

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Viljem VEK

**SPREMEMBE MEHANSKIH LASTNOSTI
LESA ZARADI DELOVANJA GLIV MODRIVK**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2007

Popravki:

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Viljem VEK

**SPREMEMBE MEHANSKIH LASTNOSTI LESA ZARADI
DELOVANJA GLIV MODRIVK**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**CHANGES OF MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD AS A
CONSEQUENCE OF BLUE STAIN FUNGI ACTIVITY**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za patologijo in zaščito lesa in Katedri za mehansko obdelovalne tehnologije na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Miho Humarja, za recenzenta pa doc. dr. Bojana Bučarja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Viljem Vek

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*844.1
KG	glive modrivke/rdeči bor/nedestruktivne metode/mehanske lastnosti/melanin/ razkroj
AV	VEK, Viljem
SA	HUMAR, Miha (mentor)/BUČAR, Bojan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2007
IN	SPREMEMBE MEHANSKIH LASTNOSTI LESA ZARADI DELOVANJA GLIV MODRIVK
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP	XI, 58 str., 8 pregl., 24 sl., 37 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Glive modrivke les načeloma samo estetsko razvrednotijo in naj ne bi vplivale na mehanske lastnosti lesa. Da bi to hipotezo potrdili oziroma ovrgli, smo vzorce rdečega bora ($0,5 \times 1,0 \times 20,0$ cm) za 2, 4, 6 ali 8 tednov izpostavili delovanju testnih gliv modrivk <i>Aureobasidium pullulans</i> in <i>Sclerophoma pithyophila</i> . Z uporabo nedestruktivnih metod smo vzorcem pred in po izpostavitvi določili maso, modul elastičnosti, kemijske lastnosti (FTIR), barvo površine ter delež ogljika in dušika. Rezultati testa so pokazali, da sprememba mase in kemijske sestave lesa nista bistveni, medtem ko pa se modul elastičnosti rahlo poveča. Po pričakovanju smo določili tudi močno spremembo barve vzorcev, saj so le-ti zelo potemneli. Nazadnje smo z elementno analizo CNS ugotovili padec dušika v okuženih vzorcih. Na osnovi opisanih rezultatov sklepamo, da bi lahko pomodrel les v večjem obsegu uporabljali za konstrukcijski les oziroma za nosilne elemente.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC UDC 630*844.1

CX blue stain fungi/Scotch pine/non-destructive methods/mechanical properties/
melanin/decay

AU VEK, Viljem

AA HUMAR, Miha (supervisor)/BUČAR, Bojan (co-advisor)

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

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

PY 2007

TI CHANGES OF MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD
AS A CONSEQUENCE OF BLUE STAIN FUNGI ACTIVITY

DT Graduation Thesis (University studies)

NO XI, 58 p., 8 tab., 24 fig., 37 ref.

LA sl

AL sl/en

AB Blue stain fungi change visual appearance of wood and supposedly do not influence
mechanical properties of attacked wood. To prove or reject this hypothesis,
specimens of pine wood ($0.5 \times 1.0 \times 20.0$ cm) were exposed to 2 blue stain fungi:
Aureobasidium pullulans and *Sclerophoma pithyophila* for 2, 4, 6 or 8 weeks. Using
non-destructive techniques, the following parameters were determined: mass,
chemical properties (FTIR), colour of specimens, so as carbon and nitrogen content.
Results showed that there are almost no chemical and mass changes: however slightly
increased modulus of elasticity was determined. As expected, the colour of the
specimens changed to dark tones. Furthermore, CNS analysis showed decrease of
nitrogen content in colonized specimens. On the basis of these results, it can be
concluded that such wood could be more extensively used for construction purposes.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PREGLEDNIC	X
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 SPLOŠNO	3
2.1.1 Les	3
2.1.2 Naravna odpornost lesa	4
2.1.3 Rdeči bor (<i>Pinus sylvestris</i> L.).....	5
2.2 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA	7
2.2.1 Vremenski vplivi	7
2.2.2 Biološki škodljivci.....	7
2.2.2.1 Lesne glive.....	8
2.2.2.2 Lesni insekti.....	8
2.2.2.3 Morski škodljivci.....	9
2.2.3 Toplotni vplivi.....	9
2.2.4 Kemični vplivi	10
2.3 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA Z LESNIMI GLIVAMI	11
2.3.1 Hrana	11
2.3.2 Temperatura	12
2.3.3 Vlaga	13
2.3.4 Zrak (kisik).....	13
2.3.5 Svetloba	14
2.3.6 Vrednost pH	14
2.3.7 Drugi vplivi.....	14

2.4	DELITEV GLIV GLEDE NA SPREMEMBO BARVE LESA.....	15
2.4.1	Modrenje lesa.....	15
2.4.2	Bela trohnoba.....	16
2.4.3	Rjava trohnoba.....	16
2.4.4	“Mehka” trohnoba (soft rot).....	16
2.5	GLIVE.....	17
2.5.1	Splošno.....	17
2.5.2	Glive modrivke.....	18
2.6	NEDESTRUKTIVNE METODE ZA ANALIZO LESA.....	20
3	MATERIALI IN METODE.....	22
3.1	VZORCI.....	22
3.1.1	Rdeči bor.....	22
3.1.2	Izdelava vzorcev.....	22
3.2	IZPOSTAVITEV VZORCEV GLIVAM MODRIVKAM.....	23
3.2.1	Priprava posod iz polipropilena.....	23
3.2.2	Testni glivi.....	23
3.2.3	Priprava tekočega hranilnega gojišča in suspenzije spor gliv modrivk.....	24
3.2.4	Izpostavitve vzorcev suspenziji spor testnih gliv.....	25
3.3	GRAVIMETRIČNO DOLOČANJE IZGUBE MASE.....	27
3.4	DOLOČANJE LASTNIH FREKVENC KONZOLNO VPETIH VZORCEV ...	28
3.5	MERITVE Z NIHAJNO SPEKTROSKOPIJO FTIR.....	31
3.5.1	Nihajna spektroskopija FTIR.....	31
3.5.2	Izvajanje FTIR analize.....	32
3.6	NUMERIČNO VREDNOTENJE BARVE PO CIE – L*, a*, b* SISTEMU.....	34
3.6.1	Osnove metode CIE - L* a* b*.....	34
3.6.2	Določanje barve lesa.....	35
3.7	ELEMENTNA ANALIZA LESA (CNS).....	36
3.7.1	Teoretične osnove elementne analize lesa (CNS).....	36
3.7.2	Kvalitativno določanje dušika in ogljika v lesu rdečega bora.....	36

4	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	38
4.1	SPREMEMBA MASE ZARADI DELOVANJA GLIV MODRIVK.....	38
4.2	SPREMEMBA MODULA ELASTIČNOSTI.....	40
4.3	FTIR ANALIZA POMODRELEGA LESA	43
4.4	SPREMEMBA BARVE POMODRELEGA LESA.....	45
4.4.1	Sprememba barve vzorcev izpostavljenih delovanju glivi modrivki <i>Sclerophoma pithyophila</i> (Corda) Hohn.....	45
4.4.2	Sprememba barve vzorcev izpostavljenih delovanju glivi modrivki <i>Aureobasidium pullulans</i> (de Barry) Arnaud	47
4.5	ELEMENTNA ANALIZA CNS	48
5	SKLEPI	51
6	POVZETEK.....	53
7	VIRI	55

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Areal rdečega bora	5
Slika 2: Iglice in storži rdečega bora	6
Slika 3: Pripravljene posode iz polipropilena.....	23
Slika 4: pH meter, s katerim smo določili vrednost pH raztopine.....	24
Slika 5: Hranilno gojišče v erlenmajericah.....	25
Slika 6: Avtoklav	25
Slika 7: Izpostavljanje vzorcev glivam modrivkam v PP posodah	26
Slika 8: Tehnica, s katero smo določali maso vzorcev na štiri decimalke natančno	27
Slika 9: Naprava za merjenje lastne frekvence vzorca	29
Slika 10: Konzolno vpetje vzorca.....	30
Slika 11: Inštrument Spectrum one za merjenje nihajnih spektrov lesa FT-IR.....	31
Slika 12: Plastični vložek za napravo Spectrum one	32
Slika 13: Barvni koordinatni sistem po CIE - L*, a*, b* sistemu	35
Slika 14: Mlinček za mletje lesnih delcev	37
Slika 15: Sprememba mase vzorcev, okuženih z glivo <i>Sclerophoma pithyophila</i> , v odvisnosti od časa izpostavitve	39
Slika 16: Sprememba mase vzorcev, okuženih z glivo <i>Aureobasidium pullulans</i> , v odvisnosti od časa izpostavitve	39
Slika 17: Potapljanje vzorcev v sladni ekstrakt (malt extract) z namenom povečati dovzetnost vzorcev na modrenje	40
Slika 18: Sprememba modula elastičnosti [%] vzorcev, okuženih z <i>Aureobasidium pullulans</i> (rdeča linija) in s <i>Sclerophoma pithyophila</i> (modra krivulja), v odvisnosti od tedna izpostavitve [teden]	41

Slika 19: Vizualna razlika med vzorci okuženimi z modrivko <i>Sclerophoma pithyophila</i> (zgoraj) in vzorci okuženimi z modrivko <i>Aureobasidium pullulans</i> (spodaj). Desno pa so kontrolni, glivam neizpostavljeni vzorci.....	42
Slika 20: FTIR spekter kontrolnega vzorca (črna krivulja) in vzorca, ki je bil osem tednov izpostavljen glivi <i>Sclerophoma pithyophila</i> (rdeča krivulja).....	44
Slika 21: FTIR spekter kontrolnega vzorca (črna krivulja) in vzorca, ki je bil osem tednov izpostavljen glivi <i>Aureobasidium pullulans</i> (rdeča krivulja)	44
Slika 22: Barvne spremembe na vzorcih okuženih z glivo <i>Sclerophoma pithyophila</i> po 2, 4, 6 in 8 tednu izpostavitve	46
Slika 23: Barvne spremembe na vzorcih okuženih z glivo <i>Aureobasidium pullulans</i> po 2, 4, 6 in 8 tednu izpostavitve	48
Slika 24: Povprečni delež dušika v vzorcih okuženih s <i>Sclerophoma pithyophila</i> oziroma <i>Aureobasidium pullulans</i> v posameznem tednu izpostavitve.....	49

KAZALO PREGLEDNIC

str.

Preglednica 1: Vzorci, izpostavljeni delovanju glivi modrivki <i>Sclerophoma pithyophila</i> ..	26
Preglednica 2: Vzorci izpostavljeni delovanju glivi modrivki <i>Aureobasidium pullulans</i> ..	27
Preglednica 3: Trakovi v nihajnih (FTIR) spektrih lesa	33
Preglednica 4: Povprečna sprememba mase v odvisnosti od časa izpostavitve glivam modrivkam <i>Aureobasidium pullulans</i> in <i>Sclerophoma pithyophila</i>	38
Preglednica 5: Povprečna sprememba modula elastičnosti po tednih zaradi delovanja gliv modrivk <i>Aureobasidium pullulans</i> in <i>Sclerophoma pithyophila</i>	41
Preglednica 6: Vrednosti spremenljivk L^* , a^* , b^* in sprememba barve (ΔE) vzorcev v odvisnosti od časa izpostavitve glivi modrivki <i>Sclerophoma pithyophila</i> .	45
Preglednica 7: Vrednosti spremenljivk (L^* , a^* , b^*) in sprememba barve (ΔE) vzorcev v odvisnosti od časa izpostavitve glivi modrivki <i>Aureobasidium pullulans</i> .	47
Preglednica 8: Delež ogljika in dušika v vzorcih okuženih z glivama modrivkama <i>Aureobasidium pullulans</i> in <i>Sclerophoma pithyophila</i>	48

1 UVOD

Les je naraven, obnovljiv in razširjen material, s čimer ga uvrščamo med enega najbolj zaželenih in okolju prijaznih materialov. Privlačita nas njegova toplina, enostavnost in dekorativnost, ki je posledica najrazličnejših tekstur lesne površine. Les je kot naravni material, tako v naravi, kot tudi v splošni uporabi, izpostavljen številnim biotičnim in abiotičnim dejavnikom razgradnje. Poškodbe lesa, zaradi delovanja abiotičnih oziroma biotičnih dejavnikov, so lahko različne. Tako poznamo površinske ali estetske poškodbe lesa, ki zavzemajo barvne spremembe lesne teksture, ter globinske poškodbe, ki pa v končni fazi lahko povzročijo popolno razgradnjo lesa (Čufar, 2002).

Sprememba barve površine lesa je posledica delovanja gliv, ki obarvajo les. Poznamo približno 400 različnih vrst gliv, ki povzročajo obarvanje oziroma modrenje lesa. Večinoma jih uvrščamo v poddeblo zaprtotrošnic (*Ascomycota*) in nepopolnih gliv (*Fungi imperfecti*). V to skupino gliv spadajo tudi glive modrivke, ki zelo pogosto razvrednotijo velike količine lesa iglavcev. Znano je, da se glive modrivke oziroma njihove hife širijo skozi lesno strukturo preko prečnega parenhima beljave, kjer se hranijo z vsebino živih celic in ne s substancami celične stene, ki predstavljajo glavni vir hrane za glive bele in rjave trohnobe.

Glive modrivke razvrednotijo velike količine lesa, zato se tukaj poraja vprašanje, ali slednje les samo obarvajo ali pa vplivajo tudi na mehanske lastnosti. Do sedaj je veljalo prepričanje, da glive modrivke les samo obarvajo in ne vplivajo na njegovo trdnost, saj s klasičnimi destruktivnimi metodami niso uspeli dokazati statistično značilnih razlik v mehanskih lastnostih. V zadnjem času se nam ponuja uporaba novih nedestruktivnih metod, ki nam omogočajo določitev manjših sprememb v mehanskih lastnosti, pri čemer ne porušimo lesne strukture. Te metode lahko podpremo tudi z ostalimi analitskimi tehnikami, s katerimi lahko ugotavljamo kemijske spremembe gradnikov lesa. Kot najuporabnejše metode so se izkazale: nihajna spektroskopija (FTIR), elementna analiza lesa (CNS) in določanje barve (CIE - $L^* a^* b^*$).

Vprašanje kaj se dogaja s pomodrelem lesom je pomembno tako z znanstvenega, kot tudi praktičnega vidika. Poznavanje delovanja gliv modrivk, nam bo omogočilo razvoj preventivnih kemičnih in nekemičnih metod za preventivno zaščito lesa. Po drugi strani je danes na trgu vedno več pomodrelega lesa. Lastniki gozdov hočejo iz tega lesa iztržiti kaj več kot le ceno za celulozni les. Zato se postavlja vprašanje ali bi tak les lahko uporabili za konstrukcijske namene, kjer barvne spremembe niso tako moteče.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SPLOŠNO

2.1.1 Les

Les predstavlja glavni sestavni element dreves in grmov. Gozdovi so najpomembnejši vir lesa kot surovine. Zaradi svoje zgradbe in široke uporabnosti, les spada med najvažnejše surovine oziroma gradbene materiale. Poraba lesa tudi danes nenehno narašča, predvsem na račun velike porabe papirja in uporabe v energetske namene. Organski izvor lesa pa po drugi strani dopušča, da les lahko propade zaradi delovanja rastlin, živali, vremenskih vplivov, ognja... Proces razgradnje lesa je v naravi nujen, saj je del naravnega kroženja snovi, v gospodarski rabi pa želimo te procese čim bolj upočasniti. Zgradba lesa je zaradi različnih funkcij, ki jih ta opravlja v živih rastlinah, zelo pestra. Les je sestavljen iz različnih tkiv in celic. Kemično les sestoji iz celuloze, hemiceluloze oziroma polioz in lignina. Poleg tega vsebuje še specifične nizko molekularne organske ekstraktive in neorganske mineralne snovi, ki jih označujemo kot pepel (Pečenko, 1987).

Prednosti lesa pred ostalimi materiali, so njegova razširjenost, obnovljivost, vsestranska uporabnost, visoka trdnost glede na gostoto, relativno enostavno pridobivanje, toplotna izolativnost, protipotresna in protipožarna varnost ter relativno majhna poraba energije na enoto mase (Čufar, 2002).

Les je tkivo, sestavljeno iz celic, ki opravljajo skupno funkcijo. Nastaja v lesnih ali lesnatih rastlinah, drevesih ali grmih. Opravlja prevajanje vode, mehansko funkcijo ter prevajanje in skladiščenje hrane. Večina celic v lesu je mrtvih z izjemo parenhimskih celic beljave. Prevajanje vode in mehansko funkcijo tako opravljajo mrtve celice, prevajanje in skladiščenje hranilnih snovi pa žive celice (Čufar, 2002).

2.1.2 Naravna odpornost lesa

Naravna odpornost lesa je lastnost lesa, da kljubuje številnim lesnim škodljivcem. Les lahko uničujejo glive, insekti, morski organizmi, ogenj, vremenski vplivi in mehanska obraba. Glive so organizmi, ki imajo z lesom oziroma drevesom saprofitske, parazitske ali simbiotske odnose. Za lesarje so najpomembnejše saprofitske glive. Nekatere lesne vrste so na glive bolj, druge pa manj odporne. V skupino odpornejših drevesnih vrst uvrščamo les tika (*Tectona grandis*), evkaliptusa (*Eucalyptus fergusonii*), iroko (*Chlorophora excelsa*), robinije (*Robinia pseudoacacia*)... Jedrovina teh vrst lahko ostane nepoškodovana tudi po več desetletjih v stiku z zemljo (Pečenko, 1987).

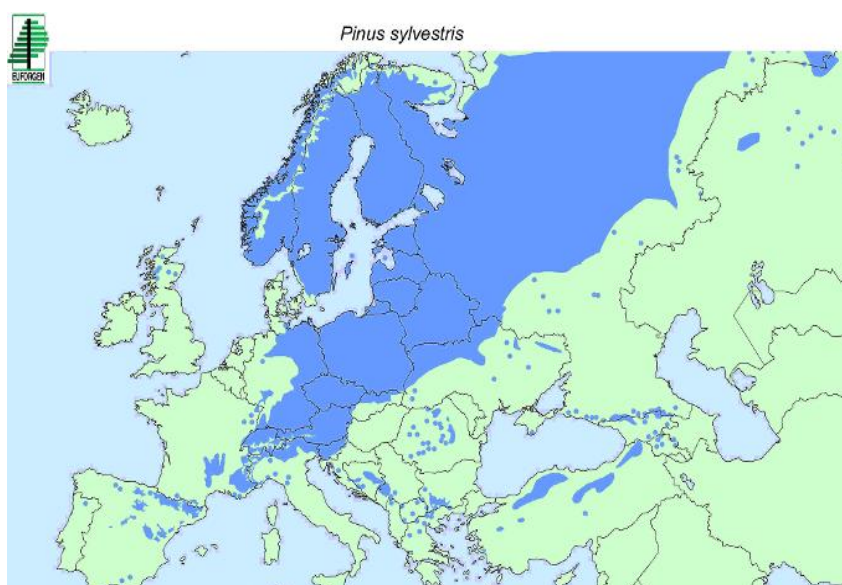
Odpornost je odvisna tudi od ojedritve. Splošno znano je, da je beljava manj odporna kot jedrovina. Ena od lastnosti, ki določajo naravno odpornost lesa, je kemijska sestava. Na naravno odpornost v največji meri vplivajo esencialne snovi kot so; proteini, škrob, tanini, voski, smole... To so snovi, ki jih lahko s primernimi topili iz lesa izperemo. Škrob in proteini poslabšajo odpornost lesa. Nekatere izmed naštetih snovi pa poznamo, kot naravna zaščitna sredstva in do neke mere ščitijo les pred različnimi škodljivci. Na kratko te snovi imenujemo jedrovinske snovi. Drevo jih tvori v procesu ojedritve, z namenom zaščititi svoje mehanske lastnosti. Jedrovinske snovi nastajajo v parenhimskih celicah in kasneje difundirajo tudi v druge celice (Pečenko, 1987).

Naravna odpornost lesa je torej lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in pomeni dovzetnost na škodljivce. Odvisna je od dveh lastnosti lesa, in sicer od anatomske zgradbe lesa ter kemijske sestave lesa. Z odpornostjo lesa pa je močno povezan pojem trajnost lesa.

Trajnost lesa pomeni čas oziroma obdobje, v katerem les ohrani vse svoje naravne lastnosti. Trajnost lesa je odvisna od že prej omenjene naravne odpornosti lesa ter od načina in mesta uporabe lesa oziroma lesnih elementov.

2.1.3 Rdeči bor (*Pinus sylvestris* L.)

Areal rdečega bora zajema severni, srednji in vzhodni del Evrope ter osrednji del Sibirije. Sestavljajo ga tudi ločena območja na Škotskem, v Španiji in Franciji na zahodu ter delno v republikah bivše Jugoslavije, Romuniji, severni Grčiji, Turčiji in na južnem delu Kavkaza. Rdeči bor raste tudi na področju severne Mandžurije vse do Ohotskega morja (slika 1).



Slika 1: Areal rdečega bora (Bioversityinternational, 2004)

Rdeči bor uvrščamo v družino Pinaceae ali borovke in nadaljnjo v rod borov (*Pinus* L.). Zraste od 30 ali 40 m v višino in 1 m v debelino. Krošnja rdečega bora je odvisna od rastišča, hkrati pa tudi od sklenjenosti sestoja. V gostem sestoju se oblikuje skromna krošnja s tankimi vejami in vitkim deblom, ki nima vej do zgornje četrtine višine. Če drevo na rastišču brez konkurence oziroma raste na samem, se mu razvije bogata in široka krošnja, podobna hrastovi, kjer je deblo kratko in čokato, veje pa so dolge in debele. Na kamnitih in plitvih tleh ter izpostavljenih in strmih področjih drevo razvije sploščeno in dežnikasto krošnjo. Skorja rdečega bora je v mladosti rumenkasto rdeča in se rada lušči v obliki drobnih lusk. Tudi kasneje debela ohranijo tako skorjo, vendar samo v zgornjem delu, spodnji del pa obdaja več centimetrov debela sivo-rjava skorja, ki je močno razbrzdana (Mlakar, 1985).

Rdeči bor cveti maja in junija. Ženski cvetovi se razvijejo v 0,5 cm velike storžaste socvete na koncu letošnjih poganjkov, kjer so socvetja posamično ali po 2 skupaj. Moški cvetovi se razvijejo do velikosti 1 cm, so žvepleno-rumene barve ter rastejo na koncu lanskih poganjkov (slika 2). Po oprašitvi, se storži razvijejo jeseni in ti se dokončno razvijejo do velikosti od 3 do 6 cm drugo jesen oktobra. Seme prične kaliti 3 do 4 tedne po setvi, pri čemer kalivost znaša od 70 do 80 %. V prvem letu zraste rastlinica do 10 cm višine, kar uvršča rdeči bor med hitro rastoče domače iglavce (Mlakar, 1985).



Slika 2: Igljice in storži rdečega bora (Wikipedija, Scots pine 2007)

Rdeči bor predstavlja tudi najprilagodljivejšo vrsto med iglavci, saj raste tako na silikatnih ali kislih, kot na apnenčastih ali bazičnih tleh. V velikem delu Azije, zaradi pomanjkanja padavin, velikih temperaturnih razlik in neakovostnega rastišča, nima konkurence med drugimi drevesnimi vrstami. Na bolj bogatih rastiščih, kjer je konkurenca večja, pa ne uspeva dobro, ker za svojo rast potrebuje dovolj svetlobe in slabo prenaša zasenčenost. Pri nas rdeči bor najbolje uspeva v acidofilnih in bazofilnih gozdovih (Mlakar, 1985).

Rdeči bor tako uspeva na rečnih naplavinah ob Savi in Dravi na Gorenjskem, Štajerskem in Koroškem. Večje ali manjše sestoje je moč najti tudi na permijskih peščenjaki in skrilavcih. Tukaj poleg rdečega bora uspevajo tudi graden, domači kostanj in smreka, v podrasti pa borovnica. Na rastiščih, ki so bazična, rdeči bor raste na ekološko skrajno neugodnih legah na apnencu in dolomitu, kjer enega izmed takih rastišč predstavlja Polhograjsko hribovje (Mlakar, 1985).

2.2 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA

Poznamo veliko zunanjih dejavnikov, ki vplivajo na les in ga lahko tudi poškodujejo. Poškodbe lesa so lahko lažje površinske ali estetske, kamor spadajo predvsem barvne spremembe, poznamo pa tudi globinske poškodbe, kjer je v končni fazi les popolnoma razkrojen (Pečenko, 1987). Najpomembnejši vzroki za nastanek poškodb na lesu so:

- Vremenski vplivi
- Biološki škodljivci
- Toplotni vplivi
- Kemijski vplivi

2.2.1 Vremenski vplivi

O poškodbah zaradi vremenskih vplivov govorimo takrat, ko so te posledica vpliva UV svetlobe, padavin in temperaturnih razlik. Vpliv teh poškodb je največji na lesu, ki se uporablja na zgradbah in je konstantno izpostavljen delovanju vseh teh vplivov. Stopnja poškodovanosti lesa je odvisna od več dejavnikov in sicer od trajanja izpostavitve, od vrste vremenskega vpliva in od klimatskih razmer, kjer je les izpostavljen. Abiotskim dejavnikom, je še posebej izpostavljena lesena streha (Pečenko, 1987).

2.2.2 Biološki škodljivci

Les in komponente, ki ga tvorijo, predstavlja hrano za nekatere organizme. Organizmi razgrajujejo le nekaj posameznih komponent lesa, s čimer hitro poslabšajo mehanske lastnosti lesa.

Nekateri škodljivci ne vplivajo bistveno na mehanske lastnosti, vendar poslabšajo odpornost lesa in s tem vzpostavijo ugodne pogoje za razvoj drugim škodljivcem, in abiotičnim dejavnikom razkroja. Najvažnejši biotski škodljivci v našem podnebnem pasu so lesne glive in insekti (Pečenko, 1987).

2.2.2.1 Lesne glive

Glive so v preteklosti uvrščali med nižje razvite rastline, ki ne vsebujejo rastlinskega zelenila, zato ne morejo same proizvajati hrano, pač pa razkrajajo organske substance. Danes pa glive uvrščamo v samostojno kraljestvo (Whittaker, 1969). Lesne glive, ki se hranijo z mrtvim lesom imenujemo saprofiti. Razkroj lesa je v naravi nujen, vendar te glive človeku povzročijo ne malo preglavic, zato poskušamo razkroj uporabnega lesa preprečiti ali vsaj upočasniti.

Glive delimo v več razredov, kjer imajo vse nekaj skupnih lastnosti (razvoj, rast, metabolizem), in jih je potrebo poznati, če želimo les obvarovati pred njihovim napadom. Seveda ima vsaka izmed gliv svoje specifične lastnosti, na osnovi katerih se odločamo za detaljne sanacijske postopke. Splošna sistematika gliv obsega okoli 100.000 vrst, ocenjujejo pa, da je poleg opisanih še 1.000.000 neopisanih vrst (Pečenko, 1987).

2.2.2.2 Lesni insekti

Lesni insekti so škodljivci, ki v lesu živijo ali se z njim hranijo ter tako vplivajo na mehanske lastnosti in vrednost lesa. Seveda pa ima njihovo delovanje tudi pozitiven pomen, saj njihova aktivnost pospešuje kroženje snovi v naravi.

Podobno kot pri lesnih glivah, moramo podrobno poznati njihove bioekološke značilnosti, če želimo preprečiti dovzetnost lesa na njihovo okužbo (Pečenko, 1987).

Glede na stanje lesa, ki ga lesni insekti napadejo, slednje delimo v štiri skupine:

- Primarni insekti, ki napadajo še stoječe oziroma živo drevo. Predstavniki so termiti, veliki smrekov lubadar, mali smrekov lubadar, veliki in mali hrastov kozliček, zavrtači, čevljarček
- Sekundarni insekti, ki napadajo sveže posekana drevesa ali pa fiziološko oslabljena stoječa drevesa. Predstavniki so lesna osa, progasti lestvičar, hrastov strženar, podlubniki, vrtovini, kozlički.
- Terciarni insekti, ki se nahajajo v zračno suhem lesu. Delimo jih na terciarne insekte I. Stopnje, ki napadajo les s skorjo, najprej v skorjo in nato globlje v les, ter terciarne insekte II. Stopnje, ki napadajo les s skorjo ali brez nje. Predstavniki te skupine so mravlje, hišni kozliček, modri kozliček, navadni parketar, navadni trdoglavec.
- Kvartarni insekti se nahajajo v strohnjenem lesu. To so lažni insekti, ki živijo na račun gliv. Delimo jih na insekte mokrega lesa (rdečkasti kozliček, termiti, lesne mravlje), insekte nekoliko strohnjenega lesa (večina trdoglavcev, jamski rilčkar, lesne mravlje) in na insekte strohnjenega lesa (lažni ksilofagni insekti: rogač, nosorožec).

2.2.2.3 Morski škodljivci

Ti organizmi napadajo les, ki je v morju. Morski škodljivci spadajo v rod mehkužcev (*Mollusca*) in rakov (*Crustacea*). Te živali napadajo vsako vrsto lesa in tako napadajo vse predmete iz lesa, ki se nahajajo v morski vodi (leseni privezi, stopnice, pomoli, ladje ipd.). Med mehkužci je najbolj znana školjka živi sveder ali ladijska svedrovka, ki s svojim zobalom grize les pod vodo in po njem vrta hodnike. Iz rodu rakov, pa je najbolj znan škodljivec *Limnoria lignorum* Rathke, ki les uporablja tako za hrano, kot za domovanje, kjer vrta hodnike v radialni smeri (Pečenko, 1987).

2.2.3 Toplotni vplivi

Les je sestavljen iz 50 % ogljika, 43 % kisika in 6 % vodika, kar sovpada z dejstvom, da je les gorljiv material. V kolikor les izpostavimo temperaturi 100°C, ta ne vpliva direktno nanj, pospešuje le izhlapevanje vode.

Daljša izpostavitve lesa temperaturi 100°C pa povzroči kemične spremembe celuloze, les potemni, poslabšajo se mu pa tudi nekatere mehanske lastnosti. V območju 105 ° do 200 °C se les prične termično razkrajati, pri čemer se iz njega sproščajo različni plini (ogljikov monoksid in ogljikov dioksid, aceton, metanol, očetna kislina...) (Pečenko, 1987).

Ko pa temperatura preseže 200°C, se približujemo območju gorenja lesa, kjer se vname zmes plinov in zraka.

- *Plamenišče*: Pri temperaturah od 225 ° do 260 °C se plinasti produkti termičnega razpada lesa za kratek hip vnamejo, če se približamo s plamenom:
- *Vnetišče*: Pri temperaturah od 260 ° do 290 °C se plinasti produkti termičnega razpada lesa vnamejo zaradi vžigalnega plamena in gorijo brez dodatnega segrevanja.
- *Temperatura samovžiga*: Pri temperaturah od 330 ° do 470 °C se plinasti produkti termičnega razpada lesa vnamejo sami od sebe.

2.2.4 Kemični vplivi

Les je na splošno dobro odporen na kemične vplive in ga lahko uporabimo tam, kjer bi na primer beton ali železo korodiralo, še posebno v kislem okolju. Bazične raztopine razgrajujejo les hitreje kot kisline ali raztopine soli. Delovanje teh raztopin še posebej pospešijo višje temperature. Les je načeloma obstojen pri vrednostih pH od 2 do 10, pri čemer je obstojnost odvisna od drevesne vrste, temperature in časa trajanja stika z bazično oziroma alkalno raztopino.

Določene sestavine lesa ob stiku s kemikalijami tvorijo barvila. Les se tako lahko obarva temno oziroma črno. Najbolj je znana reakcija med čreslovino oziroma tanini in železom (npr. površina hrastovega parketa pod radiatorjem) (Pečenko, 1987).

2.3 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA Z LESNIMI GLIVAMI

Razkroj lesa se lahko prične že takoj po poseku, ko je drevo najbolj ranljivo oziroma dovzetno na okužbo. To je, ko les leži direktno na gozdnih tleh ali čaka na odvoz ali pa na lesnopredelovalnih skladiščih, ko zaradi ugodnih razmer trosi okužijo les. Les je dovzetan na okužbo s glivami tudi takrat, ko je že vgrajen, bodisi zunaj ali znotraj stavb. Hitrost in intenziteta razkroja sta odvisni predvsem od vrste gliv in od vrste lesa, ter z njim povezane naravne odpornosti.

Tako so pri razkroju lesa z glivami zelo pomembni nekateri fizikalni in kemijski dejavniki, kot so hrana, vlaga, temperatura, zrak, svetloba in vrednost pH. Če kateri izmed naštetih dejavnikov ni ustrezen, prične gliva hirati in kmalu zatem lahko tudi odmre. To dejstvo je zelo pomembno tudi pri odkrivanju metod in pripravkov za zatiranje lesnih gliv (Pečenko, 1987).

2.3.1 Hrana

Za večino lesnih gliv, ki poleg lesa okužijo tudi druge materiale, kot na primer tkanine, papir..., predstavlja glavno hrano celuloza. Glive lahko okužijo tudi rastoče drevo, kjer navadno okužijo jedrovino drevesa, medtem, ko pa jih na posekanem drevesu večinoma najdemo le v beljavi. Določene glive se lahko specializirajo na samo eno drevesno vrsto (breza, bor) (Eaton in Hale, 1993).

Hife lesnih gliv penetrirajo v les skozi odprtine oziroma razpoke, ki lahko nastanejo zaradi mehanskih poškodb. V lesno strukturo najprej prodirajo skozi piknje, kasneje pa tudi na mehanski ali kemični način s pomočjo encimov. Hife lesnih gliv v celičnih lumnih izločajo encime in nizkomolekularne spojine, ki razkrajajo celično steno, zaradi česar se celična stena začne tanjšati in s tem izgublja svoje lastnosti (Green in Higley, 1997).

Splošno znano je, da je celuloza osnovni gradbeni element celične stene lesa, tako da glive z razgradnjo celuloze oziroma celične stene, zmanjša trdnost, spremenijo obliko in poslabšajo dimenzijsko stabilnost celice.

Celulozo v celičnih stenah lesne glive razgradijo s celulitičnimi, hidrolitičnimi in oksireduktivnimi encimi. Poleg celuloze, glivam predstavlja hrano tudi lignin, hemiceluloza, aromatske in druge snovi (Schmidt, 1994).

Razgradnja lignina je bolj oksidativen kot hidrolitičen proces, pri čemer imajo glavno vlogo encimi oksigenaze (Deacon, 1997; Higuchi, 1985) medtem, ko je razgradnja hemiceluloze hidrolitičen proces in poteka s pomočjo hemicelulitičnih encimov. Tipične hemicelulaze so galaktanaze, mananaze in xylanaze. Ti encimi so sposobni sodelovati tako pri zmanjšanju molekularne teže glikozidov, kot pri krajšanju verig monosaharidnih molekul v glavni hemicelulozni verigi.

Tip trohnobe, oziroma dejstvo ali se gliva hrani s celulozo ali z ligninom, lahko razberemo tudi iz okuženega lesa. Les, v katerem je razgrajena celuloza se zaradi oksidacije lignina obarva temno rjavo in razpoka v obliki pravilnih prizem. Če pa je les okužen z lesno glivo, ki se hrani predvsem z ligninom, postane površina lesa svetlejša in se vlaknasto cepi.

Glive modrivke ter nekatere plesni, ki nas najbolj zanimajo v tej nalogi, pa se ne hranijo z elementi, ki sestavljajo celično steno, temveč se prehranjujejo z vsebino živih celic, kar je vzrok, da gliv modrivk ne štejemo med prave razkrojevalke lesa (Seifert, 1968).

2.3.2 Temperatura

Temperatura je eden izmed pomembnejših dejavnikov, ki vpliva na razvoj lesnih gliv. Temperaturno območje, v katerem so se lesne glive sposobne razvijati, se giblje od 3 °C pa vse do 45 °C. Temperaturni optimumi za razvoj večine lesnih gliv predstavlja interval, ki zajema vrednosti med 20 °C in 30 °C.

Poznamo seveda tudi glive, ki bolje uspevajo pri nižjih (- 20 °C) oziroma višjih (do 50 °C) temperaturah. Večina gliv bolje prenaša nižje temperature kot višje, in to dejstvo nam v praksi pomaga pri zatiranju lesnih gliv. Najbolj odporne lesne glive zatremo, če les segrevamo 75 minut pri 62 °C ali 20 minut pri 82 °C (Rayner in Boddy, 1995).

2.3.3 Vlaga

Vlaga ima, tako kot hrana in temperatura, zelo velik pomen za uspešen razvoj lesnih gliv. Lesne glive se z izjemo sive hišne gobe, ne morejo razvijati v zračno suhem lesu, po drugi strani pa tudi previsoka vlažnost preprečuje ali popolnoma onemogoči razvoj večine lesnih gliv. Les mora vsebovati več kot 20 % vode, da ga glive lahko razkrajajo. V kolikor je vlažnost nižja od omenjene vrednosti, se gliva ne more uspešno razvijati, na čemer temeljijo ukrepi za preventivno zaščito proti delovanju lesnih gliv. Razvoj gliv preprečuje tudi previsoka vlažnost, saj je z vodo prepojen les zaščiten pred lesnimi glivami.

Prav to dejstvo je razlog, da je potapljanje lesa v bazenih ali stalno navlaževanje eden izmed sorazmerno poceni in okolju prijaznejših ukrepov preventivne zaščite lesa na skladiščih hlodovine (Walker s sod., 1993).

Po mnenju večine znanstvenikov, se glive lahko razvijajo v lesu, če ta vsebuje od 20 % do 160 % vlage na enoto teže suhega lesa. Optimalna lesna vlažnost za razvoj lesnih gliv zavzema vrednost med 35 % in 55 %.

Spodnja meja relativne zračne vlažnosti za razvoj gliv je 70 %, za nekatere glive tudi 65 %. Optimalna relativna zračna vlažnost za razvoj lesnih gliv je 90 %. Kot smo že omenili, se lesne glive prenehajo razvijati, če zmanjšamo vlažnost lesa in količino vlage v zraku. Kljub temu, pa lahko nekatere glive ostanejo v latentnem stanju in se začno ponovno razvijati po določenem časovnem obdobju, ko so razmere za razvoj dovolj ugodne (Hughes, 1999).

2.3.4 Zrak (kisik)

Na splošno ne poznamo vrst, ki bi se lahko razvijale v lesu brez zraka, zato je slednji nujen za uspešen razvoj gliv. Količina zraka, ki ga lesne glive potrebujejo za svoj razvoj, je odvisna od velikosti zračnega prostora celic in od hitrosti širjenja zraka po celicah. Zrak in vlaga sta v tesnem sorazmerju, saj ima les, ki vsebuje veliko vlage, manj prostora za zrak oziroma kisik. Na dostopnost kisika v lesu vpliva izključno prosta oziroma kapilarna voda. Kot smo že omenili, se glive ne morejo razvijati v lesu s preveliko vsebnostjo vlage, ker poleg vlage predstavlja problem premajhna količina kisika v lesu.

Prav slednje se uporablja kot ukrep za zaščito lesa, saj je v vodi potopljen les varen pred glivami. Za uspešen razvoj lesnih gliv, mora les vsebovati 15 % kisika z ozirom na prostornino por (Tavzes, 2003).

2.3.5 Svetloba

Tudi svetloba vpliva na rast in razvoj lesnih gliv. Največji vpliv ima na oblikovanje reproduktivnih struktur in na metabolizem gliv. Vpliv svetlobe na posamezne organizme je odvisen od dolžine trajanja, od njene intenzitete, barvnega spektra, neposrednosti sevanja... Glive najbolj uspevajo na mestih, kjer je prisotno malo svetlobe, saj neposredna izpostavljenost sončni svetlobi, predvsem UV žarkom, škodi njenemu razvoju in rasti (Pohleven in Tavzes, 2001).

2.3.6 Vrednost pH

Vrednost pH, ki je potrebna za uspešen razvoj lesnih gliv, se giblje med 2,0 in 7,5. Glivam bolj ustreza kislo okolje kot alkalno. Vrednost pH substrata, ki predstavlja optimum za razvoj lesnih gliv, zavzema vrednost med 4,5 in 5,5.

Tudi lesne glive same vplivajo na pH vrednost, saj proizvajajo različne kisline, kot so oksalna, citronska, jabolčna kislina ipd., s čimer si glive same ustvarjajo optimalno pH vrednost substrata za svoj razvoj (Takao, 1965).

2.3.7 Drugi vplivi

Elementi v sledih (npr. kalcij iz ometa) lahko pospešujejo, spojine s težkimi kovinami pa zavirajo rast gliv. Tudi encimi drugih gliv lahko zaviralno vplivajo na razvoj gliv (Gadd, 1993). Tudi ta dejstva lahko koristno uporabimo v preventivni zaščiti lesa.

2.4 DELITEV GLIV GLEDE NA SPREMEMBO BARVE LESA

Večina gliv, ki les okuži, prej ali slej spremeni tudi barvo lesa. Glede na spremembo barve ločimo naslednje skupine gliv:

- glive plesni, povzročiteljice površinskih sprememb barv,
- glive modrivke, obarvajo površino oziroma beljavo,
- glive mehke trohnobe (soft rot),
- glive bele ali korozivne trohnobe in piravosti,
- glive povzročiteljice rjave ali destruktivne trohnobe.

2.4.1 Modrenje lesa

Glive modrivke lahko obarvajo les v različnih barvah, kot so sivo-modra, peščeno-rjava, rdeča, zelena ali rumena. Obarvan les je estetsko razvrednoten, tako da se ta les lahko uporablja le tam, kjer to dovoljujejo standardi.

Glive, ki povzročijo obarvanje lesa, načeloma ne vplivajo na mehanske lastnosti lesa oziroma trdnost lesa, ker ne razgrajujejo celuloze in lignina. Hife teh gliv prodirajo skozi piknje in redkeje tudi skozi odprtine, ki jih naredijo same. Obarvanje postane problem, ko les močno pomodri ali če se obarvanje pojavi pri zelo obremenjenih gradbenih elementih, ki opravljajo nosilne funkcije. Obarvanega lesa prav tako ne smemo uporabiti za stavbno pohištvo in ostalih lesenih delov zgradb, ki so izpostavljeni zunanjim vplivom in jih je potrebno vzdrževati z barvnimi premazi. Oprijem premaznih sredstev na lesu, ki je okužen z glivam modrivkam je slabši. Pomodrel les, pa se lahko uporablja za elemente, ki po vgradnji niso vidni. Gliv modrivk tako ne uvrščamo med prave razkrojevalke lesa, saj ne razgrajujejo celičnih sten celic lesa.

V zadnjem času pa se v skandinavskih državah in Kanadi pojavlja trend uporabe pomodrega lesa za pohištvo, talne obloge... Pomodrel les ima bistveno višjo ceno, kot neokužen les, tako da ga v nekaterih obratih že komercialno proizvajajo. Pomodrel les je komercialno dostopen pod imenom denim pine ali denim wood (Humar in Pohleven, 2005).

2.4.2 Bela trohnoba

O beli trohnobi govorimo takrat, ko se gliva prehranjuje predvsem z ligninom in zato les močno posvetli in postane skoraj bel. Trdnost lesa zaradi razgradnje lignina močno upade. Lesna struktura razkrojenega lesa se poruši že pri majhnih obremenitvah, tako da takšnega lesa ne smemo uporabljati v konstrukcijske namene. Lomi lesa so izrazito gladki, s kratkimi vlakni.

Les, ki je izpostavljen razgradnji z belo trohnobo, izgublja tudi gostoto, kar je posledica razgradnje lesne substance. Povečuje se tudi delež vrzeli v lesu, kar povečuje možnost navzema vode. Na koncu les razpade na velike snope vlaken, zato belo trohnobo z drugimi besedami imenujemo tudi vlaknasta ali korozivna trohnoba (Pečenko, 1987).

2.4.3 Rjava trohnoba

Glive rjave trohnobe se v glavnem prehranjujejo le s celulozo, tako da se les obarva rjavo. Razkrojen les razpoka v obliki prizem, tako da rjavo trohnobo imenujemo tudi prizmatična trohnoba. Trhel les je drobljiv in če ga primemo v roko, nam ta razpade med prsti. Podobno kot pri beli trohnobi, tudi v tem primeru, po nekaj tedenski izpostavitvi pride do drastičnega padca mehanskih lastnosti, gostote, hkrati pa se poveča tudi sposobnost navzemanja vode. Lom je, podobno kot pri beli trohnobi, kratkovlaknat, pri čemer je prelomno mesto gladko (Green in Higley, 1997).

2.4.4 "Mehka" trohnoba (soft rot)

Spremembe oziroma poškodbe na lesu, ki jih povzročijo glive mehke trohnobe, so podobne kot pri rjavi trohnobi, le da je končni videz razkrojenega lesa skoraj črn. Pri iglavcih je temnenje kasnega lesa bolj izrazito kot pri listavcih, zato so branike v zgodnejših fazah razvoja mehke trohnobe izrazitejše kot pri zdravem lesu.

Meje med zdravim in okuženim mestom so ostro ločene, medtem ko je lom kratkovlaknat ter ima zakrivljeno oziroma školjkasto obliko (Eaton in Hale, 1993).

2.5 GLIVE

2.5.1 Splošno

Glive ne morejo sintetizirati organskih snovi ter se z njimi samostojno prehranjevati. Preživljajo oziroma prehranjujejo se lahko na več načinov, in sicer kot zajedavke (paraziti) na račun živih organizmov, lahko živijo v simbiozi ali pa kot gniloživke (saprofiti), kjer se hranijo s snovmi mrtvih organizmov. Leta 1969 je Whittaker glive uvrstil v samostojno kraljestvo in jih ločil od rastlin. Za glive je značilno heterotrofen način prehranjevanja in lizotrofno presnavljanje, kjer organsko snov razgrajajo s pomočjo encimov, s čimer jo lažje posrkajo.

Od rastlin se glive razlikujejo tudi po tem, da energijo konzervirajo v obliki glikogena in ne škroba, kot to počno rastline. Celično steno celic gliv sestavlja hitin in celuloza. Glive sestavljajo prehranjevalni in razmnoževalni del. Prehranjevalni del je sestavljen iz spleta hif v lesu, kar z drugim besedam imenujemo podgobje ali micelij, skozi katerega glive črpajo vodo in ostale hranljive snovi. Glive razkrajajo les s pomočjo encimov, nato pa produkte razgradnje posrkajo.

Glive se po lesni strukturi lahko širijo na več načinov. Lahko se širijo po lumnih celic, kjer se širijo vzdolž lesnih vlaken ali pa po parenhimskih celicah, kjer prehajajo v radialni smeri. Ena od možnosti prodora gliv v lesno strukturo, je tudi širjenje preko pikenj, kjer se širijo v tangencialni smeri.

Glive se lahko po lesu širijo tudi po neobičajnih poteh, in sicer:

- skozi perforacije v celični steni,
- skozi perforacije, ki so nastale zaradi encimskega delovanja,
- redkeje pa skozi celično steno prodrejo z mehansko silo, kjer se gliva pred penetracijo zoži, nato pa se na drugi strani celične stane zopet odebeli.

Hife gliv se po lesu ne širijo enakomerno, zato les neenakomerno razkrajajo oziroma obarvajo. Ko so podgobje dovolj razvije in zagotavlja dovolj hrane, začne gliva razvijati razmnoževalni del.

Glede na razmnoževalni del glive sistematiziramo kot prostotrosnice, zaprtotrosnice, nepopolne glive... Sam razmnoževalni del je lahko različnih velikosti, barv in oblik.

Prave razkrojevalke lesa so večinoma prostotrosnice, med tem ko zaprtotrosnice oziroma nepopolne glive večinoma povzročijo le barvne spremembe na lesni masi.

2.5.2 Glive modrivke

Poznamo približno 400 različnih vrst gliv, ki povzročajo obarvanje oziroma modrenje lesa. Uvrščamo jih v deblo zaprtotrosnic (*Ascomycota*) in nepopolnih gliv (*Fungi imperfecti*). Modrivke povzročajo širok spekter barvnih sprememb, vse od svetlo sive, prek temno sivih, modrih, rjavih, zelenih do črnih odtenkov. Barva pomodrelega lesa je odvisna od strukture melanina in od strukture samega lesa. (Benko, 1987).

Za zaprtotrosnice je značilno, da povzročajo obarvanje lesa (modrenje, plesni), nekatere pa celo piravost ter mehko trohnobo. V celici gliv je eno (micelij) ali dvoje jeder (plodišče), pri nekaterih vrstah, pa imajo lahko celice tudi po več jeder. Tipična trosišča so apoteciji, klejstateriji in periteciji, kjer se v askih razvijajo askospore. Po navadi jih je osem, lahko pa so tudi štiri ali šestnajst. Trosovnica vsebuje nitaste izrastke, ki pomagajo pri izmetavanju spor. Večina zaprtotrosnic ne oblikuje le spolnih trosov, ampak tudi enega ali več tipov nespolnih trosišč (konidij). Pri zaprtotrosnicah je nespolna oblika razmnoževanja s konidiosporami navadno bolj razširjena kot spolna oblika razmnoževanja.

V skupino nepopolnih gliv (*Fungi imperfecti*) uvrščamo tiste glive pri katerih spolna struktura še ni znana. Te glive velikokrat povzročajo bolezni na rastlinah, živalih... Pripadnice nepopolnih gliv pogosto povzročajo površinska in globinska obarvanja, v nekaterih primerih celo mehko trohnobo.

Glive modrivke so zelo razširjene po svetu in tudi pri nas. Povzročajo površinske in globinske barvne spremembe ter jih najdemo tako v iglavcih kot v listavcih. Pogosteje obarvajo beljavo, čeprav jih pri nekaterih vrstah v kasnejših stopnjah okužbe zelo redko najdemo tudi na jedrovini. Jedrovina ob poseku ne vsebuje več živih parenhimskih celic, zato v njej ni več enostavnih sladkorjev in škroba, ki nudijo glavno hrano glivam modrivkam (Benko, 1987).

Modrenje se po navadi pojavi na posekanem drevju, glive modrivke pa lahko okužijo tudi fiziološko oslabljen drevesa, z zmanjšano vlažnostjo in povečanim deležem kisika v lesu, kar ustvari optimalne pogoje za razvoj gliv modrivk. Še posebej pogosto te glive okužijo drevesa, ki jih je napadel lubadar. Velikokrat les okužijo že insekti sami. Glive modrivke lahko najdemo tudi na iverju za izdelavo ivernih plošč in papirja ter na gradbenem, stavbnem in površinsko premazanem lesu.

Pri okužbi mora tros pasti neposredno na beljavo, s čimer se omogočijo pogoji za razvoj mlade hife. Glive modrivke producirajo veliko število trosov, od 10^5 do 10^{10} trosov dnevno. Do okužbe lahko pride preko odprtih in razpok na skorji hlodovine oziroma stoječega drevesa. Transportni medij trosov lahko predstavljajo različni dejavniki.

Trose lahko prenašajo veter, insekti (podlubniki), voda, živali ter orodje, s katerim les obdelujemo. Še posebej je nevarno, če na žagarskem obratu vzporedno razžagujemo lubadarke in zdravo hlodovino.

Trosišča začne gliva modrivka tvoriti na površini lesa. Površina s trosišči zgleda, kot da je posuta s sajami. Trosišča tvorijo laski, ki so dolgi od 1 do 2 mm. Spodnji del je žagast in delno oziroma popolno vrasel v les.

Temperaturni interval, v katerem se razvijajo glive modrivke je zelo širok in zavzema vrednosti med 5 in 35 °C. Pod 3 °C oziroma nad 40 °C večina gliv modrivk preneha rasti in večinoma tudi odmre. Optimalna temperatura za razvoj gliv modrivk je med 22 in 25 °C. Modrivke se lahko razvijajo v lesu, ki vsebuje od 40 % do 160 % vlage. Mejno vlažnost za uspešen razvoj gliv modrivk predstavlja 23 %, pod to vrednostjo pa se modrivke ne morejo razvijati.

Glive modrivke so razvijajo samo v beljavi, kjer se hranijo predvsem z vsebino živih celic, torej protoplazmo. Prav to je tudi razlog, da glive modrivke načeloma ne vplivajo na zmanjšanje mehanske lastnosti lesa ampak poslabšajo samo estetske lastnosti lesa. Vprašanje pa je, kaj se zgodi z modrivkami, ko jim v lesu zmanjka enostavno dostopnih hranil. Ali glive odmrejo ali pa prično razkrajati tudi celulozo ali hemiceluloze (Benko, 1987).

Kljub temu pa obstajajo vrste gliv modrivk (*Ceratocystis picea* in *Aureobasidium pullulans*), ki povzročajo mehko trohno (soft rot), s čimer lahko vplivajo na poslabšanje nekaterih fizikalnih in kemijskih lastnosti (Eaton in Hale, 1993). V tem primeru naj bi prišlo do zmanjšanja dinamične trdnosti in odpornosti lesa proti udarcem. Manjše poslabšanje pa lahko pričakujemo tudi pri upogibni, natezni in tlačni trdnosti ter trdoti lesa. Zmanjšala naj bi se tudi gostota. Le ta naj bi se zmanjšala za toliko, kolikor škroba in drugih hranljivih snovi porabijo glive za svoj razvoj in metabolizem (Benko, 1987).

Pri nas so najpogostejše naslednje glive modrivke (Kervina-Hamović, 1990):

- *Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arnaud
- *Schlerophoma pityophila* (Corda) Höhn
- *Ceratocystis clavata* (Math.-Käärrik) Hunt
- *Ceratocystis picea* (Münch.) Bakshi
- *Ceratocystis ips* (Rumb.) C. Moreau
- *Ceratocystis coerulescens* (Münch.) Bakshi
- *Ceratocystis pilifera* (Fr.) Moreau

2.6 NEDESTRUKTIVNE METODE ZA ANALIZO LESA

Nedestruktivne metode nam omogočajo določevanje fizikalnih in mehanskih vrednosti, pri čemer ne pride do trajnih sprememb in deformacij v materialu, ki bi lahko vplivale na nadaljnjo uporabo. Vrednosti, ki jih dobimo z nedestruktivnimi metodami nam služijo kot osnova pri izračunavanju mehanskih lastnosti preiskovanega materiala (Čepon, 2006).

Natančnost nedestruktivnih metod je odvisna od več dejavnikov. Pri določevanju vrednosti dobljenimi z nedestruktivnimi metodami moramo upoštevati razpoke, obarvanost lesa, potek vlaken in ostale nepravilnosti lesa in poškodbe, do katerih lahko pride med obdelavo. Natančnost nedestruktivnih metod je odvisna tudi od same metode, ki jo uporabimo, geometrije preizkušanca in mesta testiranja.

Poznamo kar nekaj tehnik oziroma metod za nedestruktivno določanje lastnosti lesa, s katerimi najpogosteje opravljamo meritve na polizdelkih, znani pa so tudi testi na končnih izdelkih (ostrešja).

Zahtevnost testa je pogojena z natančnostjo in kakovostjo izvajanja meritev. Te lastnosti nam omogočajo, da lahko nedestruktivne metode razdelimo v dve večji skupini, in sicer na metode vizualnega ocenjevanja lesa in na metode, ki temeljijo na ocenjevanju mehanskih lastnosti lesa.

Metoda vizualnega ocenjevanja lesa je najstarejša in najbolj razširjena nedestruktivna metoda, ki se še danes uporablja za razvrščanje okroglega in žaganega lesa. S pomočjo slednje ocenjujemo vizualne lastnosti lesa.

Nedestruktivne metode, ki temeljijo na določevanju mehanskih lastnosti lesa so sestavljene iz kemijskih, fizikalnih in mehanskih testov. S fizikalnimi testi najpogosteje določamo električno upornost in dielektrične, vibracijske, valovne, akustične karakteristike materiala ter emisije žarkov X. V to skupino metod spadajo tudi klasični testi, kjer je material obremenjen z določeno silo. Kemijski testi prav tako spadajo v to skupino metod in se v praksi redkeje uporabljajo, kljub temu, da nam ti testi omogočijo pridobitev pomembnih podatkov o vzrokih in mehanizmu razvrednotenja materiala (Pellerin in Ross, 2002).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 VZORCI

3.1.1 Rdeči bor

Za izdelavo vzorcev smo uporabili zračno suho beljavo rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.). Branike borovine so razločne, s temnim kasnim lesom, prehod iz ranega v kasni les pa je oster. Smolni kanali so številčni in razločni, tako da ima svež les prijeten aromatični vonj. Les rdečega bora je zmerno trd in srednje gost (gostota $\rho_0 = 300...490...860 \text{ kg/m}^3$), za katerega je značilno zmerno krčenje in nabrekanje (močnejše kot pri smrekovini) ter manjša nagnjenost k zvijanju (Čufar, 2001).

Les rdečega bora je zmerno odporen proti atmosferilijam. Jedrovina je dokaj trajna, medtem ko pa je beljava netrajna in dovzetna na različne škodljivce, še posebej na glive modrivke. Pomodrel les je bolj higroskopen od neokuženega, kar povečuje možnost nadaljnje okužbe. Glavna značilnost beljave borovine je, da se slednjo z lahkoto impregnira. Sušenje borovine poteka v glavnem brez večjih problemov. Edini problem na tem predstavlja smola, saj je potrebno borovino zaradi velikih količin smole sušiti pri nižjih temperaturah. Les je najbolj izpostavljen glivam modrivkam, kadar se temperatura giblje med 20 in 30 °C in je vlažnost lesa višja od 25 %. Les rdečega bora se uporablja v gradbeništvu, za notranje in zunanje pohištvo, za pridobivanje oglja ipd. Trdnost precej variira z gostoto. Ob preobremenitvi les odda poseben zvok, zato je bila borovina včasih zelo zaželena za rudniške podpornike.

3.1.2 Izdelava vzorcev

Zračno suhe deske rdečega bora smo razžagali na vzorce dimenzij $200 \times 10 \times 5 \text{ mm}$. Vzorcem smo nato na sredini izmerili debelino (d_{vzorca}) ter jim obrusili površine in robove, na koncu pa smo jih označili s številkami. Skupaj smo pripravili 115 vzorcev. Po opravljenih meritvah smo vzorce zložili v sušilnik (Kambič) in jih 24 ur sušili pri temperaturi $10 \pm 2 \text{ °C}$. Po sušenju smo vzorcem določili maso na 0,0001 g natančno.

3.2 IZPOSTAVITEV VZORCEV GLIVAM MODRIVKAM

3.2.1 Priprava posod iz polipropilena

Pripravili smo deset 1,5 L in šest 2,75 L plastičnih posod iz polipropilena (PP). Za te posode je značilno, da prenesejo temperature do 140 °C in jih zato lahko steriliziramo s paro. Nato smo vse posode oprali s 96 % etanolom, v vsako položili 2 filter papirja (da se gojišče enakomerno razporedi po posodi) ter zgornji del posod ovili z alu folijo in papirjem za avtoklaviranje. Papir za avtoklaviranje zmanjšuje možnost poškodbe alu folije, preprečuje nezaželeno kontaminacijo in po drugi strani omogoča dihanje (slika 3). V vsako PP posodo smo kasneje dodali približno 25 mL suspenzije spor gliv modrivk.



Slika 3: Pripravljene posode iz polipropilena

3.2.2 Testni glivi

Glivi modrivki, ki smo jih uporabili za test, sta shranjeni v banki gliv Biotehniške fakultete, Oddelka za lesarstvo, Katedra za patologijo in zaščito lesa. Za izvedbo testa smo iz banke aktivirali naslednji dve glivi modrivki:

- *Sclerophoma pithyophila* (Corda) Hohn
- *Aureobasidium pullulans* (de Barry) Arnaud

Iz banke smo glive precepili na predhodno pripravljen steriliziran hranljiv glukozni agar. Inokulacija je potekala v laminariju. Glivi smo dva tedna inkubirali v rastni komori ($T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 75\text{ }\%$). Po 14 dneh smo glivi zopet precepili. Tokrat smo z njima inokulirali tekoči hranilni medij, ki smo ga pripravili po navodilih standarda SIST EN 152/1.

3.2.3 Priprava tekočega hranilnega gojišča in suspenzije spor gliv modrivk

V 500 mL merilno bučko smo nalili 150 mL destilirane vode, nato smo dodali 10 g koncentriranega sladnega ekstrakta (malt extract), 6,25 g citronske kisline monohidrata, in na koncu dolili še 60 mL 1 M NaOH in 195 mL 0,1 M HCl, ter dolili toliko destilirane vode, da smo dosegli marko za 500 mL. Z dodajanjem NaOH in HCl smo uravnali pH raztopine na 4,2 (sliki 4 in 5).



Slika 4: pH meter, s katerim smo določili vrednost pH raztopine

V 4 erlenmajerice smo nalili po 125 mL tekočega hranilnega gojišča, zaprli z alu folijo in papirjem ter 40 min sterilizirali pri tlaku 1,5 bara in temperaturi $121\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Slika 5: Hranilno gojišče v erlenmajericah

Sterilizirano gojišče smo inokulirali s štirimi cepiči izbrane glive. Inokulirane erlenmajerice smo postavili na laboratorijski stresalnik, kjer smo posodo z inokuliranim hranilnim gojiščem stresali teden dni s frekvenco 75^{-1} .

3.2.4 Izpostavitve vzorcev suspenziji spor testnih gliv

Pred inokulacijo smo v avtoklavu sterilizirali pripravljene PP posode (folija + papir + $2 \times$ filtrirni papir), lesne vzorce, steklovino (dva merilna valja, dva valja, dve bučki in dva steklena lija) in gazo.



Slika 6: Avtoklav

Po štiridesetminutnem avtoklaviranju (slika 6), smo vse skupaj za 2 uri postavili v brezprašno komoro, da se je steklovina in PP posode ohladila. Nezaželeno kontaminacijo smo preprečevali tudi z UV obsevanjem.

Po dveh urah v laminariju, smo začeli z izpostavitvijo vzorcev glivam modrivkam. Najprej smo tekoče hranilno gojišče prefiltrirali in tako dobili suspenzijo spor testnih gliv. Z merilnim valjem smo v vsako PP posodo nalili 25 mL hranilnega gojišča (slika 7) in v posodo zložili šest ali sedem vzorcev, ki smo jih pred tem za deset minut namočili v suspenzijo spor izbrane glive modrivke (preglednici 1 in 2). S tem smo omogočili hitrejšo dovzetnost vzorcev na okužbo.

PP posode z inokuliranimi borovimi vzorci smo za 2, 4, 6 ali 8 tednov postavili v rastno komoro Kambič ($T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 75\text{ }\%$).



Slika 7: Izpostavljanje vzorcev glivam modrivkam v PP posodah

Preglednica 1: Vzorci izpostavljeni delovanju glivi modrivki *Sclerophoma pithyophila* (Corda) Hohn

SP - <i>Sclerophoma pithyophila</i> (Corda) Hohn		
Št. posode	Št. vzorcev	Zaporedna št.
SP ₁	6	1 - 6
SP ₂	7	7 - 13
SP ₃	6	14 - 19
SP ₄	7	20 - 26
SP ₅	6	27 - 32
SP ₆	6	33 - 38
SP ₇	6	39 - 44
SP ₈	7	45 - 51

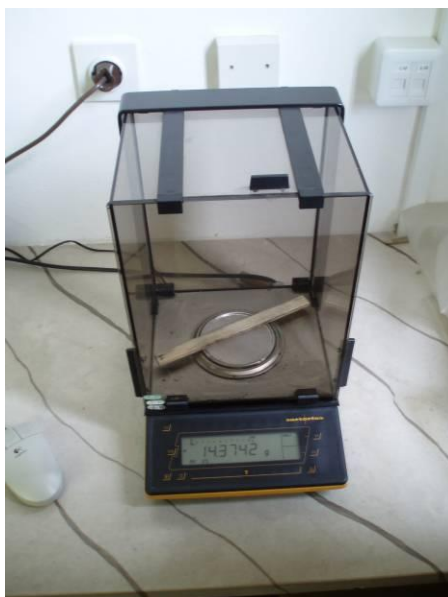
Preglednica 2: Vzorci izpostavljeni delovanju glivi modrivki *Aureobasidium pullulans* (de Barry) Arnaud

AuP - <i>Aureobasidium pullulans</i> (de Barry) Arnaud		
Št. posode	Št. vzorcev	Zaporedna št.
AuP ₁	7	52 - 58
AuP ₂	7	59 - 65
AuP ₃	7	66 - 72
AuP ₄	6	73 - 78
AuP ₅	6	79 - 84
AuP ₆	6	85 - 90
AuP ₇	6	91 - 96
AuP ₈	6	97 - 102

Del borovih vzorcev smo ravno tako sterilizirali, jih sušili, vendar jih nismo izpostavili glivam modrivkam. Te epruvete so nam služile kot kontrole.

3.3 GRAVIMETRIČNO DOLOČANJE IZGUBE MASE

Vzorci, ki so bili izpostavljeni glivam modrivkam smo po 2, 4, 6 ali 8 tednih izolirali, jih obrisali in še vlažne stehali. Zatem smo jih v laboratorijskem sušilniku Kambič 24 ur sušili pri 103 °C in jih zatem stehali (slika 8).



Slika 8: Tehtnica, s katero smo določali maso vzorcev na štiri decimalke natančno

Vsak termin, smo za posamično glivo naključno izbrali 10 vzorcev. Za modrivko *Sclerophoma pithyophila* smo izbrali naslednje vzorce:

- Drugi teden – Vzorci št. 16, 17, 18, 19, 39, 40, 41, 42, 43, 44
- Četrty teden – Vzorci št. 14, 15, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27
- Šesti teden – Vzorci št. 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37
- Osmi teden – Vzorci št. 11, 12, 38, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51

Za modrivko *Aureobasidium pullulans* pa smo vzeli vzorce:

- Drugi teden – Vzorci št. 62, 63, 64, 65, 97, 98, 99, 100, 101, 102
- Četrty teden – Vzorci št. 52, 53, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61
- Šesti teden – Vzorci št. 73, 74, 75, 76, 77, 78, 81, 82, 83, 84
- Osmi teden – Vzorci št. 70, 71, 79, 80, 85, 86, 87, 88, 89, 90

Razliko v masah smo gravimetrično določili po enačbi 1.

$$\Delta m = \frac{m_{0nv} - m_{0ov}}{m_{0nv}} \times 100 [\%] \quad [...1]$$

Pri čemer je:

m_{0nv} – masa absolutno suhega neokuženega vzorca pred izpostavitvijo glivi [g]

m_{0ov} – masa absolutno suhega okuženega vzorca po izpostavitvi glivi [g]

Δm – sprememba mase [%]

3.4 DOLOČANJE LASTNIH FREKVENC KONZOLNO VPETIH VZORCEV

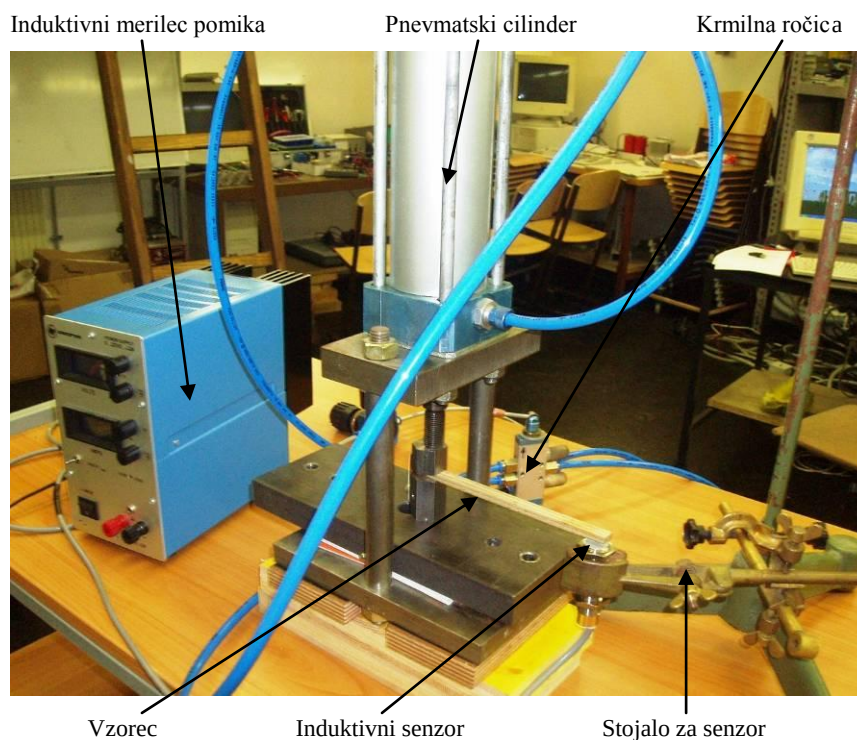
Meritev lastne frekvence vpelih vzorcev je nedestruktivna metoda. Glavna prednost te metode je torej, da lahko določamo modul elastičnosti istem vzorcu pred in po izpostavitvi glivam modrivkam in iz teh podatkov izračunamo razliko ter jo izrazimo v odstotkih.

Absolutno suhe vzorce ($u = 2 - 3 \%$) smo konzolno vpeli s pnevmatskim cilindrom s tlakom 2,5 bar na dolžini 10 mm tako, da je bila prosta dolžina vzorca 190 mm.

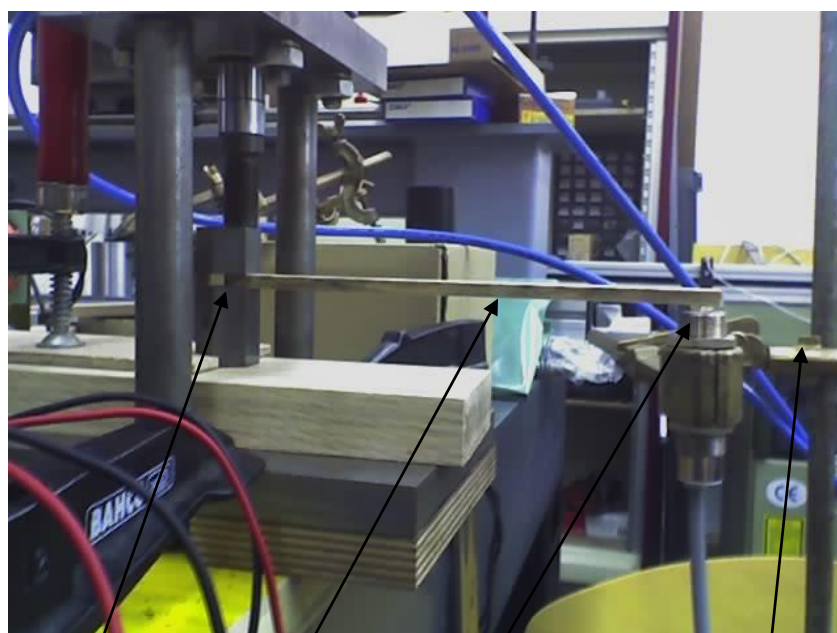
Na koncu vzorca smo na spodnji del z lepilnim trakom prilepili aluminijasto folijo velikosti cca. 8×8 mm, ki omogoča induktivnemu senzorju merjenje prečnih pomikov.

Preizkušanece smo trikrat vzbudili z rahlim udarcem s kovinskim ključem, da je zanihal s svojo dušeno lastno frekvenco, pri čemer nam je program avtomatsko izračunal povprečje treh frekvenc, ki smo jo zabeležili kot merodajno vrednost. Pomik vzorca pri nihanju smo merili z induktivnim merilnikom pomika. Induktivni senzor je pričel meriti nihanje vzorca v trenutku, ko je mikrofonski zaznal udarec ob vzbuditvi.

Izmerjeni signal smo analizirali v časovnem in frekvenčnem prostoru (sliki 9 in 10) (Novak, 2005).



Slika 9: Naprava za merjenje lastne frekvence vzorca



Cilindrični nastavek

Vzorec

Induktivni senzor

Stojalo za senzor

Slika 10: Konzolno vpetje vzorca

Uporabili smo računalniški program LabVIEW proizvajalca National Instruments. Frekvenca vzorčenja je bila 10 kHz, spekter je bil narejen na 0,1 s, dolžina posnetka pa je bila 0,5 s. Modul elastičnosti smo izračunali z naslednjo enačbo (Novak, 2005):

$$E = \frac{48 \cdot \pi^2 \cdot l^4 \cdot \rho \cdot v^2}{C^2 \cdot h^2} \quad [...2]$$

Pri čemer je:

E – modul elastičnosti [N/m²]

v – lastna frekvenca [s⁻¹]

C = 3,51563 – konstanta izpeljana iz Bernoullijeve enačbe

ρ – gostota [kg/m³]

l – prosta dolžina vzorca [m]

h – višina vzorca [m]

3.5 MERITVE Z NIHAJNO SPEKTROSKOPIJO FTIR

3.5.1 Nihajna spektroskopija FTIR

Infrardeča spektroskopija je metoda, ki nam omogoča analizo lesa brez zamudne priprave. Največkrat se uporabljata dve tehniki snemanja spektrov vzorcev. Vsaka tehnika zahteva specifično obdelavo vzorcev. Kadar snemamo spektre v transmisijski tehniki je potrebno vzorce narezati na zelo tanke rezine (20 – 40 μm).

V kolikor pa snemamo spektre vzorcev v refleksijski tehniki (DRIFT), jih moramo predhodno zmleti in zmešati z KBr. Vzorce nato izpostavimo svetlobi z valovnim številom med 400 in 4000 cm^{-1} ter merimo prepustnost oziroma količino absorbirane svetlobe v odvisnosti od valovnega števila. Svetloba pri točno določeni valovni dolžini interagira z določenimi kemijskimi vezmi (nihanje) in se zaradi tega absorbira. Na ta način dobimo informacijo o prisotnosti določenih funkcionalnih skupin v molekuli. Tako lahko z nihajno spektroskopijo FTIR opazujemo spremembe v lesu, ki nastanejo zaradi delovanja gliv. Še preden smo začeli z meritvijo vzorcev, smo posneli spekter ozadja.

Ta spekter prikazuje stanje v okolici naprave; prisotnost CO_2 , raznih plinov v ozračju, umazanije na kristalu... Ta spekter se potem odšteva od spektrov posnetih na vzorcih, tako da dobimo realne spektre lesa (Novak, 2005).



Slika 11: Instrument Spectrum one za merjenje nihajnih (FT-IR) spektrov lesa

3.5.2 Izvajanje FTIR analize

V našem primeru smo spektre posneli po refleksijski (DRIFT) tehniki. Vzorcev nismo predhodno mleli in mešali s KBr, temveč smo uporabili posebne brusilne papirčke, ki so služili kot mediji, s katerimi smo vzorce lesa izpostavili v IR spektrometer (slika 11).

Brusilni papirček, okrogle oblike premera 10 mm (slika 12), smo trikrat previdno in enakomerno potegnili po površini vzorca. Pri tem smo pazili, da površine papirčka nismo kontaminirali z nečistočami. Brusilni papir smo postavili na plastični vložek, s katerim smo ga nato vstavili v FTIR spektrometer. Za vsak vzorec smo meritev opravili dvakrat.



Slika 12: Plastični vložek za napravo Spectrum one

Na začetku smo pomerili le spektre vzorcev, ki niso bili izpostavljeni glivam in vzorcev, ki so jih glive kolonizirale osem tednov. Ker na spektrih nismo opazili značilnih razlik, ostalih vzorcev nismo analizirali.

Za FTIR analizo smo uporabili inštrument Spectrum one izdelovalca Perkin Elmer (slika 11). Spektre smo analizirali s pomočjo programske opreme podjetja Perkin Elmer in prisoj predstavljenih v preglednici 3.

Preglednica 3: Trakovi v nihajnih (FTIR) spektrih lesa

Valovno število [cm^{-1}]	Prisoja	Vir*
680	Upogibno nihanje C–OH skupine pri celulozi	3
775	Nihanja v galaktanu pri hemicelulozi	4
809	Nihanja v mananu pri hemicelulozi	2
810	Upogibno nihanje v 1,3,4 substituiranih benzenovih obročih lignina	2
870	Upogibno nihanje v 1,3,4 substituiranih benzenovih obročih lignina	2
895	Nihanje vezi C–H na atomih C1v celulozi in hemicelulozi	2, 3, 5
1050	Valenčno nihanje vezi C–O pri celulozi in hemicelulozi	2, 3, 5
1110	Trak O–H skupin pri celulozi in hemicelulozi	2, 5
1160	Asimetrično nihanje mostička C–O–C pri celulozi in hemicelulozi	2, 5
1230	Nihanje v siringilnih enotah lignina ali nihanje skupin C=O ksilana	5, 6
1263	Valenčno nihanje vezi C–O pri ligninu in hemicelulozi	4
1275	Nihanje v gvajacilnih enotah lignina	6
1315	Kolebno nihanje skupin CH_2 pri celulozi	2
1325	Kolebno nihanje skupin CH_2 pri celulozi	3, 5
1330	Deformacijsko nihanje skupin OH pri celulozi in hemicelulozi	2
1370	Upogibno nihanje skupin CH_2 pri celulozi in hemicelulozi	2, 3, 5
1425	Strižno nihanje skupin CH_2 pri celulozi, nihanje vezi C=C pri aromatskih skupinah lignina	2, 3, 4, 5
1453	Valenčno nihanje aromatskega obroča in nihanja skupin CH_2 pri celulozi	2
1460	Deformacijsko nihanje skupin CH_3 pri ligninu in upogibno nihanje skupin CH_2 pri ksilanu	2, 3, 5
1505	Valenčno nihanje aromatskega obroča pri ligninu	1, 2, 3, 5
1600	Valenčno nihanje aromatskega obroča pri ligninu	1, 2, 3, 5
1643	Deformacijsko nihanje vezi H–O–H v absorbirani vodi	2
1660	Nihanje keto-karbonilne skupine, konjugirane z benzenovim obročem	1
1730	Valenčno nihanje skupin C=O pri nekonjugiranih aldehydih, ketonih ali karboksilnih skupinah	3, 5
2900	Valenčno nihanje vezi C–H	2, 3, 5
3300	Valenčno nihanje vezi O–H	2, 3, 5

- 1- Harrington in sod., 1964; 2- Michell, 1989; 3- Bolker in Somerville, 1963; 4- Liang in sod., 1960; 5- Michell in sod., 1965; 6- Sarkanen in sod., 1967

3.6 NUMERIČNO VREDNOTENJE BARVE PO CIE – L*, a*, b* SISTEMU

3.6.1 Osnove metode CIE - L* a* b*

CIE – L*, a*, b* je najbolj izpopolnjen in najpogosteje uporabljen sistem za vrednotenje barve. Predstavlja matematično kombinacijo kartezijskega in cilindričnega koordinatnega sistema, kjer je barva opredeljena z naslednjimi vrednostmi:

L ... določa svetlost barve in zavzema vrednost od 0 (absolutno črno) do 100 (absolutno belo),

a ... določa lego barve na rdeče (+) – zeleni (-) osi in

b ... določa lego barve na rumeno (+) – modri (-) osi (slika 12).

Razliko v barvi ΔE med dvema vzorcema izračunamo z enačbam 3-6 (indeks 1 označuje parameter na začetku opazovanja, indeks 2 pa parameter na koncu opazovanja):

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2 \quad [...3]$$

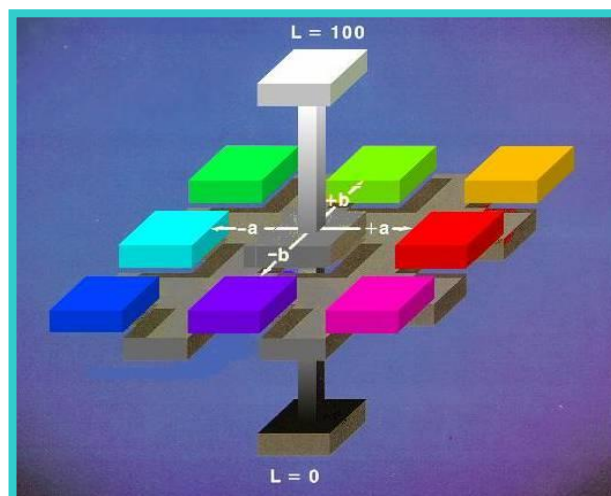
$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_2 \quad [...4]$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_2 \quad [...5]$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad [...6]$$

Razlika v barvi ΔE mora znašati najmanj 0,5, da lahko podamo trditev, da razlika med barvama obstaja. V kolikor je variabilnost vzorcev velika, moramo omenjeni kriterij prilagoditi glede na sipanje izmerjenih vrednosti.

Omenjena metoda se je na področju zaščite lesa najpogosteje uporabljala za vrednotenje posledic naravnega staranja zaradi delovanja UV žarkov, padavin, temperature... Veliko se uporablja za opazovanje sprememb na neimpregniranem lesu, nekoliko redkeje pa tudi na impregniranem lesu. Zhang in Kamdem (2000) sta med staranjem opazila manjše spremembe barve na lesu, zaščitenem z bakrovimi pripravki, kot na nezaščitenih vzorcih. Na podlagi tega sta sklepala, da baker ščiti površino lesa pred fotodegradacijo. Podoben, le nekoliko manjši učinek, sta opazila na lesu, zaščitenem le z vodno raztopino etanolamina.



Slika 13: Barvni koordinatni sistem po CIE - L^* , a^* , b^* sistemu

3.6.2 Določanje barve lesa

Pri vrednotenju barve lesa smo določali spremembo barve vzorcev v določenih fazah izpostavitve posamezni glivi modrivki. Kot izhodiščna vrednost nam je služila barva določena na glivam neizpostavljenih vzorcih.

Vse vzorce smo najprej posneli na optičnem čitalniku (HP 5500). S tem smo dobili digitalni zapis površine vzorcev potreben za nadaljnjo obdelavo. Uporabili smo najbolj izpopolnjen in uporabljen sistem za vrednotenje barv CIE - L^* , a^* , b^* (slika 13). Posamezne komponente smo določil s pomočjo programske opreme CorelDRAW 8. Med seboj smo primerjali barvo vzorcev, ki so bili različno dolgo okuženi z glivama modrivkama *Sclerophoma pithyophila* in *Aureobasidium pullulans* ter kontrolne vzorce.

3.7 ELEMENTNA ANALIZA LESA (CNS)

3.7.1 Teoretične osnove elementne analize lesa (CNS)

Zaradi velike variabilnosti lesa se elementna analiza redko uporablja. Na voljo je več inštrumentov, s katerimi lahko določamo vsebnost ogljika, vodika, dušika in žvepla. Temeljijo na segrevanju omenjenih elementov, pri zelo visokih temperaturah ($> 1170\text{ K}$) v helijevi atmosferi.

S pomočjo specifičnih absorbentov ali s pomočjo kromatografske kolone določimo deleže elementov. Les je večinoma sestavljen iz ogljika, kisika in vodika. V smrekovem lesu je med 43 in 53 % ogljika in od 5 do 10 % vodika (Hughes, 1999). Dušika je v lesu zelo malo, med 0,03 in 0,15 %. Glive potrebujejo dušik za svojo rast pri sintezi aminokislin in proteinov (encimov), zato je pomanjkanje dušika velikokrat kritični dejavnik pri razkroju lesa (Ruddick in Xie, 1995).

3.7.2 Kvalitativno določanje dušika in ogljika v lesu rdečega bora

Naključno smo izbrali 27 vzorcev, od katerih jih je bilo 12 (trije za posamezen termin) izpostavljenih delovanju glivi modrivki *Sclerophoma pithyophila*, 12 pa jih je bilo okuženih z glivo modrivko *Aureobasidium pullulans*, trije vzorci pa so predstavljali kontrolo oziroma neokužene vzorce. Vzorcem smo nato z dletom odvzeli del lesnega tkiva in ga z mlinčkom zmleli (slika 14). Za posamezen vzorec smo pripravili približno 1 g vzorca.



Slika 14: Mlinček za mletje lesnih delcev

Pred začetkom elementne analize smo v keramične ladjice zatehtali približno 0,2 g lesnega prahu in nato določili vsebnost dušika ter tudi ogljika in žvepla. Vendar dobljenih podatkov za žveplo nismo ovrednotili. Meritve so potekale na inštrumentu CNS Leco 2000 v Laboratoriju za gozdno ekologijo Gozdarskega inštituta Slovenije.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 SPREMEMBA MASE ZARADI DELOVANJA GLIV MODRIVK

Spremembo mase smo izračunali iz absolutno suhih mas pred in po izpostavitvi glivam modrivkam. Povprečne spremembe mase po tednih so prikazane v preglednici 4.

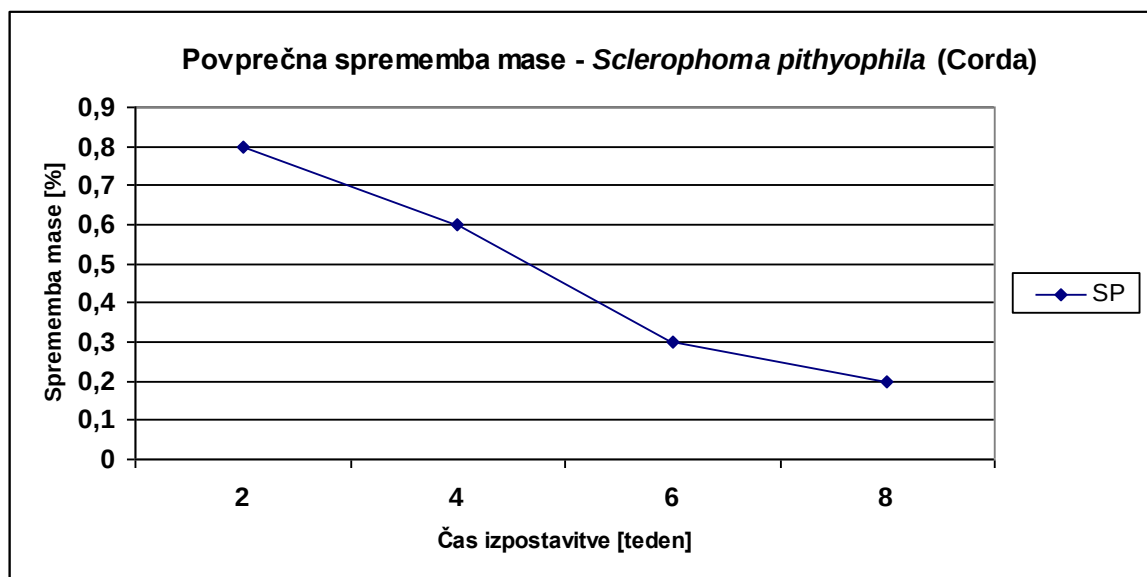
Preglednica 4: Povprečna sprememba mase v odvisnosti od časa izpostavitve glivam modrivkam
Aureobasidium pullulans in *Sclerophoma pithyophila*

Teden	<i>Sclerophoma pithyophila</i>	<i>Aureobasidium pullulans</i>
	Povprečna sprememba mase [%]	Povprečna sprememba mase [%]
2.	0,8	0,8
4.	0,6	0,2
6.	0,3	0,0
8.	0,2	-0,1

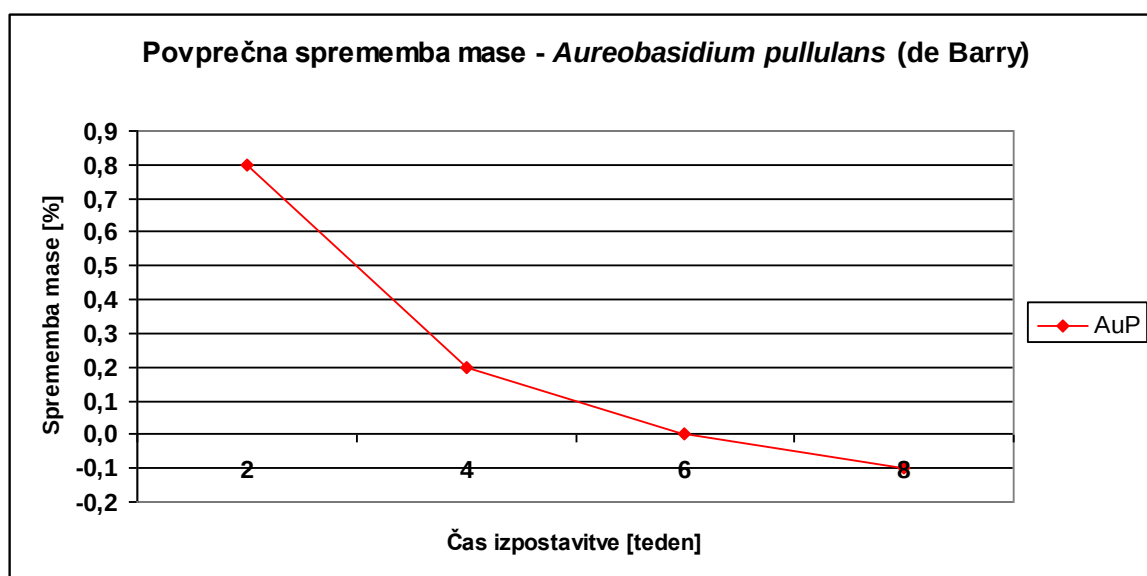
Vzorcem, ki so bili izpostavljeni delovanju glivama modrivkama *Aureobasidium pullulans* in *Sclerophoma pithyophila*, se je povečala masa, kar je razvidno iz preglednice 4. Sprememba mase se je gibala od 0,8 % do 0,1 %. Te vrednosti označujejo maso 0,0732 g oziroma 0,0080 g, kar je relativno zelo majhna sprememba. Največji dvig mase smo opazili po dveh tednih izpostavitve, kasneje pa se je masa začela približevati izhodiščni.

Po drugem tednu izpostavitve glivam modrivkam smo ugotovili, da je razlika v masah vzorcev, ne glede na glivo primerljiva, kljub temu da je bilo na vzorcih, ki so bili okuženi z glivo modrivko *Sclerophoma pithyophila*, obarvanje bistveno intenzivnejše. To nakazuje, da se masa vzorcev ni dvignila zaradi hif in izločenega melanina, temveč moramo razlog poiskati drugje. Najverjetneje vzrok za opisan dvig mase najdemo v hranilnem gojišču. Leseni vzorčki so bili pred in med izpostavitvijo namočeni v hranilno gojišče, ki se je dobro vpilo v suhe borove vzorce, kar se verjetno odraža v višji masi.

Z nadaljevanjem izpostavitve je razlika v masah padala. Glive so verjetno porabile hranilne snovi, ki smo jih v les vnesli z gojiščem. V nobenem primeru pa nismo določili izgube mase zaradi delovanja gliv modrivk, kar potrjuje prejšnja opažanja raziskovalcev, da glive modrivke ne razkrajajo celuloze oziroma lignina.



Slika 15: Sprememba mase vzorcev, okuženih z glivo *Sclerophoma pithyophila* v odvisnosti od časa izpostavitve



Slika 16: Sprememba mase vzorcev, okuženih z glivo *Aureobasidium pullulans*, v odvisnosti od časa izpostavitve

Glavni vzrok za zvišanje mase vzorcev okuženih s posamezno glivo modrivko je ta, da smo vzorce pred izpostavitvijo dodatno potopili v suspenzijo spor testni gliv (slika 17). S tem smo omogočili, da so se vzorci bolj navzeli sladnega ekstrakta (malt extract), ki je bil dodatni vir hrane, tako da se je gliva modrivka imela možnost uspešnejše razvijati.



Slika 17: Potapljanje vzorcev v sladni ekstrakt (malt extract) z namenom povečati dovzetnost vzorcev na modrenje

Zaloge sladnega ekstrakta so se s tedni izpostavitve manjšale, tako da se je tudi hitrost razvoja posamezne glive modrivke zmanjševala. Po osmem tednu, ko je gliva modrivka porabila vse hranljive snovi, ki smo jih vnesli v vzorec z dodatnim namakanjem v hranljivo gojišče, sprememba mase praktično ni več opazna.

4.2 SPREMEMBA MODULA ELASTIČNOSTI

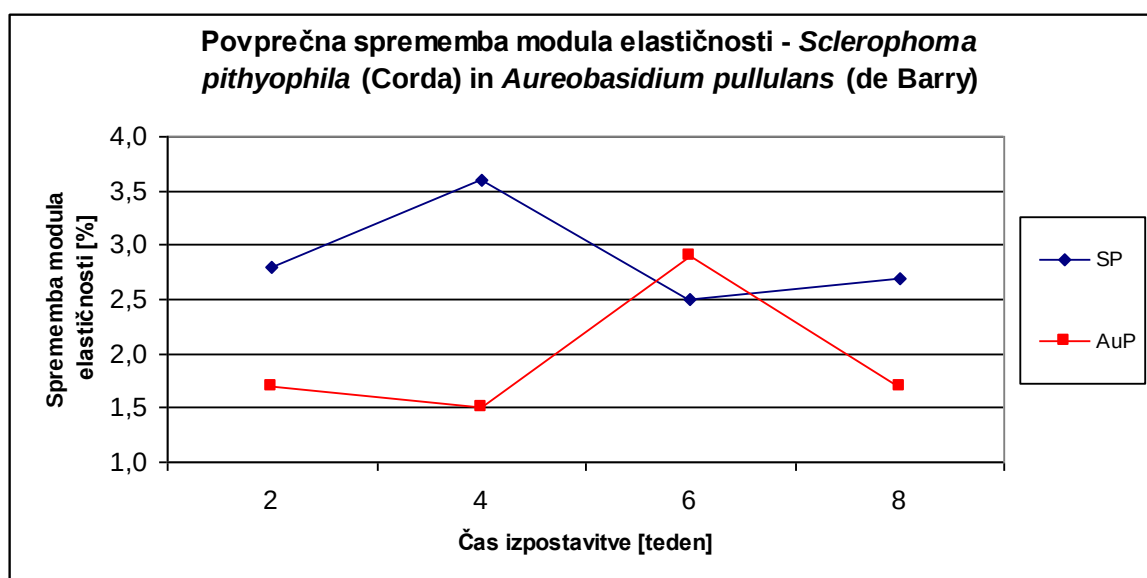
Modul elastičnosti vzorcev smo določili s pomočjo nedestruktivne metode, ki temelji na merjenju lastnih frekvenc vzorcev. Lastne frekvence absolutno suhih vzorcev smo določili pred in po izpostavitvi delovanju glivam modrivkam.

Povprečna sprememba modula elastičnosti vzorcev, okuženih z glivama modrivkama *Aureobasidium pullulans* in *Sclerophoma pithyophila*, v odvisnosti od časa izpostavitve je prikazana v preglednici 5.

Preglednica 5: Povprečna sprememba modula elastičnosti po tednih zaradi delovanja gliv modrivk
Aureobasidium pullulans in *Sclerophoma pithyophila*.

Teden	<i>Sclerophoma pithyophila</i>	<i>Aureobasidium pullulans</i>
	Povprečna sprememba MoE [%]	Povprečna sprememba MoE [%]
2.	2,8	1,7
4.	3,6	1,5
6.	2,5	2,9
8.	2,7	1,7

Iz vrednosti prikazanih v preglednici 5 je razvidno, da se je modul elastičnosti v obeh primerih rahlo povečal za 1,5 do 3,6 %.



Slika 18: Sprememba modula elastičnosti [%] vzorcev, okuženih z *Aureobasidium pullulans* (rdeča linija) in s *Sclerophoma pithyophila* (modra krivulja), v odvisnosti od tedna izpostavitve [teden]

Najbolj opazno zvišanje modula elastičnosti smo izmerili pri vzorcih, ki so bili izpostavljeni delovanju glivi modrivki *Sclerophoma pithyophila*, kar je razvidno iz slike 18. Pri teh vzorcih se je modul elastičnosti že po drugem tednu izpostavitve povečal za 2,8 %, kar pomeni, da se je modul elastičnosti povečal za okoli 350 MPa. Zvišanje modula elastičnosti pri vzorcih okuženih z glivo modrivko *Aureobasidium pullulans* po drugem tednu izpostavitve, je bilo nižje (1,7 %).



Slika 19: Vizualna razlika med vzorci okuženimi z modrivko *Sclerophoma pithyophila* (zgoraj) in vzorci okuženimi z modrivko *Aureobasidium pullulans* (spodaj). Desno pa so kontrolni, glivam neizpostavljeni vzorci

Po četrtem tednu izpostavitve je sprememba modula elastičnosti najbolj opazna, saj se je pri vzorcih okuženih z glivo modrivko *Sclerophoma pithyophila*, ta povečal za kar 3,6 %, kar pomeni, da se je modul elastičnosti povečal za okoli 450 MPa. Pri drugi skupini vzorcev se je modul elastičnosti povečal za občutno manjših 1,5 %. Po dokaj veliki rasti modula elastičnosti pri vzorcih okuženih s glivo modrivko *Sclerophoma pithyophila*, prične po šestem tednu izpostavitve, modul elastičnosti rahlo padati, pri čemer vrednost modula elastičnosti znaša 2,5 %. Pri vzorcih okuženih z glivo *Aureobasidium pullulans* pa je stanje ravno obratno, saj je po šestem tednu izpostavitve opazno močno zvišanje modula elastičnosti na 2,9 %. Na koncu osmega tedna izpostavitve pa se modul elastičnosti umiri (preglednica 5, slika 18).

Očitno je, da se modul elastičnosti zaradi delovanja gliv ne poslabša, temveč se celo izboljša. Vzrokov za izboljšanje modula elastičnosti je lahko več. Eden izmed vzrokov za povečanje modula elastičnosti vzorcev, ki so bili izpostavljeni delovanju glivam modrivkam, je tudi melanin. Melanini so biološki polimeri sestavljeni iz različnih monomerov (fenoli, indoli, proteini, ogljikovi hidrati) oziroma so organski pigmenti z visoko molekularno maso.

Melanin, ki nastaja v celični steni (lahko tudi izven celične stene), se na lesni površini kaže kot sivo-črna barva. Glive modrivke proizvajajo melanin, ker ta opravlja določene varovalne funkcije.

Raziskave so pokazale, da so osnovne funkcije melanina povečanje virulence (tvorba melaninproteina, ki onemogoča pritok hranil v območje poškodbe), zaščita pred ultravijolično in vidno svetlobo, zaščita pred ekstremnimi temperaturami in izsuševanjem, reakcije s kovinami, redoks lastnosti (zaščita celice pred oksidativnimi reagenti) in zaščita pred encimsko razgradnjo (Butler in Day, 1998 in 1998a). Struktura in funkcija melaninov je torej na nek način zelo podobna strukturi lignina. Med biosintezo melaninov, ti reagirajo tudi s funkcionalnimi skupinami lesa, zato jih je iz lesa nemogoče odstraniti.

Melanin torej na nek način dodatno premreži les, kar se po vsej verjetnosti odraža v izboljšanjem modulu elastičnosti. Ti podatki nakazujejo, da lahko les, ki je bil podvržen delovanju glivam modrivkam, uporabimo za konstrukcijski les, saj je pri takem modulu elastičnosti večji, kot pri zdravem oziroma nepomodrelemu lesu.

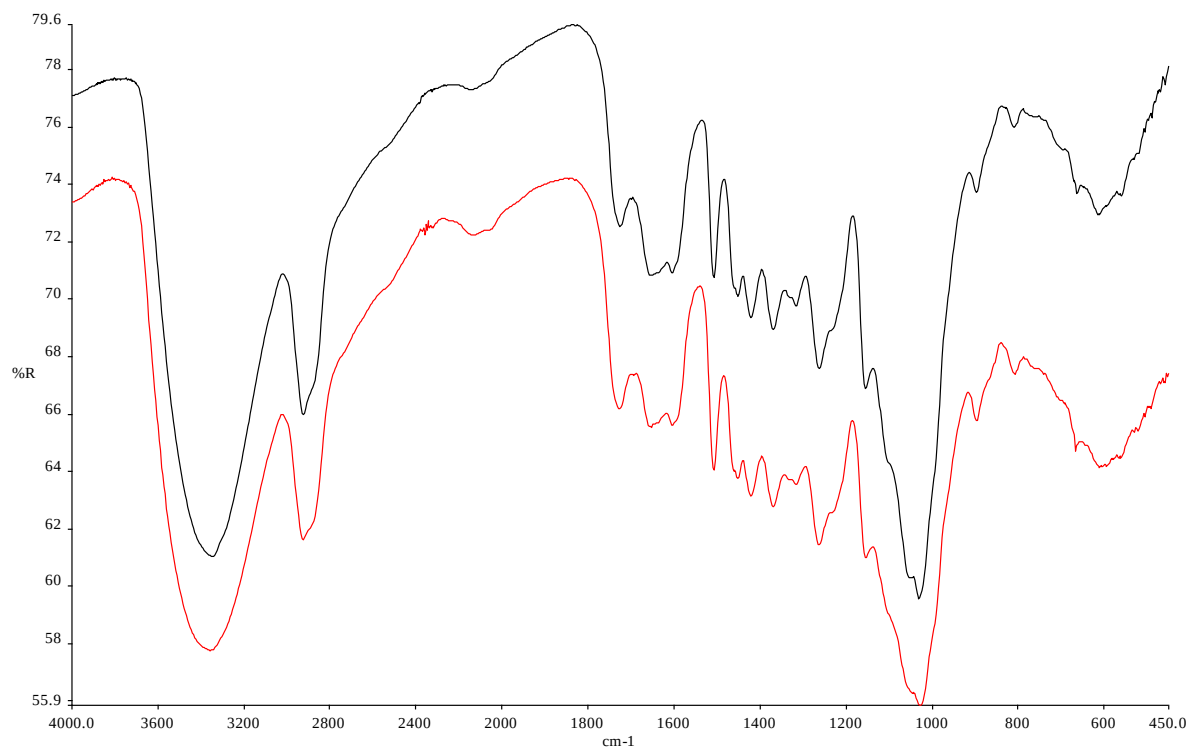
Drugi razlog za povečanje mehanskih lastnosti se skriva v sušenju vzorcev in sterilizaciji lesa v avtoklavu. Med sušenjem voda, ki je bila vezana na hidroksilne skupine izhlapi iz lesa in zato velikokrat hidroksilne skupine pridejo v medsebojni stik, kar se potem odraža v boljših mehanskih lastnostih. O podobnih posledicah segrevanja poročajo tudi v literaturi (Finnish Thermowood Association, 2003), vendar je bilo segrevanje v tem primeru bistveno dolgotrajnejše, kot sterilizacija v avtoklavu, tako da s segrevanjem ne moremo v celoti pojasniti naraščanja modula elastičnosti.

4.3 FTIR ANALIZA POMODRELEGA LESA

Kemične spremembe lesa smo ugotavljali s pomočjo FTIR analize. Uporabili smo dve metodi, in sicer HTR in DRIFT tehniko snemanja. Najprej smo želeli posneti spektre s HTR metodo, vendar pridobljeni spektri niso bili dovolj kvalitetni, zato smo v nadaljevanju snemali spektre le z DRIFT tehniko. Posneti spektri so prikazani na slikah 20 in 21.



Slika 20: FTIR spekter kontrolnega vzorca (črna krivulja) in vzorca, ki je bil osem tednov izpostavljen glivi *Sclerophoma pithyophila* (rdeča krivulja)



Slika 21: FTIR spekter kontrolnega vzorca (črna krivulja) in vzorca, ki je bil osem tednov izpostavljen glivi *Aureobasidium pullulans* (rdeča krivulja)

Črni krivulji na slikah 20 in 21 predstavljata tipičen FTIR spekter lesa z značilnimi trakovi, ki jih prisojamo funkcionalnim skupinam lesa. Prisoje so razvidne iz preglednice 3. Rdeči krivulji pa prikazujeta spektra pomodrelega lesa. Iz obeh spektrov je lepo razvidno, da se FTIR spektri lesa po izpostavitvi glivam ne spremenita. Količina melanina v lesu pa je bila premajhna, da bi jo lahko razbrali iz FTIR spektrov lesa. Poleg tega je struktura melanina podobna strukturi lignina, zato se verjetno posamezni trakovi, ki bi jih lahko prisodili melaninu, prekrivajo s trakovi aromatskih spojin lesa.

Rezultati FTIR analize popolnoma sovpadajo z rezultati gravimetričnih meritev in meritev modula elastičnosti ter potrjujejo, da glive niso spremenile strukture lignina, hemiceluloz in celuloze.

4.4 SPREMEMBA BARVE POMODRELEGA LESA

Barvno spremembo vzorcev smo določali pa posameznih obdobjih izpostavitve glivam modrivkam. Ovrednotili smo jo s pomočjo CIE – L* a* b* sistema. Barvno stanje posameznih vzorcev smo opisali s tremi spremenljivkami barvnega koordinatnega sistema, na podlagi katerih smo določili razliko v barvi lesa ΔE .

4.4.1 Sprememba barve vzorcev izpostavljenih delovanju glivi modrivki *Sclerophoma pithyophila* (Corda) Hohn

Vrednosti spremenljivk L*, a*, b* in razlika v barvi ΔE vzorcev, izpostavljenih delovanju glivi modrivki *Sclerophoma pithyophila*, so prikazane v preglednici 6.

Preglednica 6: Vrednosti spremenljivk L*, a*, b* in sprememba barve (ΔE) vzorcev v odvisnosti od časa izpostavitve [teden] glivi modrivki *Sclerophoma pithyophila*.

Teden izpostavitve	L*	a*	b*	ΔE
0.	85,1	3,8	13,7	0,0
2.	66,7	3,1	10,7	18,7
4.	63,8	2,6	9,0	21,8
6.	57,5	2,5	7,5	28,3
8.	58,4	2,5	7,7	27,4

V kolikor se najprej osredotočimo na spremenljivko L^* , ki določa svetlost ugotovimo, da je površina lesa po drugem tednu izpostavitve glivi modrivki *Sclerophoma pithyophila* močno potemnela, saj je vrednost L^* iz 85,1 padla na 66,7. Kasneje je ta vrednost še upadala in po šestih tednih dosegla 57,5 (preglednica 6). Po osmem tednu se ta vrednost ni več spreminjala, kar nakazuje, da je gliva v prvih tednih izpostavitve tvorila največ melanina.

Sprememba svetlosti barve L^* je dokaz, da se je gliva modrivka *Sclerophoma pithyophila* razvijala hitreje kot *Aureobasidium pullulans*. Po osmem tednu izpostavitvi tej glivi je spremenljivka L^* zavzemala vrednost 70,1.

Tudi ostale spremenljivke sistema CIE (a^* in b^*) kažeta na to, da so se najintenzivnejše barvne spremembe zgodile v prvih dveh tednih. Spremenljivka a^* , ki določa lego barve na rdeče (+) - zeleni (-) osi, je po drugem tednu izpostavitve zavzemala vrednost 3,1, po četrtem 2,6 ter po šestem in osmem pa 2,5. Podobna ugotovitev velja tudi za spremenljivko b^* , ki opisuje barvne premike na rumeno (+) – modri(-) osi, kjer pa so se vrednosti gibale med 10,7 in 7,7 (slika 22, preglednica 6).

Iz vrednosti spremenljivk a^* in b^* lahko podamo ugotovitev, da so bili na vzorcih, izpostavljenih delovanju glivi modrivki *Sclerophoma pithyophila*, prisotni sivi, rdeči, in zeleni barvni odtenki. Vizualna sprememba barve na površini vzorcev, okuženih z glivo modrivko *Sclerophoma pithyophila* po drugem, četrtem, šestem in osmem tednu izpostavitve, je prikazana na sliki 22.



Slika 22: Barvne spremembe na vzorcih okuženih z glivo *Sclerophoma pithyophila* po 2, 4, 6 in 8 tednu izpostavitve

4.4.2 Sprememba barve vzorcev izpostavljenih delovanju glivi modrivki *Aureobasidium pullulans* (de Barry) Arnaud

Rezultati barvne analize vzorcev, izpostavljenih delovanju glivi *Aureobasidium pullulans*, so predstavljeni v preglednici 7 in sliki 23.

Preglednica 7: Vrednosti spremenljivk (L^* , a^* , b^*) in sprememba barve (ΔE) vzorcev v odvisnosti od časa izpostavitve [teden] glivi modrivki *Aureobasidium pullulans*

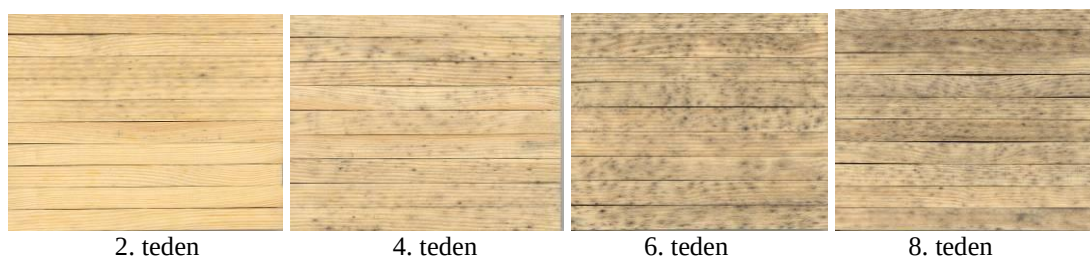
Teden izpostavitve	L^*	a^*	b^*	ΔE
0.	85,1	3,8	13,7	0,0
2.	82,6	3,8	14,6	2,6
4.	79,7	2,8	12,8	5,6
6.	71,9	3,1	11,3	13,4
8.	70,1	3,0	10,1	15,4

Že na prvi pogled vidimo (sliki 22 in 23), da je bilo obarvanje pri glivi modrivki *Aureobasidium pullulans* bistveno manj intenzivnejše, kot pri glivi *Sclerophoma pithyophila*. Po dveh tednih izpostavitve glivi *Aureobasidium pullulans* je površina vzorcev le rahlo potemnela. ΔE je po dveh tednih znašal le 2,6, medtem ko je po izpostavitvi glivi *Sclerophoma pithyophila* znašal kar 18,7 (preglednici 6 in 7).

Vrednost spremenljivke L^* je po drugem tednu izpostavitve znašala 82,6, kar ne predstavlja velike spremembe, če jo primerjamo z vrednostjo spremenljivke L^* na kontrolnih vzorcih (85,1). Podobno kot L^* , se po dveh tednih delovanja tudi vrednosti a^* in b^* nista opazno spremenili.

Sprememba spremenljivk a^* in b^* je tudi po četrtem, šestem in osmem tednu relativno majhna, vrednost a^* iz začetnega stanja 3,8 po osmih tednih pade na vrednost 3,0, vrednost b^* pa iz 13,7 na 10,1. Po osmem tednu izpostavitve delovanju glivi modrivki *Aureobasidium pullulans* se vrednost spremenljivke L^* (70,1) še najbolj razlikuje od izhodišča (85,1). Kljub vsemu je tudi vrednost L^* manjša od vrednosti zabeležene po izpostavitvi glivi *Sclerophoma pithyophila*, kjer je po osmih tednih delovanja ta vrednost znašala 58,4 (preglednica 6).

Po osem tedenski izpostavitvi lahko podamo trditev, da je barvna slika površine vzorcev sestavljena iz svetlo sive, sivkasto rdeče in sivkasto zelene barvne komponente (slika 23).



Slika 23: Barvne spremembe na vzorcih okuženih z glivo *Aureobasidium pullulans* po 2, 4, 6 in 8 tednu izpostavitve

4.5 ELEMENTNA ANALIZA CNS

Za elementno analizo smo uporabili cca. 0,7 g zmletga lesnega tkiva, ki smo ga predhodno vzeli vzorcem okuženim z glivo modrivko *Aureobasidium pullulans* oziroma *Sclerophoma pithyophila*. Meritve so potekale na inštrumentu CNS Leco 2000 v Laboratoriju za gozdno ekologijo Gozdarskega inštituta Slovenije. Tako smo določili vsebnosti ogljika in dušika v vzorcih, okuženih s posamezno glivo modrivko, katere smo kasneje primerjali z deležem posameznih elementov v kontrolnih vzorcih.

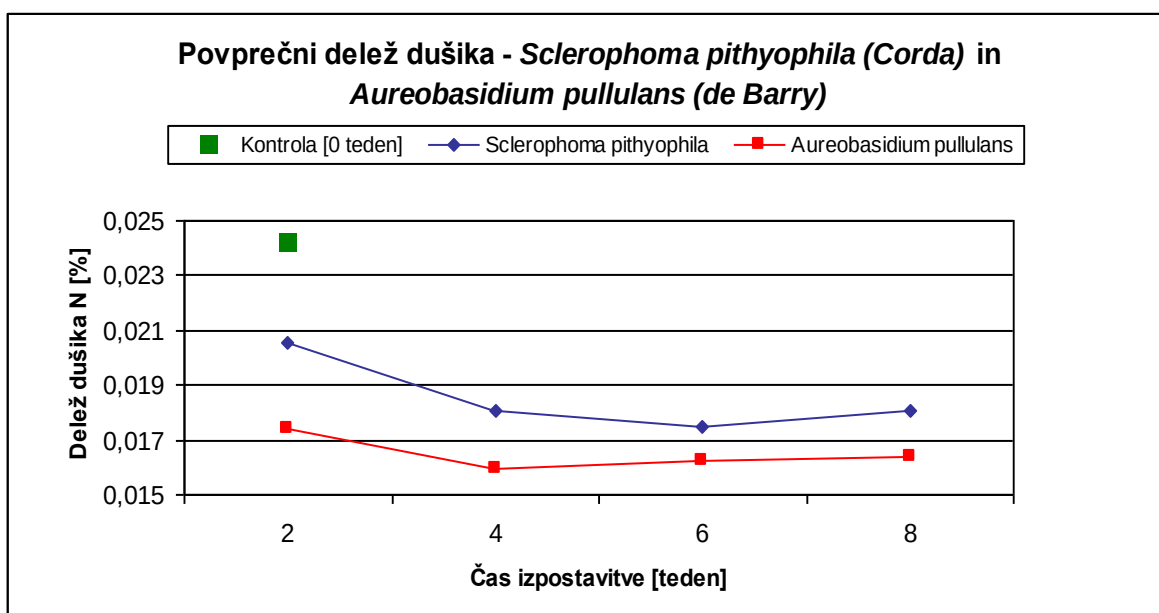
Rezultati elementne analize so predstavljeni v preglednici 8, kjer so podane povprečne vrednosti ogljika in dušika v posameznem tednu izpostavitve.

Preglednica 8: Delež ogljika in dušika v vzorcih okuženih z glivama modrivkama *Aureobasidium pullulans* in *Sclerophoma pithyophila*

Gliva	Teden izpostavitve	Povprečje C [%]	Povprečje N [%]
Kontrola	0	47,63	0,0242
<i>Sclerophoma pithyophila</i>	2	46,33	0,0205
	4	47,55	0,0181
	6	46,48	0,0175
	8	47,67	0,0181
<i>Aureobasidium pullulans</i>	2	45,97	0,0174
	4	47,00	0,0160
	6	47,02	0,0163
	8	45,60	0,0164

Inštrument CNS Leco 2000 je za posamezni vzorec opravil po dve meritvi, če pa je bila razlika med slednjima prevelika, pa je opravil še tretjo meritev. Pri rezultatih elementne analize se bomo osredotočili zgolj na delež dušika v okuženih vzorcih.

Iz dobljenih vrednosti je razvidno, da je delež dušika v vzorcih okuženih z glivama *Aureobasidium pullulans* oziroma *Sclerophoma pithyophila* v primerjavi s kontrolnimi vzorci padel (preglednica 8). Iz slike 24 je moč razbrati, da je v vzorcih okuženih z glivo *Aureobasidium pullulans*, kljub manj izrazitem obarvanju, manj dušika, kot v vzorcih izpostavljenih glivi *Sclerophoma pithyophila*.



Slika 24: Povprečni delež dušika v vzorcih okuženih s *Sclerophoma pithyophila* oziroma *Aureobasidium pullulans* v posameznem tednu izpostavitve

Tako po osemtemenski izpostavitvi v vzorcih okuženih s *Sclerophoma pithyophila*, delež dušika pade iz 0,0205 % na 0,0181 %. Pri vzorcih okuženih z *Aureobasidium pullulans* pa je sprememba deleža dušika manjša, pri čemer se vrednosti po osemtemenski izpostavitvi gibljejo od 0,0174 % do 0,0164 %.

Vzroka za padanje deleža dušika med osem tedensko izpostavitvijo v vzorcih okuženih z glivama modrivkama je dejstvo, da glive potrebujejo dušik za svojo rast pri sintezi aminokislin in proteinov (encimov), zato je pomanjkanje dušika velikokrat kritični dejavnik pri razkroju lesa (Ruddick in Xie, 1995). Znano je, da je v lesu relativno malo dušika, kar potrjujejo tudi rezultati, zato glive izkoristijo tisto, kar imajo na voljo.

Seveda pa se pri interpretaciji podatkov postavlja vprašanje v kakšni obliki je dušik, ki smo ga določili v z glivam razkrojenem lesu. Ali je še v lesu, ali pa je sestavni del hif, ki so prerasle les.

5 SKLEPI

Z uporabo gravimetrične metode smo ugotovili, da se vzorcem, ki so bili izpostavljeni delovanju gliv modrivk *Aureobasidium pullulans* in *Sclerophoma pithyophila*, masa ni zmanjšala, ampak se je celo rahlo povečala. Vzrok za povečanje se skriva v hranilnem gojišču s katerim smo omočili les pred izpostavitvijo.

Na osnovi merjenja lastnih frekvenc vzorcev smo določili vpliv delovanja gliv modrivk na modul elastičnosti lesa. Rezultati eksperimenta so pokazali, da se je pri vzorcih okuženih z modrivkama *Aureobasidium pullulans* in *Sclerophoma pithyophila* modul elastičnosti povečal. Sprememba oziroma povečanje modula elastičnosti je na vzorcih okuženih z glivo modrivko *Sclerophoma pithyophila* bolj izrazita, kot pri vzorcih okuženih z *Aureobasidium pullulans*. Slednje potrjuje dejstvo, da se je *Aureobasidium pullulans* slabše razvijala kot *Sclerophoma pithyophila*, kar je dobro razvidno iz barve površin vzorcev. Vzrok za povečanje modula elastičnosti je verjetno melanin, ki na nek način dodatno premreži lesno strukturo.

Z uporabo nihajne spektroskopije FTIR smo opazovali kemijske spremembe lesa vzorcev. Kemijskih sprememb iz primerjave spektrov neokuženih in okuženih vzorcev ni bilo moč zaznati.

Vzorci, ki so bili izpostavljeni delovanju glivi modrivki *Sclerophoma pithyophila*, so bili obarvani že po dveh tednih izpostavitve. Modrenje površine lesa se je nadaljevalo tudi v četrtem, šestem in osmem tednu delovanja glive. Na vzorcih izpostavljenih delovanju glivi modrivki *Aureobasidium pullulans* sprememba barve ni bila tako intenzivna. Pri tej skupini vzorcev se je opaznejša sprememba barve pokazala šele po četrtem tednu izpostavitve. Ti rezultati potrjujejo, da je gliva modrivka *Sclerophoma pithyophila* hitreje in bolje okužila les kot *Aureobasidium pullulans*.

Rezultati elementne analize (CNS) so pokazali, da je raven dušika v vzorcih okuženih z glivama modrivkama upadla, saj glive potrebujejo dušik za svojo rast pri sintezi aminokislin in proteinov (encimov).

Na podlagi rezultatov, ki podajajo vpliv gliv modrivk na spremembo mase in na mehanske lastnosti lesa lahko podamo trditev, da pomodrel les lahko brez težav uporabljamo za konstrukcijski les oziroma nosilne elemente, saj z nobeno izmed uporabljenih metod nismo določili relevantnih sprememb. Edina ovira pri uporabi pomodrelega lesa je estetski vtis.

6 POVZETEK

Tako v preteklosti kot tudi danes predstavljajo velik problem glive modrivke, ki razvrednotijo velike količine lesa. V glavnem velja prepričanje, da glive modrivke les samo obarvajo, s čimer ga estetsko razvrednotijo, medtem ko naj njeno delovanje ne bi vplivalo na mehanske lastnosti lesa. V diplomskem delu smo skušali to hipotezo ovreči oziroma potrditi.

Vzorci smo izdelali iz beljave rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.) in jih mehansko obdelali na dimenzije $0,5 \times 1,0 \times 20,0$ cm. Ob upoštevanju standarda SIST EN 152 smo vzorce izpostavili delovanju glivam modrivkam *Aureobasidium pullulans* (de Barry) Arnaud in *Sclerophoma pithyophila* (Corda) Hohn. Vzorcem, ki so bili v absolutno suhem stanju, smo pred in po izpostavitvi delovanju gliv modrivk z uporabo nedestruktivnih metod določili maso, modul elastičnosti, barvo in kemijske lastnosti lesa. Modul elastičnosti smo določili na osnovi lastnih frekvenc vzorcev, barvo vzorcev smo vrednotili z uporabo CIE – L^* , a^* , b^* sistema za numerično vrednotenje barve, kemijske spremembe lesa pa smo ugotavljali z uporabo nihajne spektroskopije FTIR. Ugotavljali smo tudi delež posameznih elementov v lesu z elementno analizo CNS, s katero smo določevali vsebnost ogljika in dušika.

Iz rezultatov analiz je razvidno, da delovanje gliv modrivk rahlo izboljša modul elastičnosti lesa, zniža delež dušika v lesu, medtem ko na kemijsko sestavo glavnih gradnikov lesa (lignin, celuloza, hemiceluloze) ni vpliva.

Modul elastičnosti se je na vzorcih, ki so bili izpostavljeni delovanju gliv modrivk, nekoliko povečal. Vzrok za spremembo oziroma povečanje modula elastičnosti predstavlja melanin, ki je premrežil strukturo lesa.

Z uporabo nihajne spektroskopije smo ugotovili, da glive modrivke nimajo vpliva na kemijske lastnosti lesa, saj so bili spektri neokuženega in okuženega lesa popolnoma primerljivi.

Po osem tedenski izpostavitvi so vzorci močno pomodreli, kar smo ovrednotili s CIE – L^* , a^* , b^* sistemom za numerično vrednotenje barve.

Eksperimentalni del smo zaključili z elementno analizo CNS, s katero smo dokazali vpliv delovanja gliv modrivk *Aureobasidium pullulans* in *Sclerophoma pithyophila* na delež dušika v vzorcih, pri čemer je se je ta v obeh primerih znižal.

Z upoštevanjem rezultatov oziroma spoznanj, ki smo jih dobili z analiziranjem vzorcev izpostavljenih delovanju glivam modrivkam menimo, da lahko pomodrel les v večjem obsegu uporabljamo kot konstrukcijski les oziroma za nosilne elemente.

Tukaj se pojavi tudi vprašanje, kako pomodrel les, ki je estetsko razvrednoten, razbarvati in mu s tem povečati njegovo vrednost, tako da ga bo možno uporabljati tudi na vidnih mestih in za bolj kakovostne izdelke.

7 VIRI

Benko R. 1987. Patologija lesa, lesna fitopatologija. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 122 str.

Bioversityinternational, *Pinus sylvestris* L.2004

http://www.biodiversityinternational.org/Networks/Euforgen/Distribution_Maps/Maps/Pinus%20sylvestris%20big.jpg

Bolker N.I., Somerville N.G. 1963. Infrared spectroscopy of lignins. Part II. Lignins in unbleached pulp. Pulp and paper Canada, 4, 4: 187 – 193

Butler M.J., Day A.W. 1998a. Destruction of fungal melanins by ligninases of *Phanerochaete chrysosporium* and other white rot fungi. Int. J. Plant Sci., 159: 989 – 995

Butler M.J., Day A.W. 1998. Fungal melanins: a review. Journal of Microbiology, 44: 1115 – 1136

Čepon M. 2006. Nedestruktivne metode določanja relevantnih gradacijskih lastnosti žaganega lesa. Dipl. delo. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 43 str.

Čufar K. 2002. Anatomija lesa. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 185 str.

Čufar K. 2001. Opisi lesnih vrst. Nerecenzirano študijsko gradivo. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 55 str.

Deacon J.W. 1997. Modern Mycology. London, Blackwell Publishing: 303 str.

Eaton R. A., Hale M.D.C., 1993. Wood decay, pests and protection. London, Chapman and Hall: 250 str.

Finnish Thermowood Association, 2003. Thermowood Handbook, 2003.
http://www.thermowood.fi/data.php/200312/795460200312311156_tw_handbook.pdf

Gadd G.M. 1993. Interactions of fungi with toxic metals. New Phytologist, 64, 2: 25 – 60

Harrington K.J., Higgins H.G., Michell A.J. 1964. Infra red spectra of *Eucalyptus regnans* F. Muell. and *Pinus radiata* D. Dan. Holzforschung, 18, 2: 108-113

Higuchi T. 1985. Biosynthesis and Biodegradation of Wood Components. USA, Academic Press: 679 str.

Hughes A.S. 1999. Studies on the fixation mechanisms, distribution and biological performance of copper based timber preservatives. Ph. D. thesis, London, Imperial College of Science, Technology and Medicine: 313 str.

Humar M., Pohleven F. 2005. Biotehnologija v lesarstvu = Biotechnology in wood industry. Les, 57, 11: 316-321

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

Liang C.Y., Bassett K.H., McGinnes E.A., Marchessault R.H. 1960. Infrared spectra of crystalline polysaccharides. VII Thin wood sections. Tappi, 43, 13: 1017-1024

Michell A.J. 1989. Second derivate FTIR spectra of woods. V: Wood and Cellulosic Chemistry. D.N.S. Hon (ur.), N. Shiraishi (ur.) New York, Marcel Dekker, Inc.: 3 - 395

Michell A.J., Wetson A.J., Higgins H.G. 1965. An infrared spectroscopic study of delignification of *Eucalyptus regnans*. Tappi, 48, 6: 520 – 532

- Mlakar J. 1985. Dendrologija: Drevesa in grmi Slovenije. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 38 – 41
- Novak D. 2005. Spremembe mehanskih in kemijskih lastnosti s Cu pripravki zaščitenega lesa. Dipl. delo. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo: 58 str.
- Pečenko G. 1987. Zaščita lesa v praksi. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije: 221 str.
- Pellerin R.F., Ross R.J. 2002. Nondestructive evaluation of wood. Madison, Forest products society: 210 str.
- Pohleven F., Tavzes Č. 2001. Drveni predmeti kulturne baštine – ugroženost i zaštita od gljiva. V: Preventivno konzerviranje i primarni konzervatorsko – restauratorski zahvati. Ludberg, 18-19 maj 2001. Zagreb, Hrvatski restauratorski zavod.
- Rayner A.D.M., Boddy L. 1995. Fungal Decomposition of Wood. Its Biology And Ecology. New York, John Wiley & Sons, Chichester: 587 str.
- Ruddick J.N.R., Xie C. 1995. Influence of the enhanced nitrogen in ammonical copper treated wood on decay by brown and white rot fungi. Material und Organismen, 29, 2: 93-104
- Sarkanen K.V., Cheang H.M., Ericsson B. 1967. Species variation in lignins. I. Infrared spectra of Guaiacyl and Syringyl models. Tappi, 50, 6: 572-575
- Schmidt O. 1994. Holz – und Bauenpilze. Berlin, Springer – Verlag: 246 str.
- Seifert K., 1968. Zur Systematik der Holz – fräulen Ihre Chemischen und Physikalischen Kennzeichen. Holz als Roh und Werkstoff, 26 , 6: 208 – 215

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

Takao S. 1965. Organic acid production by *basidiomycetes*, I. Screening of acid-producing strains. Applied Microbiology, 13, 12: 732-737

Tavzes Č. 2003. Proučevanje encimskih in neencimskih procesov razgradnje lesa. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 138 str.

Zhang J., Kamdem D.P. 2000. EPR analysis of copper amine treated southern pine. Holzforschung, 54, 4: 343-348

Walker J.C.F., Butterfiel B.G., Harris J.M., Langrish T.A.G., Uprichard J.M. 1993. Primary wood Processing; Principles and practice. London, Chapman & Hall: 121-151

Whittaker R.H. 1969. New concepts of kingdoms of organisms. Science, 163: 150-160

Wikipedija, Scots pine 2007

http://sl.wikipedia.org/wiki/Slika:ScotsPine_shoot.jpg