hidravlično stiskalnico pri temperaturi 170 °C (slika 12). Postopek VTC je obsegal tri glavne faze, v katerih smo s kombinacijo pare in toplote ter mehanskim stiskanjem povečali gostoto lesa.

Postopek se prične s parjenjem preskušanca pri 860 kN m⁻². Preskušanec je izpostavljen tlaku vodne pare brez mehanskega tlaka 3 min. Sledi sprostitvev tlaka vodne pare in uravnovešanje brez mehanskega tlaka 100 s. Med fazo uravnovešanja se preskušancu zniža vlažnost. Pojavi se padec temperature. Naslednja faza se prične z vzpostavitvijo mehanske tlačne sile 4480 kN m⁻², ki traja 5 min. Hkrati se dvigne temperatura iz začetnih 170 na 200 °C. V zadnjem

koraku se preskušanec ohladi pod tlačno obremenitvijo na 100 °C. Preskušanci so bili stisnjeni do različnih ciljnih debelin. Posledično smo naredili preskušance VTC zgoščenega lesa z različnimi stopnjami zgostitve – zgostitev A in zgostitev B. Gostota VTC vzorcev in njihove oznake so prikazane v preglednici 4.



Slika 12: Naprava VTC (foto: Andreja Kutnar)

Preglednica 4: Lastnosti VTC vzorcev in kontrolnih vzorcev bukovine in smrekovine

	Začetna debelina (mm)	Začetna gostota (D1) (g cm ⁻³)	Gostota po stiskanju (D2) (g cm ⁻³)
bukev			
B-A	6 (n=6)	0,677	1,198
B-B	6 (n=5)	0,683	1,075
B-kontrola	6 (kontrola)	0,680	-
Smreka			
S-A	6 (n=10)	0,400	0,948
S-B	6 (n=10)	0,398	0,833
S-kontrola	6 (kontrola)	0,398	-

Vzorci so že bili termično modificirani v skladu s patentno prijavo (Rep in Pohleven, 2004).

Vzorci bukovine dimenzij 6 x 10 x 30 mm smo izpostavili delovanju gliv bele trohnobe (Pisana ploskocevka, *Trametes versicolor*).

Vzorci smrekovine dimenzij 6 x 10 x 30 mm smo izpostavili delovanju gliv rjave trohnobe (navadna tramovka, *Gloeophyllum trabeum*).

Izgubo mase lesa smo določali z razliko mase lesa pred izpostavitvijo glivi pisana ploskocevka oz. navadna tramovka in po njej. Glede na višino temperature, pri kateri je bila izvedena termična modifikacija, smo vzorce razdelili v štiri skupine (190, 200, 210 in 220 °C).

3.2.2 Termična modifikacija

Postopek termične modifikacije je potekal v treh fazah, ki so bile prilagojene posamezni temperaturi.

Prva faza: Vzorce smo vstavili v komoro in jo zaprli (slika 13). Vključili smo grelce in komoro segreli do 100 °C. Z vakuumsko črpalko smo iz komore izsesali ves zrak. S tem smo dosegli podtlak, ki je znašal okoli 0,1 bar. Med procesom smo s temperaturno sondo (Pt 100) spremljali temperaturo v notranjosti lesa.

Druga faza: Les smo počasi segrevali do izbrane temperature. Segrevanje je potekalo v korakih na podlagi spremljanja temperature sredice lesa. Ker so bili naši vzorci relativno majhni, smo temperaturo spremljali na nekoliko večjih vzorcih, debelih 8 mm. Ko smo

dosegli izbrano temperaturo termične modifikacije, smo le-to vzdrževali še 3 ure. Obe lesni vrsti smo izpostavili istim temperaturam termične modifikacije, le da smo zaradi pomanjkanja vzorcev bukovine del modifikacij izpustili. Modifikacijo smo izvedli pri naslednjih temperaturah: 190, 200, 210 in 220 °C.

Tretja faza: Ohlajanje vzorcev. Vzorci se ohladijo samo z lastnimi toplotnimi izgubami komore. Pred koncem te faze smo za 10 min vklopili še vakuumsko črpalko. Komora in vzorci v njej so se čez noč počasi ohlajali do sobne temperature. Zadnji dan smo v komoro prek ventila spustili zrak, komoro odprli in pobrali naše modificirane vzorce (Rep in Pohleven, 2004).



Slika 13: Komora za termično modifikacijo lesa (foto: Franc Pohleven)

Pred in po postopku termične modifikacije smo les 24 ur sušili v sušilniku (103 ± 2 °C) in mu določili maso na štiri decimalke natančno. Iz teh mas smo izračunali izgubo mase med postopkom modifikacije in to vrednost uporabili še za izračun izgube mase po izpostavitvi glivam, kot to predpisuje standard SIST EN 113 (1989).

3.2.3 Določanje odpornosti lesa v skladu z mini blok metodo

Mini blok metoda je namenjena določanju učinkovitosti delovanja zaščitnih pripravkov proti različnim vrstam gliv. Ta metoda je podobna standardni metodi SIST EN 113 (1989), le da so vzorci precej manjši, čas izpostavitve glivi pa zato krajši. Velikost vzorca ni standardizirana,

v našem primeru je bila 5 x 10 x 30 mm (Bravery, 1978). Dimenzije vzorcev in čas izpostavitve niso točno določeni, saj test ni standardiziran. Navadno mini blok metoda traja od 6 do 12 tednov oz. toliko časa, dokler kontrolni vzorci ne izgubijo vsaj 20 do 30 % mase.

Naši viskoelastični toplotno zgoščeni vzorci smrekovine in bukovine so imeli dimenzije debelina x 10 x 30 mm.

Vzorci, ki so bili že termično modificirani v skladu s patentno prijavo (Rep in Pohleven, 2004), smo zaradi preglednosti postopka oštevilčili (preglednica 5).

Preglednica 5: Oštevilčenje vzorcev

Lesni vzorci	Kontrola	Vzorci A	Vzorci B
smrekovina	SC01-SC10	SB01-SB10	SB01-SB10
	SC11-SC20	SB11-SB20	SB11-SB20
	SC21-SC30	SB21-SB30	SB21-SB30
	SC31-SC40	SB31-SB40	SB31-SB40
	SC41-SC50	SB41-SB50	SB41-SB50
bukovina	BC01-BC10	BA41-BA50	BB21-BB30 BB31-BB40 BB41-BB50
	BC11-BC20		
	BC21-BC30		
	BC31-BC40		
	BC41-BC50		

Na vsak vzorec smo napisali številko (slika 14).



Slika 14 : Oštevilčeni vzorci (foto: Matej Pfeifer)

Vzorci smo za 24 ur postavili v sušilno komoro pri temperaturi $103 \pm 2^\circ\text{C}$, nato pa smo jih vzeli iz sušilnika in jih zložili v eksikator (10 min), da so se ohladili brez možnosti ponovnega navlaženja. Pri tehtanju na elektronski tehtnici Sartorius smo morali paziti, da nismo tehtali vročih vzorcev, saj vroč les hitreje absorbira vlago. Po dva vzorca naenkrat smo vzeli iz eksikatorja in jima izmerili maso na 0,0001 g natančno (slika 15).



Slika 15: Tehtnica Sartorius (foto: Matej Pfeifer)

3.3 PRIPRAVA HRANILNEGA GOJIŠČA, STERILIZACIJA IN INOKULACIJA

3.3.1 Priprava hranilnega gojišča

Za gojenje kultur gliv smo uporabili trdno hranilno gojišče iz krompirjevega glukoznega agarja (PDA – Potato Dextrose Agar). Pripravili smo ga po navodilih proizvajalca (Difco Laboratories USA) tako, da smo zavreli 0,6 l destilirane vode in vanjo dodali 23,4 g PDA. Zmes smo mešali, dokler ni zavrela, jo odstranili iz grelca in nato mešali še 3 min.

3.3.2 Sterilizacija in inokulacija

Zavreto gojišče smo nalili v sterilne plastične petrijevke in jih zaprli s pokrovom. Zaprte petrijevke smo sterilizirali z avtoklaviranjem (slika 16). Avtoklaviranje smo izvajali 30 min pri 121 °C oz. tlaku 1,5 bar. Iz HPDE smo izrezali mrežice in jih prav tako vstavili v avtoklav, da so se sterilizirale. Mrežice so v nadaljevanju služile kot opora vzorcem na hranilnem gojišču in so preprečevale pretirano navlaževanje lesa. Po končanem avtoklaviranju smo petrijevke in mrežice položili v brezprašno komoro – laminarij ter počakali, da se je hranilni medij ohladil in strdil.



Slika 16: Avtoklav (foto: Matej Pfeifer)

Pred inokulacijo eksperimentalnih petrijevk smo pripravili zadostno količino izhodiščne kulture. Postopek inokulacije je potekal v laminariju pri sterilnih pogojih. Ves pribor smo sproti razkuževali z alkoholom in plamenom. Inokulum ($r = 5$ mm) smo vstavili na sredino hranilnega gojišča in petrijevke zaprli. Pripravljene petrijevke smo položili v klimatizirano komoro pri 25 °C in relativni zračni vlagi 85 %, saj so taki pogoji najboljši za rast gliv. Postopek preraščanja je trajal en teden.

Ko so glive prerasle celotno površino, smo v petrijevke položili razkuženo mrežico (slika 17) in na mrežico položili po tri različne lesne vzorce. Robove smo obžgali in zalepili, s tem smo preprečili prehod neželenih spor v petrijevke in omejili izsuševanje (slika 18).



Slika 17: PVC mrežice (foto: Matej Pfeifer)

Sterilne petrijevke s hranilnim gojiščem in vstavljenimi vzorci smo postavili v rastno komoro in jih osem tednov inkubirali pri 25 °C in 85 % RH (slika 19).



Slika 18: Brezprašna komora (foto: Matej Pfeifer)



Slika 19: Vzorci lesa, izpostavljeni glivam razkrojevalkam (foto: Matej Pfeifer)

Po osmih tednih smo vzorce izolirali iz petrijevk, jim s papirnatim robčkom očistili površino in jih še vlažne stehali z elektronsko tehtnico Sartorius na 0,0001 g natančno. Tako smo lahko določili vlažnost vzorcev z gravimetrično metodo (slika 20).



Slika 20: Lesni vzorci po izpostavitvi glivam razkrojevalkam (foto: Matej Pfeifer)

Očiščene vzorce smo 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:

$$m_{\text{izgube}} = \frac{m_0 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (\%) \quad \dots(1)$$

m_{izgube} izguba mase vzorcev

m_0 masa absolutno suhih vzorcev

m_2 masa absolutno suhih vzorcev po izpostavitvi

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

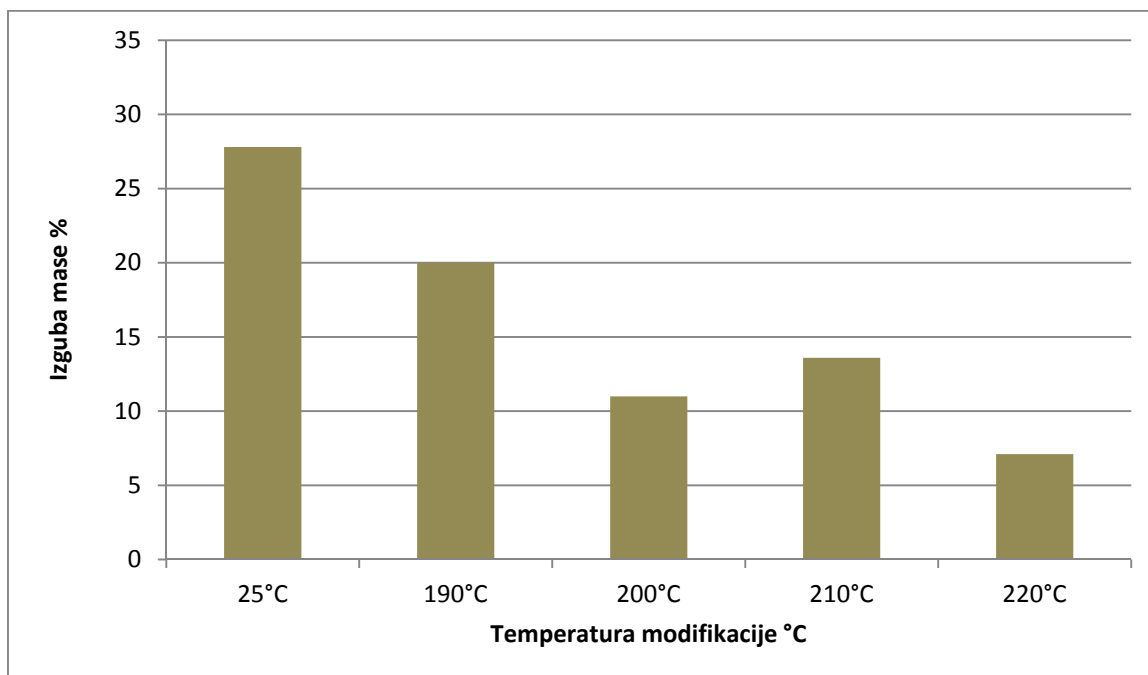
4.1 VPLIV TEMPERATURE MODIFIKACIJE NA IZGUBO MASE NEZGOŠČENEGA LESA BUKVE

Rezultati izgube mase kontrolnih vzorcev kažejo na to, da so bile glive vitalne in les dovzeten za razgradnjo. V osmih tednih izpostavitve so kontrolni vzorci izgubili 27,8 % mase. O podobnih izgubah mase poročajo tudi v drugih diplomskih nalogah (Modic, 2007) (preglednica 6).

Rezultati so pokazali, da je izguba mase bukovine manjša pri vzorcih, ki so bili termično modificirani pri višji temperaturi. Najmanjša izguba mase je bila pri bukovih vzorcih, ki so bili termično modificirani pri temperaturi 220 °C (7,1 %), največja izguba mase pa pri bukovih vzorcih, ki so bili termično modificirani pri temperaturi 190 °C (20,0 %) (slika 21).

Preglednica 6: Izguba mase nezgoščenega lesa bukve v odvisnosti od temperature modifikacije zaradi izpostavitve glivi pisana ploskocevka

Lesni vzorci	Postopek zgostitve	Temperatura modifikacije	Izguba mase	Vlažnost	Standardni odklon izgube mase
		°C	%	%	%
bukev	kontrola	25	27,8	141	7,00
	kontrola	190	20,0	159	5,96
	kontrola	200	11,0	176	2,57
	kontrola	210	13,6	159	7,40
	kontrola	220	7,1	160	4,33



Slika 21: Izguba mase nezgoščenega lesa bukve v odvisnosti od temperature termične modifikacije zaradi izpostavitve glivi pisana ploskocevka

4.2 VPLIV TEMPERATURE MODIFIKACIJE NA IZGUBO MASE NEZGOŠČENEGA LESA SMREKE

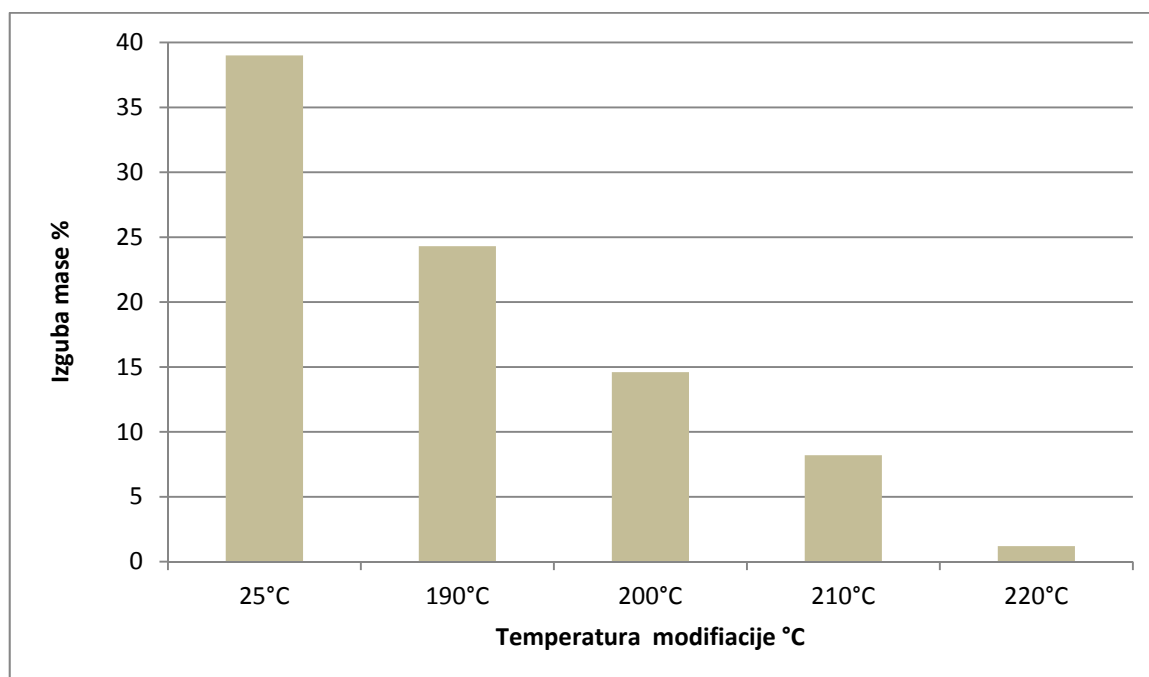
Kontrolni, nemodificiran vzorec smrekovine je izgubil skoraj 40 % svoje mase. To nakazuje na aktivnost glive in dovzetnost materiala za razkroj (preglednica 7). Razvidna je tudi višja aktivnost tramovke v primerjavi s pisano ploskocevko. Del razlike v izgubi mase lahko pripišemo razliki v gostoti med smrekovino in bukovino, saj bi morala pisana ploskocevka razkrojiti večjo maso lesa, da bi dosegla isti delež izgube mase na bukovini kot tramovka na smrekovini.

Kontrolne vzorce nezgoščenega lesa smreke, ki so bili termično modificirani pri različnih temperaturah, smo izpostavili glivi navadna tramovka. Izgubo mase lesa smo določali gravimetrično. Glede na višino temperature, pri kateri je bila izvedena termična modifikacija, smo vzorce razdelili v štiri skupine (190, 200, 210 in 220 °C), podobno kot pri bukovih vzorcih.

Rezultati jasno kažejo, da izguba mase po izpostavitvi glivam upada s temperaturo termične modifikacije. Najmanjša izguba lesa je bila pri smrekovih vzorcih, ki so bili termično modificirani pri temperaturi 220 °C (1,2 %), največja izguba pa pri smrekovih vzorcih, ki so bili termično modificirani pri temperaturi 190 °C (24,3 %) (slika 22).

Preglednica 7: Izguba mase nezgoščenega lesa smreke v odvisnosti od temperature modifikacije zaradi izpostavitve glivi navadna tramovka

Lesni vzorci	Postopek	Temperatura modifikacije	Izguba mase	Vlažnost	Standardni odklon izgube mase
		°C	%	%	%
smreka	kontrola	25	39,0	74	10,7
	kontrola	190	24,3	79	6,00
	kontrola	200	14,6	89	10,10
	kontrola	210	8,2	93	8,50
	kontrola	220	1,2	106	1,50



Slika 22: Izguba mase nezgoščenega lesa smreke v odvisnosti od temperature termične modifikacije zaradi izpostavitve glivi navadna tramovka

Če med seboj primerjamo vpliv termične modifikacije na odpornost bukovih in smrekovih vzorcev (sliki 21 in 22), lahko ugotovimo, da z izbrano temperaturo modifikacije dosežemo večji učinek na smrekovino kot na bukovino.

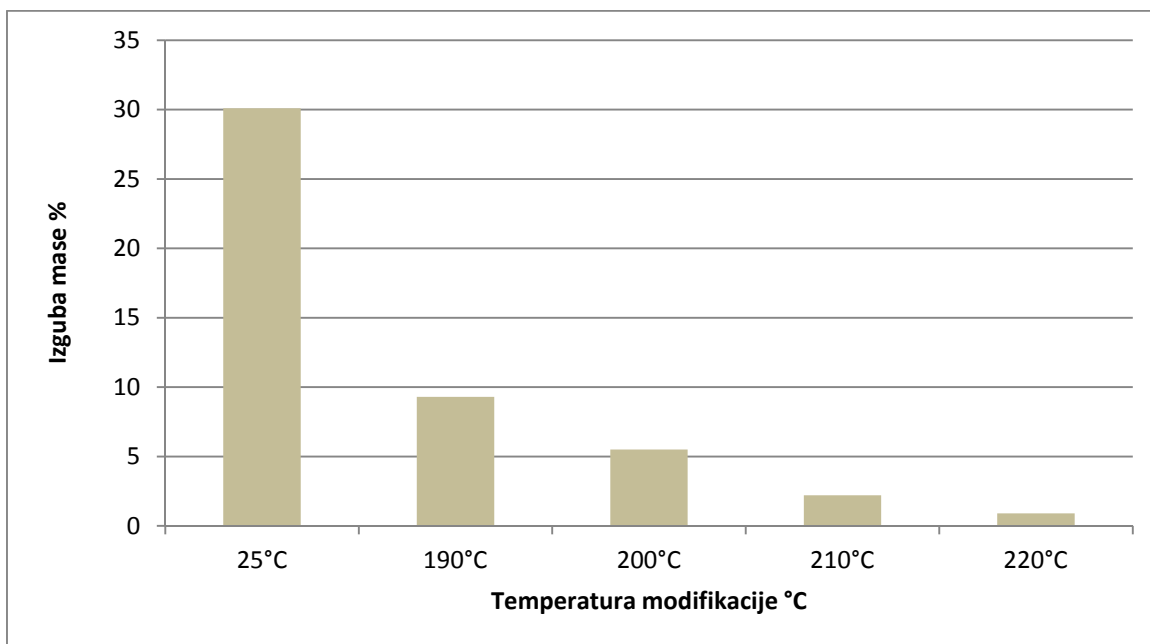
4.3 VPLIV TEMPERATURE MODIFIKACIJE NA ODPORNOST SMREKOVINE, ZGOŠČENE S POSTOPKOM VTC

Ko primerjamo odpornost zgoščenega lesa z nezgoščeno kontrolo, opazimo, da je zgoščeni les smreke bolj odporen na delovanje gliv razkrojevalk. Pri temperaturni modifikaciji 190 °C je modificiran les v postopku A izgubil samo 9,3 % lesne mase, medtem ko je les nezgoščene smrekovine izgubil kar 24,3 % lesne mase. Pri temperaturni modifikaciji 200 °C je bila najmanjša izguba mase lesa, zgoščenega v postopku B (5,1 %), medtem ko so nezgoščeni kontrolni vzorci izgubili kar 14,6 % (preglednici 8 in 9).

Pri modifikaciji in zgoščevanju prihaja do sinergijskih učinkov. Z isto temperaturo modifikacije dosežemo večji učinek na zgoščenem lesu kot na kontrolnem – nezgoščenem lesu (slika 23).

Preglednica 8: Izguba mase zgoščenega lesa smreke v odvisnosti od temperature modifikacije zaradi izpostavitve glivi navadna tramovka v postopku A

Lesni vzorci	Postopek	Temperatura modifikacije	Izguba mase	Vlažnost	Standardni odklon izgube mase
		°C	%	%	%
smreka	A	25	30,1	92	18,4
	A	190	9,3	105	5,70
	A	200	5,5	113	5,70
	A	210	2,2	114	2,80
	A	220	0,9	117	0,80



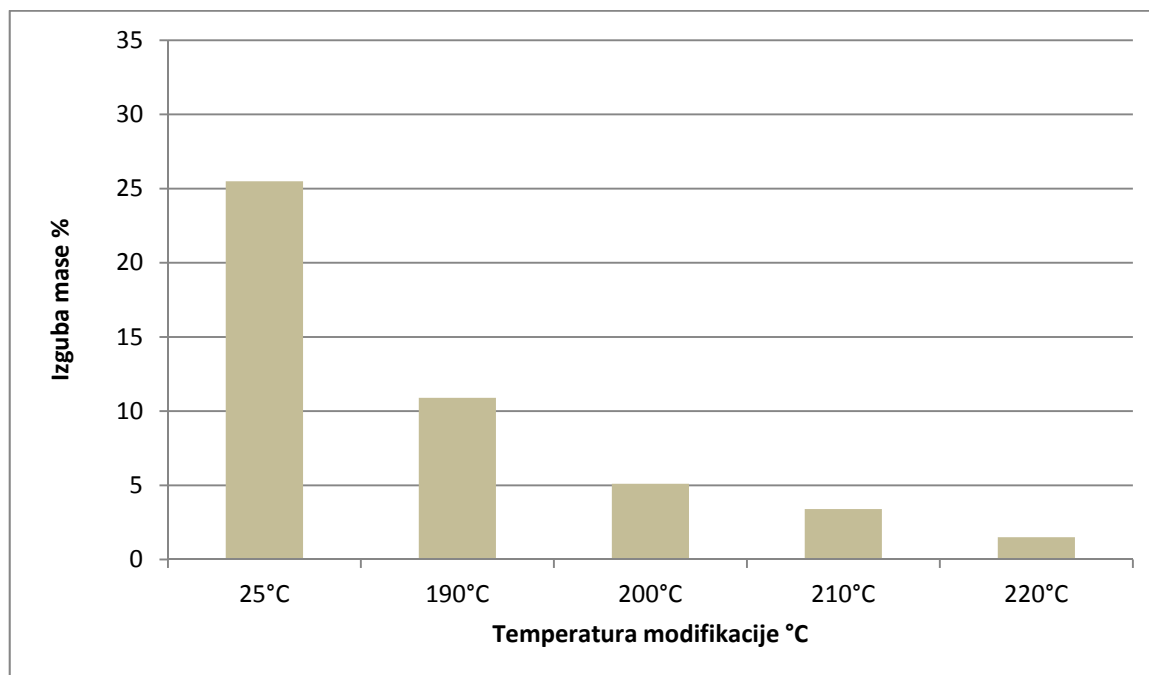
Slika 23: Izguba mase zgoščenega lesa smreke v odvisnosti od temperature termične modifikacije zaradi izpostavitve glivi navadna tramovka v postopku A

V preglednici 9 in na sliki 24 je prikazana izguba mase zgoščenega lesa smreke zaradi delovanja gliv (postopek B).

Postopek zgostitve ni imel velikega vpliva na odpornost lesa. V obeh primerih je bila izguba nezgoščenih vzorcev primerljiva. Tudi vpliv modifikacije na odpornost zgoščenega lesa je pri obeh postopkih zgostitve oziroma obeh stopnjah zgostitve primerljiv (preglednici 8 in 9).

Preglednica 9: Izguba mase zgoščenega lesa smreke v odvisnosti od temperature modifikacije zaradi izpostavitve glivi navadna tramovka v postopku B

Lesni vzorci	Postopek zgostitve	Temperatura modifikacije	Izguba mase	Vlažnost	Standardni odklon izgube mase
		°C	%	%	%
smreka	B	25	25,5	94	10,9
	B	190	10,9	107	10,9
	B	200	5,1	112	4,60
	B	210	3,4	112	3,70
	B	220	1,5	118	2,60



Slika 24: Izguba mase zgoščenega lesa smreke v odvisnosti od temperature termične modifikacije zaradi izpostavitve glivi navadna tramovka v postopku B

Raziskava je pokazala, da je odpornost kontrolnih vzorcev smreke na glive razkrojevalke odvisna od višine temperature termične modifikacije. Kontrolni vzorci smreke, ki so bili modificirani pri višji temperaturi, so bili v procesu izpostavitve glivam razkrojevalkam (*Gloeophyllum trabeum*) odpornejši, zato je bila izguba lesne mase manjša.

Raziskava je pokazala, da je odpornost viskoelastično toplotno zgoščenih vzorcev smreke na glive razkrojevalke odvisna od višine temperature termične modifikacije. Kontrolni vzorci smreke, ki so bili modificirani pri višji temperaturi, so bili v procesu izpostavitve glivam razkrojevalkam (*Gloeophyllum trabeum*) odpornejši, zato je bila izguba lesne mase manjša.

4.4 VPLIV TEMPERATURE MODIFIKACIJE NA ODPORNOST BUKOVINE, ZGOŠČENE S POSTOPKOM VTC

Zaradi pomanjkanja materiala nismo uspeli preveriti vpliva vseh temperatur modifikacij na odpornost zgoščenega lesa. Osredotočili smo se predvsem na višje temperature, kjer smo pričakovali višjo odpornost.

Izguba mase lesa zaradi delovanja glive pisana ploskocevka je bila 1,7 %, medtem ko je bila izguba mase nezgoščenega lesa pri enaki temperaturi kar 7,1 %. Ta podatek jasno kaže na sinergistično delovanje postopka zgostitve in modifikacije na odpornost lesa. Z

dvostopenjskim postopkom obdelave lesa smo tako dobili material z odličnimi mehanskimi lastnostmi, ki je odporen na lesne glive (preglednica 10).

Preglednica 10: Izguba mase zgoščenega lesa bukve v odvisnosti od temperature modifikacije zaradi izpostavitve glivi pisana ploskocevka (postopek A)

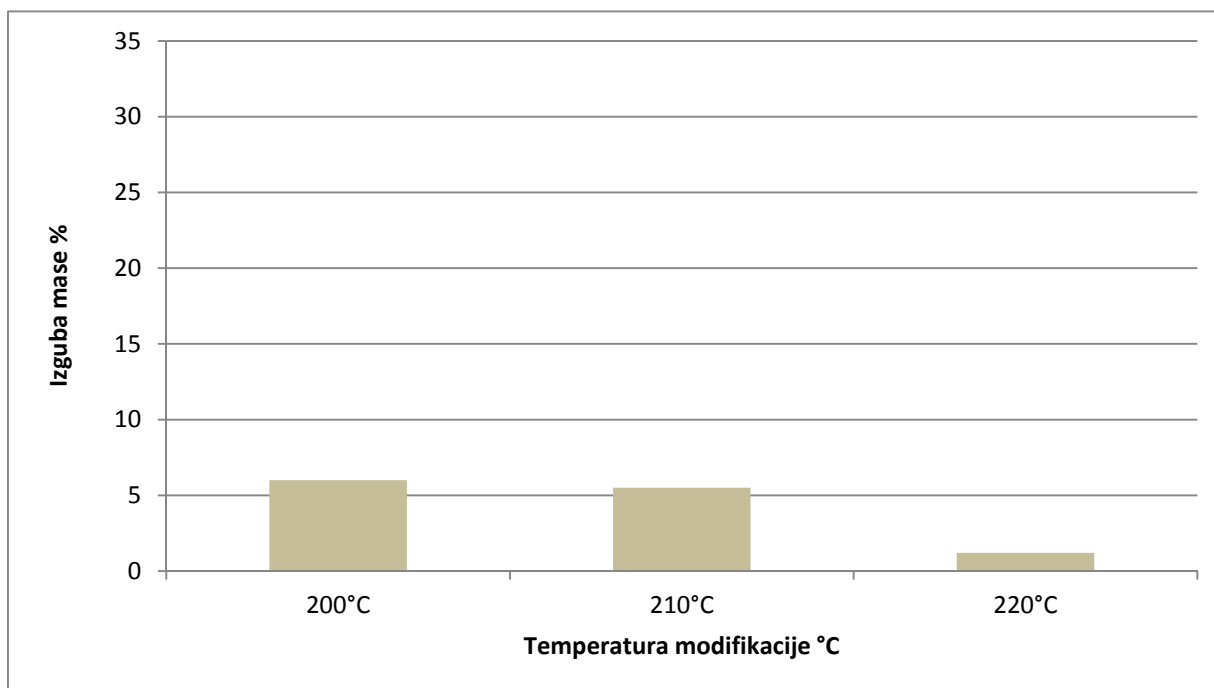
Lesni vzorci	Postopek zgostitve	Temperatura modifikacije	Izguba mase	Vlažnost	Standardni odklon izgube mase
		°C	%	%	%
bukev	A	220	1,7	136	0,90

Izguba mase lesa bukve zaradi delovanja glive pisana ploskocevka je bila pri temperaturi 220 °C 1,2 %, pri temperaturi 200 °C pa 6 % (preglednica 11).

Preglednica 11: Izguba mase zgoščenega lesa bukve v odvisnosti od temperature modifikacije zaradi izpostavitve glivi pisana ploskocevka (postopek B)

Lesni vzorci	Postopek zgostitve	Temperatura modifikacije	Izguba mase	Vlažnost	Standardni odklon izgube mase
		°C	%	%	%
bukev	B	200	6,0	151	4,90
	B	210	5,5	141	5,00
	B	220	1,2	163	0,60

Ugotovili smo, da je zgoščena bukovina odpornejša na delovanje glive pisana ploskocevka, če je modificirana pri višji temperaturi. Bukovina, modificirana pri 220 °C, je izgubila 1,2 % lesne mase, medtem ko je bukovina, modificirana pri 200 °C, izgubila 6 % lesne mase (slika 25).



Slika 25: Izguba mase zgoščenega lesa bukve v odvisnosti od temperature termične modifikacije zaradi izpostavitve glivi pisana ploskocevka v postopku B

Raziskava je pokazala, da je odpornost kontrolnih vzorcev bukve na glive razkrojevalke odvisna od višine temperature termične modifikacije. Kontrolni vzorci bukve, ki so bili modificirani pri višji temperaturi in so bili v procesu izpostavitve glivam razkrojevalkam (*Trametes versicolor*), so bili odpornejši, zato je bila izguba mase manjša.

Odpornost viskoelastično toplotno zgoščenih vzorcev bukve na glive razkrojevalke je odvisna od višine temperature termične modifikacije. Kontrolni vzorci bukve, ki so bili modificirani pri višji temperaturi, so bili v procesu izpostavitve glivam razkrojevalkam (*Trametes versicolor*) odpornejši, zato je bila izguba lesne mase manjša.

Pri isti temperaturi modifikacije smo na zgoščenem lesu dosegli večji učinek kot na nezgoščenem lesu smrekovine in tudi bukovine.

Termična modifikacija izboljša fungicidne lastnosti kontrolnega in VTC lesa, saj so bile glive razkrojevalke na vzorcih, ki so bili termično modificirani pri višji temperaturi, manj aktivne – izgubile so na vitalnosti.

5 SKLEPI

V diplomski nalogi smo postavili dve delovni hipotezi:

- Hipoteza 1: Termična modifikacija izboljša fungicidne lastnosti VTC lesa.
- Hipoteza 2: S termično modifikacijo VTC lesa dosežemo sinergijske učinke na odpornost proti glivam razkrojevalkam.

Hipotezo 1 (termična modifikacija izboljša fungicidne lastnosti VTC lesa) lahko potrdimo, saj smo iz rezultatov, pridobljenih v laboratoriju, ugotovili, da je izguba mase testiranih vzorcev bukve in smreke, ki so bili izpostavljeni glivam razkrojevalkam, odvisna od višine temperature, pri kateri je bila izvedena termična modifikacija. Pri višji temperaturi je bila izguba mase manjša, kar pomeni, da termična modifikacija poveča odpornost lesa proti glivam razkrojevalkam.

Hipotezo 2 (s termično modifikacijo VTC lesa dosežemo sinergijske učinke na odpornost proti glivam) lahko potrdimo, saj je temperatura modifikacije, pri kateri preprečimo razvoj gliv na zgoščenem lesu, nižja od temperature, pri kateri ustavimo delovanje gliv na nezgoščenem lesu.

6 POVZETEK

Smiselno je, da uporabljamo tudi manj odporne vrste lesa na način, ki je prijazen okolju. Prav zaradi tega se poslužujemo modifikacije lesa. Gre za relativno enostaven postopek, kjer se poviša odpornost lesa proti lesnim glivam. Strokovnjaki priporočajo, da se modificiran les ne uporablja v konstrukcijske namene, prav tako ni priporočljiva raba modificiranega lesa, ko le-ta prihaja v stik z zemljo. Potrdili smo, da so bili vzorci z nižjo izgubo mase zaradi delovanja gliv termično modificirani pri višji temperaturi. Modificiran les je dimenzijsko stabilen in v prvi fazi vpliva tudi na odpornost proti glivam.

V laboratoriju smo lesne vzorce smreke in bukve, ki so bili toplotno modificirani pri različnih temperaturah (od 190 do 220 °C), izpostavili glivam razkrojevalkam in skrbno spremljali učinek termične modifikacije. Raziskava je bila izvedena v laboratorijih delovne skupine za patologijo in zaščito lesa.

- Vzorce viskoelastično toplotno zgoščene bukve smo izpostavili glivam bele trohnobe (pisani ploskocevki).
- Vzorce viskoelastično toplotno zgoščene smreke smo izpostavili glivam rjave trohnobe (navadni tramovki).

Ugotovili smo, da je izguba mase testiranih vzorcev bukve in smreke, ki so bili izpostavljeni glivam razkrojevalkam, odvisna od višine temperature, pri katerih je bila izvedena termična modifikacija. Pri višji temperaturi modifikacije je bila izguba mase zaradi delovanja gliv razkrojevalk manjša na kontrolnem in VTC lesu. Rezultati dokazujejo, da termična modifikacija izboljša fungicidne lastnosti VTC lesa.

7 VIRI IN LITERATURA

Belinka. Zatiranje lesnih insektov in gliv trohnikov.

<http://www.belmojster.net/nasveti-in-priporo-ila/zdravljenje-napadenega-lesa/zatiranje-lesnih-insektov-in-gliv-trohnikov/> (18.04.2013)

Bravery A. 1979. Miniaturised wood – block test for the rapid evaluation of preservative fungicides. V: Proc. Simposium (IRG). Screening techniques for potencial wood presevative chemicals, 136: 57-65

Česen A., Kočar S., Pogorevc B. 2008. Lesarski terminološki slovar. Zveza lesarjev Slovenije, Lesarska zaloška. Ljubljana: 121 str.

Eckhard M. in drugi. 2008. Lesarski priročnik. Ljubljana, DZS: 615 str.

Gorišek Ž. 2009. Les: zgradba in lastnosti: njegova variabilnost in heterogenost. Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. Ljubljana, Biotehniška fak., Odd. za lesarstvo: 178 str.

Hill C.A.S. 2006. Wood modification. Chemical, thermal and other processes. Chichester, John Wiley & Sons: 239 str.

Humar M. 2009. Kako zaščititi les.

http://www.lesena-gradnja.si/html/img/pool/Kako_za__ititi_les_Humar.pdf (22.02.2013)

Humar M. 2008. Tramovka - najbolj kozmopolitanska lesna gliva. Les, 60, 4:159

Humar M. 2012. Patologija lesa. Bela trohnoba.

http://les.bf.uni-lj.si/fileadmin/datoteke_asistentov/mhumar/gradiva_vaje/bela_trohnoba.pdf (18.04.2013)

Janeš D. 2008. Odkrivanje novih protimikrobnih učinkovin v lesnih glivah. Farm vestn. 59

<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-GHUBTDWY/>

Kamke F.A., Sizemore H. 2008. Viscoelastic thermal compression of wood. U.S. Patent Application No. US Patent št. 7.404.422

Kervina-Hamović L. 1990. Zaščita lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 126 str.

Kutnar A. Influence of viscoelastic thermal compression of wood on adhesion

potential: doctoral dissertation = Vpliv viskoelastične toplotne zgostitve lesa na adhezijski potencial: doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo: 60 str.

- Kutnar A., Šernek M. 2009. Vpliv viskoelastične toplotne zgostitve na adhezijski potencial lesa. Les, 61,4:134-140
- Lesar B., Humar M., Oven P. 2008. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegova trajnost. Les 60, 11-12: 408- 412
- Modic J. 2007. Fungicidno delovanje posameznih aktivnih komponent v pripravkih na osnovi bakra in etanolamina. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 50 str.
- Pippa R. 1997. Anatomija in tehnologija lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 136 str.
- Pohleven F. 2008. Pisana ploskocevka - najbolj pogosta lesna gob. Les, 60, 3:115
- Polanc J., Leban I. 2004. Les: zgradba in lastnosti: učbenik za predmet Tvoriva v programu srednjega tehniškega oz. strokovnega izobraževanja za 1. letnik. Ljubljana, Lesarska založba: 174 str.
- Rep G., Pohleven F. 2004. Postopek termične modifikacije lesa v vakuumu: številka patentne prijave P-200400064. Ljubljana, Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino: 6 str.
- Rep G., Pohleven, F., Bučar, B. 2004. Characteristics of thermally modified wood in vacuum. Prispevek na konferenci: International Research Group on Wood Preservation. Stockholm. IRG Secretariat: 9 str
- Rep G., Pohleven F. 2001. Wood modification - a promising method for wood preservation = Modifikacija drva - obetavajua metoda za zaštitu drva. Drvna industrija, 52, 2: 71-76
- Rep G., Pohleven F., Košmerl S. 2012. Development of the industrial kiln for thermal wood modification by a procedure with an initial vacuum and commercialisation of modified Silvapro wood. V: The Sixth European Conference on Wood Modification, Ljubljana, Slovenia, 17-18 September 2012. Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology:11-17
- SIST EN 113. 1989. Zaščitna sredstva za les; Zaščitna sredstva za les – Določanje meje učinkovitosti proti glivam odprtotrošnicam; Wood preservatives;Determination of the toxic values against wooddestroying basidiomycetes cultured an agar medium.
- Torelli N. 1990. Les & skorja, Wood & bark, Holz & bast, Slovar strokovnih izrazov. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 70 str.
- ZGS (2011)
<https://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0C0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.zgs.gov.si%2Ffileadmin%2Fzgs%2Fmain%2Fim>

g%2FPDF%2FLETNA_POROCILA%2F2011_o_gozdovih.pdf&ei=yHUzUbXCduGmiQLQ_4G4Cg&usg=AFQjCNGXW8jUqaZT4OyxQRcJgdUOrZnydA&sig2=3z3DSV11F_5nJpzxWUG6rA&bvm=bv.43148975,d.cGE (05.03.2013)

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Mihi Humarju za usmerjanje in vso strokovno pomoč pri pripravi diplomske naloge in somentorici doc. dr. Andreji Kutnar za podporo pri diplomski nalogi.

Prav tako bi se rad zahvalil prof. dr. Francu Pohlevnu za opravljeno recenzijo.