

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Blaž FABČIČ

**VPLIV ŠIRINE BRANIK HRASTOVINE
NA NARAVNO ODPORNOST PROTI GLIVAM
RAZKROJEVALKAM**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2008

POPRAVKI

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Blaž FABČIČ

**VPLIV ŠIRINE BRANIK HRASTOVINE NA NARAVNO
ODPORNOST PROTI GLIVAM RAZKROJEVALKAM**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**INFLUENCE OF RING-WIDTHS ON OAK-WOOD NATURAL
DURABILITY AGAINST DECAY FUNGI**

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2008

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

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Miha Humarja, za recenzenta pa prof. dr. Primoža Ovna.

Mentor: doc. dr. Miha Humar

Recenzent: prof. dr. Primož Oven

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Blaž Fabčič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*841
KG	hrastovina/širina branik/gostota/lesne glive/razkroj/izguba mase/FTIR
AV	FABČIČ, Blaž
SA	HUMAR, Miha (mentor)/OVEN, Primož (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. III/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2008
IN	VPLIV ŠIRINE BRANIK HRASTOVINE NA NARAVNO ODPORNOST PROTI GLIVAM RAZKROJEVALKAM
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP	XI, 77 str., 15 pregl., 42 sl., 53 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Hrastovino uvrščamo med najbolj trajne slovenske lesne vrste. V literaturi in tudi na osnovi praktičnih izkušenj smo opazili, da naravna odpornost hrastovine močno niha. Do sedaj je večina strokovnjakov naravno odpornost hrastovine povezovala z vsebnostjo ekstraktivov. Dokazali so, da imajo ekstraktivi velik vpliv na naravno odpornost, vendar samo s tem parametrom niso mogli pojasniti razlik glede obnašanja vzorcev. Da bi ugotovili, kako na odpornost hrastovine vpliva širina branik oziroma gostota, smo, v skladu s standardom SIST EN 113, izdelali vzorce iz hrastovih desk različnih širin branik in jih izpostavili 5 vrstam gliv. Vzorednim vzorcem smo določili delež ekstraktivov, dušika, lignina, kemijsko analizo (FTIR) in barvo. Iz gravimetrično določene izgube mase in mikroskopske analize razkrojenih vzorcev lahko sklepamo, da so bili hrastovi vzorci iz ozkih branik bolj dovzetni na glivni razkroj kakor vzorci iz srednje širokih in širokih branik. Odpornost hrastovine s povprečno širino branik 0,77 mm je primerljiva z naravno odpornostjo bukovine. Poleg tega naši rezultati potrjujejo, da je vpliv ekstraktivov na naravno odpornost hrastovine zelo pomemben.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	UDC 630*841
CX	oak wood/ring-width/density/wood fungi/decay/mass-loss/FTIR
AU	FABČIČ, Blaž
AA	HUMAR, Miha (supervisor)/OVEN, Primož (co-advisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. III/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2008
TI	INFLUENCE OF RING-WIDTHS ON OAK-WOOD NATURAL DURABILITY AGAINST DECAY FUNGI
DT	Graduation Thesis (University studies)
NO	XI, 77 p., 15 tab., 42 fig., 53 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	Oak-wood is considered as one of the most durable Slovenian domestic wood species. There were several reports about natural durability of products made of oak. In the past research on oak-wood durability, the most important factor influencing wood durability was assigned to extractives. It was proved that the extractives had a large influence on natural durability, nevertheless, just this parametre did not suffice to elucidate the differences regarding the behaviour of samples. To find out if oak-wood durability can also be affected by ring-widths or density, oak-wood specimens were prepared from boards with different ring-widths, and exposed to 5 different fungal species, according to the EN 113 standard procedure. In parallel, extractives, nitrogen, lignin content, chemical properties (FTIR), and colour of the specimens were determined as well. From gravimetrically determined mass losses, and microscopy analysis of decayed specimens, it can be resolved that oak wood specimens with the narrowest rings are more susceptible to fungal decay than specimens made of average or wide ring-widths. Durability of oak-wood with average rings width of 0.77 mm is comparable to durability of beech-wood. Furthermore, our results indicate that influence of extractives on wood durability is important as well.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	IX
Okrajšave in simboli	XI
1 UVOD	12
2 PREGLED LITERATURE	13
2.1 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA	13
2.2 GLIVE RAZKROJEVALKE	14
2.2.1 Splošni del	14
2.2.2 Delitev gliv glede na spremembo barve okuženega lesa	15
2.2.2.1 Rjava ali destruktivna trohnoba	15
2.2.2.2 Bela ali korozivna trohnoba	16
2.2.2.3 Mehka trohnoba ali soft rot	16
2.2.2.4 Glive modrivke	17
2.2.2.5 Glive plesni	18
2.2.3 V raziskavo vključene glive	19
2.2.3.1 Pisana ploskocevka (<i>Trametes versicolor</i>)	19
2.2.3.2 Bela hišna goba (<i>Antrodia vaillantii</i>)	20
2.2.3.3 Hrastova labirintnica (<i>Daedalea quercina</i>)	21
2.2.3.4 Ogljena kroglica (<i>Hypoxylon fragiforme</i>)	22
2.2.3.5 Dlakava slojevka (<i>Stereum hirsutum</i>)	23
2.2.4 Dejavniki, ki vplivajo na rast gliv	23
2.2.4.1 Hrana	23
2.2.4.2 Vlaga	24
2.2.4.3 Temperatura	25
2.2.4.4 Kisik	25
2.2.4.5 Svetloba	26
2.2.4.6 pH	26

2.2.4.7	Drugi vplivi	26
2.3	NARAVNA ODPORNOST (TRAJNOST) LESA	27
2.3.1	Razvrstitev lesa po naravni odpornosti	27
2.3.2	Razredi izpostavitve	27
2.3.3	Lastnosti lesa, ki vplivajo na odpornost lesa	29
2.4	ZNAČILNOSTI HRASTOVINE (<i>Quercus sp.</i>)	30
2.4.1	Opis lesa	30
2.4.2	Anatomski opis	31
3	MATERIALI IN METODE	33
3.1	IZBIRA MATERIALA	33
3.2	ANALIZA MATERIALA	34
3.2.1	Anatomska analiza hrastovine	34
3.2.2	Izračun poroznosti vzorcev – delež por	34
3.2.3	Elementna analiza hrastovine	34
3.2.4	Določanje ekstraktivov po Soxhletu	35
3.2.5	Določanje lignina po Klasonu	37
3.2.6	Določanje barve vzorcev	38
3.2.7	FT-IR analiza (nihajna spektroskopija)	39
3.3	IZPOSTAVITEV VZORCEV GLIVAM	40
3.3.1	Priprava hranilnega gojišča in inkulacija micelija	40
3.3.1.1	Priprava hranilnega gojišča	40
3.3.1.2	Sterilizacija in inkulacija	40
3.3.2	Priprava vzorcev in okužba z glivami	42
3.3.2.1	Priprava vzorcev za določanje naravne odpornosti	42
3.3.2.2	Okužba z glivami	42
3.3.3	Izguba mase po razkroju	43
3.3.4	Mikroskopska analiza razkrojenega lesa	44
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	45
4.1	ANALIZA HRASTOVINE	45
4.1.1	Širina branik, gostota in poroznost izbranih vzorcev	45
4.1.1.1	Širina branik	45
4.1.1.2	Širina branik in gostota lesa v absolutno suhem stanju	47
4.1.1.3	Širina branik in delež por (poroznost)	49

	4.1.2	Anatomska analiza hrastovega lesa	51
	4.1.3	Elementna analiza	53
	4.1.4	Določitev ekstraktivov po Soxhletu	54
	4.1.5	Vsebnost Klasonovega lignina	55
	4.1.6	Določitev barve hrastovega lesa	56
	4.1.7	FT – IR analiza	58
	4.2	IZPOSTAVITEV GLIVAM	59
	4.2.1	Izguba mase pri razkroju	59
	4.2.2	Mikroskopska analiza razkroja	64
5		SKLEPI	69
6		POVZETEK	71
7		VIRI	72

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Razvrstitev drevesnih vrst v 5 odpornostnih razredov	27
Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na mesto uporabe (SIST EN 335 – 1/2, 1992)	28
Preglednica 3: Odpornost lesa in razred izpostavitve (BS EN 460: 1994)	29
Preglednica 4: Karakteristike anatomskih elementov za hrast dob	32
Preglednica 5: Povprečna širina branik vzorcev, izdelanih iz različnih hrastovih desk	33
Preglednica 6: Glive razkrojevalke lesa, uporabljene v poizkusu	41
Preglednica 7: Povprečna širina branik vzorcev izdelanih, iz posameznih hrastovih desk	46
Preglednica 8: Povprečna širina branik in gostota lesa v absolutno suhem stanju za vzorce, izdelane iz posameznih hrastovih desk	49
Preglednica 9: Povprečna poroznost vzorcev [%], izdelanih iz hrastovih desk	50
Preglednica 10: Delež ogljika in dušika v hrastovih vzorcih	54
Preglednica 11: Delež ekstraktivov v hrastovih vzorcih	55
Preglednica 12: Delež lignina v vzorcih hrastovine z različno širokimi branikami	55
Preglednica 13: Vsebnost komponente L* (svetlost) v vzorcih hrastovine	56
Preglednica 14: Izguba mase po 16 tedenski izpostavitvi glede na vrsto glive, izbrano desko in širino branik	61
Preglednica 15: Prisotnost gliv v anatomskih elementih po izpostavitvi vzorcev glede na širino branike	65

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Prikaz lesa, razkrojenega z glivami rjave trohnobe	15
Slika 2: Prikaz lesa, razkrojenega z glivami bele trohnobe	16
Slika 3: Anatomija poškodb, ki jih v lesu povzročajo glive mehke trohnobe	17
Slika 4: Smrekovi hlodi, okuženi z glivami modrivkami	18
Slika 5: Obarvanje lesa zaradi delovanja gliv plesni	18
Slika 6: Trosnjaki pisane ploskocevke	19
Slika 7: Rizomorfi bele hišne gobe	21
Slika 8: Klobuki hrastove labirintnice iz ptičje in žabje perspektive	22
Slika 9: Trosišča ogljene kroglice	22
Slika 10: Trosišča dlakave slojevke	23
Slika 11: Prečni prerez hrastovine	31
Slika 12: Prečni prerez hrastovine, posnete s svetlobnim mikroskopom	32
Slika 13: Vzorci za okužbo z glivami in za kemijske raziskave	33
Slika 14: Mlinček za mletje lesenih delcev - IKA	35
Slika 15: Skica Soxhlet-ove aparature	36
Slika 16: Kuhanje reakcijske zmesi v digestoriju(levo) in lignin na filtrirnem papirju po izpiranju in sušenju (desno)	37
Slika 17: Barvni koordinatni sistem po CIE L* a* b* sistemu	38
Slika 18: Perkin Elmer FT-IR Spectrum ONE spektrometer	39
Slika 19: Avtoklav (levo) in brezprašna komora (desno)	41
Slika 20: Rastna komora (levo) in vzorci v rastni komori (desno)	43
Slika 21: Elektronska tehtnica SARTORIUS	44
Slika 22: Porazdelitev širine branik vzorcev, izdelanih iz štirih različnih hrastovih desk	46
Slika 23: Povezanost med gostoto lesa v absolutno suhem stanju in širino branik, pri preučevanih vzorcih	47
Slika 24: Porazdelitev gostote vzorcev, izdelanih iz hrastovih desk z različno širino branik	48
Slika 25: Povezava med poroznostjo in širino branik	49
Slika 26: Korelacija med gostoto lesa (ρ_0) in poroznostjo za proučevano hrastovino	50
Slika 27: Prečni prerez hrastovine z ozkimi branikami iz deske Hrast 1	51
Slika 28: Prečni prerez hrastovine srednje širokih branik iz deske Hrast 2	52
Slika 29: Prečni prerez hrastovine srednje širokih branik iz deske Hrast 3	52

Slika 30: Prečni prerez hrastovine s širokimi branikami iz deske Hrast 4	53
Slika 31: Povezava med širino branik in svetlostjo hrastovine	57
Slika 32: FT – IR spektra hrastovine s širokimi (rdeča črta) in ozkimi (črna črta) branikami	58
Slika 33: Povprečne izgube mase hrastovih vzorcev, izražene relativno [%] in absolutno [g], po 16 tedenski izpostavitvi petim glivam razkrojevalkam	60
Slika 34: Izguba mase hrastovine, izražena relativno [%] in absolutno [g], po 16 tedenski izpostavitvi glede na vrsto glive	60
Slika 35: Delež izgube mase [%] po 16 tedenski izpostavitvi glede na vrsto glive in širino branike	62
Slika 36: Primerjava izgube mase med Hrastom 1 (ozke branike) in bukvijo glede na izbrano glivo	63
Slika 37: Prečni prerez hrastovine iz deske Hrast 3, ki jo je kolonizirala hrastova labirintnica. Hife se nahajajo v lumnih celic	65
Slika 38: Prečni prerez hrastovine, ki jo je razkrojila ogljene kroglice. Vzorec je iz deske Hrast 3	66
Slika 39: Prečni prerez hrastovine, ki jo je razkrojila ogljena krogeljica. Vzorec je iz deske Hrast 2. Delež ekstraktivov v tem vzorcu je bil večji kot v lesu Hrasta 3 (slika 38)	66
Slika 40: Prečni prerez razkrojene hrastovine iz deske Hrast 4. Uporabljena gliva je bila bela hišna goba	67
Slika 41: Prečni prerez hrastovine z razkrojem, ki ga je povzročil bela hišna goba. Vzorec je vzet iz skupine Hrast 1	67
Slika 42: Prečni prerez razkroja vzorca iz deske Hrast 1, izpostavljenega dlakavi slojevki	68

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

sp.	<i>Species</i> - vrsta
ρ_0	gostota lesa v absolutno suhem stanju
u	vlažnost lesa
R^2	število med 0 in 1, ki razkriva, kako blizu so omenjene vrednosti trendne črte dejanskim podatkom
IR	infrardeča svetloba
DNK	deoksiribonukleinska kislina
FT-IR	infrardeča spektroskopija s Fourierjevo transformacijo
Hrast 1	vzorci iz prve deske
Hrast 2	vzorci iz druge deske
Hrast 3	vzorci iz tretje deske
Hrast 4	vzorci iz četrte deske
STH	dlakava slojevka (<i>Stereum hirsutum</i>)
DQ	hrastova labirintnica (<i>Daedalea quercina</i>)
HF	ogljena kroglica (<i>Hypoxylon fragiforme</i>)
PV	bela hišna goba (<i>Androdia vaillanti</i>)
TV	pisana ploskocevkica (<i>Trametes versicolor</i>)

1 UVOD

Les je sekundarni ksilem, to je vaskularno (prevajalno) tkivo golosemenk in dvokaličnic, ki nastaja z delitvijo celic v kambiju (sekundarnem lateralnem meristemu) v centripetalni smeri (Gorišek in sod., 1994). Kot konstrukcijski, gradbeni in dekorativni material se od ostalih razlikuje po svoji lepoti in vsestranski uporabnosti. Podobno kot ostali naravni materiali je izpostavljen različnim abiotičnim in biotičnim dejavnikom razgradnje. Najpomembnejši biotski škodljivci so insekti in glive, vendar pomen gliv v našem podnebnem pasu presega pomen insektov. V naravi je razkroj lesa nujno potreben, za gospodarsko uporabo pa je ta proces prehiter in nezaželen, zato ga želimo preprečiti ali vsaj upočasniti.

Les večine slovenskih drevesnih vrst (smreka, jelka, bukev...) je neodporen, zato skušamo trajnost takšnega lesa podaljšati s kemično zaščito. Seveda pa se moramo zavedati, da lahko biocidi onesnažujejo okolje in škodljivo delujejo tudi na človeka, zato imajo nekemični ukrepi vedno prednost pred kemičnimi. Ena od alternativ kemični zaščiti lesa je uporaba drevesnih vrst z večjo naravno trajnostjo. Ker je uporaba tropskih lesnih vrst zaradi okoljskih razlogov vse manj zaželena, se ponovno uveljavljajo tudi domače naravno odporne lesne vrste. V Sloveniji in večjem delu Evrope imamo na voljo le majhno število odpornih lesnih vrst. Poleg kostanjevine in lesa robinje v to skupino spada tudi les hrasta (*Quercus sp.*).

V literaturi in tudi na podlagi praktičnih izkušenj smo opazili, da naravna odpornost hrastovine močno niha. Do sedaj je večina strokovnjakov naravno odpornost hrastovine povezovala z vsebnostjo ekstraktivov. Dokazali so, da imajo ekstraktivi velik vpliv na naravno odpornost, vendar samo s tem parametrom niso mogli pojasniti vse variabilnosti. Namen te diplomske naloge je osvetliti, kateri dejavniki poleg ekstraktivov še vplivajo na naravno trajnost hrastovine. Cilj diplomske naloge je določiti vpliv širine branik hrastovine in posledično tudi njene gostote na naravno odpornost proti glivam razkrojevalkam.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA

Les kot organski material zaradi delovanja biotičnih in abiotičnih dejavnikov razpada v anorgansko snov. Ti dejavniki so v naravi nujno potrebni, ker bi se brez njihovega delovanja organska snov kopičila in onemogočala rast rastlin, ki za svoj obstoj potrebujejo prostor in hranila.

Les ogrožajo različni biotski dejavniki. Najpomembnejši so glive, insekti, bakterije. V našem podnebnem pasu glive povzročajo bistveno več škode kot insekti oziroma bakterije. Ponavadi je delovanje gliv bistveno hitrejše kot delovanje insektov. Glive še posebej pogosto razkrajajo les na prostem, poškodbe insektov pa so pogostejše v pokritih prostorih.

Delitev dejavnikov razkroja lesa (Kervina-Hamović, 1990; Jecl, 2005):

- Abiotični (visoke in nizke temperature, veter, voda, vlaga, UV - žarki, kemikalije, plini) so dejavniki nežive narave in delujejo na mehanske in fizikalne lastnosti lesa relativno počasi. Med največje uničevalce lesa spada ogenj, ki pri nas in v svetu še vedno uniči ogromne količine lesa.
- Med biotične dejavnike (dejavnike žive narave) prištevamo bakterije, glive, insekte, morske škodljivce in človeka; med najpomembnejše biotične škodljivce v našem podnebnem pasu uvrščamo glive. Razkroj lesa z lesnimi škodljivci je zapleten biološki proces in za učinkovito zaščito je nujno potrebno poznavanje posameznih lesnih škodljivcev, biokemijskih procesov razkroja in sprememb, ki pri tem nastajajo.

Do bistveno večjega učinka razgradnje lesa pride ob sočasnem delovanju večjega števila dejavnikov.

Pečenko (1987) vzroke za nastanek poškodb na lesu deli na vremenske vplive, vplive bioloških škodljivcev, toplotne vplive in kemijske vplive.

2.2 GLIVE RAZKROJEVALKE

Glive razkrojevalke povzročajo v lesu številne kemične in fizikalne spremembe, zaradi česar les izgublja naravne lastnosti. Te spremembe se najprej kažejo v spremembi barve lesa, v končni fazi pa ta pojav vodi do degradacije, ki jo imenujemo trohnoba. Hitrost in intenziteta razkroja sta odvisni predvsem od vrste gliv in vrste lesa (Kervina-Hamović, 1990).

2.2.1 Splošni del

Glive so bile dolgo časa razvrščene v rastlinsko kraljestvo, saj so jih smatrali za nižje rastline. Leta 1969 pa jih je Whittaker uvrstil v samostojno kraljestvo (Charlie in Watkinson, 1994). Glive se od rastlin ločijo predvsem po tem, da nimajo klorofila in zato niso sposobne s fotosintezo pridobivati hrane.

Splošna sistematika gliv obsega okoli 100.000 vrst, ocenjujejo pa, da je poleg opisanih še 1.000.000 neopisanih vrst (Pečenko, 1987). Najdemo jih v vseh ekosistemih, tako na kopnem, v vodi in v zraku (spore) (Eaton in Hale, 1993).

Glive so sestavljene iz prehranjevalnega in razmnoževalnega dela. Prehranjevalni del sestavljajo neorganiziran splet nitk ali hif, ki tvorijo micelij ali podgobje. Skozi podgobje glive črpajo hrano in vodo ter se širijo na še neokužen les. Ko gliva akumulira dovolj hrane se lahko iz micelija razvije razmnoževalni del ali trosnjak, ki ob dozoritvi sprosti trose v ozračje. Drugi način razširjanja gliv pa je z rizomorfi, kar nekateri imenujejo kloniranje.

Kraljestvo gliv razvrščamo v pet razredov, z vidika razgradnje lesa pa so pomembni predvsem naslednji trije (Gorše, 2005):

- Ascomycotina (zaprtotrosnice),
- Basidiomycotina (prostotrosnice) in
- Deuteromycotina ali Fungi imperfecti (nepopolne glive).

Glive razkrojevalke lahko delimo na več načinov. Ena izmed najbolj razširjenih delitev je glede na spremembo barve okuženega lesa, in sicer:

- glive, ki povzročajo rjavo trohnobo,
- glive, ki povzročajo belo trohnobo,
- glive modrivke,
- glive plesni.

2.2.2 Delitev gliv glede na spremembo barve okuženega lesa

2.2.2.1 Rjava ali destruktivna trohnoba

Glive, ki povzročajo rjavo trohnobo, označujemo za prave razkrojevalke lesa in spadajo v pododdelek *Basidiomycotina*. Pogostejše okužijo les iglavcev kot listavcev, kjer razgrajujejo celulozo in hemicelulozo, medtem ko ostane lignin skoraj nerazkrojen. Med razkrojem se spremeni tudi njegova struktura. Les, zaradi prebitka oksidirane lignina, postane rdečkasto rjave do temno rjave barve. Najpogostejše vrste, ki povzročajo rjavo trohnobo so: bele hišne gobe (*Antrodia sp.*), kletna goba (*Coniophora puteana*), siva hišna goba (*Serpula lacrymans*), luskasta nazobčanka (*Lentinus lepideus*) in tramovki (*Gloeophyllum trabeum* in *Gloeophyllum saepiarium*) (Eaton in Hale, 1993; Humar in Pohleven, 2000).



Slika 1: Prikaz lesa, razkrojenega z glivami rjave trohnobe

2.2.2.2 Bela ali korozivna trohnoba

Glive, ki povzročajo belo trohnobo, so eden redkih organizmov, ki so sposobni celotne razgradnje lignina. Zaradi tega les postaja vse svetlejši in se začne vlaknasto cepiti. Na mikromorfološki in kemični stopnji bi lahko ločili glive povzročiteljice bele trohnobe ter glive povzročiteljice tako imenovane "sočasne trohnobe". Glive bele trohnobe razgradijo najprej lignin in hemicelulozo, medtem ko povzročiteljice sočasne trohnobe hkrati v enakem obsegu razgradijo lignin, hemicelulozo in celulozo (Eaton in Hale, 1993). Glive povzročiteljice bele trohnobe pogosteje okužijo les listavcev kot les iglavcev. Med najpogostejšimi so: pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*), grbasta ploskocevka (*Trametes gibbosa*), kosmata ploskocevka (*Trametes hirsuta*), dlakava slojevka (*Stereum hirsutum*), škrlatnordeča slojevka (*Chondrostereum purpureum*), pahljačica (*Schizophyllum commune*) in štorovka (*Armillariella mellea*).

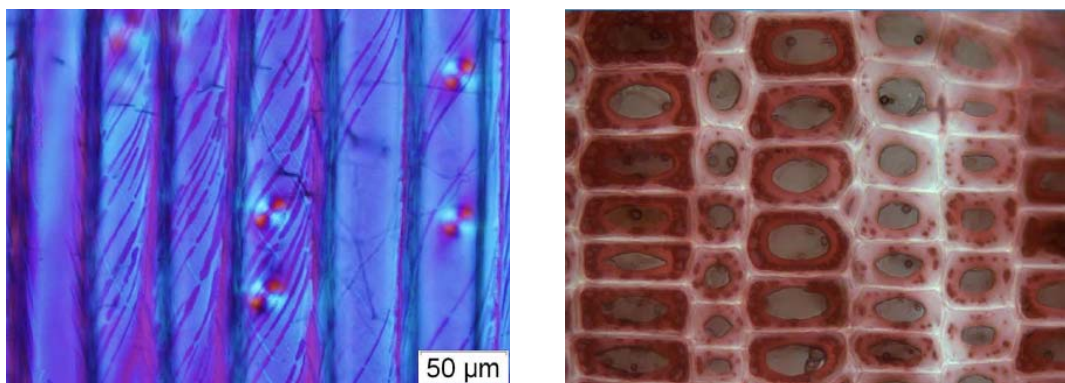


Slika 2: Prikaz lesa, razkrojenega z glivami bele trohnobe

2.2.2.3 Mehka trohnoba ali soft rot

Glive, povzročiteljice mehke trohnobe, so specifična oblika rjave trohnobe. Povzročiteljice navadno razvrščamo v skupino zaprtotrošnic (Ascomycotin) in skupino nepopolnih gliv (Fungi imperfecti). Hranijo se predvsem s celulozo in hemicelulozo, redkeje pa tudi z ligninom (Schmidt, 2006). Okužba se pojavi, kadar zaradi različnih dejavnikov (previsoke vlažnosti, slabih zračnih pogojev) okužba bolj aktivnih in tekmovalnih gliv iz skupine

Basidiomycotin ni mogoča (Eaton in Hale, 1993). Površina okuženega lesa je mehka in izrazito temne barve (kadar je les moker). Pri suhem lesu se pojavijo podobne razpoke kot pri rjavi trohnobi, le da so bolj plitke; notranjost lesa ostane nepoškodovana. Nekateri predstavniki gliv, ki povzročajo mehko trohnobo so: *Cheatomium globosum*, *Lecythophora hoffmannii*, *Monodictys putredinis*...



Slika 3: Anatomija poškodb, ki jih v lesu povzročajo glive mehke trohnobe (Byördal Charlotte)

2.2.2.4 Glive modrivke

Glive modrivke povzročajo globinsko obarvanje beljave iglavcev (smreka, bor) in listavcev (topol, breza, lipa). Trosi gliv modrivk se razvijejo le, če padejo direktno na beljavo, ali če jih določeni insekti (predvsem podlubniki) vnesejo v les. Modrivke se hranijo s škrobom, beljakovinami in sladkorji iz parenhimskih celic, zato ne vplivajo na mehanske lastnosti lesa (Vek, 2007).



Slika 4: Smrekovi hlodi, okuženi z glivami modrivkami

2.2.2.5 Glive plesni

Glive plesni povzročajo le površinsko obarvanje lesa v najrazličnejših barvah (črna, modra, zelena, rdeča, rožnata in siva). Značilna je tudi oblika in globina obarvanih madežev. Obarvanja, ki nastanejo zaradi plesni, so največkrat neenakomerno pikčasta, pegasta ali razporejena v madežih. Le redko se zgodi, da bi bila obarvana celotna površina lesa. Plesni ne predstavljajo velike ekonomske škode, saj je les tudi po njihovi okužbi še vedno uporaben. Z brušenjem ali skobljanjem lesa se lahko madeži delno ali v celoti odstranijo (Schmidt, 2006).



Slika 5: Obarvanje lesa zaradi delovanja gliv plesni

2.2.3 V raziskavo vključene glive

Pri eksperimentalnem delu diplomske naloge smo uporabili pet različnih gliv razkrojevalk, ki povzročajo belo ali rjavo trohnobo. Podrobneje so opisane v naslednjih podpoglavjih.

2.2.3.1 Pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*)

Ta gliva sodi med najbolj razširjene vrste na svetu. Srečamo jo predvsem na lesu listavcev (hrast, bukev, kostanj, robinja), redkeje pa na iglavcih (smreka, bor). Zelo pogosto jo najdemo na štorih, jamskem lesu, pragovih, ograjah in drogovih. Zanj je značilna zelo hitra razgradnja bukovega lesa.

Trosnjaki so najpogostejše konzolasti, različnih barv (beli, rumeni, rjavi, rdečkasti, sivkasti, črni). Z zgornje strani so drobno dlakavi v izrazitih pasovih. Enoletni so ponavadi kožasti in tanki do 1mm.

Optimalna temperatura za rast je 30 °C maksimalna pa 38 °C. Gliva je odporna proti dolgotrajni suši in visokim temperaturam.

Pisana ploskocevka povzroča tipično belo trohnobo in okužuje predvsem bukovino. V začetku okužbe dobiva les bele pege, pozneje pa postane popolnoma bel in lahek. Gliva razgrajuje lignin in deloma celulozo (Benko in sod., 1987).



Slika 6: Trosnjaki pisane ploskocevke

2.2.3.2 Bela hišna goba (*Antrodia vaillanti*)

Belo hišno gobo najdemo predvsem v severni in srednji Evropi. Okužuje vlažen les iglavcev, redkeje listavcev. Pojavlja se kot razkrojevalka lesa v stiku z zemljo.

Na okuženem lesu se na trebušni strani pojavi belo podgobje, ki se širi kot »ledene rože« na oknih v zimskem času. Iz podgobja se razvijejo beli rizomorfi, ki so lahko debeli do 4 mm in ostanejo beli in prožni tudi ko goba ostari. Trosnjaki so različno veliki in se priraščajo na les kot blazinice. Na vodoravni površini je trosovnica obrnjena navzgor. Barva trosnjakov se s starostjo spreminja od belih v mladosti do rumenkastih ali rdečkastih v starosti. Bela hišna goba raste najintenzivneje pri temperaturi 27 °C in pri okoli 40 % vlažnosti lesa. Ob optimalnih pogojih zraste tudi do 12,5 mm na dan. Gliva zelo dobro prenaša izsušitev, saj lahko po 5 letih sušnega obdobja ponovno začne rasti, če vlažnost lesa doseže 40 % (Unger in sod., 2001).

Bela hišna goba povzroča rjavo destruktivno trohnobo. Okužen les zelo hitro izgublja upogibno trdnost. Udarna trdnost se močno zmanjša že takrat, ko komaj zaznamo izgubo mase (Benko in sod., 1987).

Ena izmed najbolj zanimivih lastnosti bele hišne gobe je, da so številni sevi te glive odporni na bakrove pripravke. Ta lastnost nam povzroča težave v praksi, po drugi strani pa lahko belo hišno gobo uporabimo tudi v biotehnoloških procesih razstrupljanja odsluženega lesa, zaščitenege z bakrovimi pripravki (Amartey in sod., 2003).



Slika 7: Rizomorfi bele hišne gobe

2.2.3.3 Hrastova labirintnica (*Daedalea quercina*)

Hrastova labirintnica je ena redkih gliv, ki povzroča rjavo trohnobo tudi na listavcih in je tipična razkrojevalka jedrovine. Najdemo jo predvsem na hrastovini, ki se nahaja v tretjem in četrtem razredu izpostavitve. Ker razkraja predvsem hrastovino, ki se uporablja za izdelke z višjo dodano vrednostjo, je škoda, ki jo povzroča, pogosto zelo velika. Povzroča tipično rjavo, prizmatično trohnobo. Okužen les sprva posivi in šele nato dobi rjav odtenek. Optimalni pogoji za rast so pri 23 °C in lesni vlažnosti 40 %. Temperaturni razpon, v katerem uspeva, pa je od 5 °C – 30 °C (Unger in sod., 2001).

Površinskega micelija na okuženem lesu ni videti. V razpokah se včasih pojavijo rumenkaste, skoraj bele zaplate micelija. Plodišče je konzolne oblike, relativno veliko, z dobro razvidnimi prirastnimi plastmi, neenakomerne rjavo-sive barve. Spodnja stran plodišča je rumeno-drap barve, z izrazitimi lamelami, ki spominjajo na labirint. Debelina posameznih lamel je 1-1,5 mm. Po teh izrazitih lamelah je dobila ime labirintnica. Na korenu trosišča so lamele zelo kratke, v nekaterih primerih so celo okrogle. Plodišče je večletno in je lahko aktivno celo 10 let. Labirintnica sprošča elipsoidne spore, ki so na eni strani sploščene. Hife so prozorne z izrazitimi zaponkami.



Slika 8: Klobuki hrastove labirintnice iz ptičje in žabje perspektive

2.2.3.4 Ogljena kroglica (*Hypoxylon fragiforme*)

Ogljena kroglica je ena redkih vrst gliv, ki povzroča belo trohnobo in spada med zaprtotrošnice. Je zelo pogost primarni saprofit bukve in drugih listavcev. Na lesu povzroča piravost, to je netipična bela mozaična trohnoba oz. temnenje lesa v pasovih, ki so med seboj ločeni s temnimi črtami. Trošnjake tvori v hemisferičnih do skoraj hemičnih stomah, ki imajo obliko čvrstih, trdnih kroglic, premera 2 mm – 7 mm (Vesel Tratnik, 1994).



Slika 9: Trošišča ogljene kroglice

2.2.3.5 Dlakava slojevka (*Stereum hirsutum*)

Dlakava slojevka povzroča belo trohnobo. Najdemo jo predvsem na beljavi, lahko pa okuži tudi jedrovino in povzroči trohnobo nepravilnih oblik na lesu listavcev. Zanimiva je predvsem kot razkrojevalka hrastove beljave, lahko pa jo najdemo tudi na bukvi in drugih listavcih. Optimalna temperatura za razvoj glive je okrog 10 °C, maksimalna pa do 35 °C. Raste tudi pri nizkih temperaturah nad 0 °C. Gliva je zelo občutljiva na pomanjkanje kisika. V lesu se nahaja, če je vlažnost lesa višja od 35 % (Benko in sod., 1987).



Slika 10: Trosišča dlakave slojevke

2.2.4 Dejavniki, ki vplivajo na rast gliv

Pri razkroju lesa z glivami so zelo pomembni nekateri fizikalni in kemijski dejavniki, kot so hrana, vlaga, temperatura, zrak, svetloba in pH. Če kateri izmed naštetih dejavnikov ni ustrezen, prične gliva hirati in kmalu zatem lahko tudi odmre (Pečenko, 1987).

2.2.4.1 Hrana

Glive so heterotrofni organizmi, ki se hranijo z organskimi snovmi (Pohleven in Petrič, 1992). Preživljajo se lahko na račun živih organizmov - kot zajedavke (paraziti), simbionti (mikoriza), ali pa se hranijo z razkrojem mrtvih organizmov kot gniloživke (saprofiti).

(Benko in sod., 1987). Same niso sposobne sintetizirati organskih snovi za samostojno prehranjevanje, zato hife v celičnih lumnih izločajo encime in nizkomolekularne spojine, ki razkrajajo celično steno, zaradi česar se začne celična stena tanjšati in s tem izgubljati svoje lastnosti (Green in Higley, 1997). Te produkte nato posrkajo vase in uporabijo za rast in razmnoževanje.

Glive lahko pri okužbi lesa prodrejo v lumne celic preko celičnih sten (mehansko) ali pa s procesom razgradnje. V začetnih fazah razkroja hife prodirajo iz celice v celico preko pikenj, prevajalnih elementov in parenhimskih celic. Kasneje si z razgradnjo celične stene same ustvarjajo prehode (Eaton in Hale, 1993). V splošnem velja, da je razkroj celične stene bolj kemičen, kot pa mehanski proces. Razgradnja celične stene zmanjša trdnost, spremeni obliko in poslabša dimenzijsko stabilnost celice. Različne glive lahko razkrajajo celulozo, lignin, hemicelulozo, aromatske in druge snovi (Schmidt, 1994).

Določene glive se lahko specializirajo za razkroj samo ene drevesne vrste (hrast, breza, bor) (Eaton in Hale, 1993).

2.2.4.2 Vlaga

Lesne glive se, z izjemo sive hišne gobe (*S. lacrymans*), 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, pride do pojava plazmolize (prehajanje vode iz hif v les) kar povzroči odmiranje gliv. Razvoj gliv preprečuje tudi previsoka vlažnost, saj je z vodo prepojen les zaščiten pred lesnimi glivami (Walker in 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 lesih 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 %, za spore pa 92 % do 95 %. 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).

2.2.4.3 Temperatura

Temperaturno območje, v katerem so se lesne glive sposobne razvijati, se giblje od 3 °C pa vse do 45 °C. Temperaturni optimum 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).

2.2.4.4 Kisik

Na splošno ne poznamo vrst, ki bi se lahko razvijale v lesu brez kisika, torej je slednji nujen za uspešen razvoj gliv. Količina kisika, ki ga lesne glive potrebujejo za svoj razvoj, je odvisna od velikosti zračnega prostora celic in od hitrosti širjenja kisika 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 (Schmidt, 2006).

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).

2.2.4.5 Svetloba

Svetloba ima največji vpliv na oblikovanje reproduktivnih struktur in na metabolizem gliv. Vpliv svetlobe na posamezne organizme je odvisen od dolžine trajanjasevanja, 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).

2.2.4.6 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).

2.2.4.7 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 sosednjih gliv (Gadd, 1993). Schmidt (2006) govori o sinergijskem delovanju med določenimi glivami. Poleg tega omenja tudi vpliv sile gravitacije na izbrano glivo, njen psihološki profil in dedovanje preko DNK strukture.

2.3 NARAVNA ODPORNOST (TRAJNOST) LESA

2.3.1 Razvrstitev lesa po naravni odpornosti

Naravna odpornost lesa je lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in označuje dovzetnost na škodljivce (Pečenko, 1987; Pohleven, 2005). Trajnost lesa je obdobje, v katerem les ohrani vse svoje naravne lastnosti. Odvisna je od naravne odpornosti lesa ter mesta in načina uporabe (Pohleven, 2005).

Glede na naravno odpornost razvrstimo lesne vrste v 5 razredov (Eaton in Hale 1993; SIST EN 350-2, 1995).

Preglednica 1: Razvrstitev drevesnih vrst v 5 odpornostnih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v 5. razred odpornosti.

Razred odpornosti		Trajnost lesa (leta)*	Izguba mase [%]**	Drevesna vrsta
zelo odporne	1	20+	<1	robinja (1-2), iroko, tik
odporne	2	15-20	1-5	kostanj, dob, tisa
zmerno odporne	3	10-15	5-10	oreh, macesen, bor (3-4), duglazija
neodporne	4	5-10	10-30	smreka, jelka, brest
zelo občutljive	5	<5	>30	javor, breza, gaber, lipa, topol, bukev

* Trajnost lesa velja za les v stiku z zemljo.

** Laboratorijski pogoji: 16 tednov, 22 °C (po SIST EN 113, 1995).

2.3.2 Razredi izpostavitve

Seveda pa trajnost lesa ni odvisna le od naravne odpornosti posamezne lesne vrste. Vsi vemo, da lahko violina, izdelana iz neodporne smrekovine, zdrži dlje časa kot hrastovi koli v zemlji. V praksi pravimo, da so koli bolj ogroženi, kot violina, zato moramo za izdelavo teh dveh izdelkov uporabiti različne materiale in postopke zaščite, da lahko dosežemo primerljivo trajnost. Da bi se znali lažje odločiti za primeren postopek zaščite, so evropski

strokovnjaki lesene izdelke razvrstili v pet različnih razredov izpostavitve glede na njihovo ogroženost.

Največji vpliv na trajnost lesa (v okviru iste drevesne vrste) imata mesto in način uporabe. Tako glede na mesto uporabe ločimo pet evropskih razredov izpostavitve (SIST EN 335 – 1/2, 1992) (preglednica 2).

Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na mesto uporabe (SIST EN 335 – 1/2, 1992)

Razred izpostavitve	Mesto uporabe	Vlažnost lesa (u)	Izdelki
I	nad tlemi, pokrito, suho	pod 20 %	pohištvo
II	pokrito, nad tlemi, nevarnost močenja	občasno nad 20 %	stavbno pohištvo
III	nad tlemi, nepokrito, pogosto močenje	pogosto nad 20 %	vrtno pohištvo
IV	v tleh ali vodi, stalno vlažno	stalno nad 20 %	koli, pragovi
V	v morski vodi	stalno nad 20 %	piloti

Les v prvem razredu izpostavitve ogrožajo le insekti in potencialno termiti, medtem ko ga v višjih razredih vedno bolj ogrožajo tudi glive (SIST EN 335 – 1/2, 1992), z izjemo petega razreda, kjer pa je izpostavljen le delovanju morskih škodljivcev.

Iz preglednice 3 je razvidno, v katerem razredu izpostavitve je potrebno les z določeno naravno trajnostjo zaščititi. Na primer, v kolikor želimo uporabiti robinjo v stiku z zemljo, nam je ni potrebni zaščititi, če pa bi želeli v istem razredu izpostavitve uporabiti hrastovino, bi jo v določenih pogojih morali zaščititi.

Preglednica 3: Odpornost lesa in razred izpostavitve (BS EN 460: 1994)

		Razred odpornosti				
		1	2	3	4	5
Razred izpostavitve	I					
	II					
	III					
	IV					
	V					



Ni potrebe po dodatni zaščiti lesa.



V redkih primerih je potrebno zaščititi les.



Zaščita lesa je odvisna od drevesne vrste, poroznosti in končne uporabe.



Naravna odpornost navadno ne zadostuje.



Vedno zaščitimo les.

2.3.3 Lastnosti lesa, ki vplivajo na odpornost lesa

Odpornost je v veliki meri 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).

Guilley in sod. (2004) navajajo, da ekstraktivi navadno res vplivajo na naravno trajnost lesa, vendar je njihov vpliv v nekaterih primerih presenetljivo majhen in je odvisen tako od drevesne vrste kakor tudi od vrste glive.

2.4 ZNAČILNOSTI HRASTOVINE (*Quercus sp.*)

2.4.1 Opis lesa

Opis se nanaša na naši najpomembnejši komercialni vrsti hrasta: dob (*Quercus robur*) in graden (*Quercus petraea*).

Hrast je venčastoporozna drevesna vrsta z obarvano jedrovino (črnjavo), ki se ostro loči od beljave. Beljava je navadno ozka (2,5 do 5 cm) in rumenkasto bela. Jedrovina je svetlo rjava in na svetlobi potemni. Letnice so izrazite. Kot pri vseh venčastoporoznih listavcih se traheje na prečnem prerezu pojavljajo kot grobe, s prostim očesom dobro vidne pore, na vzdolžnih prerezi pa kot žlebiči. Zaradi venčaste razporeditve trahej tangencialna površina izkazuje karakterističen plamenast videz, radialna pa progastega. Traheje kasnega lesa so bistveno manjše in včasih komajda razločne. Osnovno tkivo so v tangencialni smeri izmenjajoči se kompleksi libriformskih vlaken in vazicentričnih ter vaskularnih traheid. Oba tipa traheid se vedno nahajata ob trahejah. Traheje kasnega lesa so razporejene radialno, skupaj s traheidami osnovnega tkiva, na prečnem prerezu pa tvorijo s prostim očesom vidna svetlejša polja. Traheje jedrovine so navadno otiljene. Poleg zelo finih (enorednih), se v enakomernih presledkih pojavljajo tudi zelo široki (pogosto nad 1 mm) in do 1 cm visoki trakovi, ki se na tangencialnih površinah vidijo kot dolge svetle proge, na radialnih pa kot izrazita zrcala. Aksialen parenhim, ki pogosto tvori zelo fine tangencialne nize, je na prečnem prerezu viden samo z lupo. Svež les ima nekoliko kiselkast vonj.

Les je gost in trd. Gostota zelo niha v odvisnosti od rastišča, rastnih posebnosti in starosti. Širše kot so branike, gostejši, trdnější in trši je les, nasprotno pa je les z ožjimi branikami redkejši in mehkejši. V širokih branikah naraste delež kasnega lesa s pretežno debelostenimi vlakni, kar se pokaže v višji gostoti in trdnosti. Širina branike oz. delež ranega (ali kasnega) lesa bistveno vpliva na gostoto in s tem na njegovo primernost za različne vrste končne uporabe.



Slika 11: Prečni prerez hrastovine. Tudi s prostim očesom je v braniki mogoče razpoznati izmenjujoče plasti libriformskih vlaken (temni deli) in traheid s trahejami kasnega lesa (svetli deli).

Glede na kvaliteto lesa v praksi govorimo o »mehkem« in »trdem« hrastu. »Mehak les« imajo navadno starejša, počasneje rastoča drevesa, z branikami širokimi od 1 mm – 2 mm. »Trd« les imajo mlajša do srednje stara drevesa s širinami branik nad 3 mm. Zanje je značilna tudi nekoliko temnejša barva.

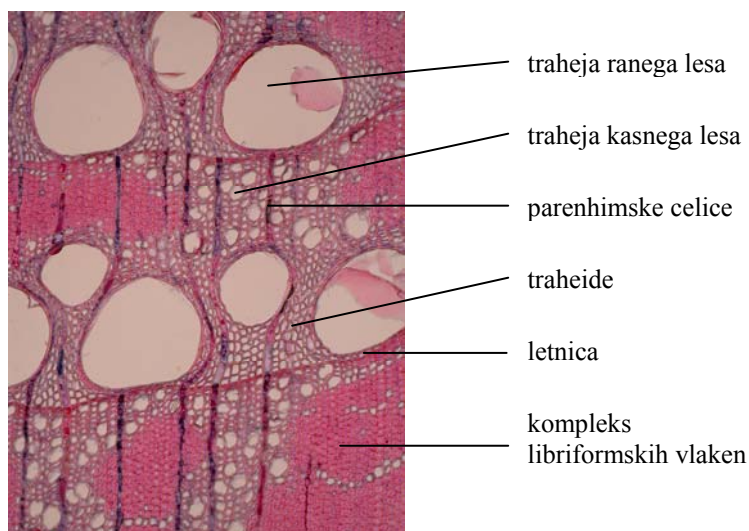
Hrastovina se znatno krči, njene trdnostne lastnosti so zelo dobre, vključno z upogibno trdnostjo. Les je zelo elastičen. Ugodna je izredna naravna odpornost jedrovine. Hrast velja za skorajda neomejeno trajen les za podvodne konstrukcije (Čufar, 2006)

2.4.2 Anatomski opis

Hrast je venčastoporozna drevesna vrsta in je razpoznaven po vencih velikih trahej ranega lesa ter radialno orientiranih skupinic majhnih trahej v kasnem lesu. Traheje so izključno posamezne, perforacije pa enostavne. Intervaskularne piknje so izmenične (alternirajoče), traheje v jedrovini zatiljene. Tangencialni premer trahej ranega lesa znaša nad 200 μm , tangencialni premer trahej v kasnem lesu pa okoli 50 μm .

Osnovno tkivo sestoji iz kompleksov traheid z obokanimi piknjami in kompleksi libriformskih vlaken z močno reduciranimi obokanimi piknjami, vidnimi v radialnem prerezu. Traheide, ki obdajajo traheje, sodelujejo pri prevajanju vode. Povezava prevodnega sistema preko letnic poteka po traheidah. Libriformska vlakna niso v stiku s

trahejami in opravljajo samo mehansko funkcijo. Aksialni parenhim je apotrahealen in dokaj redek ter difuzen ali difuzen v agregatih.



Slika 12: Prečni prerez hrastovine, posnete s svetlobnim mikroskopom

Hrast ima dve vrsti trakov. Prvi so enoredni in nizki, drugi pa nad 10-redni in nad 1 mm visoki. Trakovno tkivo je homogeno (izključno iz ležečih celic). Piknje med trakovi in trahejami so velike in ovalne (režaste) ali velike in okrogle.

Anorganski vključki so prisotni kot romboidni kristali (oksalati) v parenhimskih celicah trakov in kamrastih celicah aksialnega parenhima (Čufar, 2006).

Preglednica 4: Karakteristike anatomskih elementov za hrast dob (Gorišek, 2004)

dimenzije	dob (<i>Quercus robur</i>)
dolžina trahej	1 – 4 mm
širina trahej	10 – 400 μm
delež vlaken	43 % – 58 %
delež trahej	40 %
delež parenhima	4,9 %
delež trakov	16 % – 29 %

3 MATERIALI IN METODE

3.1 IZBIRA MATERIALA

Za raziskavo smo izbrali 4 različne hrastove deske. Izbrali smo jih na podlagi različnih širin branik. Izločili smo beljavo in juvenilni les ter tako v raziskavo vključili le adulten les, ki je z vidika splošne uporabe v lesarstvu najbolj pomemben. Iz desk smo izžagali orientirane vzorce homogene strukture, brez vidnih napak. Vzorce smo razdelili v 3 sklope:

- vzorce za izdelavo preparatov za anatomsko analizo,
- vzorce za okužbo z glivami in kemijske raziskave ter
- vzorce za določitev barve.

Preglednica 5: Povprečna širina branik vzorcev, izdelanih iz različnih hrastovih desk

Deska	Razred širine branik	Povprečna širina branik [mm]
hrast 1	ozke	0,77
hrast 2	srednje-široke	1,71
hrast 3	srednje-široke	1,79
hrast 4	široke	3,72



Slika 13: Vzorci za okužbo z glivami in za kemijske raziskave

3.2 ANALIZA MATERIALA

3.2.1 Anatomska analiza hrastovine

Z mikrotonom (Leica SM2000R) smo narezali tanke lističe (0,040 mm) prečnih prerezov. Anatomske preparate smo diferencialno obarvali. Uporabili smo barvilo safranin (0,5 % v 95 % alkoholu), ki poudari in rdečkasto obarva lignin ter barvilo astra modro (0,5 % v 95 % alkohol + Tyhomol), ki poudari predvsem celulozo. Trajne preparate smo fiksirali z Euparalom. Ko se je vklopni medij strdil, smo si z mikroskopom Nikon Eclipse E800 ogledali preparate in jih fotografirali pri treh različnih povečavah.

3.2.2 Izračun poroznosti vzorcev – delež por

Delež por v absolutno suhem stanju (n) smo izračunali po enačbi [1]. Gostota olesenele celične stene (ρ_{les}) je po literaturi 1510 kg/m³ (Oven, 2006). Izračun gostote lesa v absolutno suhem stanju (ρ_o) je prikazan v enačbi [5].

$$n = \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_{les}} \right) \times 100 [\%] \quad \dots [1]$$

3.2.3 Elementna analiza hrastovine

Metoda temelji na segrevanju lesnih elementov (dušik, ogljik, vodik, žveplo) pri zelo visokih temperaturah (> 1170 K) v helijevi atmosferi. S pomočjo specifičnih absorbentov ali s pomočjo kromatografske kolone določimo deleže elementov.

Uporabili smo vzorce, ki so bili predhodno uporabljeni za pripravo anatomskih preparatov. Od vsakega vzorca smo z dletom odvzeli približno 1 g materiala, ga z električnim mlinčkom (IKA) zmleli ter iveri en dan sušili pri 103 ± 2 °C. Naslednji dan smo vzorce postavili v eksikator, da so se ohladili. V keramične ladjice smo zatehtali približno 0,2 g vzorca in jih vstavili v inštrument CNS Leco 2000, s katerim smo določali delež dušika in ogljika. Meritve so potekale v Laboratoriju za gozdno ekologijo Gozdarskega inštituta Slovenije.

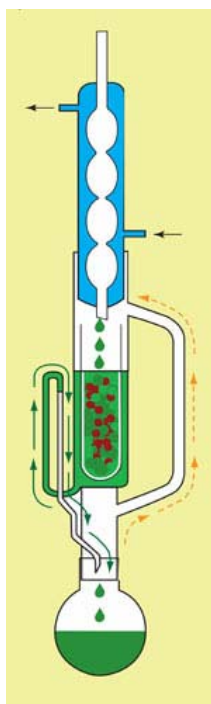


Slika 14: Mlinček za mletje lesenih delcev - IKA (foto: Kirar)

3.2.4 Določanje ekstraktivov po Soxhletu

Uporabili smo vzorce dimenzij 11 mm × 15 mm × 41 mm. Delež ekstraktivov smo določali pri štirih vzorcih iz skupine širokih branik, štirih vzorcih iz skupine srednje širokih branik in dveh vzorcih iz skupine ozkih branik.

Po enodnevnem sušenju vzorcev v sušilniku ($T=103 \pm 2$ °C), smo vzorcem določili maso v absolutno suhem stanju in jih ustavili v aparatu za ekstrakcijo. Ekstrakcija je potekala po Soxhletovem ustaljenem postopku (Tišler, 1990).



Slika 15: Skica Soxhlet-ove aparature (Royal Society of Chemistry, 2007)

Pripravljene vzorce smo zložili v Soxhletovo aparaturo tako, da se vzorci med seboj niso dotikali s prečnimi površinami. Najprej smo kot topilo uporabili mešanico 100 % cikloheksana in 100 % etanola v volumskem razmerju 2:1. Po enem dnevu smo topilo zamenjali s 96 % etanolom. Naslednji dan smo kot topilo uporabili vodo. Zaradi višjega vrelišča je ekstrakcija z vodo potekala 2 dneva. Po končani ekstrakciji smo vzorce položili v sušilnik ($T=103\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) in jih naslednji dan ponovno stehali in izračunali delež ekstraktivov po formuli [2].

$$E = 100 - \frac{m_e}{m_o} \times 100[\%] \quad \dots [2]$$

E ... delež ekstraktivov v vzorcu (%)

m_e ... masa absolutno suhega preostanka po ekstrakciji (g)

m_o ... masa absolutno suhega vzorca (g)

3.2.5 Določanje lignina po Klasonu

Ekstrahirane vzorce smo zmleli z električnim mlinčkom. Po 1 g ($\pm 0,1$ mg) vsakega vzorca smo zatehtali v 50 mL čašo in ga prelili z 10 mL 72 % žveplovo (IV) kislino. Čez 2 uri smo reakcijsko zmes prelili v 1000 mL elermajerico. Vsako čašo smo izpirali s 583 mL destilirane vode in tako znižali koncentracijo kisline na 3 %. Zmes smo kuhali v digestoriju 4 ure ter jo nato prefiltrirali preko filtrirnega papirja. Vsebino filtrirnega papirja smo še dodatno sprali z 0,5 L vroče destilirane vode. Tako izpran filtrirni papir in lignin na njem smo preko noči sušili v sušilniku ($T=103\pm 2$ °C), naslednji dan pa stekali in izračunali delež lignina [3].

$$L = \frac{l_o}{m_o} \times 100[\%] \quad \dots [3]$$

L ... delež lignina v vzorcu (%)

l_o ... masa absolutno suhega lignina (g)

m_o ... masa absolutno suhega vzorca (g)



Slika 16: Kuhanje reakcijske zmesi v digestoriju (levo) ter lignin na filtrirnem papirju po izpiranju in sušenju (desno)

3.2.6 Določanje barve vzorcev

Barvo smo ovrednotili numerično po CIE $L^*a^*b^*$ sistemu. Tridimenzionalni barvni prostor je definiran z osjo L^* in barvnima koordinatama a^* in b^* .

- L^* pomeni svetlost barve in zavzema vrednosti od 0 (absolutno črno) do 100 (absolutno belo),
- a^* določa lego barve na rdeče-zeleni osi,
- b^* določa lego barve na rumeno-modri osi.

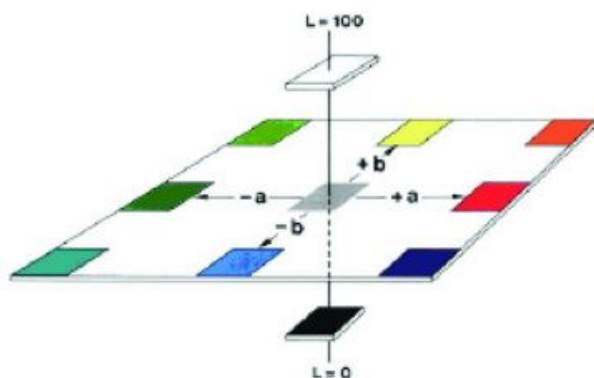
Merjenje barvnih razlik omogoča objektivno identifikacijo odnosa med barvami. Barvno razliko med vzorci (ΔE^*) lahko izračunamo iz razlik koordinat trirazsežnega barvnega prostora po naslednji enačbi.

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad \dots [4]$$

ΔL^* ... razlika svetlosti med vzorcema

Δa^* ... razlika med vzorcema na osi rdeče/zeleno

Δb^* ... razlika med vzorcema na osi rumeno/modro



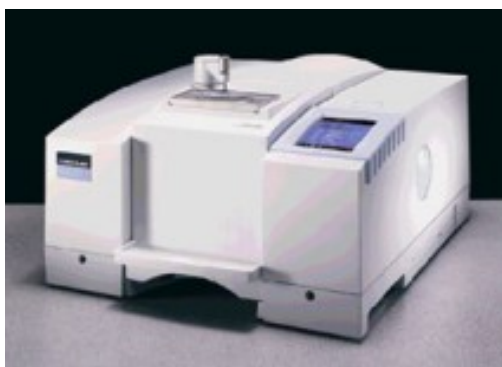
Slika 17: Barvni koordinatni sistem po CIE $L^*a^*b^*$ sistemu (Golob in Golob 2001)

Uporabili smo 7 vzorcev, ki so predstavljali izbrane deske. Za vsak vzorec smo opravili po 10 meritev na radialni ploskvi in 10 meritev na tangencialni ploskvi.

3.2.7 FT-IR analiza (nihajna spektroskopija)

Vzorci 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 FT-IR opazujemo spremembe v lesu, ki nastanejo zaradi delovanja gliv (Novak, 2005).

V našem primeru smo spektre posneli v refleksijski (DRIFT) tehniki. Kot medij za prenos lesa v IR spektrometer smo uporabili brusilni papirček okrogle oblike premera 10 mm. Z njim smo po površini vzorca 3 krat previdno in enakomerno podrgnili. Pri tem smo pazili, da površine papirčka nismo kontaminirali z nečistočami. Brusilni papir smo postavili na plastični vložek, s katerim smo ga vstavili v FTIR spektrometer. Za vsak vzorec smo meritev opravili dvakrat.



Slika 18: Perkin Elmer FT-IR Spectrum ONE spektrometer (vir: Elmer Perkin)

3.3 IZPOSTAVITEV VZORCEV GLIVAM

3.3.1 Priprava hranilnega gojišča in inkulacija micelija

3.3.1.1 Priprava hranilnega gojišča

Hranilna gojišča za glive smo pripravili v steklenih kozarcih s pokrovčkom z volumnom 350 mL. V aluminijaste pokrovčke smo predhodno izvrtali luknje in jih zatesnili z vato. Odprtine so služile za dihanje, vata pa je preprečevala kontaminacijo gojišča. Kozarce in pokrovčke smo oprali z etanolom. Za poizkus smo pripravili 65 kozarčkov.

Kot hranilni medij smo uporabili krompirjev glukozni agar (PDA- potato dextrose agar – DIFCO Laboratories). Priprava gojišča je sledila navodilom proizvajalca. V 0,1 L destilirane vode smo raztopili 39 g PDA v prahu. Ostalo količino vode (0,9 L) smo zavreli in vanjo zlili mešanico destilirane vode in PDA. Raztopino smo mešali ves čas, do ponovnega vretja čez približno 2 min.

3.3.1.2 Sterilizacija in inkulacija

V vsak kozarec smo vlili po 50 mL vročega hranilnega gojišča, jih zaprli s pokrovčki ter vstavili v avtoklav (45 min; 120 °C; 1,5 bar). V avtoklav smo vstavili tudi mrežice iz umetne mase, premera 80 mm, ki so v nadaljevanju služile za oporo vzorcem na hranilnem gojišču in preprečevale pretirano navlaževanje lesa. Po končanem avtoklaviranju smo kozarce, mrežice in vso potrebno opremo zložili v brezprašno komoro – laminarij in počakali 24 ur, da se je hranilni medij ohladil in strdil.



Slika 19: Avtoklav (levo) in brezprašna komora (desno) (foto: Podlesnik)

Sledila je inkulacija micelija izbranih vrst gliv. Postopek je potekal v laminariju pri sterilnih pogojih. Ves pribor smo sproti razkuževali z alkoholom in plamenom. Inokulum ($r = 5 \text{ mm}$) izbrane kulture gliv smo vstavili na sredino hranilnega gojišča. Zatem smo vanje vstavili še plastične mrežice in kozarce zaprli. Tako pripravljene kozarce smo položili v klimatizacijsko komoro pri 25°C in relativni zračni vlažnosti 85 %, kar naj bi zagotavljalo kar najboljše pogoje za rast gliv.

Preglednica 6: Glive razkrojevalke lesa, uporabljene v poizkusu

GLIVA	SLOVENSKO IME	IZOLAT	POREKLO*	TIP TROHNOBE
<i>Trametes versicolor</i>	pisana ploskocevkica	TV	BF (ZIM L057)	bela
<i>Antrodia vaillantii</i>	bela hišna goba	PV	BF (ZIM L037)	rjava
<i>Daedalea quercina</i>	hrastova labirintnica	DQ	BF (ZIM D37)	rjava
<i>Hypoxylon fragiforme</i>	ogljena kroglica	HF	BF (ZIM L108)	bela
<i>Stereum hirsutum</i>	dlakava slojevka	STH	BF (ZIM L047)	bela

* glivna banka Oddelka za lesarstvo na Katedri za zaščito lesa (Raspor in sod., 1995).

3.3.2 Priprava vzorcev in okužba z glivami

3.3.2.1 Priprava vzorcev za določanje naravne odpornosti

Dimenzije vzorcev za izpostavitve glivam razkrojevalkam so znašale 11 mm × 15 mm × 41 mm. Iz ene deske smo izbrali 40 vzorcev najširših branik, iz naslednje deske 40 vzorcev najožjih branik, iz zadnjih dveh desk pa 80 vzorcev srednje širokih branik. Razporeditev branik pri posameznem vzorcu je bila enakomerna.

Vsem 160-im vzorcem smo s pomočjo opreme za dendrokronološke analize izmerili širine posameznih branik ter izračunali njihovo aritmetično sredino za posamezen vzorec. Meritve so potekale na Katedri za anatomijo in tehnologijo lesa.

Po enodnevnem sušenju v sušilniku ($T=103\pm 2$ °C) smo vzorcem izmerili maso (1. točnostni razred) in dimenzije ($t=\pm 0,02$ mm) z elektronskim kljunastim merilom, v absolutno suhem stanju. Izračun gostote lesa v absolutno suhem stanju (ρ_o) je prikazan v enačbi [5].

$$\rho_o = \frac{m_o}{V_o} \left[\frac{g}{mm^3} \right] \quad \dots [5]$$

ρ_o ... gostota lesa v absolutno suhem stanju (g/mm^3)

m_o ... masa vzorca v absolutno suhem stanju (g)

V_o ... volumen lesa v absolutno suhem stanju (mm^3)

3.3.2.2 Okužba z glivami

Kozarce z razraščanim micelijem smo po enem tednu vzeli iz klimatizacijske komore in jih položili v laminarij, kjer smo v vsak kozarec vstavili po 3 vzorce hrastovine. Vzorce smo predhodno sterilizirali v avtoklavu po predpisanih pogojih (45 min, 120 °C, 1,5 bar).

Sledila je 16 tedenska izpostavitvev glivam v klimatizacijski komori. Uporabljene glive so navedene v preglednici 6.



Slika 20: Rastna komora (levo) (foto: Podlesnik) in vzorci v rastni komori (desno) (foto: Fabčič)

3.3.3 Izguba mase po razkroju

Po končani izpostavitvi smo vzorce izolirali in z njihovih površin odstranili micelij ter jih še vlažne stekali. Vzorce smo vstavili v sušilnik ($T=103\pm2\text{ }^{\circ}\text{C}$) ter jih naslednji dan še enkrat stekali v absolutno suhem stanju in izračunali izgubo mase [6].

$$R = \frac{m_o - m_s}{m_o} \times 100[\%] \quad \dots [6]$$

R ... delež razkrojenega vzorca (%)

m_o ... masa vzorca v absolutno suhem stanju pred izpostavitvijo glivam(g)

m_s ... masa vzorca v absolutno suhem stanju po izpostavitvi glivam (g)



Slika 21: Elektronska tehtnica SARTORIUS

Delež razkrojene mase glede na 1 g snovi (X) smo izračunali po enačbi [7]:

$$X = \frac{1}{m_o} \left[\frac{\%}{g} \right] \quad \dots [7]$$

3.3.4 Mikroskopska analiza razkrojenega lesa

Po dva vzorca, izpostavljena posamezni glivi, smo namenili za mikroskopske analize. Vzorce smo pred mikroskopsko analizo prelili z vodno raztopino formalina, ocetne kisline in etanola (FAA) ter jih shranili v hladilniku. Izdelava preparatov je opisana v poglavju (3.2.1.).

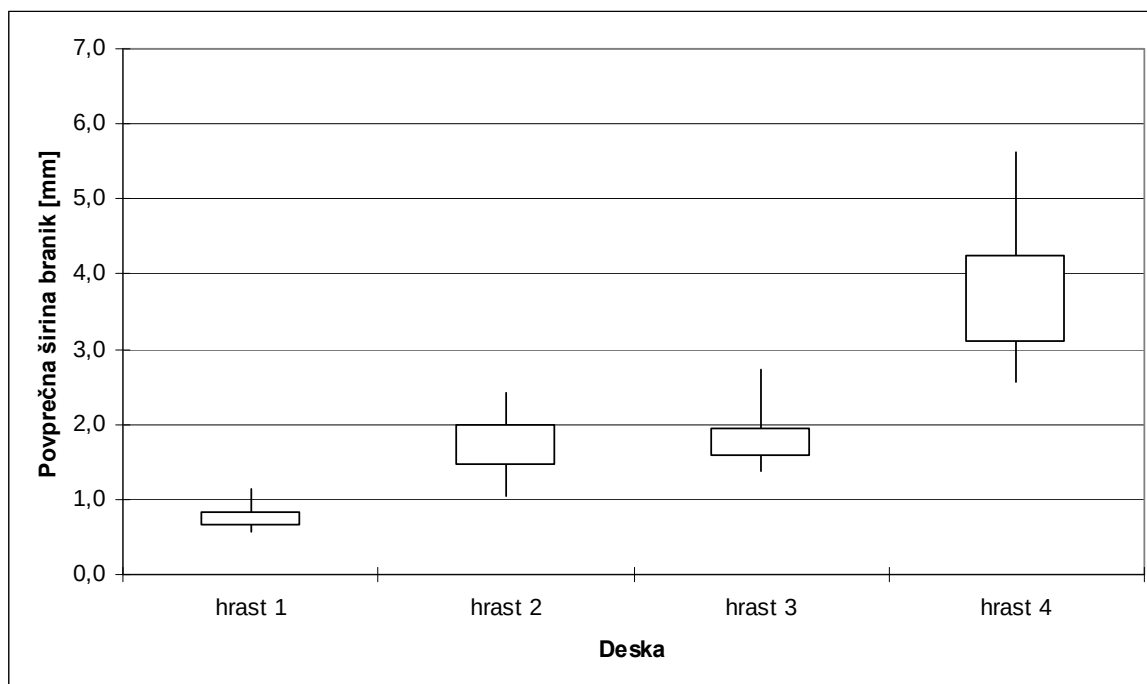
4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 ANALIZA HRASTOVINE

4.1.1 Širina branik, gostota in poroznost izbranih vzorcev

4.1.1.1 Širina branik

Za raziskavo v okviru diplomske naloge smo izbrali štiri hrastove deske z različno širokimi branikami. Iz njih smo izdelali vzorce in pri vsakem vzorcu določili povprečno širino branik. Hrastova deska z najožjimi branikami (Hrast 1) je imela povprečno širino branik 0,77 mm, pri čemer je bilo 50 % vseh branik v intervalu med 0,65 – 0,84 mm. Pri deskah s srednje širokimi branikami ni bilo bistvenih razlik v širini branik, 1,71 mm pri deski Hrast 2 in 1,79 mm pri deski Hrast 3. Tudi sipanje je bilo primerljivo: pri srednje širokih (Hrast 2) je bilo 50 % branik v intervalu med 1,4 – 2,0 mm, pri srednje širokih branikah Hrasta 3 pa v intervalu med 1,5 – 1,9 mm. Največje sipanje smo določili pri hrastovini s širokimi branikami (Hrast 4). Povprečna širina branik je bila 3,72 mm (50 % razpon med 3,1 – 4,2 mm), kar je še enkrat več kot pri hrastovini s srednjimi širokimi branikami. S statistično analizo smo vzorce razvrstili v tri statistične skupine, in sicer vzorci z ozkimi branikami (Hrast 1), vzorci s srednje širokimi branikami (Hrast 2 in Hrast 3) in vzorci s širokimi branikami (Hrast 4) (slika 22, preglednica 7).



Slika 22: Porazdelitev širine branik vzorcev, izdelanih iz štirih različnih hrastovih desk

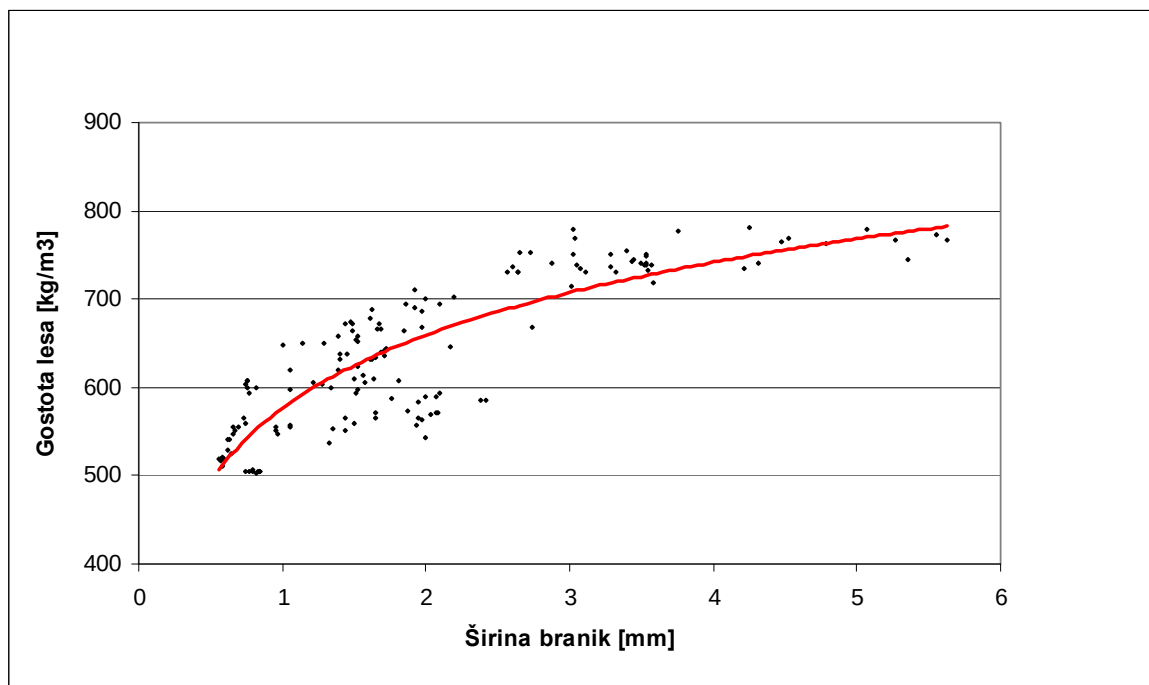
Iz povprečne širine branik posameznih skupin vzorcev (preglednica 7) je lepo razvidno, da imajo vzorci, izdelani iz desk Hrasta 2 in Hrasta 3 v povprečju za približno 1 mm širše branike od vzorcev Hrasta 1 in za približno 2 mm ožje branike od vzorcev narejenih iz Hrasta 4.

Preglednica 7: Povprečna širina branik vzorcev, izdelanih iz posameznih hrastovih desk

Deska	Povprečna širina branik [mm]
hrast 1	0,77
hrast 2	1,71
hrast 3	1,79
hrast 4	3,72

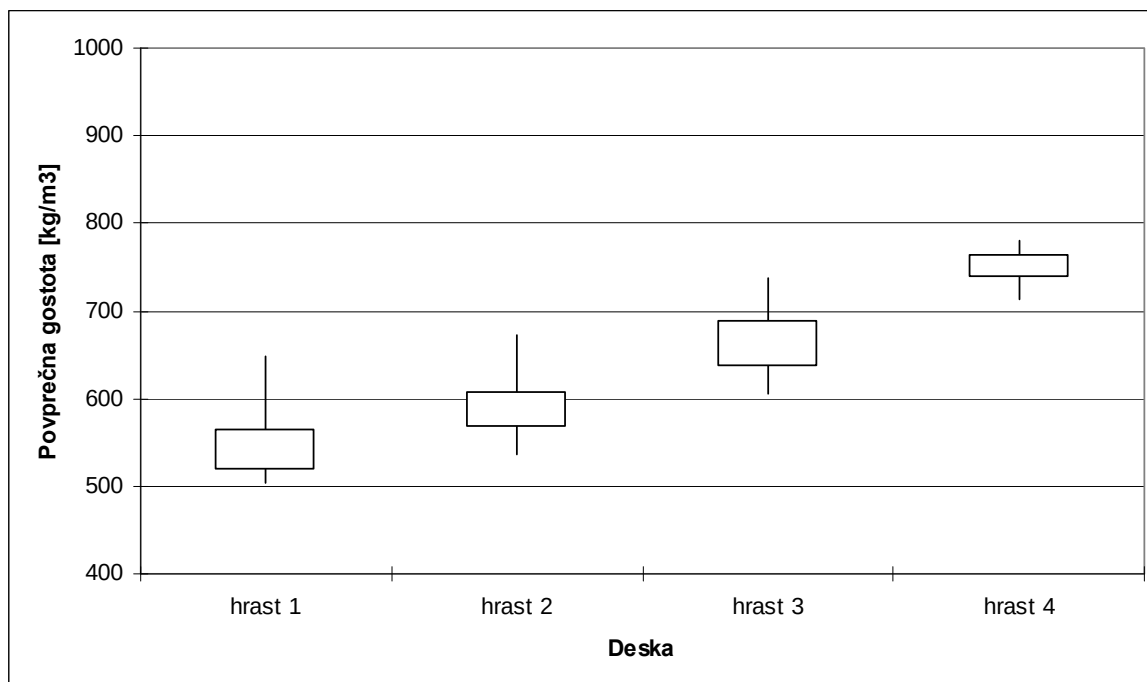
4.1.1.2 Širina branik in gostota lesa v absolutno suhem stanju

Iz primerjave med širino branik in gostoto je po pričakovanju razločno viden trend (slika 23), da z naraščanjem širine branik narašča tudi gostota lesa v absolutno suhem stanju (ρ_0), kar je v skladu z literaturnimi podatki (Čufar, 2006). Tako imajo vzorci z najožjimi branikami (0,77 mm) gostoto okoli 550 kg/m³, vzorci z najširšimi branikami (3,72 mm) pa kar 749 kg/m³. Iz iste slike se zelo lepo vidi eksponentna oblika krivulje, ki opisuje odvisnost med ρ_0 in širino branik. Ta oblika se v naših podatkih odraža tako, da pri ozkih branikah ρ_0 z naraščanjem širine narašča hitreje kot pri srednje širokih ali celo širokih branikah, kar navaja tudi Čufar (2006). Pri vzorcih s širšimi branikami se zdi, da se ρ_0 vzorcev asimptotično približuje maksimalni vrednosti okoli 780 kg/m³. Pri branikah v intervalu med 1,7 in 2,5 mm je moč zaznati veliko raztresenost podatkov, saj ρ_0 pri podobnih širinah branik niha med 550 in 700 kg/m³. Pri širših in ožjih branikah je opazno bistveno manj sipanja vrednosti.



Slika 23: Povezanost med gostoto lesa v absolutno suhem stanju in širino branik pri preučevanih vzorcih

V kolikor primerjamo med seboj sliko 24 in preglednico 7, zapazimo, da je gostota vzorcev pri Hrastu 1 (0,77 mm) nihala med 503 – 649 kg/m³, pri vzorcih izdelanih iz Hrasta 2 (1,71 mm) od 537 – 673 kg/m³, pri primerljivih vzorcih iz Hrasta 3 (1,79 mm) pa od 605 – 737 kg/m³. Pri vzorcih, izdelanih iz hrastovine s širokimi branikami (Hrast 4) (3,72 mm) je bilo nihanje ρ_0 manj izrazito (714 – 780 kg/m³).



Slika 24: Porazdelitev gostote vzorcev, izdelanih iz hrastovih desk z različno širino branik

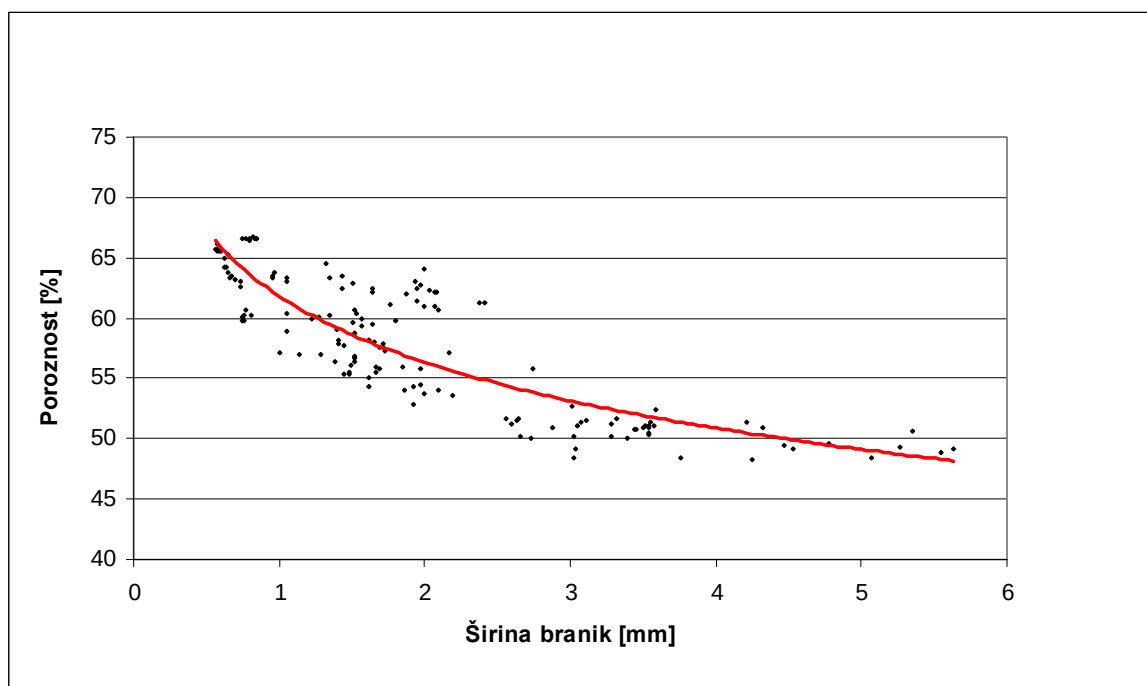
Za razliko od širine branik lahko vzorce na podlagi kriterija gostote razporedimo v štiri statistične skupine, vsako desko v svojo. Razlika v povprečni gostoti vzorcev, izdelanih iz hrasta 2 in hrasta 3 znaša kar 71 kg/m³ (12 %), čeprav je razlika v povprečni širini branik le 0,08 mm in ta razlika sploh ni statistično značilna. Pri Hrastu 3 nima noben vzorec gostote nižje od 605 kg/m³, medtem ko je iz deske Hrast 2 75 % gostot nižjih od 608 kg/m³. Menimo, da gre vzrok iskati v deležu libriformskega tkiva, saj sliki 25 in 26 nazorno prikazujeta, da je v primeru hrasta 2 omenjenega tkiva manj.

Preglednica 8: Povprečna širina branik in gostota lesa v absolutno suhem stanju za vzorce, izdelane iz posameznih hrastovih desk

Deska	Povprečna širina branik [mm]	Povprečna gostota [kg/m ³]
Hrast 1	0,77	550
Hrast 2	1,71	593
Hrast 3	1,79	664
Hrast 4	3,72	749

4.1.1.3 Širina branik in delež por (poroznost)

Razumljivo je, da sta gostota lesa in njegova poroznost povezana. Pri redkejših vzorcih je delež por večji, zato fluidi lažje prodirajo skozi les, kot pri gostejšem lesu z manjšim deležem por. Naši podatki sovpadajo z drugimi viri (Čufar, 2006) in kot je razvidno iz slike 25 in preglednice 9, se z večanjem širine branik poroznost znižuje, gostota lesa (ρ_0) pa narašča (slika 23).



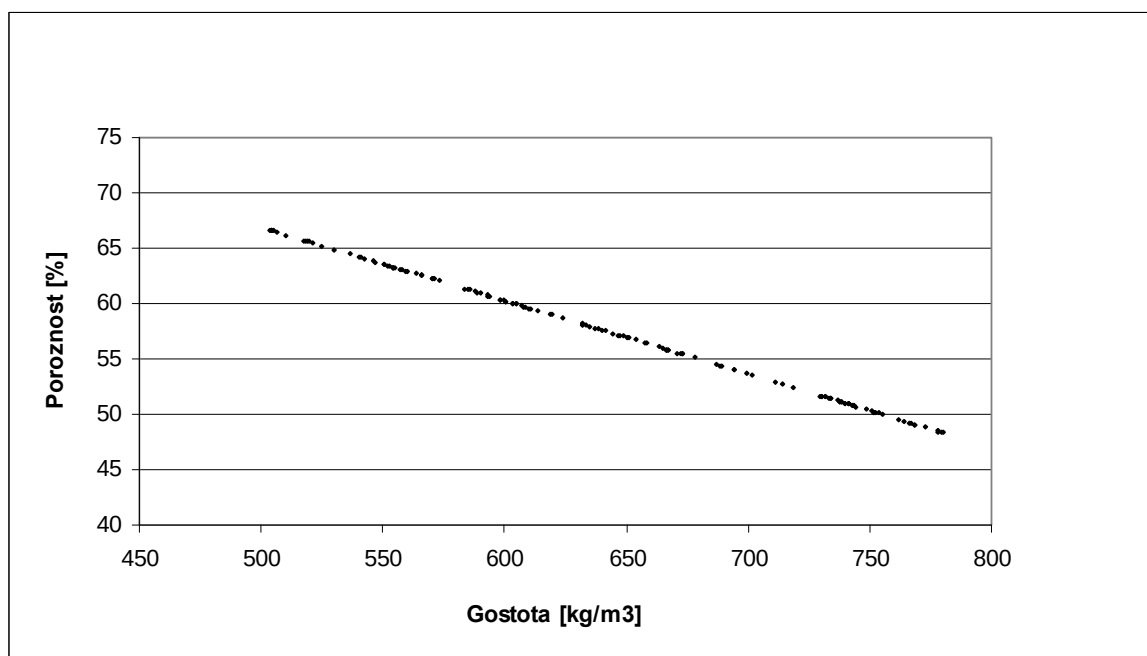
Slika 25: Povezava med poroznostjo in širino branik

Podobno kot smo opazili že pri vplivu širine branik na gostoto, (preglednica 8) smo tudi pri poroznosti (preglednica 9) opazili statistično značilno razliko med vzorci, izdelanimi iz Hrasta 2 in Hrasta 3, kljub temu da so imeli vzorci popolnoma primerljive širine branik. Menimo, da je tudi v tem primeru glavni vzrok za razliko večji delež libriformskih vlaken v vzorcih izdelanih iz Hrasta 2. Libriformska vlakna imajo v primerjavi s trahejami manjše lumne, kar se odraža v naših rezultatih.

Preglednica 9: Povprečna poroznost vzorcev [%], izdelanih iz hrastovih desk

Deska	Povprečna širina branik [mm]	Povprečna poroznost [%]
hrast 1	0,77	63,6
hrast 2	1,71	60,7
hrast 3	1,79	56,0
hrast 4	3,72	50,4

Iz slike 26 se lepo kaže popolna povezanost med poroznostjo in gostoto. To je pričakovano, saj smo permeabilnost matematično izrazili iz gostote.



Slika 26: Korelacija med gostoto lesa (ρ_0) in poroznostjo za proučevano hrastovino

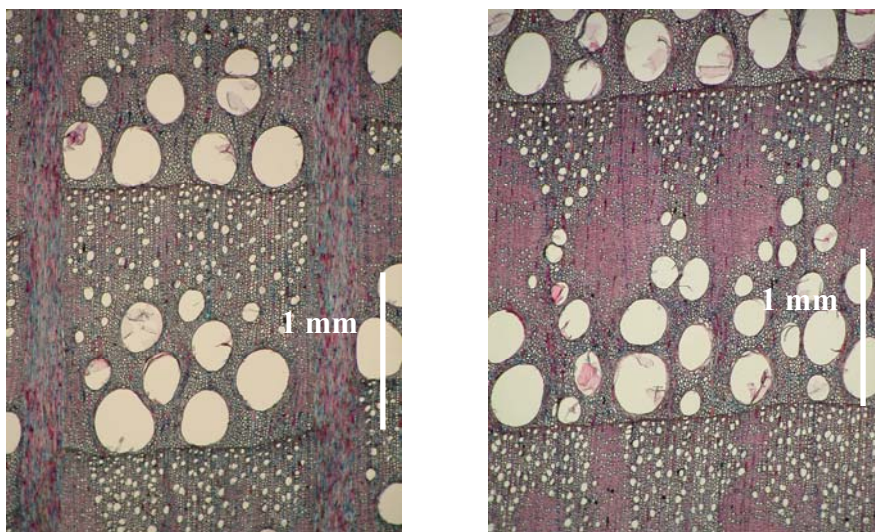
4.1.2 Anatomska analiza hrastovega lesa

Anatomska zgradba hrastovine z ozkimi branikami se razlikuje od tiste s širokimi branikami. V lesu z ozkimi branikami (Hrast 1) so traheje načeloma v enem samem vencu, ki predstavlja $\frac{1}{3}$ do $\frac{1}{2}$ širine branik (slika 27). V morebitnem drugem nizu so traheje manjših premerov. Libriformskega tkiva je manj od tretjine in se začne tvoriti šele v kasnem lesu. Otiljenje je lokalno prisotno.



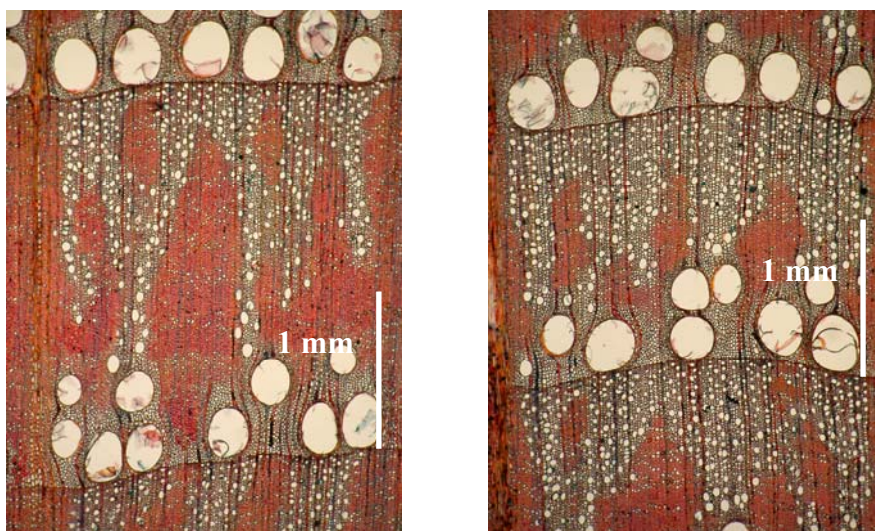
Slika 27: Prečni prerez hrastovine z ozkimi branikami iz deske Hrast 1 (foto: Zupančič)

Iz deske Hrast 2, ki predstavlja skupino srednje širokih branik (slika 28) zapazimo zelo veliko razliko v deležu libriformskega tkiva med izbranimi vzorcema. V nekaterih primerih je delež libriformskega tkiva podoben deležu ostalih tkiv (trahej in traheid), v drugih primerih pa le to skorajda ni prisotno. Vence trahej srečujemo pretežno v treh radialnih nizih in predstavljajo od $\frac{1}{3}$ pa celo do $\frac{2}{3}$ širine branik. Premer trahej je zelo velik in znaša do 400 μm .



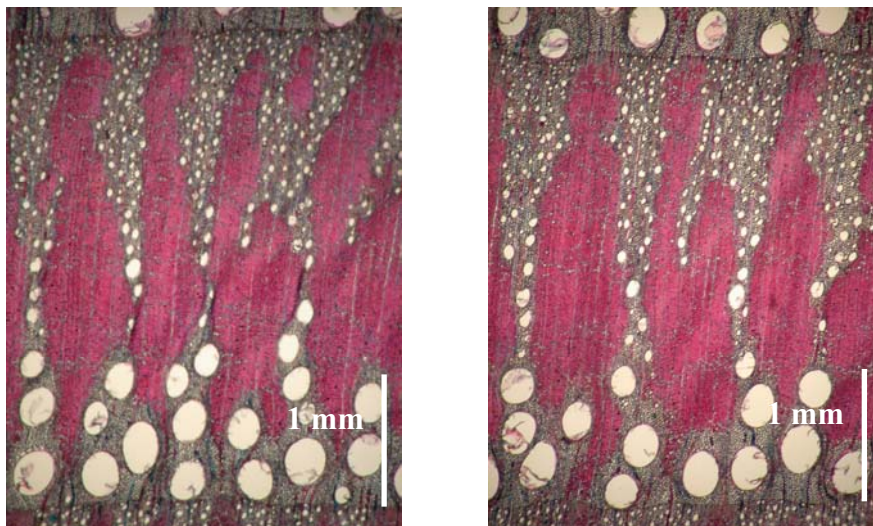
Slika 28: Prečni prerez hrastovine srednje širokih branik iz deske Hrast 2 (foto: Zupančič)

V hrastovini s srednje širokimi branikami iz deske Hrast 3 (slika 29) opazimo dva venca trahej ranega lesa, ki predstavlja približno $\frac{1}{3}$ širine branik. Največja zgoščenost libriformskih vlaken je na $\frac{2}{3}$ širine branik, zapazimo pa jih tudi v ranem lesu. Delež libriformskih vlaken je večji kot v primeru Hrasta 2 (slika 28). Otiljenost je izrazita.



Slika 29: Prečni prerez hrastovine srednje širokih branik iz deske Hrast 3 (foto: Zupančič)

V hrastovini s širokimi branikami iz deske z oznako Hrast 4 (slika 30) so najpogostejše prisotni trije venci trahej. Rani les predstavlja $\frac{1}{3}$ branike. Libriformskega tkiva je veliko, tvori se lahko že v območju prvega venca trahej in tako sega preko cele širine branik.



Slika 30: Prečni prerez hrastovine s širokimi branikami iz deske Hrast 4 (foto: Zupančič)

4.1.3 Elementna analiza

Večino zgradbe lesa predstavljajo elementi ogljika, kisika in vodika ter nekoliko manj dušika (Fengel in Wegener, 1989; Huges, 1999). Z razpoložljivo opremo smo lahko v lesu določali le prisotnost dušika in ogljika. Ker je bilo ogljika v lesu dovolj in njegova prisotnost ne vpliva bistveno na naravno odpornost, teh podatkov nismo podrobneje analizirali (Fengel in Wegener 1989). Nekoliko bolj smo se posvetili dušiku. 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). V preglednici 10 so predstavljene vsebnosti dušika v hrastovini. Vsebnost dušika sovпада z literaturnimi podatki. V lesu je v povprečju med 0,02 in 0,3 % dušika, odvisno od lesne vrste (prCEN/TS 14961, 2004). Iz preglednice 10 ni moč zaznati povezave med širino branik in deležem dušika. V treh deskah je bila vsebnost dušika relativno izenačena in je znašala okoli 0,05 %, edino v deski Hrast 2 je bila ta vrednost bistveno višja (0,071 %).

Preglednica 10: Delež ogljika in dušika v hrastovih vzorcih

Deska	Povprečna širina branik [mm]	Delež ogljika [%]	Delež dušika [%]
hrast 1	0,77	47,0	0,053
hrast 2	1,71	47,4	0,071
hrast 3	1,79	46,7	0,052
hrast 4	3,72	45,5	0,053

Dušik v lesu je pomemben z več vidikov. Glive dušik potrebujejo za svoj razvoj, saj je esencilani element in je kot tak nujno potreben za tvorbo proteinov. V lesu se nahaja večinoma v parenhimskih celicah beljave (Zabel in Morell, 1992). Dušik v tej obliki spodbuja rast gliv. V kolikor pa bi bilo dušika v lesu preveč, se primeri da na rast gliv vpliva celo negativno (Humar in sod. 2006a). V primeru, da dušik najdemo v jedrovini, je le-ta pogosto sestavni del alkaloidov, ki so ene izmed biološko najaktivnejših spojin (Fengel in Wegener, 1989).

4.1.4 Določitev ekstraktivov po Soxhletu

Ekstraktivi so organske spojine, ki bistveno vplivajo na naravno odpornost lesa. Praviloma velja, da višja ko je njihova koncentracija, bolj je les odporen proti glivam razkrojevalkam. To velja do določene mere, saj poleg koncentracije na naravno odpornost vpliva tudi kemijska struktura ekstraktivov (Fengel in Wegener, 1989).

V naših vzorcih smo določili različne deleže ekstraktivov. Podobno kot pri vsebnosti dušika (preglednica 10) tudi pri ekstraktivih nismo zaznali povezanosti med širino branik in deležem ekstraktivov. Najmanj ekstraktivnih snovi smo določili v vzorcih Hrasta 1 in Hrasta 3 (preglednica 11) (2,3 – 2,5 %). V vzorcih Hrasta 4 smo določili kar za 50 % več ekstraktivov. Še več teh spojin smo ekstrahirali iz vzorcev Hrasta 2, kjer je bilo še enkrat več ekstrktivov, kot v vzorcih iz desk Hrast 1 in Hrast 3. Zanimivo je, da smo v hrastovini z največjim deležem ekstraktivov zaznali tudi največji delež dušika, kar nakazuje, da sta ta dva parametra verjetno povezana. Kakorkoli, ta domneva zahteva dodatne analize, saj v literaturi nismo zasledili še nobenih podatkov o tej povezavi.

Preglednica 11: Delež ekstraktivov v hrastovih vzorcih

Deska	Povprečna širina branik [mm]	Delež ekstraktivov [%]
hrast 1	0,77	2,3
hrast 2	1,71	5,7
hrast 3	1,79	2,5
hrast 4	3,72	3,8

4.1.5 Vsebnost Klasonovega lignina

Najpomembnejša gradnika lesa sta celuloza in lignin. Lesne vrste z višjim deležem lignina so navadno odpornejše proti glivam razkrojevalkam kot glive z manjšim deležem lignina, kajti lignin je bistveno slabše razgradljiv kot celuloza. V naših vzorcih je delež lignina nekoliko višji od pričakovanega. V povprečju smo v hrastovini določili 34 % lignina (preglednica 12). V literaturi pa zasledimo bistveno nižje vrednosti okoli 25 % (Lal in sod., 1977; Fengel in Wegener, 1989). Razlog za tako visoke vrednosti je dejstvo, da zaradi majhne količine vzorcev le-teh nismo mogli dobro zmleti in zaradi relativno velikih delcev hidroliza polioz ni v celoti potekla. Ker pa je bil postopek določanja lignina pri vseh vzorcih enak, so vrednosti med seboj primerljive. Iz podatkov v preglednici 12 je razvidno, da širina branik ne vpliva na delež lignina v hrastovini. Poleg tega hrastovina z ozkimi (Hrast 1) in širokimi (Hrast 4) branikami vsebuje bistveno nižji delež lignina kot hrastov les s srednje širokimi branikami (Hrast 2 in Hrast 3). Razlogov za to razliko ne znamo pojasniti.

Preglednica 12: Delež lignina v vzorcih hrastovine z različno širokimi branikami

Deska	Povprečna širina branik [mm]	Delež lignina [%]
hrast 1	0,77	32,5
hrast 2	1,71	35,8
hrast 3	1,79	36,3
hrast 4	3,72	31,5

4.1.6 Določitev barve hrastovega lesa

Barva je eden izmed podatkov, ki se najpogosteje uporablja za klasificiranje naravne odpornosti lesa. Na splošno velja, da naj bi imeli temnejši lesovi (v okviru iste vrste) večji delež ekstraktivov in bili za to bolj odporni proti glivam razkrojevalkam (Kai, 1991). Ta odvisnost so na primer potrdili pri macesnovini ne pa pri smrekovini (Viitanen in sod. 2006). O razmerju med barvo lesa in naravno odpornostjo hrastovine v literaturi nismo zasledili nobenih podatkov.

Iz preglednice 13 je moč razbrati, da je radialna ploskev vzorcev svetlejša od tangencialne. Gotovo gre vzrok iskati v trakovnih parenhimskih celicah, ki jih na radialni ploskvi vidimo kot »zrcala« in dajejo občutek svetlosti. Razlika v svetlosti med radialno in tangencialno ploskvijo je največja pri ozkih in najmanjša pri širokih branikah. Vendar na podlagi podatkov za povprečno vrednost (L^*) lahko zaključimo, da širina branik ne vpliva na svetlost hrastovine. To je v nasprotju z pričakovanji, saj nekateri viri (Zupančič, 2007) navajajo, da lahko hrastovino razvrstimo med svetlejšo in temnejšo ter da so razlike med njima v gostoti – ta pa je posledica širine branik.

Preglednica 13: Vsebnost komponente L^ (svetlost) v vzorcih hrastovine*

Deska	L^* na radialni ploskvi	L^* na tangencialni ploskvi	Povprečna vrednost (L^*)
hrast 1	66,0	59,8	62,9
hrast 2	67,4	63,3	65,4
hrast 3	68,2	64,5	66,4
hrast 4	65,2	61,8	63,5
Povprečna vrednost (L^*)	66,7	62,4	64,5

Izračunane razlike v barvi (ΔE^*) nakazujejo večjo razliko med ozkimi in srednje širokimi branikami kot med ozkimi in širokimi branikami, kar nasprotuje korelaciji med širino branik in barvo vzorcev.

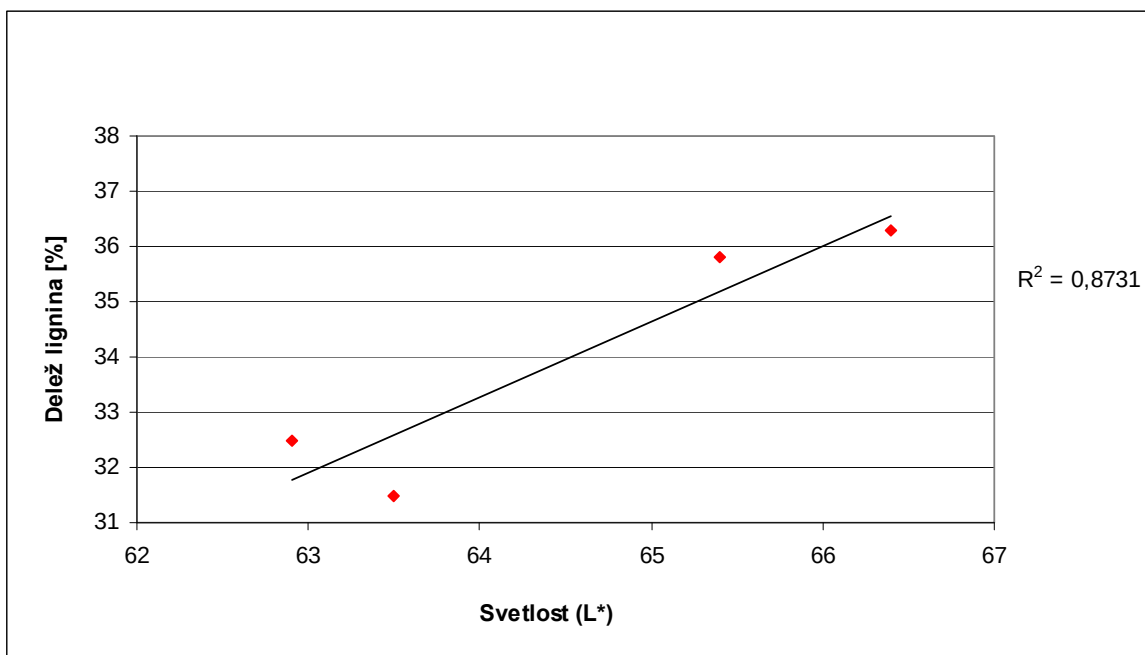
$$\Delta E^*_{(\text{Hrast 1} - \text{Hrast 2})} = 3,3$$

$$\Delta E^*_{(\text{Hrast 1} - \text{Hrast 3})} = 3,6$$

$$\Delta E^*_{(\text{Hrast 1} - \text{Hrast 4})} = 1,3$$

Zaradi heterogenosti materiala (meritve so se v okviru istega vzorca med seboj razlikovale bolj kakor med posameznimi vzorci) bi za natančnejšo raziskavo potrebovali večje število meritev. Poleg tega nismo najbolj prepričani, da je barvni sistem Cie $L^*a^*b^*$ najprimernejši za ocenjevanje barvnih razlik hrastovine.

Opozorili bi na morebitno povezanost med svetlostjo vzorcev (L^*) in deležem lignina (preglednici 12 in 13). Med tema dvema parametroma obstaja značilna povezanost ($R^2 = 0,87$) (Slika 31).

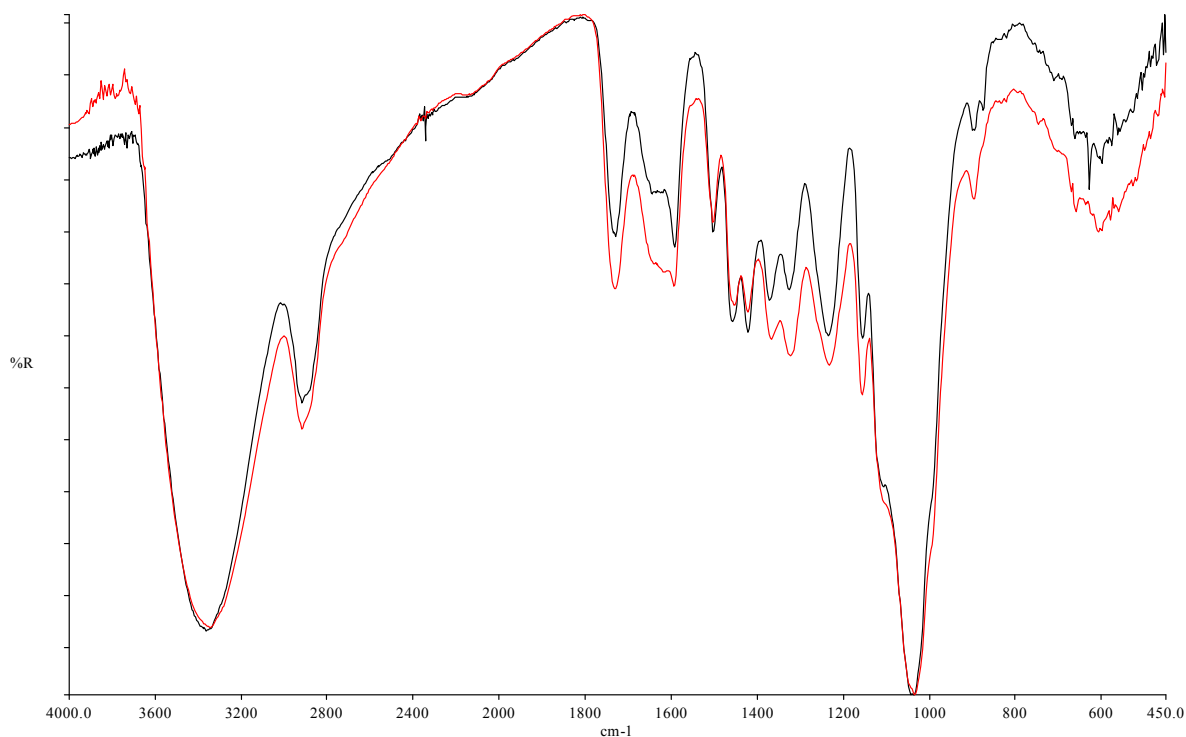


Slika 31: Povezava med širino branik in svetlostjo hrastovine

4.1.7 FT – IR analiza

S pomočjo FT-IR spektroskopije lahko na podlagi intenzitet in prisotnosti karakterističnih absorpcijskih trakov sklepamo na kemijsko zgradbo lesa. Zavedati pa se moramo, da je les izredno heterogen material, sestavljen iz mnogih spojin, ki imajo številne med seboj prekrivajoče se IR trakove. FT-IR spektroskopija je relativno groba metoda, zato se vse kemijske spremembe v lesu ne odražajo tudi na FT-IR spektrih lesa (Humar in sod., 2006b).

Na sliki 32 sta prikazana značilna spektra lesa. Na spektru so dobro razvidni številni karakteristični trakovi, ki jih prisojamo različnim funkcionalnim skupinam celuloze, hemiceluloze in lignina. Prisoje so podrobneje opisane v literaturi (Humar, 2002).



Slika 32: FT – IR spektra hrastovine s širokimi (rdeča črta) in ozkimi (črna črta) branikami

Po pričakovanju, med spektri hrastovine z različno širokimi branikami ni bilo opaziti velikih razlik. S slike 32 je razvidno, da smo na hrastovini s širokim branikami (Hrast 4)

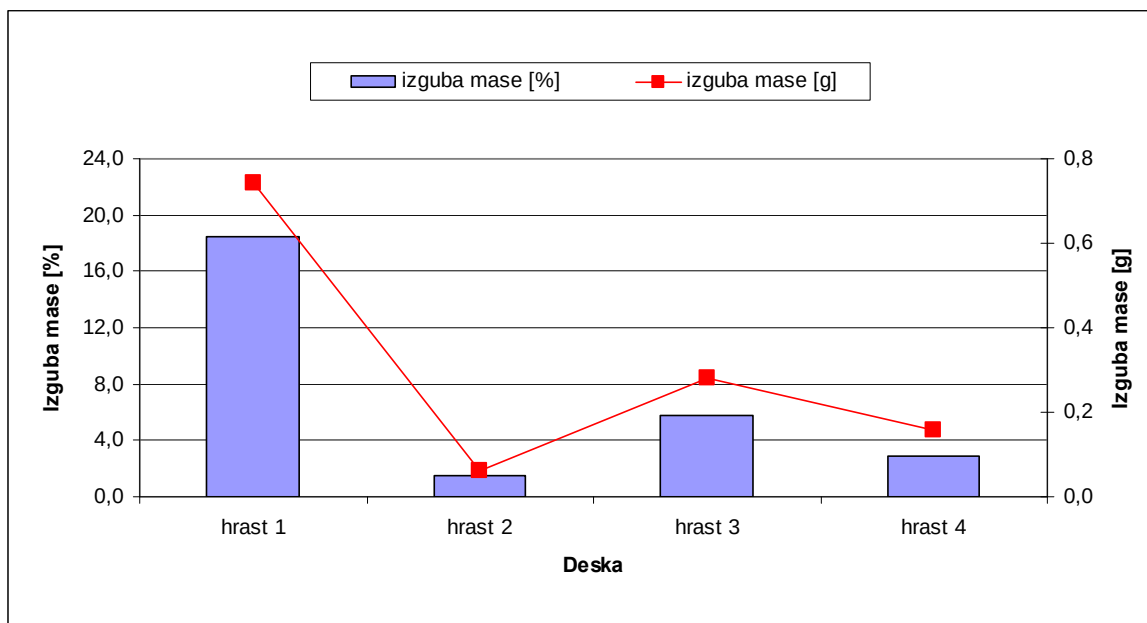
opazili nekoliko intenzivnejše trakove, ki jih prisojamo ligninu (1660 cm^{-1} , 1505 cm^{-1} , 1230 cm^{-1}) in nekoliko šibkejša trakova funkcionalnih skupin celuloze in polioz (1730 cm^{-1} , 1450 cm^{-1} , 1425 cm^{-1} , 1370 cm^{-1}) (Michell A.J., 1989; Humar, 2002). Ti podatki na prvi pogled kažejo, da je v lesu s širokimi branikami več lignina kot v lesu z ozkimi (Hrast 1) branikami, kar je v nasprotju s podatki o deležu Klasonovega lignina (preglednica 12), iz katerih je razvidno, da sta deleža lignina v hrastovini s širokimi in ozkimi branikami primerljiva. Vendar se moramo zavedati da trakove, ki jih prisojamo funkcionalnim skupinam lignina, po drugi strani prisojamo tudi funkcionalnim skupinam ekstraktivov, saj je njihova zgradba zelo sorodna (Kai, 1991). Zato menimo, da je vzrok za bolj intenzivne trakove funkcionalnih skupin, ki jih prisojamo ligninu, tudi višji delež ekstraktivov v hrastovini s širokimi branikami.

4.2 IZPOSTAVITEV GLIVAM

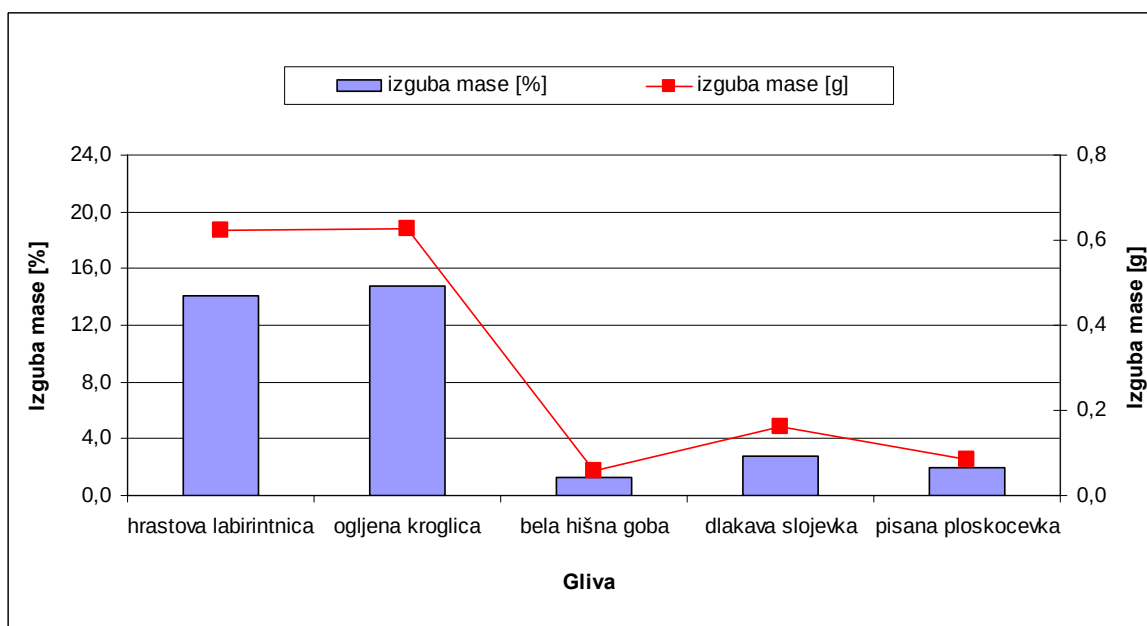
4.2.1 Izguba mase pri razkroju

Slika 33 nam nazorno kaže dobro povezanost med širino branike in izgubo mase hrastovine po izpostavitvi glivam razkrojevalkam. Izguba mase je bila daleč največja pri hrastovini z ozkimi branikami (0,74 g, 18,5 %) in presenetljivo najmanjša pri Hrast 2 s srednje širokimi branikami (0,065 g, 1,50 %). V kolikor izvajamo slednjo skupino vzorcev, dobimo zelo dobro povezavo med širino branik in izgubo mase. Širše kot so bile branike hrastovih vzorcev, manjšo izgubo mase so povzročile lesne glive. Menimo, da je poglavitni vzrok za odstopanje vzorcev iz Hrast 2, bistveno večji delež ekstraktivov (preglednica 11). Pri ostalih vzorcih (Hrast 1, 2 in 4) smo določili vsebnost ekstraktivov med 2,3 in 3,8 %, pri vzorcih iz Hrast 2 pa kar 5,7 %.

Ne glede na to, kako izrazimo izgubo mase bodisi v odstotkih bodisi v gramih vidimo, da je trend popolnoma primerljiv. Izgubo mase smo tako prikazali tudi v gramih zaradi izrazito različne gostote vzorcev (slika 33). 0,1 g izgube mase predstavlja v primeru vzorcev iz Hrast 1 kar 2,5 % delež, v primeru vzorcev iz Hrast 4 pa le 1,8 % delež mase.



Slika 33: Povprečne izgube mase hrastovih vzorcev, izražene relativno [%] in absolutno [g], po 16 tedenski izpostavitvi petim glivam razkrojevalkam



Slika 34: Izguba mase hrastovine, izražena relativno [%] in absolutno [g], po 16 tedenski izpostavitvi glede na vrsto glive

Slika 33 prikazuje povezavo med širino branike in izgubo mase. Iz slike 34 pa se vidi povezava med izgubo mase in vrsto glive, ki smo jo uporabili za testiranje. Hrastova

labirintnica (0,62 g; 14,1 %) in ogljena kroglica (0,63 g; 14,8 %) sta najbolj učinkoviti razkrojevalki izpostavljenih vzorcev hrastovine. Zanimivo je, da prva povzroča rjavo trohno, druga pa belo. Majhen razkroj vzorcev, izpostavljenih pisani ploskocevk, je pričakovan (0,085 g; 2,0 %), saj Schmidt 2006 navaja, da ne okužuje hrastovine, najpogosteje pa jo opazimo ravno na bukvi, kar sovпада z našimi podatki. Po pričakovanjih je bila razgradnja najnižja pri beli hišni gobi (0,056 g; 1,3 %), saj jo v naravi zasledimo zlasti na iglavcih (Unger, 2001). Pri dlakavi slojevki pa se je pokazalo, da hrastove jedrovine ne razkrajajo tako učinkovito kot beljave.

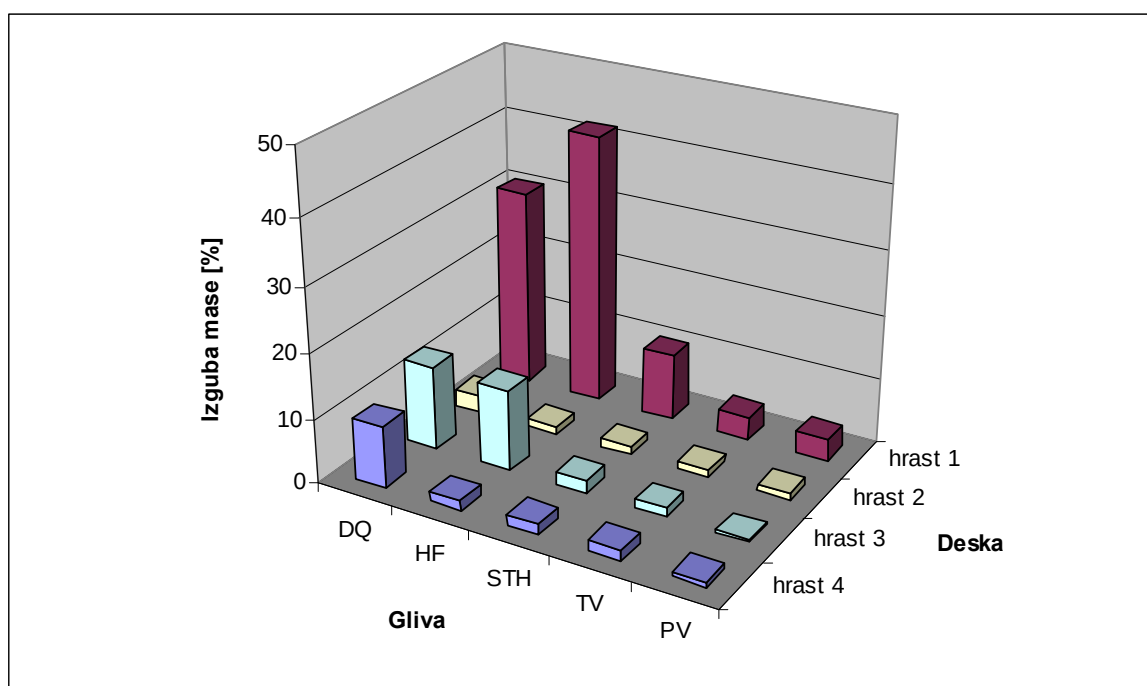
Preglednica 14: Izguba mase po 16 tedenski izpostavitvi glede na vrsto glive, izbrano desko in širino branik

Gliva	Deska	Širina branik [mm]		Izguba mase [%]	Izguba mase [mg]
hrastova labirintnica	hrast 1	0,7	1,9	30,6	1227
	hrast 2	1,6		2,7	118
	hrast 3	1,9		13,1	633
	hrast 4	3,6		9,5	508
	bukev*	/		22,1	/
ogljena kroglica	hrast 1	0,7	1,9	41,9	1687
	hrast 2	1,5		1,2	52
	hrast 3	2,0		12,6	614
	hrast 4	3,2		1,6	83
	bukev*	/		44,7	/
bela hišna goba	hrast 1	0,9	2,2	3,2	130
	hrast 2	1,9		0,9	36
	hrast 3	1,8		0,4	19
	hrast 4	4,3		0,8	43
	bukev*	/		17,6	/
dlakava slojevka	hrast 1	0,7	1,9	10,4	413
	hrast 2	1,7		1,3	53
	hrast 3	1,6		2,1	99
	hrast 4	3,4		1,7	93
	bukev*	/		34,3	/
pisana ploskocevka	hrast 1	0,9	2,2	3,5	132
	hrast 2	1,9		1,2	49
	hrast 3	1,8		1,5	68
	hrast 4	4,2		1,6	87
	bukev**	/		42,2	/

* podatki, pridobljeni iz vzporednega poizkusa.

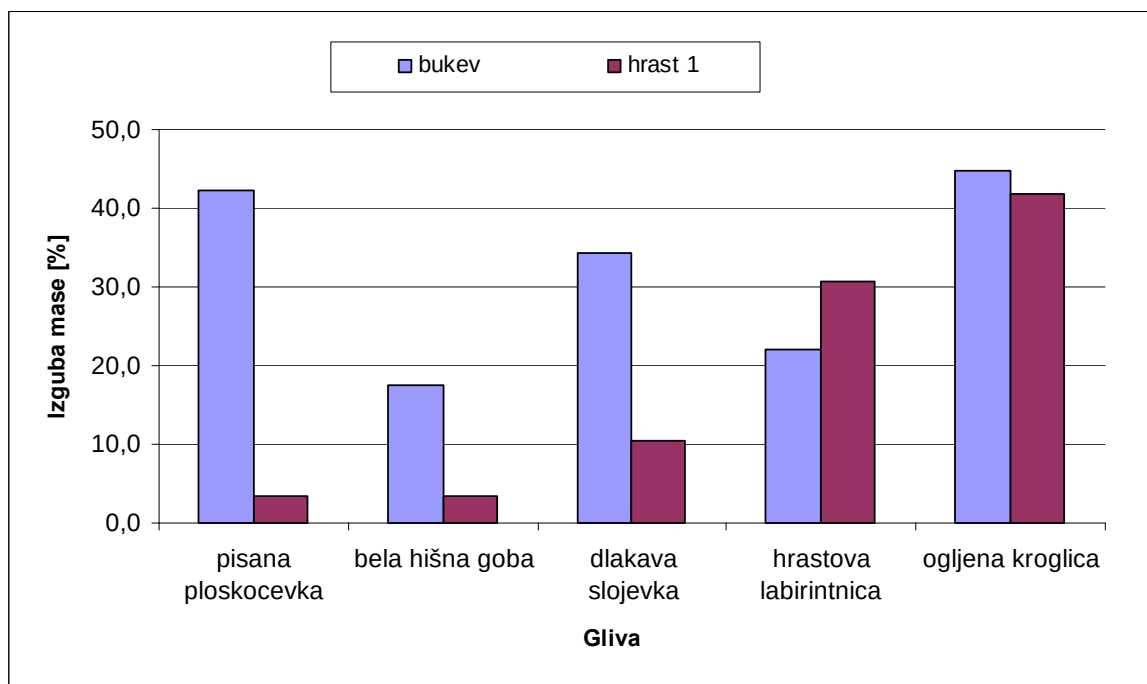
Slika 33 in preglednica 14 nam podajata rezultate, iz katerih je razvidno, da so vse glive najbolj razkrajale hrastovino z ozkimi branikami (Hrast 1). Hrastovino s širokimi

branikami (Hrast 4) je v večji meri razkrojila le hrastova labirintnica 9,5 %, ostale glive so vzorcem iz te deske razkrojile le okrog 1,5 % razpoložljive mase, kar standard SIST EN113 smatra za zanemarljivo nizko izgubo mase. V primeru ozkih branik smo največji razkroj opazili pri vzorcih, izpostavljenih ogljeni kroglici, s kar 41,9 % razkrojene mase lesa. V primeru deske s srednje širokimi branikami (Hrast 3) zaznamo opazen razkroj le pri vzorcih, izpostavljenih hrastovi labirintnici in ogljeni kroglici. Izguba mase vzorcev, izpostavljenih obema glivama, je primerljiva in znaša okoli 13 %. V primeru hrastovine z največjim deležem ekstraktivov (Hrast 2) opazimo šibek razkroj le pri vzorcih, izpostavljenih hrastovi labirintnici (2,7 %), medtem ko je razkroj hrastovine, izpostavljene ostalim glivam, zanemarljiv (okrog 1 %). Dlakava slojevka opazno razgrajuje le hrastovino z ozkimi branikami (10,4 %).



Slika 35: Delež izgube mase [%] po 16 tedenski izpostavitvi glede na vrsto glive in širino branike

Ker je razlika med povprečnimi širinami branik med posameznimi glivami iz deske Hrast 1 znašala le 0,2 mm (preglednica 7), je smiselna primerjava razkroja med izbranimi glivami.



Slika 36: Primerjava izgube mase med Hrastom 1 (ozke branike) in bukviijo glede na izbrano glivo

Na sliki 36 je predstavljena primerjava med izgubo mase hrastovih vzorcev z ozkimi branikami in izgubo mase bukovih vzorcev. Ta primerjava nam služi kot orientacija za določanje naravne odpornosti, saj nam bukovina služi kot referenca (SIST EN 350-2, 1995).

Že na prvi pogled opazimo, da je izguba mase bukovih in hrastovih vzorcev, izpostavljenih ogljeni kroglici, popolnoma primerljiva. Zanimivo je, da je hrastova labirintnica razkrojila celo večji delež hrastovine z ozkimi branikami kot bukovine. Po drugi strani pa je tudi hrastovina z najožjimi branikami odporna proti delovanju gliv, pisane ploskocevke, bele hišne gobe in dlakave slojevke, saj smo pri teh glivah opazili znatno nižjo izgubo mase hrastovih vzorčkov v primerjavi z bukovimi.

Navodila standarda za razvrščanje lesov po naravni odpornosti so jasna. Vedno moramo upoštevati najbolj učinkovito glivo, v našem primeru hrastovo labirintnico in ogljeno kroglico. Izguba mase hrastovih vzorcev, izpostavljenih tema tema dvema glivama, je popolnoma primerljiva z izgubo mase bukovih vzorcev, kar nakazuje, da bi lahko

hrastovino v določenih primerih razvrstili celo med neodporne lesne vrste. Po drugi strani pa vidimo, da je hrastovina s širšimi branikami bistveno bolj naravno odporna od hrastovine z ozkimi branikami (slika 33). Vendar naši podatki kažejo tudi to, da širina branik v celoti ne določa naravne odpornosti hrastovine. Zelo pomemben vpliv imajo tudi ekstraktivi, saj le-ti lahko v celoti prekrijejo vpliv širine branik.

4.2.2 Mikroskopska analiza razkroja

Po pričakovanjih so glive na splošno bolj kolonizirale vzorce, izdelane iz ozkih branik, kot tiste iz širokih (preglednica 15). To je razumljivo, saj imajo vzorci z ozkimi branikami večji delež trahej in tako več možnosti da glive prodrejo v les. Pri nobeni izmed uporabljenih gliv nismo opazili hif v parenhimskih celicah, saj prav te vsebujejo največji delež ekstraktivov (Fangel in Wegener, 1989). V nasprotju z parenhimskimi celicami so bile najbolj kolonizirane traheje, kar je razumljivo, saj so najširše celice v hrastu in predstavljajo nekakšno avtocesto za glive.

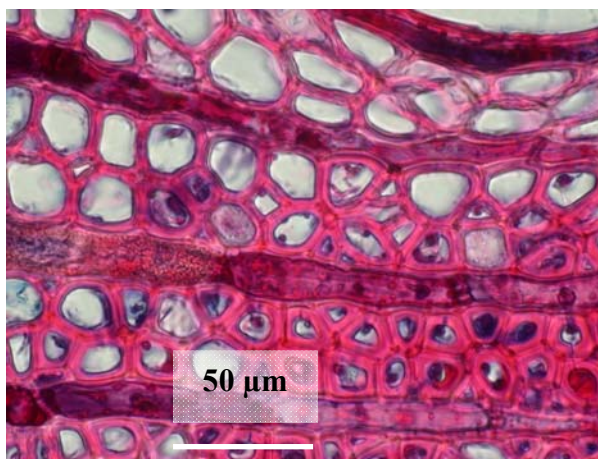
Največja razlika v kolonizaciji posameznih tkiv v odvisnosti od širine branik se je pojavila pri libriformskih vlaknih. Hrastova labirintnica je močno prisotna v libriformskih vlaknih pri ozkih branikah, medtem ko jo pri vzorcih z širokimi branikami sploh ne zaznamo. Ta gliva je tudi edina gliva, ki je bolj kolonizirala libriformska vlakna kot traheide. Z izjemo pisane ploskocevke so vse glive dobro kolonizirale vzorce. To je prvi pogoj za uspešno razgradnjo, ni pa zadosten pogoj, kar pomeni, da še ni nujno, da bo do razgradnje tudi prišlo. To se odraža v primerjavi podatkov iz preglednice 15 in slike 34. Dlakava slojevka in bela hišna goba sta primerljivo okužili hrastovino kakor ogljena kroglica in hrastova labirintnica, vendar sta prvi glivi razkrojili bistveno manjši delež lesa.

Preglednica 15: Prisotnost gliv v anatomskih elementih po izpostavitvi vzorcev glede na širino branike

Gliva	Širina branike	Traheje	Traheide	Libriformska vlakna	Parenhimske celice
hrastova labirintnica	ozke	+++	+	+++	-
	široke	++	+	-	-
bela hišna goba	ozke	+++	+++	++	-
	široke	++	+	-	-
ogljena kroglica	ozke	+++	+++	+++	-
	široke	+++	++	+	-
dlakava slojevka	ozke	+++	+++	++	-
	široke	++	+	+	-
pisana ploskocevka	ozke	++	+	-	-
	široke	+	-	-	-

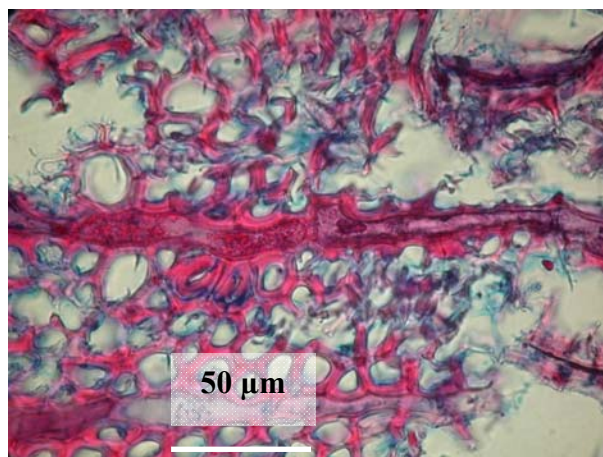
- +++ glive prisotne v vseh celicah.
- ++ glive prisotne v vsaj polovici celic.
- +
- glive niso prisotne.

Slika 37 prikazuje primer, kjer so libriformska vlakna bolj kolonizirana kot traheide, vendar pa do razgradnje njihovih celičnih sten ne prihaja.

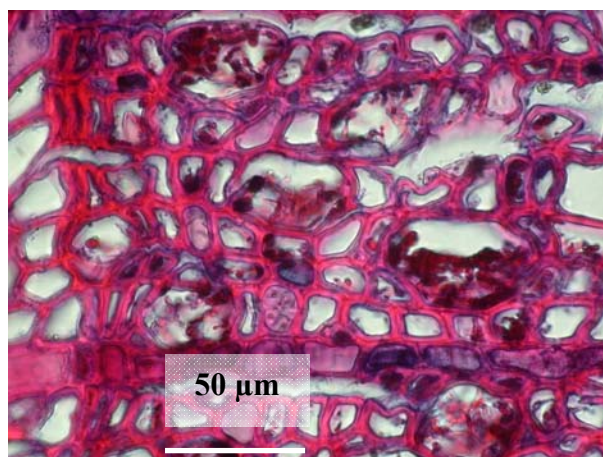


Slika 37: Prečni prerez hrastovine iz deske Hrast 3, ki jo je kolonizirala hrastova labirintnica. Hife se nahajajo v lumnih celic (foto: Zupančič)

Iz slik 38 in 39 se vidi razliko v razkroju vzorcev z različnima deležema ekstraktivov. Še enkrat se pokaže, da je v primeru, če je ekstraktivov več (slika 39), razkroj manjši. Poleg tega pa lahko iz slike 38 vidimo, da so parenhimske celice skorajda nedotaknjene, čeprav je razkroj ostalih anatomskih elementov zelo intenziven.

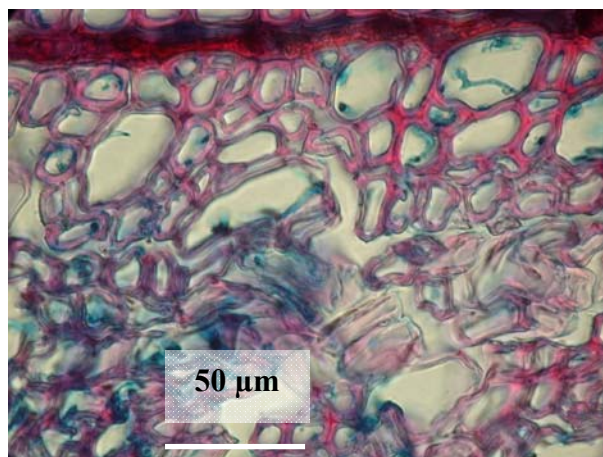


Slika 38: Prečni prerez hrastovine, ki jo je razkrojila ogljena kroglica. Vzorec je iz deske Hrast 3 (foto: Zupančič)

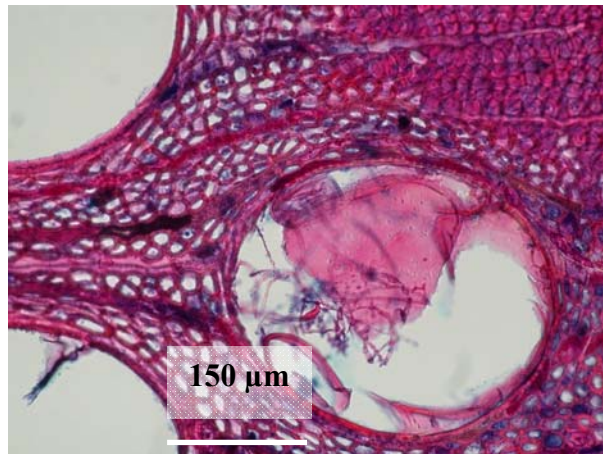


Slika 39: Prečni prerez hrastovine, ki jo je razkrojila ogljena kroglica. Vzorec je iz deske Hrast 2. Delež ekstraktivov v tem vzorcu je bil večji kot v lesu Hrasta 3 (slika 38) (foto: Zupančič)

Sliki 40 in 41 prikazujeta glivam izpostavljeno hrastovino z različno širokimi branikami.

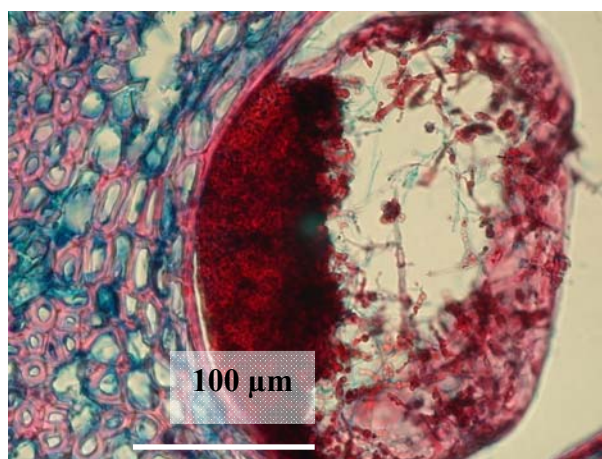


Slika 40: Prečni prerez razkrojene hrastovine iz deske Hrast 4. Uporabljena gliva je bila bela hišna goba (foto Zupančič)



Slika 41: Prečni prerez hrastovine z razkrojem, ki ga je povzročila bela hišna goba. Vzorec je vzet iz skupine Hrast 1 (foto: Zupančič)

Slika 39 prikazuje trahejo premera preko 300 μm , kjer so možnosti za uspešno kolonizacijo največje.



Slika 42: Prečni prerez razkroja vzorca iz deske Hrast 1, izpostavljenega dlakavi slojevki (foto: Zupančič)

5 SKLEPI

Raziskovalno delo v okviru opravljene diplomske naloge lahko povzamemo v naslednjih ugotovitvah.

Z naraščanjem širine branik hrastovine narašča tudi gostota lesa. Pri vzorcih iz deske Hrast 1 je povprečna širina branik znašala 0,77 mm, povprečna gostota 550 kg/m³. Vzorci iz deske Hrast 4 pa so imeli v povprečju branike široke 3,72 mm gostota pa je znašala 749 kg/m³.

Iz naših podatkov nismo dobili statistično značilne povezave med širino branik in deležem dušika, kakor tudi ne med širino branik in deležem ekstraktivov. Zanimivo pa je, da pri deski Hrast 2 omenjena deleža bistveno odstopata od deležev v ostalih treh skupinah vzorcev.

Delež lignina povezan s širino branik. Podobno lahko trdimo tudi za svetlost vzorcev (L^*) ter za barvne razlike med njimi (ΔE^*). Po drugi strani pa je povezava med svetlostjo (L^*) in deležem lignina presenetljivo visoka ($R^2 = 0,87$).

S FT – IR analizo hrastovine z različno širokimi branikami nismo opazili bistvenih razlik med posameznimi deskami.

Dokazali smo, da širina branik vpliva na odpornost proti glivam razkrojevalkam. Odpornost hrastovine z ozkimi branikami (0,77 mm) lahko primerjamo z odpornostjo bukovine, ki je po standardu SIST EN 350 (1995) v najmanj odpornem 5 razredu. Ta isti standard jedrovino hrasta uvršča v 2 razred odpornosti.

Znaten delež k naravni odpornosti prispevajo tudi ekstraktivi, ki lahko celo izničijo vpliv širine branik. Pri vzorcih, v katerih je bil delež ekstraktivov daleč največji, je bil razkroj lesa najmanjši (Hrast 2).

Uspešna glivna kolonizacija vzorcev še ni zadosten pogoj za uspešno razgradnjo lesa. Glive so po pričakovanjih najboljše kolonizirale treheje, medtem ko jih v parenhimskih celicah nismo zaznali.

Največ lesne mase hrastovih vzorcev sta razkrojili glivi hrastova labirintnica (*D. quercina*) in ogljena kroglica (*H. fragiforme*).

Menimo, da bodo rezultati diplomskega dela prispevali k boljšemu razumevanju naravne trajnosti lesa, saj v ljudski praksi velja zmotno mnenje o vplivu širine branik hrastovine na njeno odpornost. Nakazali smo le smernice raziskav na tem področju. Vsekakor pa bi bilo smiselno nadaljevati delo in preučiti vpliv širine branik in drugih dejavnikov trajnosti lesa v preostalih venčasto poroznih drevesnih vrstah (kostanj, robinja, jesen in brest). Na podlagi teh rezultatov ne moremo predvideti rezultatov pri ostalih venčasto poroznih vrstah, saj nas les s svojo heterogenostjo vedno znova preseneča.

6 POVZETEK

Les je kot naravni material izpostavljen različnim dejavnikom razgradnje. Večina slovenskih drevesnih vrst ima neodporen les, zato skušamo trajnost takšnega lesa podaljšati. Na voljo imamo kemično zaščito lesa, ki pa se je nekateri okoljsko ozaveščeni uporabniki vedno bolj izogibajo. Zato raste pomen drevesnih vrst z večjo naravno trajnostjo lesa. V Sloveniji imamo na voljo le majhno število odpornih lesnih vrst, med katere spada tudi les hrasta (*Quercus sp.*). Hrastovino uporabljamo že zelo dolgo. Pri tem se je izkazalo, da določen delež hrastovine v uporabi relativno hitro propade. V nalogi smo želeli osvetliti, kako na naravno trajnost hrastovine vpliva širina branik lesa jedrovine hrasta.

Vzorci smo izdelali iz adultnega lesa hrastovine in jih mehansko obdelali na dimenzije 11 mm × 15 mm × 41 mm. Ob upoštevanju standarda SIST EN 113 smo vzorce izpostavili delovanju petim glivam razkrojevalkam: hrastovi labirintci, ogljeni kroglici, pisani ploskocevki, beli hišni gobi in dlakavi slojevki; gravimetrično smo jim določili izgubo mase, del vzorcev pa smo po razkroju mikroskopsko analizirali. Iz vzporednih vzorcev smo izdelali preparate, jim določili delež dušika, delež ekstraktivov in lignina; izmerili smo jim barvne komponente po CIE $L^*a^*b^*$ sistemu ter jih vključili v FT-IR analizo.

Naši rezultati so pokazali, da se z večanjem širine branik gostota lesa povečuje. S širino branik in gostoto pa raste tudi naravna odpornost lesa. Levji delež k odpornosti in z njo povezani naravni trajnosti prispeva tudi delež ekstraktivov. Z večanjem deleža ekstraktivov se povečuje naravna trajnost. Po drugi strani pa med širino branik in deležem dušika v lesu nismo zaznali statistično značilne povezave, kakor tudi ne moremo trditi, da se širina branik odraža v barvi lesa in FT – IR spektrih lesa. Fotografije vzorcev po razkroju pa so pokazale, da uspešna glivna kolonizacija še ni zadosten pogoj za uspešno razgradnjo lesa.

7 VIRI

- Amartey S. A., Humar M., Pohleven F. 2003. Recycling of CCA/CCB treated wood waste through bioremediation: a review. *Drev. výsk.*, 48, 4: 1-12
- Benko R., Kervina – Hamović L., Gruden M. 1987. Patologija lesa. Lesna fitopatologija. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo: 2 - 98
- BS EN 460. 1994. Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood - Guide to the durability requirements for wood to be used in hazard classes.; 37 str.
- Byördal C. 2008. COST Action E37, Sustainability Trough New Technologies For Enhanced Wood Durability, Progres report: 2005 – 2006.
<http://www.bfafh.de/inst4/45/ptt/7trainng.pdf> (12.2.2008)
- Carlie M., Watkinson S.C. 1994. The fungi. London, Academic press limited: 482 str.
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa: univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Eaton R.A., Hale M.D.C. 1993. Wood-decay, pests and protection. London, Chapman and Hall: 250 str.
- Fengel D., Wegener G. 1989. Wood; Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin, New York, Walter de Gruyter: 258 str.
- Gadd G.M. 1993. Interactions of fungi with toxic metals. *New Phytologist*, 64, 2: 25–26

- Golob V., Golob D. 2001. Teorija barvne metrike. V: Interdisciplinarnost barve. Del 1. V znanosti. Maribor, Društvo koloristov Slovenije: 201-229
- Gorišek Ž., Geršak M., Velušček V., Čop T., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije, Lesarska založba: 235 str.
- Gorišek Ž. 2004. Les: Zgradba in lastnosti. Interno gradivo za predmet Tehnologija lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 94 str.
- Gorše M. 2005. Vpliv alkilamonijevega klorida na vezavo in učinkovitost bakrovih pripravkov. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 57 str.
- Green III. F., Highley T. L. 1997. Mechanism of brown-rot decay: Paradigm or paradox. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 39,3: 113-124
- Guilley E., Charpentier J.P., Ajady N. 2004. Decay resistance against *Coriolus versicolor* in Sessile oak (*Quercus petraea*): analysis of the between – tree variability and correlations with extractives, tree growth and other basic wood properties. *Wood Sci Technol.*, 38: 539 - 554
- 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. 2000. Značilnosti razkroja lesa z rjavo trohnobo. *Les*, 52, 7-8: 229 - 234
- Humar M. 2002. Interakcija bakrovih zaščitnih pripravkov z lesom in lesnimi glivami. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 2002: 127 str.

- Humar M., Amerthey S. A., Pohleven F. 2006a. Influence of corn steep liquor and glucose on colonization of control and CCB (Cu/Cr/B)-treated wood by brown rot fungi. *Waste manag. (Elmsford)*. 26, 5: 459-465.
- Humar M., Bučar B., Pohleven F. 2006b. Brown-rot decay of copper-impregnated wood. *Int. biodeterior. biodegrad.* 58, 1: 9-14.
- Jecl B. 2005. Fiksacija pripravka na osnovi bakra, etanolamina, oktanojske kisline in bora v impregniranem lesu. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 42 str.
- Kai Y. 1991. Chemistry of Extractives. V: Wood and Cellulosic Chemistry. Hon DNS m (Ur.), Shiraishi N (Ur.), Marcel Dekker, New York: 215-255.
- Kervina-Hamović L. 1990. Zaščita lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 126 str.
- Kirar S. 2007. Mehanske lastnosti lesa impregniranega s pripravki na osnovi bakra in etanolamina. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 47 str.
- Lal N. K., Butnaru R., Simionescu C. 1977. Cellulose, chemistry and technology, 11, 59-66.
- Michell A.J. 1989. Second derivate FTIR spectra of woods. in: Wood and Cellulosic Chemistry. D.N.S. Hon (Eds.), N. Shiraishi (Eds.) New York, Marcel Dekker, Inc.: 3 – 395.
- Novak D. 2005. Spremembe mehanskih in kemijskih lastnosti s Cu pripravki zaščenega lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 58 str.

Oven P. 2006. Poroznost lesa – Vaja 2. Gradivo za vaje pri predmetu Tehnologija lesa.
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 2 str.

Pečenko G. 1987. Zaščita lesa v praksi. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov
gozdarstva in lesarstva Slovenije: 221 str.

Podlesnik B. 2007. Učinkovitost pripravkov na osnovi bora in etanolamina na lesne glive.
Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za
lesarstvo: 58 str.

Pohleven F., Petrič M. 1992. Ekološke perspektive zaščite lesa pred škodljivci. Nova
revija, 43, 3: 94-98.

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.

Pohleven F. 2005. Predavanja, Zaščita lesa, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta,
Oddelek za lesarstvo.

prCEN/TS 14961. 2004. Solid Biofuels –Fuel specification and classes. CEN/TC 335,
Final draft. European Standardisation Committee]

Rayner A. D. M., Boddy L. 1995. Fungal Decomposition of Wood. Its Biology And
Ecology. New York, Yohn Wiley and Sons: 587 str.

Raspor P., Smole–Možina S., Podjavoršek J., Pohleven F., Gogala N., Nekrep F.V., Hacin
J. 1995. ZIM: zbirka industrijskih mikroorganizmov. Katalog biokultur. Ljubljana,
Biotehniška fakulteta, Katedra za biotehnologijo: 98 str.

Royal Society of Chemistry, 2007

<http://www.rsc.org/chemistryworld/Issues/2007/September/ClassicKitSoxhletExtractor.asp> 9.3.2008.

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.

Schmidt O. 1994. *Holz – und Bauenpilze*. Berlin, Springer – Verlag: 246 str.

Schmidt O. 2006. *Wood and tree fungi*. Berlin, Springer – Verlag: 334 str.

SIST EN 335-1/2. 1992. Durability of wood and derived materials – definition of hazard classes of biological attack – part 1 and 2.: 13 str.

SIST EN 113. 1995. Determination of toxic values of wood preservatives against wood destroying Basidiomycetes cultured on an agar medium.: 25 str.

SIST EN 350-2. 1995. Durability of wood and wood-based products, Natural durability of solid wood Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe.: 42 str.

Takao S. 1965. Organic acid production by Basidiomycetes. *Applied microbiology*, 13, 5: 732-737.

Tavzes Č. 2003. Proučevanje encimatskih in neencimatskih procesov razgradnje lesa. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 169 str.

Tišler V. 1990. *Kemijska analiza lesa (Za interno uporabo)*, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 47 str.

Unger A., Schniewind A.P., Unger W. 2001. Conservation of Wood Artifacts. Berlin, Springer: 165–265.

Vek V. 2007. Spremembe mehanskih lastnosti lesa zaradi delovanja gliv modrivk. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 55 str.

Vesel - Tratnik N. 1994. Interakcija in encimska aktivnost gliv pri piravosti bukve. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 161 str.

Viitanen H., Metsä – Kortelainen S., Laakso T. 2006. Resistance of pine and spruce heartwood against decay. – The effect of wood chemical composition and coating with water-borne wood oil product. IRG/WP 06-10597.

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

Zabel R.A., Morell J.J. 1992. Wood Microbiology, Decay and its Prevention. San Diego, Academic press Inc.: 476.

Zupančič M. 2007. «Vpliv barve na trajnost». Katedra za tehnologijo lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo (osebni vir, 6. marec 2007).

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, doc. dr. Mihi Humarju, za nesebično pomoč pri nastajanju diplomske naloge.

Hvala tudi recenzentu, prof. dr. Primožu Ovnu, za koristne nasvete in strokovnemu svetovalcu uni.dipl.inž. Martinu Zupančiču za pomoč pri eksperimentalnem delu.

Iskrena hvala gre tudi mojim domačim za podporo in potrpežljivost v letih šolanja, posebna hvala Ireni.