

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Blaž LEŠNJAK

**FUNGICIDNE LASTNOSTI TERMIČNO
MODIFICIRANIH MANJ ZNANIH LESNIH VRST**

Diplomski projekt
Univerzitetni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Blaž LEŠNJAK

**FUNGICIDNE LASTNOSTI TERMIČNO MODIFICIRANIH MANJ
ZNANIH LESNIH VRST**

Diplomski projekt
Univerzitetni študij - 1. stopnja

**FUNGICIDAL PROPERTIES OF LESS KNOWN THERMAL
MODIFIED WOOD SPECIES**

B. SC. THESIS
University studies

Ljubljana, 2015

Diplomski projekt je zaključek univerzitetnega študija prve stopnje lesarstva na Biotehniški fakulteti v Ljubljani. Opravljeno je bilo v laboratorijih Delovne skupine za patologijo in zaščito lesa na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomske naloge imenoval prof. dr. Miho Humarja, za recenzenta pa prof. dr. Franca Pohlevna.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani/podpisana izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Blaž Lešnjak

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)

ŠD	Dul
DK	UDK 630*841
KG	les/termična modifikacija/temperatura/čas/lesne glive/odpornost
AV	LEŠNJAK, Blaž
SA	HUMAR, Miha (mentor)/POHLEVEN, Franc (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	FUNGICIDNE LASTNOSTI TERMIČNO MODIFICIRANIH MANJ ZNANIH LESNIH VRST
TD	Diplomski projekt (Univerzitetni študij - 1. stopnja)
OP	VIII, 29 str., 9 pregl., 13 sl., 23 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Termična modifikacija lesa je eden izmed najbolj perspektivnih postopkov zaščite lesa. Uporaba tega postopka se širi iz leta v leto. Postopek je okolju prijazen, saj poteka brez dodanih kemikalij. Les modificiramo pri visokih temperaturah v posebnih komorah, brez prisotnosti kisika. Z razmerjem med časom trajanja modifikacije in temperaturo modifikacije, dosežemo željeno stopnjo zaščite. Z višjo temperaturo dobimo bolj odporen les, a hkrati zmanjšamo njegove mehanske lastnosti. Večina raziskav je bila opravljena na industrijsko pomembnih lesnih vrstah, manj uporabljene lesne vrste pa so manj raziskane. V poizkusu smo testirali 4 različne, komercialno manj pomembne lesne vrste: macesen, topol, jelša in jesen. Testirali smo jih pri različnih temperaturah in različnem času trajanja modifikacije. Vzorcem smo določili izgubo mase po modifikaciji in jih izpostavili 4 različnim glivam: <i>Trametes versicolor</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Gloeophyllum trabeum</i> , <i>Antrodia vaillantii</i> . Vzorce smo za 16 tednov postavili v inkubator. Iz gravimetrično določene izgube mase smo ugotovili, da je odpornost lesa proti glivam v linearni povezavi z izgubo mase med termično modifikacijo. Nižja temperatura (do 190 °C) v nobenem primeru ne zadošča za popolno zaščito, medtem ko se višja temperatura (215 °C) že izkaže za učinkovito zaščito, vendar ne proti vsem vrstam lesnih gliv.

KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)

DN Dul
 DC UDC 630*841
 CX wood/thermal modification/temperature/duration/wood fungies/durability
 AU LEŠNJAK, Blaž
 AA Humar, Miha (supervisor)/POHLEVEN, Franc (co-advisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of Wood Science and Technology
 PY 2015
 TI FUNGICIDAL PROPERTIES OF LEES KNOWN WOOD SPECIES
 DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)
 NO VIII, 29 p., 9 tab., 13 fig., 23 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB Thermal modification of wood is one of the most promising procedures to protect the wood. The use of this procedure is expanding from year to year. The process is environmentally friendly as it runs without any added chemicals. Wood is modified at high temperatures in special chambers, without the presence of oxygen. The relationship between the duration of modification and the temperature of modification, we achieve the desired level of protection. The higher the temperature is, timber is more resistant, but at the same time, it reduces mechanical properties. Most research has been done on the important industrial wood species, the lesser used timber species are less researched. In the experiment, we tested four different, less commercially important timber species: larch, poplar, alder and ash. We tested them at different temperatures and different time duration. The samples were determined by weight loss and modification raised by four different fungi: *Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus*, *Gloeophyllum trabeum*, *Antrodia vaillantii*. The samples were placed for 16 weeks in an incubator. From gravimetrically determined weight loss we found that the resistance of wood against fungi is in linear relation to the weight loss during the thermal modification. Lower temperature (up to 190 °C) in no case sufficient for complete protection, while higher temperature (up to 215 °C) already prove to be effective protection, but not against all types of wood fungi.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD).....	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJI NALOGE	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 LASTNOSTI IN MODIFIKACIJA LESA.....	3
2.1.1 Načini modifikacije lesa	3
2.2 TERMIČNA MODIFIKACIJA LESA.....	4
2.3 KEMIČNE SPREMEMBE V LESU PO TERMIČNI MODIFIKACIJI	5
2.3.1 Celuloza	5
2.3.2 Hemiceluloze	6
2.3.3 Lignin.....	7
2.3.4 Ekstraktivi.....	7
2.4 FIZIKALNE SPREMEMBE V LESU PO TERMIČNI MODIFIKACIJI.....	8
2.4.1 Barva	8
2.4.2 Izguba mase	8
2.4.3 Dimenzijska stabilnost	8
2.4.4 Odpornost proti lesnim škodljivcem	9
2.4.5 Mehanske lastnosti	9
2.5 DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA LASTNOSTI MODIFICIRANEGA LESA ...	10
2.5.1 Lesna vrsta	10
2.5.2 Temperatura in čas modifikacije	10
2.6 GLIVE.....	10
2.6.1 Bela trohnoba.....	11
2.6.1.1 Pisana ploskocevka (<i>Trametes versicolor</i>)	11

2.6.1.2	Zimski ostrigar (<i>Pleurotus ostreatus</i>)	13
2.6.2	Rjava trohnoba	14
2.6.2.1	Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i>)	15
2.6.2.2	Bela hišna goba (<i>Antrodia vaillanti</i>)	16
3	MATERIALI IN METODE	18
3.1	MATERIALI	18
3.1.1	Vzorci lesa	18
3.1.2	Lesne glive	19
3.2	METODE	20
3.2.1	Določanje odpornosti termično modificiranega lesa proti lesnim glivam	20
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	25
4.1	IZGUBA MASE ZARADI TERMIČNE MODIFIKACIJE	25
4.2	IZGUBA MASE KONTROLNIH VZORCEV PO IZPOSTAVITVI LESNIM GLIVAM	25
4.3	REZULTATI TERMIČNO MODIFICIRANE JELŠE	26
4.3.1	Izguba mase jelše zaradi termične modifikacije	26
4.3.2	Izguba mase termično modificiranega lesa jelše po 16 tednih izpostavitve lesnim glivam	27
4.4	REZULTATI TERMIČNO MODIFICIRANEGA TOPOLA	28
4.4.1	Izguba mase topola zaradi termične modifikacije	28
4.4.2	Izguba mase termično modificiranega lesa topola po 16 tednih izpostavitve	28
4.6	REZULTATI TERMIČNO MODIFICIRANEGA MACESNA	31
4.6.1	Izguba mase macesna zaradi termične modifikacije	31
4.6.2	Izguba mase termično modificiranega lesa macesna po 16 tednih izpostavitve lesnim glivam	31
5	SKLEPI	33
6	VIRI	34

KAZALO PREGLEDNIC

Pregl. 1: Uporabljene lesne vrste in pogoji modifikacije	18
Pregl. 2: Izguba mase lesa jelše zaradi termične modifikacije	27
Pregl. 3: Vpliv termične modifikacije na izgubo mase lesa jelše po 16 tednih izpostavitve 4 različnim glivam v skladu s standardom SIST EN 113 (vrednost med oklepajem je standardni odklon).	28
Pregl. 4: Izguba mase lesa topola zaradi termične modifikacije	28
Pregl. 5: Vpliv termične modifikacije na izgubo mase topola po 16 tednih izpostavitve 4 različnim glivam v skladu s standardom SIST EN 113 (vrednost v oklepajih je standardni odklon).	29
Pregl. 6: Izguba mase lesa jesena zaradi termične modifikacije po 16 tednih izpostavitve.....	30
Pregl. 7: Vpliv termične modifikacije na izgubo mase jesena po 16 tednih izpostavitve 4 različnim glivam v skladu s standardom SIST EN 113 (vrednost v oklepajih je standardni odklon).	30
Pregl. 8: Izguba mase lesa macesna zaradi termične modifikacije po 16 tednih izpostavitve.....	31
Pregl. 9: Vpliv termične modifikacije na izgubo mase jesena po 16 tednih izpostavitve 4 različnim glivam v skladu s standardom SIST EN 113 (vrednost v oklepajih je standardni odklon).	32

KAZALO SLIK

Sl. 1: Pisana ploskocevka (Foto: S. Šerod, 2008).....	12
Sl. 2: Zimski ostrigar (<i>P. ostreatus</i> (Jacq.: Fr) Kumm) (Foto: L. Zimmer, 2008)	14
Sl. 3: Navadna tramovka (Foto: J. K. Lindsey, 2007)	15
Sl. 4: Bela hišna goba (2008)	17
Sl. 5: Kontrolni in termično modificirani vzorci jesena, topola, jelše in macesna (Foto: B. Lešnjak)	19
Sl. 6: Hranilno gojišče razporejeno po kozarcih (Foto: B. lešnjak)	20
Sl. 7: Oprema za avtoklaviranje (Foto: B. Lešnjak)	21

Sl. 8: Inokulacija z izbrano vrsto lesnih gliv (Foto: B. Lešnjak).....	21
Sl. 9: Tehtanje vzorcev po končanem sušenju (Foto: B. Lešnjak)	22
Sl. 10: Vlaganje vzorcev v kozarce (Foto: B. Lešnjak).....	23
Sl. 11: Bukova vzorca po 16 tednih inkubacije (Foto: B. Lešnjak).....	24
Sl. 12: Izguba lesne mase zaradi termične modifikacije	25
Sl. 13: Izguba mase kontrolnih vzorcev po 16 tednih izpostavitve	26

1 UVOD

Les je kot naraven material razgradljiv, kar je poleg vseh prednosti, ki jih ima, zagotovo ena večjih pomanjkljivosti, ki ga loči do popolnega materiala. Razgradnjo povzročajo abiotiski (temperatura, vlaga, UV žarki), kot tudi biotski dejavniki, kamor poleg živalskih škodljivcev in bakterij, sodijo tudi rastlinski škodljivci, med katerimi so najpomembnejše glive.

Velikokrat dobro zaščito lesa dosežemo že z ustrezno konstrukcijsko vgradnjo in izbiro ustrezne lesne vrste, ker pa to povsod ni mogoče (predvsem na območjih, kjer je les izpostavljen vlagi), posežemo po drugih rešitvah, kamor sodi tudi modifikacija lesa. Modifikacija lesa je novejši postopek pri katerem želimo s pomočjo okolju prijaznih metod, brez uporabe kemikalij, zaščititi les.

Z modifikacijo lesa spremenimo strukturo osnovnih gradnikov ali polimerov (celuloza, hemiceluloza, lignin) v celični steni in tako izboljšamo večino njegovih lastnosti, predvsem trajnost, ter sorpcijske lastnosti.

Termična modifikacija temelji na segrevanju pri visokih temperaturah brez (oz. z minimalno) prisotnosti kisika v posebnih komorah. Pri tem postopku reaktivne hidroksilne skupine v celični steni lesa reagirajo z ostalimi molekulami. Zaradi manj reaktivnih hidroksilnih skupin, se zmanjša adsorpcija vode v tak les, ki postane manj higroskopen, se manj krči in nabreka. Lesu se poleg vseh zgoraj omenjenih lastnosti, spremeni tudi barva, kar je z estetskega vidika lahko tako prednost, kot slabost. Termično modificiranem lesu se poslabšajo mehanske lastnosti, predvsem modul elastičnosti in upogibna trdnost. Tak material posledično ni priporočljiv za uporabo v konstrukcijske namene.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Zaradi vse večjih zahtev do okolju prijaznih postopkov zaščite, se čedalje pogosteje poslužujemo postopka termične modifikacije lesa. Ta postopek poteka tako, da les izpostavimo visoki temperaturi za določen čas, v komori, brez prisotnosti kisika. Lastnosti

modificiranega lesa v največji meri zavisijo od temperature modifikacije in časa trajanja postopka. Povezava med časom modifikacije in temperaturo modifikacije je relativno dobro znana za komercialne lesne vrste, manj pa je podatkov za komercialno nezanimive lesne vrste.

1.2 CILJI NALOGE

Določiti vpliv postopka modifikacije na odpornost na glive izbranih termično modificiranih lesnih vrst.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Veliki večini lesnih vrst je mogoče s postopkom termične modifikacije izboljšati odpornost na lesne glive. Za izboljšanje odpornosti lesa listavcev so potrebne nižje temperature modifikacije, kot za izboljšanje odpornosti lesa iglavcev.

2 PREGLED OBJAV

2.1 LASTNOSTI IN MODIFIKACIJA LESA

Les je zaradi svojih lastnosti (predvsem zaradi odličnega razmerja med gostoto in mehanskimi lastnostmi) vsestransko uporaben material, a na drugi strani v njem najdemo kar nekaj pomanjkljivosti (prednjačijo predvsem dimenzijske spremembe v različnih pogojih, ter slaba odpornost na lesne škodljivce). Prav tako je ta material zelo variabilen. Variabilnost najdemo med različnimi lesnimi vrstami, različnimi drevesi in celo znotraj iste drevesne vrste. Ta variabilnost vpliva tudi na različno odpornost lesnih vrst. Da bi lesu podaljšali življenjsko dobo se poslužujemo različnih biocidnih in nebiocidnih postopkov zaščite lesa. Eden izmed možnih postopkov je tudi modifikacija lesa.

Modifikacija lesa lahko obsega 'aktivno modifikacijo', ki povzroči spremembo v kemični strukturi materiala in pa 'pasivno modifikacijo', ki vpliva na spremembe lastnosti lesa, a brez sprememb v kemični strukturi. Modificiran les ne sme vsebovati nobenih strupenih snovi, med uporabo in tudi po uporabi mora omogočati reciklažo oziroma ponovno uporabo (Hill, 2006).

2.1.1 Načini modifikacije lesa

Poznamo različne načine modifikacije:

- kemično modifikacijo
- termično modifikacijo
- površinsko modifikacijo
- impregnacijsko modifikacijo

Kemična modifikacija

O kemični reakciji govorimo, ko prideta v stik reaktivna komponenta v celični steni in kemični reagent. Med reagentom in lesnimi polimeri nastane kovalentna vez. Lastnosti kemično modificiranega lesa so odvisne od vrste reakcije med kemičnim sredstvom in

lesom, od reagenta, stopnje polimerizacije in navzema ter porazdelitve reagenta v lesu. Trenutno najbolj prisotni reakciji sta estrenje in etrenje. Poznamo tudi sililiranje in oksidacijo (Holz, 2005).

Termična modifikacija

Pri postopku termične modifikacije se s temperaturo spreminja molekularna zgradba celične stene, postopek poteka brez prisotnosti kisika. Kisik, bi namreč povzročil degradacijo celuloze, kar bi še poslabšalo mehanske lastnosti lesa. Modifikacija običajno poteka med 150 °C in 260 °C. Pri postopku toplotne modifikacije dobimo les z boljšo dimenzijsko stabilnostjo, a hkrati s slabšimi mehanskimi lastnostmi. Les med samo modifikacijo potemni. (Rep, Pohleven, 2001).

Površinska modifikacija

Površino lesa lahko spremenimo s kemično modifikacijo, biološko modifikacijo z uporabo encimov ali procesom kot je plazemska modifikacija. Glavni cilj je izboljšati povezavo direktno nad površino ali med površino in premazom ali izboljšati preperevanje lesa. Od vseh modifikacij je ta najmanj raziskana (Hill, 2006).

Impregnacijska modifikacija

Pod impregnacijsko modifikacijo spada vsak postopek, kjer določeni impregnanti difundirajo v celično steno ali le lumen, kasneje pa s katalizatorjem oziroma temperaturo sprožimo polimerizacijo, lesu pa se spremenijo lastnosti. Izboljšave so vidne predvsem zaradi zapolnitve celične stene z impregnantom (Hill, 2006).

2.2 TERMIČNA MODIFIKACIJA LESA

Ta vrsta modifikacije je od vseh najbolj raziskana in komercialno najbolj zanimiva. Že leta 1915 je Tiemann, eden prvih raziskovalcev termične modifikacije, odkril da ta potencialno zelo uporabna metoda izboljša dimenzijsko stabilnost lesa in odpornost na lesne škodljivce. Bil je tudi eden prvih raziskovalcev, ki je odkril da ima visoka temperatura velik vpliv na fizikalne lastnosti lesa (Hill, 2006). Tudi v poznejših letih je bilo še ogromno raziskav na področju termične modifikacije, a predvsem zaradi dobavljivosti, nikoli ni bilo velikega

uspeha na trgu. Zaradi vedno večjega povpraševanja po nosilnih konstrukcijskih materialih, zahtevah po okolju prijaznih oblikah zaščite lesa in vedno večjega krčenja tropskih gozdov je bil proces leta 2008 ponovno obujen (Boonstra, 2008). Na trgu se je pojavilo 5 različnih evropskih proizvajalcev, število pa je iz leta v leto še naraščalo. Vsem podjetjem je skupno to, da uporabljajo žagan les, ki ga modificirajo pri temperaturah od 160 °C do 260 °C, vendar se razlikujejo po samih razvojnih pogojih (nekateri uporabljajo paro, drugi vroče olje ...) (Militz, 2002). Termična modifikacija poteka med temperaturami od 180 do 260 °C, če je temperatura nižja od 140 °C pride do neznatnih sprememb v lastnostih lesa, če je višja od 260 °C pa pride do prevelike degradacije materiala (Hill, 2006).

S termično modifikacijo z dodajanjem temperature spremenimo molekularno strukturo komponent celične stene. Med samim procesom polimeri (predvsem hemiceluloze in lignin) razpadajo in formirajo se novi polimeri obstojni v vodi (Rep, Pohleven, 2001). Izboljšajo se določene lastnosti lesa, kot so:

- manjša higroskopnost (ravnovesna vlažnost se zmanjša za 50 %)
- zmanjševanje krčenja in nabrekanja (do 90 %)
- izboljšana odpornost in omejena vnetljivost (Dirol in Guyonnet 1993)

V vseh primerih se poslabšajo mehanske lastnosti:

- les postane krhek (elastični modul in upogibna trdnost se zmanjšata za 30%)
- les izgubi do 15 % svoje mase
- les potemni (višja kot je temperatura, temnejši je les)
- prisoten je vonj po dimu (Rep, Pohleven, 2011)

2.3 KEMIČNE SPREMEMBE V LESU PO TERMIČNI MODIFIKACIJI

2.3.1 Celuloza

Celuloza je osnovna ogrodna sestavina celične stene, ki se pri iglavcih in listavcih pojavlja v približno enakem obsegu. Celulozne molekule sestavljajo β -D-glukozne enote,

medsebojno vezane z 1,4- β -glikozidnimi vezmi, ki omogočajo formiranje dolgih linearnih molekul. Vsaka glukozna molekula ima tri proste polarne hidroksilne skupine, ki omogočajo vzpostavljanje šibkejših Van der Waalsovih ali nekoliko močnejših vodikovih vezi. Vlaknasta in plastna struktura ter močne vodikove vezi dajejo celulozi v vzdolžni smeri veliko natezno trdnost in slabo topnost v topilih (Gorišek, 2009). Celuloza je bolj termično obstojna, kar gre pripisati njeni kristalinični zgradbi (Hill, 2006). V raziskavi so ugotovili, da termična obdelava bora pri 260 °C ni bistveno vplivala na razgradnjo celuloze (Bourgois in Guyonnet, 1988).

Kristaliničnost celuloze se poveča zaradi degradacije amorfne strukture celuloze, kar privede do slabše dostopnosti hidroksilnih skupin do molekul vode. Posledica je znižana ravnovesna vlažnost lesa (Wikberg in Maunu, 2004).

2.3.2 Hemiceluloze

Hemiceluloze so nizkomolekularni polisaharidi. V primerjavi s celulozo so molekule precej krajše z nizko stopnjo kristalizacije in vejnato strukturo. Hemiceluloze se pri listavcih pojavljajo v nekoliko večjem obsegu (listavci do 30 %, iglavci do 27 %). Stopnja polimerizacije je med 100 in 200 (Gorišek, 2009).

Hemiceluloza je slabše termično obstojna od celuloze in se začne razkrajati pri nižji temperaturi. Degradacija se začne z acetilacijo, kjer se sprosti očetna kislina, ki deluje kot katalizator depolimerizacije in s tem še poveča razgradnjo polisaharidov (Tjeerdsma, 1998).

Listavci so slabše termično obstojni od iglavcev, kar gre pripisati razlikam v strukturi hemiceluloz. Pentožani, ki so bolj zastopani v hemicelulozah listavcev, so bolj nagnjeni k degradaciji kot heksani (Fengel in Wegener, 1989). Po toplotni obdelavi, les vsebuje nižjo vsebnost hemiceluloz in zmanjšano število hidroksilnih mest, kar se odraža v boljši dimenzijski stabilnosti (Mayes in Oksanen, 2002).

2.3.3 Lignin

Lignin je tridimenzionalni aromatični polimerni kompozit sestavljen iz treh osnovnih fenilpropanolskih enot. Pri iglavcih je vsebnost lignina od 23 % do 33 % oziroma izjemno visoka pri kompresijskem lesu (od 34 % do 41 %), medtem ko ga je pri listavcih zmerne pasu manj (od 16 % do 25 %), v tropskih lesovih pa več (od 20 % do 32 %) (Gorišek, 2009).

Znano je, da je lignin najbolj obstojna komponenta v celični steni, vendar se degradacija lignina vseeno lahko prične pri relativno nizkih temperaturah, s proizvodnjo različnih fenolnih razgradnih produktov (Hill, 2006). Le ti so značilno obarvani in vplivajo na barvo termično modificiranega lesa.

2.3.4 Ekstraktivi

Ekstraktivi se nahajajo v celičnih lumnih in celičnih stenah. Njihov delež je običajno majhen, vendar značilno prispevajo k barvi, vonju in biološki odpornosti lesa. Najpomembnejši so polifenoli in terpeni, med ekstraktivi pa se pojavljajo še maščobe in njihove kisline, voski in hlapljivi ogljikovodiki (Gorišek, 2009).

V neki raziskavi se je izkazalo, da so se v termično modificiranem lesu pojavile manjše emisije terpena, vendar višje vrednosti očetne kisline v primerjavi z nemodificiranim lesom (Mayes in Oksanen, 2002).

Med termično obdelavo poteka migracija ekstraktov na površino in pogosto so vidne zaplate smole, ki jih je potrebno kasneje odstraniti (Hill, 2006). Problem s smolo je povezan le z nekaterimi procesi in ne vsemi.

2.4 FIZIKALNE SPREMEMBE V LESU PO TERMIČNI MODIFIKACIJI

2.4.1 Barva

Daljši kot je čas modifikacije in višja kot je temperatura, temnejši postane les. Bolj vidna barvna sprememba nastane, če je les modificiran na zraku (ob prisotnosti kisika), kot v dušikovi atmosferi (Hill, 2006).

2.4.2 Izguba mase

S termično modifikacijo lesa se zmanjša tudi njegova masa, kar pa je odvisno od postopka modifikacije, temperature in časa. Termična modifikacija pri nižjih temperaturah povzroči manjšo izgubo mase, kar je povezano s hlapljivostjo vezane vode. Izguba makromolekularnih komponent se začne pri temperaturi 100 °C in se stopnjuje s časom in temperaturo modifikacije.

Izguba mase v zaprtih sistemih je enaka kot v odprtih sistemih pri temperaturi 150 °C, večja izguba mase pa se zgodi v odprtih sistemih pri 175 °C (Rusche, 1973). Med modifikacijo v enakih pogojih, listavci izgubijo več mase kot iglavci. Rusche (1973) je primerjal bukev in bor, ter odkril da je termična degradacija bukve pri 200 °C veliko večja kot pri boru. Izguba mehanskih lastnosti je bila povezana samo z izgubo mase in je bila neodvisna od lesne vrste. Za izboljšanje dimenzijske stabilnosti je potrebna vsaj izguba mase za 3 %, za izboljšanje odpornosti pa 5 % (Viitaniemi in sod., 1997).

2.4.3 Dimenzijska stabilnost

Les je higroskopen material, saj se krči in nabreka. Dimenzijska stabilnost je odvisna predvsem od inherentnih ali specifičnih lastnosti t.j. določeni vrsti vrojenih lastnosti (ravnovesna vlažnost, uravnovesna hitrost, skrček oz. nabrek, oblikovna stabilnost ...) in nespecifičnih, ki veljajo za vse vrste enako (dimenzije, orientiranost, način razžagoavanja, potek vlaken, klima okolja ...) (Cividini, 1992). Manjše delovanje lesa je posledica

zmanjšanja higroskopnosti lesa zaradi termične razgradnje najbolj higroskopnih in nestabilnih polioz (Kubinsky, 1971). Zaradi upada ravnovesne vlažnosti med termično modifikacijo, se izboljša dimenzijska stabilnost lesa (Hill, 2006).

Tjeerdsma in sodelavci (1998) so odkrili, da je bilo po termični modifikaciji nabrekanje pri bukvi manjše od 7,3 % do 5,7 % in 4,7 % do 2,8 % pri rdečem boru. Glavno vlogo dimenzijski stabilnosti pri termično modificiranemu lesu, naj bi imela izguba hemiceluloze (Burmester, 1975).

2.4.4 Odpornost proti lesnim škodljivcem

Večina lesnih vrst je v visokih vlažnostih podvržena trohnobi. S termično modifikacijo izboljšamo odpornost na večino bioloških škodljivcev. Obstaja povezava med higroskopnostjo in odpornostjo termično modificiranega lesa. Nekatere molekule kot je furfural, se pri termični modifikaciji zamrežijo z ligninom in glive ne zaznajo več substrata kot vir hrane. Možno je tudi, da pride do esterifikacije celuloze zaradi očetne kisline, ki nastane kot razgradnji produkt pri razgradnji hemiceluloze (Weiland in Guyonnet, 2003).

2.4.5 Mehanske lastnosti

Ena glavnih pomanjkljivosti termično modificiranga lesa je upad mehanskih lastnosti, zato je tak les neprimeren za konstrukcijski material (Esteves in Pereira, 2008). Termično modificiranemu lesu se poveča predvsem krhkost lesa, ter upogibna in natezna trdnost. Medtem ko v tlačni trdoti in trdoti površine ni znatnih sprememb. Izguba mehanskih lastnosti naj bi bila nižja pri postopkih modifikacije, ki potekajo pri temperaturi do 200 °C (Boonstra in sod., 1998). Izguba mehanskih lastnosti je močno povezana s samo vrsto procesa in je večja z modifikacijo v zaprtih sistemih (Hill, 2006). Pri enakih modifikacijskih pogojih, listavci utrpijo večjo izgubo mehanskih lastnosti kot iglavci (Hill, 2006).

2.5 DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA LASTNOSTI MODIFICIRANEGA LESA

2.5.1 Lesna vrsta

Različne vrste lesa se različno odzovejo na termično modifikacijo lesa. Še največja razlika je med predstavniki listavcev in predstavniki iglavcev. V vseh procesih se je izkazalo, da je izguba mase večja pri listavcih (Hill, 2006).

2.5.2 Temperatura in čas modifikacije

S segrevanjem lesa, pride do spremembe mase, najprej zaradi difuzije vezane vode in hlapnih ekstraktivov. Z večanjem temperature se začnejo dogajati kemijske spremembe v celičnih stenah, ki ji sledi nadaljnja izguba mase in sprememba barve lesa (Hill, 2006). Z višjo temperaturo dosežemo boljšo odpornost lesa proti lesnim glivam, a hkrati poslabšamo mehanske lastnosti.

Trajanje je odvisno od več dejavnikov: velikosti komore, dimenzij lesa in časa segrevanja ter ohlajevanja (Sailer in sod., 2000). Čas segrevanja mora biti dovolj dolg, da se les enakomerno segreje, ter da modifikacija enakomerno poteka po celotnem preseku lesa.

Večji vpliv kot čas ima sama temperatura. Prvi rezultati kažejo, da modifikacija pri višjih temperaturah in krajšem času ne daje enakih rezultatov kot modifikacija pri nižjih temperaturah in daljšem času (Sailer in sod., 2000). Štabuc (2012) pa je prišel do nasprotnih podatkov. Ne glede na način, kako smo prišli do izgube mase (daljši čas in nižja temperatura ali krajši čas ter višja temperatura) je bila odpornost vedno primerljiva.

2.6 GLIVE

Glive se lahko preživljajo na več načinov: na račun živih organizmov (paraziti) ali pa se hranijo s snovmi mrtvih organizmov (saprofiti) ali pa živijo z živimi bitji v simbiozi (mikoriza). Večina gliv je sestavljenih iz dveh kasno ločenih delov: prehranjevalnega in razmnoževalnega. Prehranjevalni del sestavljajo zelo tanke niti ali hife, ki nenehno rastejo

in prodirajo v podlago, jo razkrajajo in črpajo iz nje hranljive snovi. Preplet hif tvori micelij. Z njim gliva črpa hrano iz lesa, dovaja vodo in se širi iz okuženega v zdrav les. Razkrojevalke povzročajo v lesu številne kemične in fizikalne spremembe, zaradi česar les izgublja naravne lastnosti (Benko in sod., 1987).

2.6.1 Bela trohnoba

Če les postaja zmerom svetlejši od svoje naravne barve, lahko sklepamo, da je okužen z glivami, ki povzročajo belo trohnobo. Razkrojevalno delovanje teh gliv je usmerjeno predvsem v razgradnjo lignina (preostanek pa je celuloza), pri čemer sodelujejo lignolitični encimi. Les se vlaknasto ali lamelno cepi. Ta vrsta trohnobe je značilna predvsem za les listavcev (Benko in sod., 1987).

Bela trohnoba povzroča manjšo izgubo mehanskih lastnosti kot rjava trohnoba, saj se za enako izgubo lesne mase, porabi manj celuloze. V zadnjem stadiju je izguba lesne mase tudi do 97 % (Schmidt, 2006).

Nekaj najbolj značilnih predstavnikov bele trohnobe: Sivorumena mraznica (*Armillaria mellea*), bukova kresilka (*Fomes fomentarius*), pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*), navadna cepilistka (*Schizophyllum commune*), borov plutač (*Phellinus pini*), zimski ostrigar (*Pleurotus ostreatus*).

2.6.1.1 Pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*)

Gliva sodi med najbolj razširjene glive na svetu, prav tako tudi pri nas. Najdemo jo predvsem na lesu listavcev (bukev, hrast, kostanj, robinija), le redko na iglavcih (smreka, bor). Trosnjaki so različnih barv in oblik. Najpogosteje so konzolaste oblike. Optimalna temperatura za razvoj je 30 °C, maksimalna pa 38 °C. Gliva je zelo odporna proti dolgotrajni suši in visokim temperaturam. Zelo pogosta je na hlodovini, najdemo pa jo tudi na štorih, jamskem lesu, pragovih, drogovih, ograjah. Pri manj odpornih vrstah okužuje tudi srce (bukev). V začetku okužbe dobiva les bele pege, pozneje pa postane popolnoma

bel in mehak. Stoječa drevesa okuži le, če so že odmrli. V laboratorijskih razmerah bukov les po 4 mesecih izgubi več kot 35 % svoje teže (Benko in sod., 1987).

Zaradi žilave zgradbe goba ni užitna, primerna pa je za kuhanje čaja. Pripisujejo ji številne zdravilne učinke od izboljšanja imunskega sistema in delovanja proti prehladu in drugim virusom.

S svojimi nespecifičnimi encimi je sposobna razgraditi poliklorirane organske biocide, ki so po zgradbi podobni gradnikom lignina. Tako jo že uporabljajo pri uničevanju posebnih odpadkov kot je z Lindanom in pentaklorofenolom impregniran les ter razstrupljanju polj, kjer so bila v preteklosti uporabljena poliklorirana organska fitofarmacevtska sredstva. Najbolj znan je njen učinek proti raku. Nekajletne osebne izkušnje z bolniki kažejo, da je polisaharid, pridobljen iz pisane ploskocevke, od vseh gob najbolj uspešen pri zdravljenju raka (Pohleven, 2008).



Slika 1: Pisana ploskocevka (Foto: S. Šerod, 2008)

2.6.1.2 Zimski ostrigar (*Pleurotus ostreatus*)

Zimski ostrigar je razširjen povsod po svetu v zmernem in subtropskem pasu. Ostrigarji so ene izmed redkih vrst gliv, ki so poznane tudi kot mesojede glive, saj z micelijem uničujejo in prebavljajo trihine (zelo tanek zajedavec v črevesju človeka in nekaterih živali, katerega ličinke povzročajo trihinelozo), ter tako pridobivajo dušik (Stamets, 2000). Glive se večinoma razširijo na odmirajoča drevesa, kjer z dekompozicijo lesa oskrbujejo gozd, ter v ekosistem vračajo vitalne elemente in minerale, potrebne za razvoj drugih rastlin in organizmov (Stamets, 2000).

To vrsto pogosto srečamo tudi v naših gozdovih, v obdobju ko temperature padejo pod 10 °C. Klobuki so premera od 5-15 cm sivkasto okrase do rjave barve. Premer posameznih šopov je 15-35 cm. Klobuki so mesnati, prijetnega vonja in okusa. Rast gob izzove pri zimskem ostrigarju temperaturni šok (temperatura pade pod 15 °C), pri nekaterih ostrigarjih pa ni potreben (Gregori, 2011).

Gliva se kot specialiteta najpogosteje uporablja v Japonski, Korejski in Kitajski kuhinji. Med drugim so raziskave pokazale, da uživanje zimskih ostrigarjev znižuje raven holesterola in se pogosto uporablja v zdravilne namene (Cimerman, 1995).



Slika 2: Zimski ostrigar (*P. ostreatus* (Jacq.: Fr) Kumm) (Foto: L. Zimmer, 2008)

2.6.2 Rjava trohnoba

Glive, ki povzročajo rjavo trohnobo, razkrajajo predvsem celulozo in hemiceluloze. Celuloza se razgradi s pomočjo vodikovega peroksida (H_2O_2), ki nastane med razgradnjo hemiceluloz. Ker je vodikov peroksid majhna molekula, lahko hitro difundira skozi les, ki vodi do razkroja, ki ni omejen le na neposredno okolico hif (Daecon, 2005). Kot rezultat te vrste razkroja, les postane temno rjav in začne pokati v pravilne prizme, ter izgubi mehanske lastnosti. V končni stopnji se tak les že pod pritiskom s prstmi lomi in drobi v prah (Benko in sod., 1987).

Če se bela trohnoba pojavlja predvsem v listavcih, rjava trohnoba prizadene predvsem stoječa, podrtá drevesa ter predelan les listavcev. Pojavlja se tako v beljavi kot jedrovini. V severnih državah je večino konstrukcijskega materiala izdelanega iz lesa iglavcev in glive rjave trohnobe so glavne povzročiteljice razgradnje tako zunanjih kot notranjih objektov (Schmidt, 2006).

Nekaj najbolj znanih predstavnic gliv, ki povzročajo rjavo trohnobo: Hrastova labirintnica (*Daedalea quercina*), luskata nazobčanka (*Lentinus lepideus*), kletna goba (*Coniophora puteana*), siva hišna goba (*Serpula lacrymans*), labirintasta tramovka (*Gloeophyllum trabeum*), bela hišna goba (*Antrodia vaillanti*), smrekova kresilača (*Fomitopsis pinicola*).

2.6.2.1 Navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*)

Zelo razširjena je v Evropi, Avstraliji, na Novi Zelandiji, v Afriki in Severni Ameriki. Okužuje iglavce (smreka, bor) in listavce (bukev, robinija, cipresa). Najdemo jo predvsem na lesnih konstrukcijah, na mostovih, okenskih okvirjih, vratih, lesu v savnah, na zunanjih talnih oblogah, včasih tudi na drogovih, pragovih in v rudnikih (Benko in sod., 1987).

Tramovkam ustrezajo višje temperature kot ostalim lesnim glivam. Optimalna temperatura je med 26 in 35 °C, lahko pa raste tudi pri 40 °C. Minimalna temperatura za rast je 5 °C. Optimalna vlažnost lesa je med 40 in 60 %. Če želimo tramovko uničiti s segrevanjem, moramo les 2 uri izpostaviti temperaturi, višji od 97 °C (Humar, 2008). Zaradi odpornosti na višje temperature in sušo, tramovka zlahka preživi v lesenih oknih ali tramovih, ki se čez dan na soncu močno segrejejo. Ob neugodnih pogojih preide v latentno stanje. Tramovka lahko kar 10 let preživi v lesu z 12 % vlažnostjo. Poleg tega da lahko preživi v relativno suhem lesu, lahko razkraja tudi močno vlažen les (Humar, 2008).



Slika 3: Navadna tramovka (Foto: J. K. Lindsey, 2007)

2.6.2.2 Bela hišna goba (*Antrodia vaillanti*)

Bela hišna goba je zelo pogosta v kletih, rudnikih in drugih zelo vlažnih okoljih. Okužuje tudi les na skladiščih. Najdemo jo tudi v gozdu na podzemnih delih hlodovine. Najdemo jo v zmernem, kot tudi tropskem pasu. Razkrojen les prizmatično razpoka, vendar so razpoke plitkejšje kot pri sivi hišni gobi, prizme pa večje kot pri kletni gobi (Humar, 2008).

Optimalna pogoja za razvoj bele hišne gobe sta temperatura 27 °C in vlaga lesa 40 %. Goba raste v temperaturnem območju 3 do 36 °C. V laboratorijskih pogojih zraste podgobje za 12,5 mm na dan. Bele hišne gobe prenesajo tudi do pet let trajajoče sušno obdobje in nato spet ožive ter začno razkrajati les, če ta vsebuje 40 % vlage.

Les okužen z belimi hišnimi gobami zelo hitro izgublja upogibno trdnost. Odpornost proti udarcem se zmanjša že takrat, ko skoraj še ni izgube teže. To se zgodi zaradi razcepitve vezi med ligninom in ogljikovimi hidrati. Po okužbi se pojavita tudi nenormalno longitudinalno krčenje lesnih vlaken in manjša natezna trdnost. V laboratorijskih pogojih les po 16 tednih izgubi tudi do 41 % svoje mase (Benko in sod., 1987).

Za belo hišno gobo je značilna visoka toleranca na bakrove pripravke. Najbolj tolerantni izolati lahko rastejo celo na hranilnem gojišču, ki vsebuje 8000 ppm bakra. To dejstvo je zaskrbljujoče saj bakrovi pripravki sodijo med najbolj razširjena zaščitna sredstva za les. Toleranca na baker je povezana z velikim izločanjem oksalne kisline, ki z bakrovimi učinkovinami tvori v vodi netopne in zato biološko neaktivne komplekse bakrovega oksalata (Humar, 2008).



Slika 4: Bela hišna goba (2008)

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

Za raziskavo smo uporabili les štirih lesnih vrst (preglednica 1): črnega topola (*Populus nigra*), jesena (*Fraxinus excelsior*), navadnega macesna (*Larix decidua*) in jelše (*Alnus glutinosa*), ki je bil termično modificiran v skladu s komercialnim postopkom Silvapro v podjetju Silvaproduct.

Preglednica 1: Uporabljene lesne vrste in pogoji modifikacije

	Temperatura modifikacije	Čas modifikacije
Jelša	190 °C	5 h
Jelša	215 °C	3 h
Navadni macesen	190 °C	5 h
Jesen	200 °C	3 h
Črni topol	215 °C	3 h

3.1.1 Vzorci lesa

Iz različnih desk smo na formatnem krožnem žagalnem stroju izžagali vzorce dimenzij 50 mm × 25 mm × 15 mm (slika 5). Še prej smo les poskobljali na debelinskem skobeljnem stroju. Uporabili smo les črnega topola (*Populus nigra*), jesena (*Fraxinus excelsior*), navadnega macesna (*Larix decidua*) in jelše (*Alnus glutinosa*). Vzorci so bili termično modificirani v Silvaproductu d.o.o. Za kontrolo smo uporabili nemodificiran les smreke (*Picea abies*) in bukve (*Fagus sylvatica*). Prav tako smo uporabili tudi nemodificiran les vseh štirih zgoraj opisanih lesnih vrst.



Slika 5: Kontrolni in termično modificirani vzorci jesena, topola, jelše in macesna (Foto: B. Lešnjak)

Lesne vzorce smo izpostavili štirim različnim lesnim glivam, in sicer po 5 kosov na posamezno glivo: črni topol (kontrola+ modifikacija), navadni macesen (kontrola + modifikacija), jelša (kontrolna + modifikacija 1 + modifikacija 2), in jesen (kontrola + modifikacija). Kot kontrolo smo uporabili lesne vzorce smreke in bukve, in sicer po 10 kosov na vsako glivo.

Za vsako glivo smo torej pripravili po 75 vzorcev, vsega skupaj 300. Za vsako glivo pa smo pripravili 45 kozarcev, nekaj za rezervo.

3.1.2 Lesne glive

Uporabili smo 4 različne lesne glive, in sicer:

- bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*)
- navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*)
- pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*) zimski ostrigar (*Pleurotus ostreatus*)

Vse glive smo dobili v banki gliv na Katedri za patologijo in zaščito lesa na Biotehniški fakulteti, Univerze v Ljubljani.

3.2 METODE

3.2.1 Določanje odpornosti termično modificiranega lesa proti lesnim glivam

Prvi dan smo vseh 180 kozarcev, ki smo jih potrebovali za preizkus, oprali z vodo in etanolom. Razkužili smo jih zato, da ne bi prišlo do nepredvidenih infekcij. Ker so bili pokrovčki že v uporabi, smo jim zamenjali vato in jih prav tako razkužili z etanolom. S tem smo dosegli dostopnost prehoda zraka in vlage iz okolice v kozarce in preprečili prehod nezaželenih spor v kozarce. Iz HDPE smo izrezali manjše mrežice, premera enega kozarca in jih prav tako namočili v etanol. Služile so temu, da lesni vzorci ne bi imeli neposrednega stika s hranilnim gojiščem.

Iz krompirjevega dekstroznega agarja (PDA) smo skuhali hranilno gojišče. Zavreli smo 1,5 l destilirane vode in vzporedno v 3 dL zamešali 78g PDA-ja. Vsebino smo prelili z vrelo destilirano vodo in zopet počakali da zavre. Ko je vrela, smo jo mešali okoli 3 minute in pri tem bili izjemno pozorni, da se vsebina ni zasmodila. Po končanem mešanju smo mešanico prelili v kozarce, in sicer v vsak kozarec po 50 mL (slika 6). Da smo napolnili vse kozarce, smo morali postopek kuhanja večkrat ponoviti.



Slika 6: Hranilno gojišče razporejeno po kozarcih (Foto: B. lešnjak)

Ko smo napolnili vse kozarce, smo jih zaprli s pokrovčkom in jih sterilizirali 45 minut pri 120 °C in 1,5 bar (slika 7).



Slika 7: Oprema za avtoklaviranje (Foto: B. Lešnjak)

Ohlajene kozarce smo naslednji dan inokulirali z izbrano kulturo lesnih gliv (slika 8). V brezprašni komori smo si pripravili več petrijevk, ki so vsebovale micelije izbranih lesnih gliv. Vsak kozarec smo odprli, rob pokrovčka obžgali z ognjem in v njega s pinceto vstavili majhen kos micelija. Pokrovček smo zopet obžgali in kozarec zaprli. Ko je bilo pripravljenih vseh 180 kozarcev, smo jih prenesli v rastno komoro in jih inkubirali 1 teden (pri 25 °C in 85 % RH), da se je micelij nekoliko razrasel.



Slika 8: Inokulacija z izbrano vrsto lesnih gliv (Foto: B. Lešnjak)

Lesne vzorce smo medtem označili s števkami od 1 do 300 in jih za 24 ur položili v sušilnik (103 ± 2 °C). Po končanem sušenju smo jih vstavili v eksikator (da se ne bi ponovno navlažili) in jih začeli tehtati na 0,0001 g natančno (slika 9). Vse podatke smo shranjevali na osebni računalnik.



Slika 9: Tehtanje vzorcev po končanem sušenju (Foto: B. Lešnjak)

Po 1 tednu v inkubaciji, smo kozarce, ki so bili okuženi z nezaželenimi kulturami, izločili. V preostale pa smo, zopet v brezprašni komori, položili PVC mrežico in nanjo po 2 lesna vzorca (če se je le dalo en lesni vzorec za kontrolo in en lesni vzorec termično modificiranega lesa) ter kozarec zaprli (slika 10). V noben kozarec nismo vstavili enakih lesnih vrst.



Slika 10: Vlaganje vzorcev v kozarce (Foto: B.Lešnjak)

Ko smo pripravili vse kozarce, smo jih za položili v rastno komoro (25 C, 85 % RH) in jih tam inkubirali 16 tednov.

Po 16 tednih smo vzorce vzeli iz kozarcev in jih še vlažne stekali. S pomočjo naslednje formule smo dobili vlažnost lesa:

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

u - vlažnost vzorcev

m_1 - masa vlažnih vzorcev

m_2 - masa absolutno suhih vzorcev

Vzorce smo nato zopet za 24 ur položili v sušilnik (103 ± 2 °C) in jih po končanem sušenju zopet stekali. Dobili smo maso absolutno suhih vzorcev in določili maso izgube po naslednji formuli:

$$m \text{ izgube} = \frac{m_0 - m_2}{m_2} \times 100 [\%] \quad \dots (2)$$

$m \text{ izgube}$ - izguba mase vzorcev

m_0 - masa absolutno suhih vzorcev

m_2 - masa absolutno suhih vzorcev po izpostavitvi

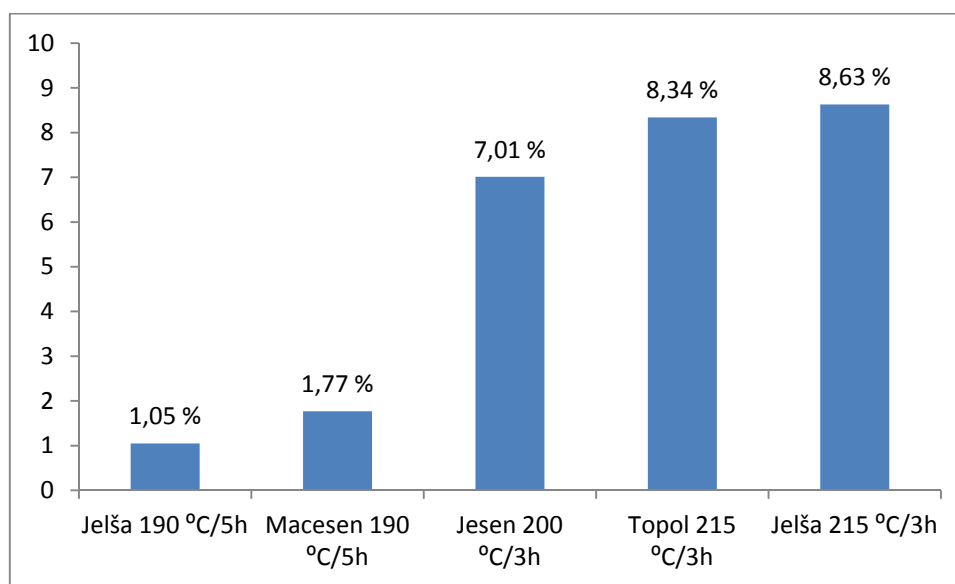


Slika 11: Bukova vzorca po 16 tednih inkubacije (Foto: B. Lešnjak)

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 IZGUBA MASE ZARADI TERMIČNE MODIFIKACIJE

S povečanjem temperature termične modifikacije, se pri vseh lesnih vrstah povečuje izguba mase. Izguba mase je najbolj izrazita pri temperaturah od 200 °C naprej, medtem ko je pri temperaturi 190 °C komaj opazna. Največjo izgubo mase ima jelša pri 215 °C in 3 h trajanja TM (8,63 %), najmanjšo pa prav tako jelša pri 190 °C in trajanju 5 h (1,05 %) (slika 12). Naši rezultati kažejo, da trajanje termične modifikacije nima bistvenega vpliva na izgubo mase, veliko večji vpliv ima sama temperatura. Kakorkoli, za resen sklep o vplivu časa modifikacije in temperature modifikacije, bi bilo treba izvesti več poizkusov.

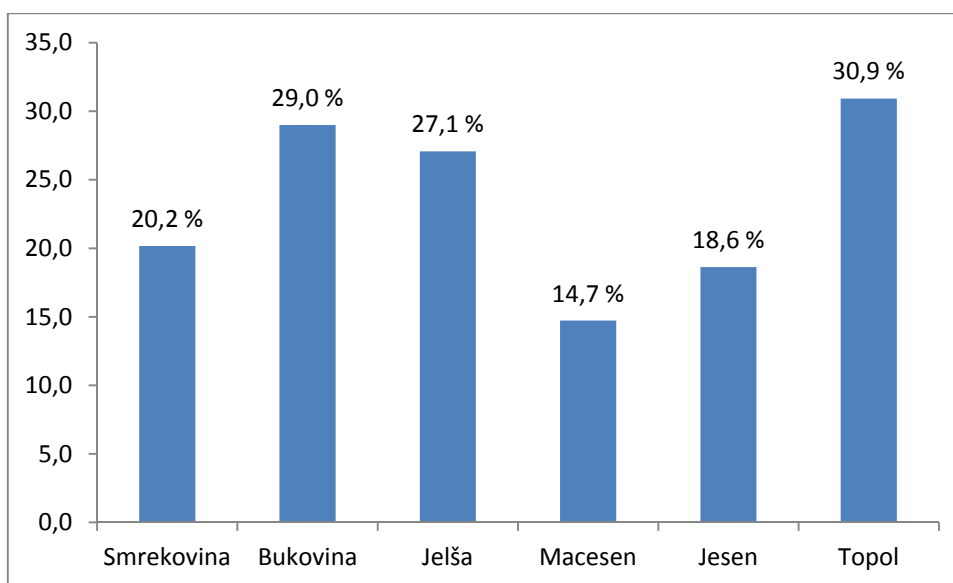


Slika 12: Izguba lesne mase zaradi termične modifikacije

4.2 IZGUBA MASE KONTROLNIH VZORCEV PO IZPOSTAVITVI LESNIM GLIVAM

Kontrolni vzorci so v povprečju izgubili 22,6 % svoje mase, kar pomeni, da so bile glive zelo vitalne. Največjo povprečno izgubo mase je utrpel les topola (30,9 %), sledi mu les bukve (29 %), jelše (27,1 %), smreke (20,2 %), jesena (18,6 %) in macesna (14,7 %) (slika 13).

Ti rezultati sovpadajo z naravno odpornostjo lesnih vrst pri nas. Topol, bukev ter jelša, katerih izguba mase je bila največja, spadajo v najnižji odpornostni razred in med najbolj občutljive lesne vrste pri nas. Les smreke spada že pod manj občutljive lesove in razred višje, medtem ko za macesen velja, da spada poleg oreha in kostanja med najbolj odporne lesne vrste pri nas. Jesen lahko uvrstimo nekje med smreko in macesen. Najmanjšo izgubo mase smo zaznali pri lesu izpostavljenem zimskemu ostrigarju, največjo pa pri navadni tramovki. Oba predstavnika iglavcev (smreka in macesen) sta pričakovano najmanjšo izgubo mase utrpela z glivama, ki razgrajujeta predvsem belo trohno (pisana ploskoceвка, zimski ostrigar), največjo pa z glivama, ki razgrajujeta rjavo trohno (navadna tramovka, bela hišna goba).



Slika 13: Izguba mase kontrolnih vzorcev po 16 tednih izpostavitve

4.3 REZULTATI TERMIČNO MODIFICIRANE JELŠE

4.3.1 Izguba mase jelše zaradi termične modifikacije

Iz rezultatov prikazanih v preglednici 2, lahko razberemo, da je izguba mase jelše modificirane pri 190 °C in 5 urah izpostavitve komaj zaznavna (1,05 %), medtem ko je pri 215 °C in 3 urah izpostavitve znatno večja (8,63 %). V tem primeru lahko ugotovimo, da

čas modifikacije bistveno ne vpliva na izgubo mase, veliko večji vpliv ima sama temperatura.

Preglednica 2: Izguba mase lesa jelše zaradi termične modifikacije

	Temperatura modifikacije [°C]	Čas modifikacije [h]	Izguba mase [%]
Jelša	190	5	1,05
Jelša	215	3	8,63

4.3.2 Izguba mase termično modificiranega lesa jelše po 16 tednih izpostavitve lesnim glivam

Les kontrolnih vzorcev jelše je v povprečju izgubil 27,1 %, kar pomeni, da so bile glive zelo vitalne, jelša pa ima po drugi strani neodporen les. Najbolj učinkovita je bila pisana ploskocevka (37,7 %), najmanjšo izgubo mase pa smo zaznali pri zimskem ostrigarju (5,9 %). V primerjavi s smreko (20,2 %), ima jelša slabšo odpornost na glive in nekoliko boljše od bukve (29 %).

Triurna modifikacija lesa pri 190 °C bistveno ne vpliva na samo odpornost na lesne glive, saj je izguba lesa še vedno zelo visoka. Podobno kot pri kontrolnih vzorcih smo najmanjšo izgubo lesa opazili pri zimskem ostrigarju (6,3 %), najbolj aktivna pa je bila navadna tramovka (22,3 %), ki se je tudi pri lesu modificiranemu pri temperaturi 215 °C izkazala za najbolj agresivno glivo. V kolikor naše rezultate primerjamo z rezultati Štabuca (2012), vidimo da nizke temperature modifikacije ne nudijo zadostne zaščite lesa pred glivami.

Z lesom jelše, modificirane pri 215 °C in 3 urah izpostavitve, smo dosegli skoraj popolno zaščito, saj delež izgube mase z izjemo pisane ploskocevke (5,2 %), nikjer ni presegel 3 %. V skladu s standardom SIST EN 350, bi ta les razvrstili med odporne lesne vrste, podobno kot jedrovino hrasta in kostanja.

Zanimiva je tudi povezava med izgubo mase lesa zaradi termične modifikacije in izgubo mase lesa po 16 tednih izpostavitve različnim glivam. Z višanjem temperature, se povečuje

izguba mase lesa zaradi TM, a hkrati zmanjšuje izguba mase zaradi izpostavitve različnim glivam.

Preglednica 3: Vpliv termične modifikacije na izgubo mase lesa jelše po 16 tednih izpostavitve 4 različnim glivam v skladu s standardom SIST EN 113 (vrednost med oklepajem je standardni odklon).

	Izguba mase [%]				
	Navadna tramovka	Pisana ploskocevka	Zimski ostrigar	Bela hišna goba	Povprečna vrednost
Jelša (190 °C/5h)	22,3 (9,3)	19,5 (7,9)	6,3 (0,5)	18,1 (3,9)	16,6
Jelša (215 °C/3h)	0,9 (1,3)	5,2 (1,6)	2,1 (0,7)	2,9 (1,0)	2,8
Jelša (nemodificirano)	37,7 (6,5)	36,5 (6,9)	5,9 (1,3)	28,2 (6,2)	27,1
Smreka (nemodificirano)	36,6 (4,6)	11,6 (4,4)	10,3 (3,2)	22,2 (5,2)	20,2
Bukev (nemodificirano)	31,6 (12,3)	34,1 (7,4)	30,3 (4,9)	20 (3,9)	29,0

4.4 REZULTATI TERMIČNO MODIFICIRANEGA TOPOLA

4.4.1 Izguba mase topola zaradi termične modifikacije

Les topola modificiranega pri 215 °C in 3 urah modifikacije je izgubil 8,34 % svoje prvotne mase. Ta izguba mase je primerljiva tudi z drugimi lesnimi vrstami (jelša: 8,63 %) modificiranimi pri isti temperaturi in enakem času modifikacije (Preglednica 4).

Preglednica 4: Izguba mase lesa topola zaradi termične modifikacije

	Temperatura modifikacije [°C]	Čas modifikacije [h]	Izguba mase [%]
Topol	215	3	8,34

4.4.2 Izguba mase termično modificiranega lesa topola po 16 tednih izpostavitve

Iz rezultatov (Preglednica 5) smo razbrali, da je nemodificiran les topola izgubil 30,9 % svoje mase, kar je največ med vsem preizkušenimi lesnimi vrstami. Ta rezultat je

pričakovano, saj topolov les sodi med zelo dovzetne vrste za glivni razkroj. Najbolj agresivni glivi, sta bili navadna tramovka (45,2 %) in pisana ploskocevka (41,8 %), sledila jima je bela hišna goba (25,9 %), medtem, ko se je zimski ostrigar zopet izkazal za najmanj agresivno glivo (10,8%). Les topola se je tako izkazal za slabše odpornega tudi v primerjavi s smreko (20,2 %) in bukvijo (29 %).

Modificiran les je bil bistveno bolj odporen na glivni razkroj, kot nemodificiran les. Pri modificiranem lesu se je za najbolj agresivno glivo izkazala bela hišna goba (9,9 %), medtem ko pri izpostavitvi ostalim lesnim glivam izguba mase ni bila večja od 3 %, zato les lahko razvrstimo med odporne lesne vrste po standardu SIST EN 350.

Preglednica 5: Vpliv termične modifikacije na izgubo mase topola po 16 tednih izpostavitve 4 različnim glivam v skladu s standardom SIST EN 113 (vrednost v oklepajih je standardni odklon).

	Izguba mase [%]				
	Navadna tramovka	Pisana ploskocevka	Zimski ostrigar	Bela hišna goba	Povprečna vrednost
Topol (215 °C/3h)	3,2 (3,4)	2,8 (1,3)	2,1 (0,9)	9,9 (5,8)	4,5
Topol (nemodificirano)	45,2 (6,5)	41,8 (7,8)	10,8 (1,5)	26 (4,1)	31,0
Smreka (nemodificirano)	36,6 (4,6)	11,6 (4,4)	10,3 (3,2)	22,2 (5,2)	20,2
Bukev (nemodificirano)	31,6 (12,3)	34,1 (7,4)	30,3 (4,9)	20 (3,9)	29

4.5 REZULTATI TERMIČNO MODIFICIRANEGA JESENA

4.5.1 Izguba mase jesena zaradi termične modifikacije

Modificiran les jesena (200 °C, 3 h) je izgubil 7,01 % svoje prvotne mase, kar potrjuje tezo, da se z nižjo temperaturo modifikacije, znižuje tudi izguba lesne mase.

Preglednica 6: Izguba mase lesa jesena zaradi termične modifikacije po 16 tednih izpostavitve

	Temperatura modifikacije	Čas modifikacije	Izguba mase
Jesen	200 °C	3 h	7,01

4.5.2 Izguba mase termično modificiranega lesa jesena po 16 tednih izpostavitve

Nemodificiran vzorec jesena je izgubil 18,6 % svoje mase, kar ga v primerjavi z drugimi testiranimi lesnimi vrstami uvršča med bolj odporne, saj je odpornejši od njega samo macesen (10,1 %). Za najbolj agresivno glivo se je izkazala pisana ploskocevka (37,9 %), sledi ji navadna tramovka (16,8 %), zimski ostrigar (10,3 %) ter bela hišna goba (9,5 %), ki se je izkazala za najmanj agresivno glivo. Les jesena se je izkazal tudi za bolj odpornega od smreke in bukke.

Jesen se je že pri 200 °C in 3 urah izpostavitve izkazal za odporno lesno vrsto, saj je z izjemo pisane ploskocevke (5,1 %), izguba mase povsod manjša od 3 %.

Preglednica 7: Vpliv termične modifikacije na izgubo mase jesena po 16 tednih izpostavitve 4 različnim glivam v skladu s standardom SIST EN 113 (vrednost v oklepajih je standardni odklon).

	Izguba mase [%]				
	Navadna tramovka	Pisana ploskocevka	Zimski ostrigar	Bela hišna goba	Povprečna vrednost
Jesen (200 °C/3h)	0,6 (0,3)	5,1 (4,9)	2,3 (1,5)	2,2 (1,3)	2,6
Jesen (nemodificirano)	16,8 (8,0)	37,9 (4,1)	10,3 (0,7)	9,5 (7,0)	18,6
Smreka (nemodificirano)	36,6 (4,6)	11,6 (4,4)	10,3 (3,2)	22,2 (5,2)	20,2
Bukev (nemodificirano)	31,6 (12,3)	34,1 (7,4)	30,3 (4,9)	20 (3,9)	29

4.6 REZULTATI TERMIČNO MODIFICIRANEGA MACESNA

4.6.1 Izguba mase macesna zaradi termične modifikacije

Iz rezultatov je razvidno, da je izguba mase modificiranega macesna po 5 h modifikacije le 1,77 %, kar je nekaj več od jelše modificirane pri isti temperaturi in času in manj od drugih lesnih vrst, modificiranih pri višjih temperaturah.

Preglednica 8: Izguba mase lesa macesna zaradi termične modifikacije po 16 tednih izpostavitve

	Temperatura modifikacije	Čas modifikacije	Izguba mase
Macesen	190 °C	5 h	1,77 %

4.6.2 Izguba mase termično modificiranega lesa macesna po 16 tednih izpostavitve lesnim glivam

Nemodificiran les macesna je pričakovano od vseh izgubil najmanj lesne mase (14,7 %), saj gre za eno najbolj odpornih lesnih vrst pri nas. Nekoliko večje izgubo mase smo zaznali pri lesu izpostavljenem glivam, ki razgrajujejo celulozo in polioze, kateremu so najbolj podvrženi iglavci. To sta navadna tramovka (24,8 %) in bela hišna goba (18,6 %). Ta rezultat kaže, da macesen nima tako odpornega lesa, kot nakazuje standard. Pri uporabi macesna je zato potrebna velika previdnost, da les ne propade prej, kot bi pričakovali.

Povprečna izguba mase modificiranega lesa macesna pri 190 °C in 5 urah izpostavitve je bila 6,7 %. To je denimo 10 % manj kot pri jelši modificirani pri istih pogojih. Za najbolj agresivno glivo se je izkazala bela hišna goba (11,1 %), za najmanj agresivni pa zimski ostrigar in pisana ploskocevk (4,8 %). S to modifikacijo nismo dosegli popolne zaščite in tako smo se lahko zopet prepričali, da za izgubo mase pod 3 %, modifikacija pri temperaturi 190 °C ni primerna.

Preglednica 9: Vpliv termične modifikacije na izgubo mase jesena po 16 tednih izpostavitve 4 različnim glivam v skladu s standardom SIST EN 113 (vrednost v oklepajih je standardni odklon).

	Izguba mase [%]				
	Navadna tramovka	Pisana ploskocevka	Zimski ostrigar	Bela hišna goba	Povprečna vrednost
Macesen (190 °C/5h)	6,2 (1,0)	4,8 (0,9)	4,8 (1,3)	11,1 (4,5)	6,7
Macesen (nemodificirano)	24,8 (7,5)	8,3 (4,9)	7,2 (2,1)	18,6 (1,8)	14,7
Smreka (nemodificirano)	36,6 (4,6)	11,6 (4,4)	10,3 (3,2)	22,2 (5,2)	20,2
Bukev (nemodificirano)	31,6 (12,3)	34,1 (7,4)	30,3 (4,9)	20 (3,9)	29

5 SKLEPI

Rezultate lahko strnemo v naslednje sklepe:

- Termična modifikacija spremeni lastnosti lesa, predvsem vpliva na izgubo mase, barvo lesa ter nudi boljšo odpornost proti lesnim škodljivcem
- S povečanjem temperature termične modifikacije se izboljšuje odpornost proti lesnim glivam, a hkrati se povečuje tudi izguba mase lesa, ki je odvisna tako od temperature kot od trajanja postopka. Izgube mase lesa so bile pri vseh vzorcih največje pri najvišji temperaturi. Iz tega sledi, da se z izgubo mase, slabšajo tudi mehanske lastnosti lesa.
- Med postopkom se je lesu spremenila barva. Sprememba je bila povezana s temperaturo in trajanjem postopka. Višja kot je bila temperatura, bolj temen je postajal les.
- Vse vrste lesa modificirane pri temperaturi do 190 °C so se izkazale za **neodporne**, odpornost smo pri nekaterih lesnih vrstah zaznali pri 200 °C, vendar tudi temperatura do 215 °C ne omogoča odpornosti proti vsem vrstam lesnih gliv
- Čas termične modifikacije bistveno ne vpliva na končne lastnosti lesa, veliko večji vpliv ima sama temperatura
- S termično modifikacijo jelševine pri 215 °C ne dosežemo popolne zaščite proti glivi *Trametes versicolor*
- S termično modifikacijo topola pri temperaturi 215 °C ne dosežemo popolne zaščite proti glivi *Antrodia vaillantii*
- S termično modifikacijo jesena pri 200 °C ne dosežemo popolne zaščite proti glivi *Trametes versicolor*
- Čeprav macesen spada pod razmeroma odporne lesne vrste, se je termična modifikacija pri 190 °C izkazala za neustrezno, saj ni odporen proti nobeni izmed 4 uporabljenih lesnih gliv
- Nizke temperature ne nudijo zadostne zaščite lesa pred lesnimi škodljivci
- Oba predstavnika iglavcev sta največjo izgubo mase utrpela z glivama, ki razgrajujeta rjavo trohnobo (*Antrodia vaillantii*, *Gloeophyllum trabeum*)
- Za najmanj agresivno glivo se je izkazal *Pleurotus ostreatus*, čigar izguba mase nikjer ni presegla 10,8 %

6 VIRI

- Benko R., Kervina-Hamovič L., Gruden M. 1987. Patologija lesa - lesna fitopatologija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 122 str.
- Boonstra M. 2008. A two-stage thermal modification of wood. Ph.D. Thesis in applied Biological sciences: Soil and Forest management. Henry Poincare University - Nancy, France
- Bourgois J., Guyonnet R. 1988. Characterisation and analysis of torrefied wood. *Wood sci. Technol.*, 22: 143-155
- Burmester A. 1975. Zur Dimensionsstabilisierung von Holz. 33: 333-335
- Cividini R. 1992. Wood stability and moisture content. Behaviour of the material. Wood in the air - Hygroscopicity of the wood. Wood stability. Xilon - Wood Technology, 5, 57: 44 - 55
- Daeon J. 2005. Wood decay and wood-rotting fungi. University of Edinburgh
- Dirol D., in Guyonnet R. 1993. Durability by rectification process, V: *International research group wood pre*, Section 4-Processes, N° IRG/WP 93-40015
- Esteves B., Pereira H. 2008. Quality assessment of heat - treated wood by NIR spectroscopy. DOI: 10.1007/s00107-008-0262-4.
- Fengel D., Wegener G. 1989. Wood chemistry ultrastructure reactions. Berlin, Walter de Gruyter: 613 str.
- Gorišek Ž. 2009. Les. Zgradba in lastnosti. Njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.
- Hill C. 2006. Wood modification. Chemical, thermal and other processes. Chichester, Wiley: 239 str.
- Humar M. 2008. Tramovka, najbolj kozmopolitanska lesna gliva. Les, 60, 4: 159
- Kubinsky H. 1971. Der Einfluss des Dampfens auf die Holzeigenschaften. *Holzforschung und Holzverwertung*, 23, 1: 1-11
- Mayes D., Oksanen O. 2002. Thermowood handbook. Thermowood, finnforest, Stora.
- Militz H. 2002. Heat treatment of wood: European processes and their background. V: *International research group wood pre*, Section 4-processes, N° IRG/WP 02-40241
- Pohleven F. 2008. Pisana ploskocevka, najbolj pogosta lesna goba. Les, 60, 3: 115

- 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.
- Rusche H. 1973. Thermal degradation of wood at temperatures up to 200 °C. *Holz Roh – Werkst.*, 31: 307-312
- Sailer M., Rapp O.A., Leithoff H. 2000. Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil - heat treatment. IRG/WP 00-40162: 12 str.
- Schmidt O. 2006. Wood and tree fungi: Biology, Damage, Protection, and Use. Heidelberg, Springer-Verlag Berlin: 334 str.
- Štabuc N. 2012. Vpliv temperature in trajanja postopka termične modifikacije lesa na fungicidne lastnosti modificiranega lesa: diplomski projekt. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 49 str.
- Weiland J., Guyonnet R. 2003. Study of chemical modification and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. *Holz Roh Werkst.*, 61: 216-220
- Wikberg H., Maunu S. 2004. Characterisation of thermally modified hard and softwoods. *Carbohydr polym.*, 58: 461-466