

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ŠTUDIJ BIOTEHNOLOGIJE

Nuša STARČEK

**VPLIV BIOTSKIH IN ABIOTSKIH DEJAVNIKOV
RAZKROJA NA ODPORNOST, MEHANSKE IN
SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ŠTUDIJ BIOTEHNOLOGIJE

Nuša STARČEK

**VPLIV BIOTSKIH IN ABIOTSKIH DEJAVNIKOV RAZKROJA NA
ODPORNOST, MEHANSKE IN SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**INFLUENCE OF BIOTIC AND ABIOTIC DECAY FACTORS TO
DURABILITY, MECHANICAL AND SORPTION PROPERTIES OF WOOD**

GARDUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega medoddelčnega študija biotehnologije na Biotehniški fakulteti v Ljubljani. Opravljeno je bilo na Katedri za patologijo in zaščito lesa na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani.

Komisija za študij 1. in 2. stopnje biotehnologije je na seji dne 20. 06. 2012 za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Miho Humarja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: prof. dr. Branka JAVORNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Miha HUMAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član: prof. dr. Franci Aco Celar
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Nuša STARČEK

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*812
KG	naravna odpornost, glive razkrojevalke lesa, ekstraktivi, mehanske lastnosti, sorpcija
AV	STARČEK, Nuša
SA	HUMAR, Miha (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Študij biotehnologije
LI	2012
IN	VPLIV BIOTSKIH IN ABIOTSKIH DEJAVNIKOV RAZKROJA NA ODPORNOST, MEHANSKE IN SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	XIII, 68 str., 6 pregl., 29 sl., 61 vir.
IJ	SI
JI	sl/en
AI	Ena od omejitev, ki preprečuje večji razmah lesene gradnje v Sloveniji je dejstvo, da ni znanih natančnih podatkov o življenjski dobi lesenih gradbenih elementov. Želeli smo raziskati, kako biotski in abiotski dejavniki razkroja vplivajo na naravno odpornost, mehanske in sorpcijske lastnosti lesa. Izdelali smo vzorce iz kostanjevine, bukovine, smrekovine in smrekovine zaščitene z biocidnim proizvodom Silvanolin®. Vzorce smo izpostavili 5 glivam razkrojevalkam lesa: <i>Hypoxylon fragiforme</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Trametes versicolor</i> , <i>Gloeophyllum trabeum</i> in <i>Antrodia vaillantii</i> . Izgubo mase smo določili gravimetrično. Mehanske spremembe smo določali z metodo upogibne in tlačne trdnosti. Vzorce smo izpirali s 3 različnimi topili, da smo določili delež ekstraktivov. S spremljanjem navzema vode v vzorce in uravnovešanjem vzorcev na 65 % in 87 % relativni zračni vlažnosti smo določali sorpcijske lastnosti lesa. Ugotovili smo, da je kostanjevina zelo odporna vrsta. Glive so najbolj razkrajale kontrolno bukovino in smrekovino. Odpornost starane bukovine in smrekovine pa se je izboljšala. Upogibna trdnost se je poslabšala pri bukovini, medtem ko se je tlačna trdnost izboljšala pri vseh vrstah lesa. Največ ekstraktivnih snovi se je izpralo z vodo. Kapilarni navzem vode se je povečal z razkrojenostjo lesa, kar se sklada z rezultati pri izgubah mas. Nestarani les se je uravnovesil pri nižjih vlažnostih.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	UDC 630*812
CX	natural resistance, wood decay fungi, extractives, mechanical properties, sorption
AU	STARČEK, Nuša
AA	HUMAR, Miha (supervisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Academic Study Program in Biotechnology
PY	2012
TI	INFLUENCE OF BIOTIC AND ABIOTIC DECAY FACTORS TO RESISTANCE, MECHANICAL AND SORPTION PROPERTIES OF WOOD
DT	Graduation Thesis (University studies)
NO	XIII, 68 p., 6 tab., 29 fig., 61 ref.
LA	SI
AL	sl/en
AB	One of the limitations that prevent the use of wooden constructions in Slovenia is the fact that there are no accurate data on the service life of the wooden components. The purpose of this research was to investigate influence of biotic and abiotic decay factors on the natural durability, mechanical and sorption properties of wood. Samples from chestnut, beech, spruce and spruce-protected Silvanolin [®] were utilised. The samples were exposed to 5 wood degrading fungi: <i>Hypoxylon fragiforme</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Trametes versicolor</i> , <i>Gloeophyllum trabeum</i> and <i>Antrodia vaillantii</i> . Mass loss was determined gravimetrically. Mechanical changes were determined by the method of bending and compressive strength. Samples were extracted with 3 different solvents in order to determine extractive content was determined. Sorption properties of wood conditioned at chamber with 65% and 87% relative air humidity was measured in parallel. We found that the chestnut is highly durable species even after one year of natural weathering. The most decayed samples were the control ones made of beech and spruce. Resistance of aged beech and spruce was improved. Bending strength was affected in beech, while the compressive strength improved in all types of aged wood. Most of the extractive substances were leached with water. Capillary water uptake measurements revealed, that water uptake has increased with decay of wood, which is consistent with the results in weight loss.

KAZALO VSEBINE

	str.
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK.....	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
SLOVARČEK.....	XII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 CILJ RAZISKOVANJA	1
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA	3
2.1.1 Naravna odpornost	3
2.1.1.1 Ekstraktivne snovi	5
2.1.2 Trajnost.....	6
2.2 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA	7
2.3 GLIVE	8
2.3.1 Dejavniki, ki vplivajo na rast gliv.....	8
2.3.1.1 Hrana	9
2.3.1.2 Vlaga (voda v lesu).....	10
2.3.1.3 Temperatura.....	10
2.3.1.4 Zrak (kisik).....	10
2.3.1.5 Svetloba	11
2.3.1.6 Vrednost pH	11
2.3.2 Glive, ki povzročajo obarvanje lesa	11
2.3.2.1 Plesni	11
2.3.2.2 Glive modrivke.....	12
2.3.2.3 Rdečenje	12
2.3.3 Trohnobe	13
2.3.3.1 Rjava ali destruktivna trohnoba	13
2.3.3.2 Bela ali korozivna trohnoba	14
2.3.3.3 Mehka trohnoba	14
2.3.4 Vpliv glivnega razkroja na les	15

2.4	LESNE ŽUŽELKE	15
2.5	SORPCIJA LESA	16
2.5.1	Higroskopnost in ravnovesna vlažnost	17
2.6	MEHANSKE LASTNOSTI LESA	18
2.6.1	Tlačna trdnost	18
2.6.2	Upogibna trdnost	18
2.7	ZAŠČITA LESA	18
2.7.1	Baker-etanolaminski pripravki	20
3	MATERIALI IN METODE	22
3.1	VZORCI	22
3.1.1	Kostanjevina	22
3.1.1.1	Opis lesa	22
3.1.1.2	Lastnosti lesa in uporaba	22
3.1.2	Bukovina	23
3.1.2.1	Opis lesa	23
3.1.2.2	Lastnosti lesa in uporaba	23
3.1.3	Smrekovina	24
3.1.3.1	Opis lesa	24
3.1.3.2	Lastnosti lesa in uporaba	24
3.1.4	Izdelava vzorcev	25
3.1.4.1	Vzorci za določanje upogibne trdnosti in sorpcijskih lastnosti	27
3.1.4.2	Vzorci za določanje odpornosti proti glivam	27
3.1.4.3	Vzorci za določanje tlačne trdnosti in privzema vode	27
3.1.4.4	Vzorci za določanje deleža ekstraktivov	27
3.2	DOLOČANJE FUNGICIDNIH LASTNOSTI LESA	27
3.2.1	Priprava steklovine	28
3.2.2	Priprava gojišča	28
3.2.3	Testne glive	29
3.2.3.1	Ogljena kroglica (<i>Hypoxylon fragiforme</i> (Pers.) J. Kickx f.)	29
3.2.3.2	Bukov ostrigar (<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq. ex Fr.) P. Kumm)	30
3.2.3.3	Pisana ploskocevka (<i>Trametes versicolor</i> (L.) Lloyd)	31
3.2.3.4	Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i> (Pers.) Murill)	32
3.2.3.5	Bela hišna goba (<i>Antrodia vaillantii</i> (DC.) Ryvarden)	33
3.2.4	Izpostavitev vzorcev glivam	35
3.2.5	Gravimetrično določanje izgube mase	35

3.3	DOLOČANJE KAPILARNEGA NAVZEMA VODE	36
3.4	DOLOČANJE UPOGIBNE TRDNOSTI.....	36
3.5	DOLOČANJE TLAČNE TRDNOSTI.....	37
3.6	EKSTRAKCIJA	39
3.7	SORPCIJA	40
3.8	ANALIZA REZULTATOV	41
3.9	OPREMA IN APARATURE	41
3.9.1	Aparature	42
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	43
4.1	FUNGICIDNE LASTNOSTI LESA.....	43
4.1.1	Izguba mase vzorcev kostanjevine po izpostavitvi glivam	43
4.1.2	Izguba mase vzorcev bukovine po izpostavitvi glivam	44
4.1.3	Izguba mase vzorcev smrekovine po izpostavitvi glivam	46
4.1.4	Izguba mase vzorcev smrekovine zaščitene s Silvanolinom® po izpostavitvi glivam.....	47
4.2	SPREMEMBA UPOGIBNE IN TLAČNE TRDNOSTI	48
4.2.1	Upogibna trdnost	49
4.2.2	Tlačna trdnost	50
4.3	DELEŽ EKSTRAKTIVOV V LESU	52
4.3.1	Delež ekstraktivov v kostanjevini.....	52
4.3.2	Delež ekstraktivov v bukovini	53
4.3.3	Delež ekstraktivov v smrekovini in impregnirani smrekovini s Silvanolinom®	54
4.4	NAVZEM VODE IN SORPCIJSKE LASTNOSTI.....	55
4.4.1	Kapilarni navzem vode	55
4.4.2	Sorpcijske lastnosti	57
5	SKLEPI	59
6	POVZETEK	60
7	VIRI	62
ZAHVALA		
PRILOGA		

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Razvrstitev lesnih vrst v pet odpornostnih razredov	4
Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na mesto uporabe	6
Preglednica 3: Pomen oznak vzorcev	26
Preglednica 4: Glive, razkrojevalke lesa	28
Preglednica 5: Nasičene vodne raztopine različnih soli za doseganje izbrane relativne zračne vlažnosti pri 20 °C	40
Preglednica 6: Relativne vlažnosti [%] vzorcev lesa kostanjevine, bukovine, smrekovine in zaščitene smrekovine s Silvanolinom®	57

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Trosišča glive <i>S. sanguinolentum</i> in rdeče obarvanje kot posledica	13
Slika 2: Vzorci na testnem polju na začetku izpostavitve	25
Slika 3: Primerjava spremembe barve kontrolnih in staranih vzorcev kostanjevine	26
Slika 4: Primerjava spremembe barve kontrolnih in staranih vzorcev bukovine	26
Slika 5: Primerjava spremembe barve kontrolnih in staranih vzorcev smrekovine	26
Slika 6: Primerjava spremembe barve kontrolnih in staranih vzorcev zaščitene smrekovine s Silvanolinom®	26
Slika 7: Trosnjak ogljene kroglice	30
Slika 8: Trosnjak bukovega ostrigarja	31
Slika 9: Klobučki pisane ploskocevke izraščajo na bukovem štoru v gozdovih Dravinjskih goric na Štajerskem	32
Slika 10: Trosnjak navadne tramovke (<i>G. trabeum</i>)	33
Slika 11: Plodišče bele hišne gobe	34
Slika 12: Rizomorfi bele hišne gobe	34
Slika 13: Tenziometer Krüss 100	36
Slika 14: Določanje upogibne trdnosti	37
Slika 15: Določanje tlačne trdnosti	38
Slika 16: Naprava za določanje mehanskih lastnosti Zwick-Roell	39
Slika 17: Naprava za določanje mehanskih lastnosti Zwick-Roell	39
Slika 18: Priprava vzorcev za ekstrakcijo	40
Slika 19: Povprečna izguba mase vzorcev kostanjevine po izpostavitvi glivam..	43
Slika 20: Povprečna izguba mase vzorcev bukovine po izpostavitvi glivam	44
Slika 21: Povprečna izguba mase vzorcev smrekovine po izpostavitvi glivam	46
Slika 22: Povprečna izguba mase vzorcev smrekovine zaščitene s Silvanolinom® po izpostavitvi glivam	47
Slika 23: MoR = modul porušitve [N/mm ²] - sprememba upogibne trdnosti vzorcev kostanjevine, bukovine, smrekovine in zaščitene smrekovine s Silvanolinom®	49
Slika 24: MoR = modul porušitve [N/mm ²] - sprememba tlačne trdnosti vzorcev kostanjevine, bukovine, smrekovine in zaščitene smrekovine s Silvanolinom®	51

Slika 25: Delež izpranih ekstraktivov [%] iz kostanjevine	52
Slika 26: Delež izpranih ekstraktivov [%] iz bukovine	53
Slika 27: Delež izpranih ekstraktivov [%] iz smrekovine	54
Slika 28: Delež izpranih ekstraktivov [%] iz zaščitene smrekovine s Silvanolinom®	54
Slika 29: Navzem vode [g] kostanjevine, bukovine, smrekovine in zaščitene smrekovine s Silvanolinom®	56

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšava	Pomen
ACQ	Oznaka za novejša bakrove biocidne proizvode na podlagi bakrovih spojin in aminov
CCA	Cooper Chrome Arsenic – kratica za biocidne proizvode na podlagi bakrovih, kromovih in arzenovih spojin
CuEQB	Biocidni proizvod, sestavljen iz bakrovih spojin, etanolamina, kvartarne amonijeve spojine ter borove kisline
DDT	Diklor-difenil-trikloroetan
FSS	Fitofarmacevtska sredstva
Gt2	<i>Gloeophyllum trabeum</i>
Hf	<i>Hypoxylon fragiforme</i>
IAWA	Mednarodno združenje lesnih anatomov
IRG-WP	International research group on Wood Protection – Svetovno združenje za zaščito lesa
MoR	Modul porušitve
PCP	Pentaklorofenol
Pl05	<i>Pleurotus ostreatus</i>
Pv2	<i>Antrodia vaillantii</i>
QUAT	Kvartarne amonijeve spojine
RZV	Relativna zračna vlažnost
TBTO	Organo kositrove spojine (three butyl tin oxide)
TNCS	Točka nasičenja celičnih sten
Tv6	<i>Trametes versicolor</i>

SLOVARČEK

Beljava	Obodni (periferni) prevodni del debla svetlejšje barve s še živimi celicami, ki vsebujejo rezervne snovi (Torelli, 1990).
Higroskopnost	Lastnost lesa, da glede na klimo okolja vlago sprejema ali oddaja.
Impregnacija (prepojitev)	Vnos biocidnega proizvoda v les za povečanje odpornosti, trajnosti lesa.
Jedrovina	Starostni in dedni pojav, ki nastane v osrednjem delu debla drevesa. Parenhimske celice odmrejo, začne se odlaganje raznih jedrovinskih snovi v celične stene in lumne. Pri nekaterih drevesnih vrstah je ta jedrovina temneje obarvana (črnjava) (Lesarski ..., 2008).
Kolesivost	Krožna razpoka, ki poteka v deblu med branikami, največkrat po letnici. So posledica rastnih napetosti. Nastanejo predvsem v spodnjem delu debla. Na mestu razpoke je zelo zmanjšana trdnost lesa. Pri predelavi lesa se mora mesto z razpoko izločiti, zato nastaja veliko ostanka (Lesarski ..., 2008).
Piravost	Je tip bele trohnobe, ki se najpogosteje pojavlja na bukovini. Povzroča jo več gliv hkrati (Torelli, 1990).
Relativna zračna vlažnost	Razmerje med dejansko absolutno vlažnostjo zraka in maksimalno vlažnostjo (zrak vsebuje največjo možno količino vodnih par) oz. med delnim tlakom vodne pare in tlakom nasičenosti vodne pare v zraku (Lesarski ..., 2008).

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Ena od omejitev, ki preprečuje večji razmah lesene gradnje v Sloveniji je dejstvo, da za razliko od konkurenčnih materialov, ni znanih natančnih podatkov o življenjski dobi lesenih gradbenih elementov in intervalov vzdrževanja. Ti podatki so nujno potrebni za načrtovanje stavb. Na trajnost lesa pa v veliki meri vplivajo lokalni klimatski pogoji, zato teh podatkov ni mogoče prekopirati iz tujih priporočil, temveč jih je treba določiti oziroma prilagoditi za vsako okolje in za vsako lesno vrsto in tip zaščite posebej.

Les v našem podnebnem pasu ogrožajo predvsem glive. Žal ima večina lesnih vrst v našem podnebnem pasu naravno neodporen les. Neodporen les je na prostem podvržen razkroju. V naravi so ti procesi zaželeni in nujno potrebni, ko pa les uporabljamo v gospodarske namene, so procesi razgradnje nezaželeni in jih želimo čim bolj upočasniti. Pri tem je nujno poznati glivni razkroj lesa in predvsem glivno kolonizacijo lesa. Dobro poznavanje procesov glivne kolonizacije lesa nam bo omogočalo razvoj učinkovitejših postopkov zaščite lesa. Glivno kolonizacijo lahko upočasnimo na več načinov. Najpogostejši so: uporaba biocidnih proizvodov, modifikacija lesa, uporaba hidrofobnih pripravkov in uporaba domačih naravno odpornih lesnih vrst.

1.2 CILJ RAZISKOVANJA

Cilj našega dela je bilo določiti mehanske spremembe različnih vrst lesa zaradi delovanja biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja. To smo preverjali z metodo upogibne in tlačne trdnosti.

Želeli smo določiti spremembe sorpcijskih lastnosti različnih vrst lesa zaradi delovanja biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja. Uporabili smo tenziometer, s katerim smo določali navzem vode po 200 sekundah ter spremljali vlažnost lesa pri 65 % in 87 % relativni zračni vlažnosti.

Spremembe v odpornosti na lesne glive različnih vrst lesa zaradi delovanja biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja smo določili tako, da smo vzorce izpostavili petim vrstam

gliv. Tri so bile povzročiteljice bele trohnobe (ogljena kroglica, bukov ostrigar in pisana ploskocevka) in dve povzročiteljici rjave trohnobe (navadna tramovka in bela hišna goba).

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Mehanske lastnosti različnih vrst lesa se zaradi delovanja biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja poslabšajo.

Les bo imel zaradi delovanja biotskih in abiotskih dejavnikov pri istih pogojih višjo vlažnost kot kontrolni vzorci, ki niso bili izpostavljeni na prostem.

Odpornost lesa se zaradi delovanja biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja poslabša.

2 PREGLED OBJAV

Les velja za okolju prijazen material, zato postaja uporaba strupenih kemikalij v biocidnih proizvodih za les vedno bolj sporna. Naravna odpornost lesa je vedno bolj cenjena lastnost lesa, saj je ključnega pomena za dolgo uporabo nezaščitenega lesa.

2.1 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA

2.1.1 Naravna odpornost

Naravna odpornost je v najširšem pomenu definirana kot odpornost lesa proti delovanju fizikalnih, kemijskih ali biotičnih dejavnikov (Dinwoodie, 2000). Najpomembnejši so biotični dejavniki razkroja, zato standard SIST-EN 350-1 (1995) definira naravno odpornost kot lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in označuje dovzetnost na škodljive organizme.

Mednarodno združenje lesnih anatomov (IAWA 1964, cit. po Torelli, 2003) je definiralo beljavo kot (navadno) periferni del debla, ki vsebuje rezervne snovi. Beljava rastočega drevesa vsebuje žive parenhimske celice, rezervno hrano in ima visoko vlažnost. Isto združenje definira jedrovino kot notranje plasti lesa v rastočem drevesu, kjer je parenhim odmrl, rezervne snovi v njem pa so se odstranile ali transformirale v jedrovinske snovi. Ojedritev je starostni, genetsko pogojen pojav, ki slej ko prej nastopi pri večini drevesnih vrst (Torelli, 2003). V procesu ojedritve žive parenhimske celice začnejo odmirati, ob tem se običajne biokemijske poti presnove spremenijo in nastajati začnejo predhodniki jedrovinskih snovi ali ekstraktivov. Ekstraktivi se začno kopičiti že v živih celicah v prehodni coni (Čufar, 2006).

Beljava vseh lesnih vrst, tudi tistih z zelo odporno jedrovino, ni odporna proti biološkim dejavnikom razkroja zaradi pomanjkanja biološko aktivnih ekstraktivov, ki bi zavirali rast mikroorganizmov. Zaradi tega je beljava vseh lesnih vrst po standardu SIST EN 350-2 (1995) razvrščena v najnižji odpornostni razred 5, kar pomeni zelo občutljivo na razkroj. Razvrstitev lesnih vrst v pet odpornostnih razredov je prikazana v preglednici 1.

Preglednica 1: Razvrstitev lesnih vrst v pet odpornostnih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v 5. razred odpornosti (Eaton in Hale, 1993; SIST EN 350-2, 1995)

Razred odpornosti		Trajnost (leta)	Drevesna vrsta
1	Zelo odporne	20+	robinija (1-2), iroko, tik
2	Odporne	15-20	kostanj, dob, tisa
3	Zmerno odporne	10-15	oreh, macesen, bor (3-4), duglazija
4	Neodporne	5-10	smreka, jelka, brest
5	Zelo občutljive	<5	javor, breza, gaber, lipa, topol, bukev

Vendar pa samo z ekstraktivi ne moremo v zadostni meri pojasniti naravne odpornosti lesa. Hidrofobnost lesa ima tudi zelo pomemben učinek na naravno odpornost (Gerardin in sod., 2004). Hidrofobnost povečujejo snovi, odložene v lumnih celic, kot so tile, gumozni depoziti in smole. Tile zmanjšujejo mobilnost vode v lesu, kar pripomore k zmanjšanju izpiranja ekstraktivov iz hrasta (Aloui in sod., 2004). Naravna odpornost variira tudi po višini drevesa, velja, da narašča z naraščanjem razdalje o korenin.

Na odpornost lesa tudi vplivajo celične stene, gostota lesa, širina branik in čas sečnje (Čufar, 2006).

Humar in sodelavci (2008) so ugotovili, da širina branik pomembno vpliva na naravno odpornost jedrovine hrasta; širše kot so branike, bolj odporen je les. Odpornost vzorcev jedrovine hrasta z zelo ozkimi branikami (0,7 mm) proti ogljeni kroglici (*Hypoxylon fragiforme*) je bila primerljiva z odpornostjo bukovine (Humar in sod., 2008; Fabčič, 2008). A odpornosti ne moremo popolnoma pojasniti s širino branik, saj je količina ekstraktivov ravno tako pomemben dejavnik, ki vpliva na naravno odpornost (Aloui in sod., 2004). Pri lesu iglavce velja obratno, ožje kot so branike, kvalitetnejši je les.

Klimatski pogoji so v hladnejših mesecih neugodni za delovanje gliv in insektov, s čimer se zmanjša možnost okužbe lesa pred uporabo. Les zimske in letne sečnje je enako (ne)odporen, če je med uporabo izpostavljen klimatskim pogojem, ki so ugodni za rast in razvoj gliv ter insektov (Panshin in de Zeeuw, 1980).

2.1.1.1 Ekstraktivne snovi

Nekateri avtorji poročajo, da je delež ekstraktivov najpomembnejši parameter lesa, povezan z njegovo odpornostjo proti glivam (Aloui in sod., 2004; Guilley in sod., 2004).

Lesni ekstraktivi so hidrofozne spojine, ki skupaj s celulozo, različnimi polisaharidi in ligninom sestavljajo lesno maso. Gre za celo vrsto kemijsko različnih organskih spojin, katerih skupna lastnost je dobra topnost v nevtralnih topilih (Zule, 2001). Najvažnejši so polifenoli, ki vključujejo tanine, antocianine, flavone, katehine, lignane itd. (Čufar, 2006). Njihova poglavitna funkcija v lesu je, da ga ščitijo pred zunanjimi vplivi in okužbami (fungistatičen/fungiciden in bakteriostatičen/bakteriociden učinek), hkrati pa so nekateri ekstraktiv lahko tudi zaloga hrane v zimskem času. Količina in sestava ekstraktivov je odvisna od vrste lesa in pozicije v lesu, na splošno pa jih je več v iglavcih kot listavcih, in sicer v nekaterih primerih tudi prek 10 %. So v parenhimskih celicah in v smolnih kanalih, po katerih se pretakajo v obliki viskozne tekočine, to je raztopine smolnih kislin v hlapnem olju. Tako smolne kisline kot tudi hlapne sestavine pripadajo skupini terpenoidov, ki izhajajo iz terpenskih ogljikovodikov (Hillis, 1962, cit. po Zule, 2001).

Največja skupina lesnih ekstraktivov so lipidi, in sicer smolne kisline, proste maščobne kisline in nevtralne spojine (Fengel in Wegener, 1989).

Na obstojnost lesa pomembno vplivata tako celokupna količina ekstraktivov kot tudi njihova porazdelitev v drevesnih tkivih (Hillis, 1987). Ekstraktivi vplivajo na barvo, vonj ter manj na gostoto in mehanske lastnosti lesa. Njihova funkcija v živih tkivih še ni povsem raziskana. Znano je, da so nekatere spojine, kot npr. steroli in sterolni estri komponente celičnih membran in sodelujejo pri različnih biokemijskih procesih v celicah, medtem ko druge, npr. trigliceridi in digliceridi, predstavljajo hranilne zaloge. Značilno mehansko zaščitno plast oz. hidrofozno bariero lahko tvorijo smolne komponente in voski, medtem ko bolj polarni fenoli (lignani, flavonoidi, stilbeni) izkazujejo biocidne lastnosti in so zelo strupeni za številne organizme (Fengel in Wegener, 1989; Schultz, 1995).

Odpornost jedrovine v primerjavi z beljavo iste drevesne vrste je boljša predvsem zaradi vsebnosti ekstraktivov (Čufar, 2006).

2.1.2 Trajnost

Trajnost lesa je obdobje, v katerem les ohrani vse svoje bistvene lastnosti. Odvisna je od naravne odpornosti lesa ter mesta in načina uporabe (Kitek Kuzman, 2008). S primerno izbiro vgradnje primerne vrste lesa oziroma primerne postopka zaščite, kot je kemična zaščita ali modifikacija lesa, lahko močno podaljšamo trajnost lesa (Råberg in sod., 2007). V pomoč pri izbiri so evropski strokovnjaki lesene izdelke razdelili v pet različnih razredov izpostavitve glede na njihovo mesto vgradnje oziroma ogroženost (preglednica 2).

Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na mesto uporabe (SIST-EN 335-1/2, 2006)

Razred uporabe	Splošne razmere na mestu uporabe	Opis vlažnosti zaradi izpostavljenosti navlaževanju na mestu uporabe	Lesni škodljivci	Prisotnost termitov
1	Znotraj, pod streho	Suho	Lesni insekti	V primeru, da so na tem območju termiti, se ta razred označi z 1T
2	Zunaj ali pod streho	Občasno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke	V primeru, da so na tem območju termiti, se ta razred označi z 2T
3	3.1 Na prostem, nad zemljo z ustrezno konstrukcijsko zaščito	Občasno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke	V primeru, da so na tem območju termiti, se ta razred označi z 3.1T oziroma 3.2T
	3.2 Na prostem, nad zemljo brez konstrukcijske zaščite	Pogosto vlažen		

»se nadaljuje«

»nadaljevanje«

Razred uporabe	Splošne razmere na mestu uporabe	Opis vlažnosti zaradi izpostavljenosti navlaževanju na mestu uporabe	Lesni škodljivci	Prisotnost termitov
4	4.1 Na prostem, v stiku s tlemi in/ali sladko vodo	Pogosto ali stalno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke, glive mehke trohnobe	V primeru, da so na tem območju termiti, se ta razred označi z 4.1T oziroma 4.2T
	4.2 Na prostem, v stiku s tlemi (ostri pogoji) in/ali sladko vodo	Stalno vlažen		
5	V stalnem stiku z morskno vodo	Stalno vlažen	Glive razkrojevalke, glive mehke trohnobe, morski lesni škodljivci	A ladijske svedrovke, lesne mokrice B ladijske svedrovke, lesne mokrice, kreozotno olje, tolerantne lesne mokrice C ladijske svedrovke, lesne mokrice, kreozotno olje, tolerantne lesne mokrice, pholade

2.2 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA

Les kot organski material zaradi delovanja biotskih in abiotičnih dejavnikov razpade v anorgansko snov. Brez delovanja teh dejavnikov bi se organska snov kopičila in onemogočala rast rastlin, ki za svoj obstoj potrebujejo anorgansko snov.

Les ogrožajo različni biotski dejavniki. Najpomembnejše so glive, bakterije in žuželke. V našem podnebnem pasu glive povzročajo več škode kot žuželke. Običajno je delovanje gliv bistveno hitrejše kot delovanje žuželk. Glive razkrajajo les na prostem, poškodbe insektov so pogostejše v pokritih prostorih.

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

- Med biotske dejavnike (dejavnike žive narave) prištevamo bakterije, glive, žuželke, morske škodljivce in človeka. Med najpomembnejše biotske škodljive organizme v našem podnebnem pasu uvrščamo glive. Razkroj lesa z lesnimi škodljivimi organizmi je zapleten biološki proces in za učinkovito zaščito je potrebno poznavanje posameznih lesnih škodljivih organizmov, biokemijskih procesov razkroja in sprememb, ki pri tem nastajajo.
- Abiotski dejavniki (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.

2.3 GLIVE

Glive razkrojevalke lesa 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). Obstaja nekaj obetajočih pristopov in modernih tehnik s katerimi preučujejo okužbe lesa z glivami ter spremljajo spremembe v inokolumih na različnih geografski lokacijah. Molekularne tehnike so hitrejšje od običajne kultivacije in izognemo se posameznim korakom kultivacije. Pri kultivaciji tvegamo okužbe s sporami gliv in možnosti, da en micelij preraste drugega. Primarni namen raziskav je iskanje gliv razkrojevalk, ki povzročajo trohnobo lesa (Råberg in sod., 2007).

Glive in les, ki smo ga uporabili v eksperimentalnem delu, so natančneje opisani v poglavju 3 Materiali in metode.

2.3.1 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 (kisik), svetloba in pH. Če kateri izmed naštetih dejavnikov ni ustrezen, prične gliva hirati in kmalu zatem lahko tudi odmre (Pečenko, 1987). Råberg in sodelavci (2007) poročajo, da kombinacija različnih okoljskih dejavnikov

vpliva na število prisotnih vrst gliv. Z raziskavo so še potrdili, da je več vrst prisotnih na področjih s soncem, kot pa v senci. A hkrati so ugotovili, da je bila inteziteta razkroja višja v senci.

2.3.1.1 Hrana

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

Hife lesnih gliv prodrejo v les skozi odprtine oziroma razpoke, ki lahko nastanejo zaradi mehanskih poškodb. V lesno strukturo najprej prodirajo skozi piknje, kasneje pa tudi na mehanski ali kemični način s pomočjo encimov. Same niso sposobne sintetizirati organskih snovi za samostojno prehranjevanje, zato hife v celičnih lumnih izločajo encime in nizkomolekularne spojine, ki razkrajajo celično steno. Posledica je tanjšanje celične stene in s tem izguba njenih lastnosti (Green in Higley, 1997).

Znano je, da je celuloza osnovni gradbeni element celične stene lesa. Glive z razgradnjo celuloze oziroma celične stene zmanjšajo trdnost, spremenijo obliko in poslabšajo dimenzijsko stabilnost celice. Celulozo v celičnih stenah razgradijo s celulitičnimi, hidrolitičnimi in oksidoreduktivnimi encimi. Poleg celuloze glivam predstavlja hrano tudi lignin, hemiceluloza, aromatske in druge snovi (Schmidt, 1994).

Razgradnja lignina je bolj oksidativen kot hidrolitičen proces, pri čemer imajo glavno vlogo encimi oksigenaze (Deacon, 1997). Razgradnja hemiceluloze je hidrolitičen proces in poteka s pomočjo hemicelulitičnih encimov.

Tip trohnobe oziroma dejstvo, da se gliva hrani s celulozo ali ligninom, lahko razberemo iz okuženega lesa. Les, v katerem je razgrajena celuloza, se zaradi oksidacije lignina obarva rjavo. V primeru, da je les okužen z glivo, ki se hrani z ligninom, postane površina svetla (bela).

2.3.1.2 Vлага (voda v lesu)

Lesne glive se, z izjemo sive hišne gobe (*Serpula lacrymans*), ne morejo razvijati v zračno suhem lesu, po drugi strani 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 previsoka vlažnost, saj je z vodo prepojen les zaščiten pred lesnimi glivami (Walker in sod., 1993).

Spodnja meja relativne zračne vlažnosti (RZV) za razvoj gliv je 70 %, za nekatere glive tudi 65 %. Optimalna RZV za razvoj lesnih gliv je 90 %, za spore pa 92 % do 95 %. Lesne glive se prenehajo razvijati, če zmanjšamo vlažnost lesa in količino vlage v zraku. Kljub temu lahko nekatere glive ostanejo v latentnem stanju in se začno ponovno razvijati po določenem časovnem obdobju, ko so razmere za razvoj dovolj ugodne (Hughes, 1999).

2.3.1.3 Temperatura

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

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

2.3.1.4 Zrak (kisik)

Na splošno ne poznamo gliv, 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 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 kisik. Na dostopnost kisika v lesu vpliva izključno prosta oziroma kapilarna voda. Torej 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 upoštevanjem prostornine por (Tavzes, 2003).

2.3.1.5 Svetloba

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

2.3.1.6 Vrednost pH

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

Tudi lesne glive same vplivajo na pH. S tvorbo različnih kislin, kot je oksalna, citronska, jabolčna itd., si glive same ustvarjajo optimalno pH vrednost substrata za svoj razvoj (Takao, 1965).

2.3.2 Glive, ki povzročajo obarvanje lesa

2.3.2.1 Plesni

Izraz plesen izvira iz vsakodnevnega življenja in ni taksonomsko ime za posamezno sistematsko skupino. Različne plesni imajo širok spekter fizioloških odzivov na temperaturo, vodno aktivnost, vrednosti pH itd., zato lahko kolonizirajo mnoge različne materiale – plesnenje. 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).

2.3.2.2 Glive modrivke

Glive modrivke povzročajo globinsko obarvanje beljave iglavcev (smreka, bor) in listavcev (topol, breza, lipa) (Vek, 2007). Obarvanje lahko povzroča od 100 do 250 gliv debela Ascomycota in Deuteromycota. Te glive se hranijo z lahko dostopnimi hranili (škrob, beljakovine, sladkor) v parenhimskih celicah, barvanje lesa pa povzroča melanin, ki ga glive tvorijo v hifah (Schmidt, 2006). Trosi gliv modrivk se razvijejo le, če padejo neposredno na beljavo, ali če jih določene žuželke vnesejo v les (Vek, 2007).

2.3.2.3 Rdečenje

Rdeče obarvanje je eno najpogostejših obarvanj sveže požagane hlodovine, ki se pojavlja samo na lesu iglavcev in je posebej značilno za kontinentalno Evropo. Obarvanja v obliki trakov ali pik se širijo od lubja proti notranjosti debela. Povzročiteljice so številne glive, ki pripadajo skupini gliv bele trohnobe iz debela Basidiomycota, posebno pri smreki *Stereum sanguinolentum* (Slika 1) in *Amylostereum areolatum*. Rdeče obarvanje se pojavlja, ko hlodovina ostane relativno vlažna skozi daljše obdobje v toplejših sezonah. Glive so sposobne preživeti tudi daljša obdobja suše in se ponovno aktivirati ob ugodnih pogojih. Prehranjujejo se najprej s hranilnimi snovmi v parenhimskih celicah, nato pa razširijo aksialno vedno globlje v les, skozi piknje in celične stene traheid. Obarvanja naj bi bila posledica izločanja pigmentov (Schmidt, 2006).



Slika 1: Trosišča glive *S. sanguinolentum* in rdeče obarvanje kot posledica (Kunca, 2009)

2.3.3 Trohnobe

Glive bele in rjave trohnobe so običajno aktivne v manj vlažnih okoljih in glive mehke trohnobe v vlažnih, kar ustvarja neenakomerno populacijo gliv v okolju. A kot poroča Råberg s sodelavci (2007), so na podlagi vizualnega opazovanja in z analizo T-RFLP potrdili, da kljub različni vlažnosti okolja, v katerem je potekala raziskava, so glive mehke trohnobe najpogostejše razkrajale les in so bile tako najštevilčnejše.

2.3.3.1 Rjava ali destruktivna trohnoba

Rjavo trohnobo povzročajo glive debla Basidiomycota, ki jih označujemo za prave razkrojevalke lesa. Pogostejše okužijo les iglavcev kot listavcev, kjer z encimatskim in neencimatskim razkrojem razgrajujejo celulozo in hemicelulozo, medtem ko ostane lignin skoraj nerazkrojen – od tod rjava barva (Eaton in Hale, 1993; Schmidt, 2006). Razlog je, da večina gliv rjave trohnobe ne tvori lignolitičnih encimov, čeprav v nekaterih primerih poročajo o dokazih za lignin peroksidazo, predvsem v kasnejšem razvoju glive, ko poide večinoma celuloze (Schmidt, 2006). Najpogostejše vrste, ki povzročajo rjavo trohnobo so: bela hišna goba (*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).

2.3.3.2 Bela ali korozivna trohnoba

Bela trohnoba je izraz za glive, ki razgrajujejo ogljikove hidrate in lignin v vseh fazah razvoja (Schmidt, 2006). Te glive so eden redkih organizmov, ki so sposobni celotne razgradnje lignina. Zaradi tega postaja les 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). Pri nekaterih vrstah se pojavljajo črne lise, s katerimi se različne vrste ali nekompatibilni miceliji iste vrste ločijo med seboj – piravost. Linije so posledica fenolnih oksidaz, s katerimi se glivne ali snovi gostiteljskega lesa pretvarjajo v melanin. Tipične predstavnice so: *Fomes fomentarius*, *Phellinus igniarius*, *Phellinus robustus* in *Trametes versicolor*. Pojavljajo se na stoječih drevesih in na skladiščnem lesu listavcev (Schmidt, 2006).

2.3.3.3 Mehka trohnoba

Glive, povzročiteljice mehke trohnobe (soft rot), so posebna oblika rjave trohnobe. Povzročiteljice navadno razvrščamo v deblo zaprtotrošnic (Ascomycota) in deblo nepopolnih gliv (Deuteromycota). Hranijo se predvsem s celulozo in hemicelulozo, redkeje z ligninom (Schmidt, 2006). Okužba se pojavi, kadar zaradi različnih dejavnikov (previsoke vlažnosti, slabih zračnih pogojev) okužba bolj aktivnih in tekmovalnih gliv iz debela Basidiomycota ni mogoča (Eaton in Hale, 1993). Površje okuženega lesa je mehko in izrazito temne barve (kadar je les moker). Od gliv rjave in bele trohnobe se razlikujejo po tem, da rastejo večinoma znotraj olesenele celične stene (Schmidt, 2006). Za glive mehke trohnobe poročajo, da počasneje razkrajajo les, kot glive bele in rjave trohnobe. Les lahko razkrajajo brez dodatnih hranil, a z dodatkom dušika, se razkroj pospeši (Findley, 1965 cit. po Råberg; Daniel in Nilsson, 1998).

2.3.4 Vpliv glivnega razkroja na les

1. Spremembe mehanskih lastnosti:
 - rjava in bela trohnoba;
 - zniža se:
 - tlačna trdnost,
 - upogibna trdnost,
 - natezna trdnost,
 - trdota.
2. Spremembe fizikalnih lastnosti:
 - izguba mase (od 10 % do 90 %);
 - poslabšanje sorpcijskih lastnosti in povišan kapilarni navzem vode.
3. Spremembe kemijskih lastnosti:
 - razgradnja celuloze, hemiceluloze in lignina;
 - kot razgradni produkt nastanejo monosaharidi, organske kisline (upad pH vrednosti), poviša se vlažnost lesa, naraste koncentracija mineralov.
4. Prevajane toplote:
 - vlažen razkrojen les bolje prevaja toploto, suh les slabše (Hafner, 2009).

2.4 LESNE ŽUŽELKE

Lesne žuželke so škodljivci, ki v lesu živijo ali se z njim hranijo ter tako vplivajo na mehanske lastnosti in vrednost lesa. Njihovo delovanje ima tudi pozitiven pomen, saj njihova aktivnost pospešuje kroženje snovi v naravi. Če želim preprečiti dovzetnost lesa na njihov napad, moramo dobro poznati njihove bioekološke značilnosti (Pečenko, 1987).

Glede na stanje lesa, ki ga lesne žuželke napadejo, slednje delimo v štiri skupine (Kervina-Hamović, 1990):

- Primarne žuželke, ki napadajo zdrava drevesa. Predstavniki so termiti, veliki in mali hrastov kozliček, čevljarček, veliki smrekov lubadar, mali smrekov lubadar.
- Sekundarne žuželke napadajo fiziološko oslabljen stojčča drevesa, sveže posekana in od požarov požgana drevesa. Predstavniki so bukov lestvičar, mali črni črv, velika lesna osa, kozlički.

- Terciarne žuželke napadajo zračno suh les s higroskopno vlago med 7 % in 20 %. Prilagojene so zelo skromnim življenjskim razmeram, zelo nizki vlagi in minimalnim količinam hranljivih snovi. Ko se terciarne žuželke naselijo v les, ga ne zapustijo, dokler po nekaj generacijah popolnoma ne uničijo njegove notranjosti. Delimo jih na terciarne žuželke 1. stopnje, ki napadajo les s skorjo, najprej v skorjo in nato globlje v les, ter terciarne žuželke 2. stopnje, ki napadajo les s skorjo ali brez nje. Predstavniki skupine so hišni kozliček, mehki trdoglavec, navadni parketar, mravlje.
- Kvartarne žuželke se nahajajo v strohnjenem lesu. To so lažne žuželke, ki živijo na račun gliv. Delimo jih na žuželke mokrega lesa (rdečkasti kozliček, termiti, lesne mravlje), žuželke nekoliko strohnjenega lesa (večina trdoglavcev, jamski rilčkar, lesne mravlje) in na žuželke strohnjenega lesa (lažni ksolofagni insekti rogač, nosorožec). Te žuželke so pomembne predvsem zaradi kroženja snovi v naravi.

2.5 SORPCIJA LESA

Les je zaradi svoje specifične kemične zgradbe in velike notranje površine sten higroskopen, zato v nihajočih klimatskih spremembah niha tudi lesna vlažnost. V stabilnih razmerah doseže les higroskopsko ravnovesje oziroma lesno ravnovesno vlažnost. Posledica higroskopnosti je prilagajanje njegove vlažnosti, kar se odraža na njegovih dimenzijskih spremembah (krčenje in nabrekanje) (Rowell in Banks, 1985; Gorišek in sod. 2004). Vsebnost higroskopne oziroma vezane vode je omejena s številom sorpcijskih mest, ki jih lahko zasedejo vodne molekule. Odvisnost ravnovesne vlažnosti od relativne zračne vlažnosti izražamo s sorpcijskimi krivuljami, ki jih dobimo s postopnim uravnovešanjem v padajočih (sušenje – desorpcija) ali naraščajočih (navlaževanje – adsorpcija) relativnih zračnih vlažnostih. Pri konstantni temperaturi so sorpcijske izoterme sigmoidne in tvorijo histerezno zanko (Gorišek in sod., 2004). Od stenskih sestavin je najbolj higroskopna hemiceluloza, sledi ji celuloza in lignin ter nekateri ekstraktivi.

Voda je v svežem lesu kot:

- vezana ali higroskopska voda v celičnih stenah (s lesom tvori hidrat);
- prosta ali kapilarna voda v celičnih lumnih (raztopina).

Siversten in Vestøl (2010) poročata, da se je difuzijski koeficient višal z deležem jedrovine, čeprav študije prej niso pokazale razlik v difuziji med sorpcijskimi lastnostmi beljave in jedrovine smreke (*Picea abies*). Rezultati kažejo, da je delež jedrovine ena izmed pomembnejših lastnosti, ki vpliva na privzem vode v nezaščiteno smreko. Rastni pogoji in gostota lesa so tudi vplivali na difuzijo, vendar so manj pomembni kot kapilarni tok vode.

2.5.1 Higroskopnost in ravnovesna vlažnost

Kemična zgradba in velika notranja površina sten je vzrok higroskopnosti lesa, zato je les vselej bolj ali manj vlažen. Kot že omenjeno, je vlažnost lesa v stanju higroskopskega ravnovesja ravnovesna vlažnost lesa. Ravnovesna vlažnost lesa je odvisna od klimatskih pogojev (RZV in temperature) in od higroskopskega potenciala posameznih komponent lesa (proste hidroksilne skupine) (Kitek Kuzman, 2008). Stanje vlažnosti lesa od 0 % do vlažnosti pri točki nasičenja celične stene (TNCS) imenujemo higroskopno območje. TNCS je dosežena, kadar les ne oddaja in ne veže vode.

Higroskopski potencial posameznih komponent lesa je odvisen od razpoložljivih sorpcijskih mest, ki jih predstavljajo predvsem proste hidroksilne skupine. Teh je največ pri drevesasto razvejanih hemicelulozah, medtem ko so pri celulozi dostopne le skupine na površini kristalitov in skupin v prehodnih amorfnih področjih. Zaradi največjega deleža prispeva k celotni sorpciji še vedno največ celuloza (približno 47 %), nato sicer najbolj higroskopne hemiceluloze (37 %) in najmanj lignin (16 %). Na sorpcijske lastnosti vplivajo tudi nizkomolekularne jedrovinske snovi – polifenoli (flavonoidi, lignani, tanini), ki se vključijo v celično steno in zasedejo prostor vezani vodi. Posledica tega je nižja ravnovesna vlažnost jedrovine. Nekatere jedrovinske snovi se pri višjih temperaturah raztopijo v adsorbirani vodi in tako prispevajo k večji higroskopnosti lesa (Gorišek in sod., 2004).

Posledica higroskopnosti lesa je tudi krčenje in nabrekanje, kar štejemo med njegove najneugodnejše lastnosti. Krčenje in nabrekanje lesa je vezano na spremembo vlažnosti od TNCS do absolutno suhega stanja, medtem ko večji ali manjši delež kapilarne vode v celičnih lumnih nima vpliva (Kitek Kuzman, 2008).

2.6 MEHANSKE LASTNOSTI LESA

Mehanske lastnosti lesa so mere za njegov odpor na zunanje sile, ki ga poskušajo preoblikovati. Odpor lesa na takšne sile je odvisen od velikosti sile in načina obremenitve (nateg, tlak). V nasprotju s kovinami in drugimi materiali s homogeno strukturo izkazuje les v različnih smereh drugačne mehanske lastnosti, kar pomeni, da je mehansko anizotropen. Med mehanske lastnosti lesa sodijo tiste, ki se pojavljajo kadar na les delujejo zunanje, mehanske sile. Te povzročajo spremembo prostornine in oblike lesa. Spremembe imenujemo deformacije, velikost teh je odvisna od vrste lesa oziroma njegove zgradbe, jakosti sile in smeri obremenitve (Tsoumis, 1991).

2.6.1 Tlačna trdnost

Tlačna trdnost je ena najpomembnejših lastnosti lesa. Pri določanju tlačnih lastnosti mora imeti preizkuševalec enakomeren prerez po celotni dolžini, končni obremenjevalni ploskvi pa morata biti čimbolj vzporedni.

2.6.2 Upogibna trdnost

Upogibna trdnost je pri lesu večja od tlačne in manjša od natezne trdnosti. Pomembna je v rudarstvu, ladjedelništvu, pri lesenih mostovih itd. Vzorce testiramo na podporah z razmikom 280 mm in z obremenjevanjem na sredini podpor (tritočkovni test).

2.7 ZAŠČITA LESA

Za začetek industrijske zaščite štejemo leto 1838, ko je Bethell razvil metodo globinske impregnacije lesa s kreozotnim oljem za zaščito železniških pragov in drogov. Pred tem odkritjem so v te namene uporabljali večinoma le les odpornejših drevesnih vrst. Zaloge naravno odpornega lesa so bile v tem času že zelo izčrpane, kar je zaviralo gradnjo infrastrukture. Bethell je s svojim odkritjem omogočil intenzivnejšo gradnjo železniških prog ter elektro – komunikacijskega omrežja (Kervina-Hamović, 1990).

Naslednjo prelomnico predstavlja Bruningovo odkritje leta 1913. Ugotovil je, da se normalno topne bakrove spojine z dodajanjem kromovih(VI) spojin vežejo v les in se ne

izpirajo. Vendar ta zaščitni pripravek še vedno ni nudil popolne zaščite lesa, ker je bil les dovzeten na napade insektov. Leta 1933 je indijski raziskovalec Sonti Kamensen razvil vodotopni pripravek na osnovi kromovih, bakrovih in arzenovih spojin. Poimenoval ga je Ascu, po glavnih sestavinah, a so pripravek kasneje poimenovali CCA. CCA in kreozotno olje sta zagotavljala odlično zaščito lesu v vseh pogojih uporabe, zato sta se v večini držav množično uporabljala do devetdesetih let prejšnjega stoletja (Humar, 2004). Uporabo so v EU najprej omejili, nato dokončno prepovedali, zaradi škodljivega arzena. Arzen so nadomestile borove spojine. Zaradi okoljsko spornih kromovih spojin, se je njihova uporaba omejila. Kromove spojine se lahko nadomesti z amonijakom, a težavo predstavlja obarvanje tretiranega lesa. Poleg tega delo otežuje neprijeten vonj amonijaka (Hartford, 1972).

Bakrovi pripravki ostajajo ena izmed najpomembnejših sestavin zaščitnih pripravkov za les. Njihovo uporabnost povečuje dejstvo, da so poleg kreozotnega olja edino bakrovi zaščitni pripravki primerni za zaščito lesa v četrtem razredu izpostavitve (les v stiku z zemljo) (Humar, 2006). Bakrove učinkovine se za zaščito lesa ne uporabljajo samostojno, ker se iz lesa izpirajo. Ker so tudi kromove spojine okoljsko sporne, se danes uporablja amine, predvsem etanolamin. Baker in etanolamin sta najpomembnejši sestavini številnih komercialnih pripravkov, kot je Silvanolin®, ki smo ga uporabili v eksperimentalnem delu. Po drugi svetovni vojni so se pojavili pripravki topni v organskih topilih, namenjeni za zaščito stavbnega lesa. Uporabljali so pentaklorofenol, bolj znan kot PCP, lindan, TBTO (arzenove in kositrove spojine), DDT (dikloro-difenil-trikloetan) itd., ki pa so jih v devetdesetih letih dvajsetega stoletja zaradi okoljskih in zdravstvenih razlogov umaknili iz uporabe.

Za bakrove učinkovine je najbolj občutljiva gliva bele trohnobe, pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*). Iz literaturnih podatkov je razvidno, da gliva *T. versicolor* ni razkrojila niti vzorcev lesa z najnižjo koncentracijo bakrovih pripravkov. Navadno tramovko (*Gloeophyllum trabeum*) je zaustavila štirikrat večja koncentracija bakrovih učinkovin. Na baker toleranten izolat bele hišne gobe (*Antrodia vaillantii*) je lahko uspeval na substratu s petkrat večjo koncentracijo, kot zaustavi rast navadne tramovke (Humar in Lesar, 2009). Glive rjave trohnobe, še posebej iz rodu *Antrodia*, izločajo bistveno večje količine oksalne kisline kot glive bele trohnobe (Takao, 1965). Oksalna kislina je najpomembnejša kislina, ki jo izločajo lesne glive. Reagira z bakrovimi učinkovinami v zaščitenem lesu v bakrove

oksalate, ki so skoraj netopni v vodi in zato nimajo inhibitornega vpliva na rast gliv (Green in Clausen, 2005).

Wakeling (2006) piše, da kljub zaščiti bora z bakrom in kvartarno amonijevo spojino (ACQ) ter s CCA, je bor razkrojen na območjih, kjer je bilo prisotnih veliko gliv rjave trohnobe. Bor je bil bolj zaščiten pred razkrojem, ko so ga zaščitili s kreozotnim oljem. Zaščita s CCA in ACQ je bila manj zanesljiva. Manjši razkroj je bil posledica visoke koncentracije zaščitnih učinkovin. Na zelo vlažnih mestih, zlasti tistih z visoko vsebnostjo organskih kislin, so bili vzorci lesa (20 x 20 x 500 mm) premajhni, da bi lahko natančno interpretirali dolgoročno trajnost zaščitnih pripravkov v lesu. Izbor območja za raziskavo zaščitnih pripravkov v lesu je potrebno previdno izbrati. Potrebno je poznavanje sestave tal, geologije, vegetacije in podnebja ali obsežno znanje o prisotnih razkrojevalcih v tleh.

2.7.1 Baker-etanolaminski pripravki

Kljub dejstvu, da so baker-etanolaminski pripravki na trgu že skoraj dve desetletji, vezava teh pripravkov v les še ni v celoti pojasnjena (Humar, 2008a). Baker-etanolaminski pripravki se ne vežejo v vse lesne vrste enako učinkovito. Humar (2006) poroča, da je najboljša vezava pri smrekovini, najslabša pa pri bukovih vzorcih. Razlike med bukovimi in smrekovimi vzorci so večje pri bolj koncentriranih pripravkih, pri manj koncentriranih pa je vezava v les primerljiva, ne glede na drevesno vrsto.

Po mnenju Humarja (2006) bo etanolamin skupaj z dodatki v celoti nadomestil krom kot fiksativ v bakrovih pripravkih. Je ena izmed ključnih sestavin bakrovih pripravkov v lesu, ki omogoča hitro in učinkovito vezavo bakrovih pripravkov. V primeru, ko je v zaščitnem pripravku preveč etanolamina, le-ta povzroči depolimerizacijo lignina, kar se kaže v povečanem izpiranju bakrovih pripravkov iz lesa. Etanolamin še posebej pospeši razgradnjo lignina pri višjih temperaturah, bolj koncentriranih pripravkih in lesu listavcev.

Dobra učinkovitost borovih spojin proti glivam razkrojevalkam v komercialnih baker-etanolaminskih pripravkih je pomembna z vidika zaščite impregniranega lesa proti glivam razkrojevalkam, tolerantnim na baker. Kombinacija bakrovih in borovih spojin bi bila idealna, če bi bila vezava borovih spojin primerljiva z bakrovimi. Vendar se večina borovih spojin izpere že v prvih mesecih uporabe. Zato moramo v baker-etanolaminske zaščitne

pripravke poleg borovih spojin dodati še druge ko-biocide, ki zavarujejo les pred delovanjem tolerantnih gliv. Baker-etanolaminskim poleg borovih spojin najpogosteje dodajamo kvartarne amonijeve spojine (QUAT). Glavni razlog je bistveno boljša fiksacija QUAT v les v primerjavi z borovimi učinkovinami. Etanolamin izboljša vezavo bakrovih učinkovin v les. Med posameznimi sestavinami komercialnega pripravka iz bakrovih učinkovin, etanolamina, QUAT in bora (CuEQB) ne prihaja niti do sinergističnih niti do antagonističnih učinkov proti lesnim glivam (Humar in Lesar, 2009).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 VZORCI

3.1.1 Kostanjevina

3.1.1.1 Opis lesa

Pravi kostanj je nizko do 35 m visoko in do 3 m debelo drevo. Drevesa, ki rastejo na prostem, so vejnata skoraj do tal in večdebela.

Ima les z obarvano jedrovino, ki je v svežem stanju sivorumena, kasneje pa potemni do svetlo- oz. temnorjave barve. Beljava je ozka, umazano bela do rumenkasta. Branike se med seboj ostro ločijo zaradi relativno velikih por ranega lesa. Traheje ranega lesa so zatiljene (Čufar, 2006). Velike razlike med kasnim in rasnim lesom znotraj prirastne plasti dajejo radialnemu prerezu značilen videz progaste teksture. Tangencialen prerez pa ima značilen plemenast videz.

3.1.1.2 Lastnosti lesa in uporaba

Les je dokaj trd in gost. Pri predelavi in obdelavi svežega kostanjevega lesa, se pogosto pojavljajo temnomodra do črna obarvanja, kot posledica reakcije tanina s kovinskimi ioni. Običajno ta obarvanja niso globoka in se dajo odstraniti s skobljanjem in beljenjem (npr. z vodikovim peroksidom) (Sinkovič, 2006).

Beljava je ozka, umazano bela do rumenkasta. Jedrovina je dokaj odporna proti glivam, nekoliko manj proti žuželkam. V vodi je les trajen. Ob stiku s kovinami in vodo lahko pride do obarvanja. Les je biološko aktiven in povzroča dermatitis (Čufar, 2006). Manjša trajnost kostanjevine se pokaže pri večkratni izpostavitvi neugodnim vremenskim pogojem, predvsem padavinam. Les je zaradi nizke radialne natezne trdnosti močno podvržen kolesivosti.

Se dobro žaga, skoblja, reže v furnir, vrta, rezka in brusi. Suši se dobro, a počasi in je le malo nagnjen k zvijanju. Lepi se dobro, prav tako je površinska obdelava dobra (Čufar, 2006).

Kostanjevina se predvsem uporablja za splošno mizarstvo, okvirje oken in vrat, železniške pragove, jambore, pode, opaže, parket in stopnice, stavbno pohištvo, sode, furnirje – rezani les, les za rezljanje in struženje. Pri nas se uporablja tudi kot gradbeni les, predvsem kot nadomestna vrsta za hrastovino. Manj primeren je za pridobivanje celuloze in papirja.

3.1.2 Bukovina

3.1.2.1 Opis lesa

Drevo bukve dosega višino do 30 m, priložnostno tudi preko 40 m in premera 100 – 150 cm. Skorja je gladka, v starosti ima biseren lesk in je srebrnosive barve. Pogosto so na deblu vidne brazgotine odpadlih vej, imenovane »kitajski brki« (Čufar, 2006).

Les je rdečkastobel, normalno brez obarvane jedrovine (beljava in jedrovina se barvno ne ločita). Pri starejših drevesih se na prečnem prerezu navadno pojavlja nepravilno oblikovan, rdečerjav diskoloriran les imenovan »rdeče srce«. Za rdeče srce je značilno močno otiljenje trahej, ki med drugim otežujejo impregnacijo lesa. Branike so razločne. Kasni les z manj trahejami je nekoliko temnejši od ranega. Plamenast (tangencialna površina) in progast (radialna površina) videz ni tako izrazita kot pri iglavcih. Bukovina nima specifičnega vonja ali okusa (Čufar, 2006).

3.1.2.2 Lastnosti lesa in uporaba

Les bukve ima visoko gostoto, je trd in se zelo krči in nabreka. Tlačna in upogibna trdnost sta glede na gostoto nadpovprečno visoki (Polanc in Leban, 2004). Dobro se cepi in predvsem po parjenju se dobro upogiba. Nezaščiten bukovina je podvržena okužbi z glivami in napadom žuželk. Z izjemo rdečega srca se dobro impregnira. Impregnirani bukovi železniški pragovi dosegajo srednjo življenjsko dobo najmanj 40 let. Delež juvenilnega lesa je zanemarljiv. Možen je obilnejši pojav tenzijskega lesa. Bukovino parijo zaradi zmanjšanja notranjih napetosti in izenačenja barve. Tako se po parjenju zmanjša nevarnost pokanja in zvijanja, les pa dobi enakomerno rdečkasto barvo. Les mora biti pred parjenjem vlažen, sicer obstaja nevarnost pojava madežev (Čufar, 2006).

Lepo se lušči in reže v furnirje. Dobro se struži in polira. Z lahkoto se žeblija, vijači in lepi. Bukovina dobro drži vijake. Površinsko se brez težav obdeluje z vsemi komercialnimi laki. Bukovino je mogoče izjemno dobro kriviti (Čufar, 2006).

Na trgu se prodaja bukovina kot hlodovina, žagan les, furnirji, vezan les in razni polizdelki (grobno oblikovani kosi). Uporablja se za gradbeno mizarstvo, stopnice, opaže, parket, pohištvo, pri čemer se uporablja masiven, krivljen ali vezan les. Krivljen in vezan les se uporablja predvsem za izdelke, pri katerih so potrebne dobre trdnostne lastnosti. Bukovina je odlična za izdelavo železniških pragov, vendar mora biti za ta namen ustrezno impregnirana. Uporablja se za ročaje pri orodjih, za izdelavo vozil in športne naprave. Skupaj z drugimi lesnimi vrstami se uporablja tudi za pridobivanje celuloze. V preteklosti so bukovino uporabljali predvsem za kurjavo (drva in oglje) (Čufar, 2006).

3.1.3 Smrekovina

3.1.3.1 Opis lesa

Smreka zraste v višino 30 do 50 m, redko več. Skorja je tanka, rjavo rdečkasta in dolgo gladka. Pri starejših drevesih razpoka v obliki zaokroženih lusk.

Smrekovina ima neobarvano jedrovino, zato se beljava in jedrovina barvno ne ločita. Les je večinoma rumenkastobel, v starosti tudi rumenkastorjav. Branike od ozkih do zelo široki, so razločne. Prehod iz svetlega, belkastega ranega lesa do rdečkasto rumenega kasnega lesa je večinoma postopen (Čufar, 2006). Poskobljane površine imajo svilnat lesk. Svež les diši po smoli (Čufar, 2006).

Smrekovina je zelo podobna jelovini. Glavni znak za ločevanje obeh vrst so smolni kanali, ki so prisotni le pri smrekovini. Jelovina je bolj belkasta in pogosto z modrikastim odtenkom (Čufar, 2006).

3.1.3.2 Lastnosti lesa in uporaba

Gostota je nizka, do srednja, krčenje je zmerno. Je elastična in trdna, suši se brez težav, lahko se cepi in lepo se lušči. Les je le malo nagnjen k zvijanju in pokanju in se z lahkoto

obdeluje z ročnimi orodji ali strojno. Brez težav se površinsko obdeluje z vsemi komercialnimi laki. Lepi se dobro. Dobro se tudi žeblija in vijači (Čufar, 2006).

Zaradi nizke vsebnosti ekstraktivov je les kemično komajda aktiven. Ob stiku z vodo, kislinami, bazami, alkoholom, maščobami, olji, bakrom ali medenino ne pride do obarvanja. Železo ob stiku s smrekovino ne korodira, vendar se les sivkasto obarva. Nezaščiten les je neodporen proti glivam in žuželkam. Pri uporabi na prostem mora biti zato smrekovina pravilno zaščiten oz. površinsko obdelana. V primerjavi z borovino se slabše impregnira (Čufar, 2006).

Smrekovina je na trgu kot hlodovina, žagan les in furnir (Čufar, 2006). Uporablja se kot gradbeni in konstrukcijski les visokih in nizkih gradenj, v stavbnem in pohištvenem mizarstvu. Uporablja se za ostrešja in konstrukcije v industrijskih halah, športnih dvoranh, za mostove, rudniške in ogrodne konstrukcije. Primerna je za proizvodnjo lesnih tvoriv (furnir, vezane mizarske plošče, iverne in vlaknene plošče) kot tudi za proizvodnjo celuloze in papirja. Pogosto se uporablja za pohištvo. Resonančni les smreke se uporablja za glasbene instrumente (Polanc in Leban, 2004).

3.1.4 Izdelava vzorcev

Vzorci različnih lesnih vrst so bili na testnem polju Oddelka za lesarstvo Univerze v Ljubljani izpostavljeni vsem vremenskim pogojem (3. razred ogroženosti izpostavitve po sistemu EN 335-1) različno za 0 in 12 mesecev (Slika 2).



Slika 2: Vzorci na testnem polju na začetku izpostavitve (foto: Nejc Thaler)

Za eksperimentalni del smo uporabili tri vrste lesa in sicer kostanjevino, bukovino in smrekovino. Zaradi ponovljivosti so morali biti vzorci brez znakov trohnenja ali modrenja, bukovina brez rdečega srca oziroma piravosti. Smrekovina je morala biti brez večjih smolnih žepkov. Vse vzorce smo primerno označili (preglednica 3).

Preglednica 3: Pomen oznak vzorcev

Časovno obdobje		Lastnosti lesa		
A	0 dni	Glive - G	Mehanske lastnosti (upogibna trdnost in sorpcijske lastnosti) - M	Tenziometer (tlačna trdnost in navzem vode) - T
D	12 mesecev			Ekstraktivi - X



Slika 3: Primerjava spremembe barve kontrolnih in staranih vzorcev kostanjevine po 4 mesecih izpostavitve (foto: Nejc Thaler)



Slika 4: Primerjava spremembe barve kontrolnih in staranih vzorcev bukovine po 4 mesecih izpostavitve (foto: Nejc Thaler)



Slika 5: Primerjava spremembe barve kontrolnih in staranih vzorcev smrekovine po 4 mesecih izpostavitve (foto: Nejc Thaler)



Slika 6: Primerjava spremembe barve kontrolnih in staranih vzorcev zaščitene smrekovine s Silvanolinom® po 4 mesecih izpostavitve (foto: Nejc Thaler)

3.1.4.1 Vzorci za določanje upogibne trdnosti in sorpcijskih lastnosti

Za določanje upogibne trdnosti in sorpcijskih lastnosti smo pripravili skupno 84 vzorcev. 21 iz kostanjevine, 21 iz bukovine in 42 iz smrekovine (21 smrekovina in 21 impregnirana smrekovina s Silvanolinom®). Razžagali na smo jih na velikost 50 mm × 20 mm × 20 mm. Vzorce smo zaporedno oštevilčili od 1 do 84 in jih 24 h sušili v laboratorijskem sušilniku (Kambič, 103 ± 2 °C) do absolutno suhega stanja. Nato smo gravimetrično določili maso v absolutno suhem stanju na 1 mg natančno in podatke beležili v tabelo. Ta postopek smo uporabili za kontrolne vzorce (obdobje A – neizpostavljeni vzorci) in vzorce, ki so bili izpostavljeni na prostem 12 mesecev (obdobje D). Iste vzorce smo uporabili za določanje mehanskih lastnosti, ter za določanje sorpcijskih lastnosti.

3.1.4.2 Vzorci za določanje odpornosti proti glivam

Vzorce smo razžagali na velikost 25 mm × 25 mm × 8 mm. Za vsako skupino lesa smo naredili 45 vzorcev, skupaj 180, posebej za obdobje A in D.

3.1.4.3 Vzorci za določanje tlačne trdnosti in privzema vode

Vzorce smo razžagali na velikost 50 mm × 20 mm × 20 mm. Oštevilčili smo jih od 1 do 60, po 15 iz vsake vrste lesa.

3.1.4.4 Vzorci za določanje deleža ekstraktivov

Skupno smo pripravili 180 vzorcev za vsako obdobje, po 45 za vsako skupino lesa. Dimenzije vzorcev so bile 25 mm × 25 mm × 8 mm.

3.2 DOLOČANJE FUNGICIDNIH LASTNOSTI LESA

Za izvajanje testov smo uporabili glive, ki povzročajo rjavo ali belo trohnobo. Izolati gliv so shranjeni v mikoteki Biotehniške fakultete, Oddelka za lesarstvo, Katedre za patologijo in zaščito lesa.

Uporabili smo naslednje izolate gliv:

- Bela trohnoba:
 - ogljena kroglica (*Hypoxylon fragiforme* (Pers.) J. Kickx f.)
 - bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm)
 - pisana ploskocevka (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd)
- Rjava trohnoba:
 - navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murill)
 - bela hišna goba (*Antrodia vaillantii* (DC.) Ryvarden)

Preglednica 4: Glive, razkrojevalke lesa, uporabljene pri eksperimentalnem delu diplomske naloge

Vrsta trohnobe	Slovensko ime	Latinsko ime	Poreklo	Oznaka
Bela trohnoba	Ogljena kroglica	<i>Hypoxylon fragiforme</i>	ZIM L108	Hf
	Bukov ostrigar	<i>Pleurotus ostreatus</i>	ZIM L030	Pl05
	Pisana ploskocevka	<i>Trametes versicolor</i>	ZIM L057	Tv6
Rjava trohnoba	Navadna tramovka	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	ZIM L018	Gt2
	Bela hišna goba	<i>Antrodia vaillantii</i>	ZIM L037	Pv2

3.2.1 Priprava steklovine

Za poskus z glivami smo pripravili 180 sterilnih plastičnih petrijev. Avtoklavirali smo steklenice napolnjene s PDA gojiščem. Še vroče sterilno hranilno gojišče smo iz steklenic prelili v sterilne petrijeve.

3.2.2 Priprava gojišča

Za gojenje testnih gliv smo uporabili trdno hranilno gojišče PDA (Potato Dextrose Agar; Difco). V enem litru destilirane vode raztopimo 39 g gojišča. Segrevamo do vretja, da se gojišče popolnoma raztopi. Avtoklaviramo 15 minut pri 121-124 °C. Končni pH gojišča je $5,6 \pm 0,2$.

3.2.3 Testne glive

3.2.3.1 Ogljena kroglica (*Hypoxylon fragiforme* (Pers.) J. Kickx f.)

Ogljena kroglica ali jagodasti skorjeder je zelo pogosta razkrojevalka lesa listavcev v Evropi in S. Ameriki. Spada med tipične saprofitske glive in okuži odmrle veje kmalu po tem, ko se odlomijo, oziroma ko odmrejo. Trosišča najpogosteje vidimo na lubju vej bukve, včasih pa tudi na vejah jelše, breze, gabra, topola, hrasta ali lipe. V zadnjem času poročajo, da so jo našli tudi na lesu nekaterih palm. Kljub temu, da gliva spada med zaprtotrošnice, zelo dobro razkraja les. Uvrščamo jo med glive bele trohnobe in je tudi ena izmed povzročiteljic piravosti. Gliva je zelo agresiven primarni kolonizator lesa, ki se zadrži na lesu tudi več let. V laboratorijski pogojih v 16 tednih razkroji povprečno 40 % mase bukovine.

Ta vrsta gliv ima kopaste, sestavljene trosnjake, ki so brez beta. Trosišča ogljene kroglice zrastejo med junijem in novembrom. Pojavljajo se posamično ali pa v manjših in večjih skupinah. Pogosto je celotna površina veje povsem pokrita s trosnjaki. Mladi so sive barve, kasneje za kratek čas postanejo roza rdeči, zreli trosnjaki pa so temno rjave barve (Slika 7). Ko se iz peritecijev sprostijo črne spore, površina potemni in končno stroma postane skoraj črna kot oglje. Po tej značilnosti smo Slovenci glivo poimenovali ogljena kroglica. Črna plodišča opazimo v vseh letnih časih. Premer trosišča znaša od 2 mm do 9 mm. Površina kroglic je hrapava in po barvi mladih trosišč ter hrapavosti je gliva dobila tudi latinsko ime (*fragiforme* – kot jagoda). Pod ogljenim površjem se skriva svetlejša sredica, iz katere so z ekstrakcijo KOH včasih pridobivali oranžno barvilo. Če trosišče kroglice prerežemo, že s prostim očesom opazimo značilne peritecije ($r =$ od 250 do 400 μm). Z mikroskopom si lahko v peritecijah ogledamo dobre vidne aske z osmimi sporami. Sveža stroma je žilava, ko se posuši, pa postane krhka.



Slika 7: Trosnjaki ogljene kroglice (foto: Niki Ogris)

Zanimivo je, da je tudi ta gliva, podobno kot številne druge, uporabna v zdravilne namene. Iz trosišč so že izolirali učinkovine (fragiformine), ki zavirajo napredovanje AIDS-a pri HIV pozitivnih bolnikih. Poleg tega mlada trosišča ogljene kroglice vsebujejo učinkovine z baktericidnim in fungicidnim delovanjem. Zaradi nespecifičnih mehanizmov razgradnje lignina je gliva ogljena kroglica sposobna razkrajati tudi širok spekter organskih onesnažil, zato bi jo lahko uporabili tudi za čiščenje s pesticidi onesnaženega okolja (bioremediacija) (Humar, 2009).

3.2.3.2 Bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm)

Bukov ostrigar je razširjen v zmernem in subtropskem podnebnem pasu severne poloble. Gliva je tipičen saprofit, ki ga najdemo predvsem na lesu listavcev (najpogosteje na bukovini) zelo redko pa tudi na iglavcih. Povzroča tipično belo trohnobo. Na »okuženem« lesu najdemo bel, usnjat micelij. Trosišča so sestavljena iz klobuka z betom. Klobuk po obliki spominja na školjko in je od sivorjave do rumenkasto rjave barve. Navadno izraščajo v šopih. Lamele trosišča na spodnji strani so belkasto rjave in so prirasle k betu (Slika 8). Včasih vonj trosišč spominja na rahel vonj po janežu. Spore so bele, cilindrične oblike. Hife v notranjosti lesa so brezbarvne. Bukovemu ostrigarju ustreza temperatura okoli 27 °C ter vlažnost lesa med 60 in 80 %. Pri teh pogojih lahko gliva priraste tudi 7,5 mm dnevno. Gliva ne prenese sušnih obdobj. S temperaturo pa je povezana tudi tvorba trosišč. Rast gob izzove temperaturni šok, ko temperatura pade vsaj pod 15 °C. Zaradi te lastnosti, nekateri to glivo poimenujejo tudi zimski ostrigar.



Slika 8: Trosnjak bukovega ostrigarja (foto: Miha Humar, 2008)

Trosnjak bukovega ostrigarja je zelo okusen, zato ga pogosto gojijo v prehrabene namene. Gliva pa se uporablja za testiranje odpornosti ivernih in OSB plošč proti trohnenju. Micelij lahko uporabimo za razstrupljanje zemlje, okužene z odpadnimi olji in fitofarmacevtskimi sredstvi (FFS) (mikroremediacija). Struktura teh onesnažil sorodna strukturi lignina, zato jih te glive prepoznajo kot vir hrane in jih v določenih pogojih lahko mineralizirajo. Poleg tega je micelij lahko odličen biofilter ali celo biokontrolni agent. V gozdu bi z micelijem bukovega ostrigarja lahko cepili sveže štore in na ta način preprečili ali vsaj omejili nezaželeno okužbo s parazitskimi glivami. V zadnjem času še posebej pridobiva pomen uporabe te glive v medicinske namene. Uživanje bukovega ostrigarja deluje protivnetno, uravnava krvni tlak, znižuje raven sladkorja in holesterola v krvi, pospešuje celjenje ran ter izboljšuje delovanje imunskega sistema (Humar, 2008b).

3.2.3.3 Pisana ploskocevka (*Trametes versicolor* (L.) Lloyd)

Pisana ploskocevka je ena najbolj pogostih lesnih gliv pri nas in tudi v svetu. Razširjena je v listnatih in mešanih gozdovih po vseh kontinentih. Pojavlja se na lesu listavcev, še posebej rada razkraja bukovino. Okužuje posekan les in poškodovana oslABLJENA drevesa, lahko pa tudi izdelke iz lesa, ki so v stiku z zemljo in s tem dela precejšnjo škodo. Na lesu povzroča belo trohnobo, kar pomeni da razkraja predvsem lignin, celuloza pa ostaja v prebitku, kar se izrazi v značilni beli barvi strohnelega lesa. Ob hkratni okužbi lesa z več vrstami lesnih gliv se z njimi bojuje za substrat, kar se odraža v neenakomernem razkroju in temnih črtah. Ta tip trohnobe imenujemo piravost. Podgobje v lesu je snežno bele barve. Ko se podgobje oskrbi z dovolj energije, iz lesa poženejo tanki klobučki, ki so usnjato žilave strukture. Veliki so od 5 do 9 cm. Izražajo s v skupinah eden vrh drugega

in so različnih barv od svetlo do temno rjave, okrasto rdeče do sive pa vse do črno modre barve. Robovi so vedno svetlejši, pri mladih gobah beli. To jim daje značilno pisanost, od tod ime pisana ploskocevka (Slika 9). Trosovnica na spodnji strani klobučka je bela, sestavljena iz kratkih cevč iz katerih se dnevno sprosti na milijone belih trosov.



Slika 9: Klobučki pisane ploskocevke izraščajo na bukovem štoru v gozdovih Dravinjskih goric na Štajerskem
(foto: Franc Pohleven)

Zaradi žilave zgradbe goba ni užitna, primerna pa je za kuhanje čaja. Pripisujejo ji številne zdravilne učinke od izboljšanja imunskega sistema in delovanja proti prehladu in drugim virusom. V obliki kapsul, ki vsebujejo polisaharide pisane ploskocevke, deluje proti raku. Izboljšuje pa tudi poškodbe in druge nezaželene učinke po kemo- in radioterapiji. Uporablja se pri uničevanju impregniranega lesa in razstrupljanju polj. Postopek razstrupljanja odpadkov in zemlje z glivami imenujemo mikoremediacija (Pohleven, 2008).

3.2.3.4 Navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murill)

Tramovke najdemo praktično po vsem svetu od Evrope, Azije, Avstralije, S. in J. Amerike, Afrike z izjemo tropskih in puščavskih predelov. So ene izmed najpomembnejših razkrojevalk lesa, najpogostejša je na lesenih oknih. Pogosto jih tudi najdemo na tehničnem lesu, ki se občasno navlažuje. Nevarna je zlasti, kadar, zaradi napačne konstrukcije ali slabega vzdrževanja, zamaka ali zastaja voda. Znotraj stavb teh gliv navadno ne najdemo. Navadna tramovka razkraja tako les listavcev kot tudi iglavcev.

Povzroča tipično rjavo trohnobo. Razkrojeni les se cepi po letnicah v obliki različno velikih prizem in ima značilen sladek vonj, ki spominja na katran. Na površinah, ki so

izpostavljene svetlobi, površinskega micelija ni videti. Tako razkroja dolgo ne opazimo, saj glive pustijo zunanjo plast nerazkrojeno. Ko iz razpok poženejo trosnjaki, pa je navadno za ukrepanje že prepozno. V primeru, da gliva »okuži« les v temnem, vlažnem prostoru, se na površju lesa pojavi rumenkasto rjav, gost, puhast micelij, ki ga zelo težko ločimo od lesa. Trosnjaki so enoletni, različnih oblik, školjkaste, v obliki traku, pogosto se pojavijo tudi v izrazitih vrstah. Klobuki so žilavi in prožni. Večinoma zrastejo iz razpok. Na zgornji strani klobuka so dobro razvidne rjave koncentrične prirastne plasti. Površje je rahlo razbrazdano. Navadna tramovka ima trosnjak oker do rjave barve (Slika 10).



Slika 10: Trosnjak navadne tramovke (*G. trabeum*) (Wikipedia, 2007)

Tramovkam ustrezajo višje temperature kot drugim lesnim gobam. Optimalna temperatura je med 26 in 35 °C. Navadna tramovka lahko raste tudi pri 40 °C. Minimalna temperatura za rast je 5 °C. Optimalna vlažnost lesa je med 40 in 60 %. Še posebej jim prija vlaga, ujeta v les, iz katerega ne more hitro izhlapeti. Če želimo tramovko uničiti s segrevanjem, moramo les dve uri izpostaviti temperaturi, višji od 97 °C. Tramovka lahko preživi 10 let v lesu z 12 % vlažnostjo. Poleg tega, da lahko preživi v relativno suhem lesu, lahko razkraja močno navlažen les (Humar, 2008c).

3.2.3.5 Bela hišna goba (*Antrodia vaillantii* (DC.) Ryvarden)

Bela hišna goba je zelo pogosta v kletih, rudnikih in drugih zelo vlažnih okoljih. Okužuje tudi les na skladiščih. Najdemo jo tudi v gozdu na podzemnih delih hlodovine. Glivo najdemo v zmernem kot tudi tropskem pasu v Evropi, Aziji, Avstraliji, Afriki, redkeje pa v S. Ameriki. Bela hišna goba pogosteje okužuje zelo vlažen les iglavcev, še posebej, če se na lesu nabira kondenzirana voda. Ta vrsta je tipičen predstavnik rjave trohnobe.

Razkrojen les prizmatično razpoka, vendar so razpoke plitkejše kot pri sivi hišni gobi, prizme pa večje kot pri kletni gobi.

Trosnjake bele hišne gobe v naravi najdemo zelo redko, pogosto pa se pojavijo v laboratoriju na starih hranilnih gojiščih. Trosnjak je blazinast, obrnjen navzgor in dobro prirasel na podlago. Trosovnica je sestavljena iz značilnih oglatih cevčic, nepravilnih oblik, premera 1 do 4 mm (Slika 11). V praksi belo hišno gobo najlažje spoznamo po značilni belih, gladkih rizomorfi (Slika 12), ki ostanejo prožni tudi, ko gliva odmre. Micelij (rizomorfi) se na lesu pogosto razrašča v obliki ledene rože na oknih, ki ga z lahkoto odstranimo s površja. Rizomorfi navadno ne prodrejo v zidake ali beton. Ta gliva med razkrojem močno zakisa les z izločanjem oksalne kisline. V okuženem lesu zato pogosto najdemo kristale kalcijevega oksalata.



Slika 11: Trosišče bele hišne gobe



Slika 12: Rizomorfi bele hišne gobe

Beli hišni gobi godijo višje temperature kot sivi hišni gobi ali kletni gobi. Gliva najbolje uspeva med 26 in 27 °C ter med 35 do 45 % vlažnost lesa. Bela hišna goba razkraja le vlažen les, lahko pa preživi večletna sušna obdobja. V optimalnih pogojih dnevno zraste tudi do 12,5 mm. Za glivo je značilna visoka toleranca na bakrove pripravke. Odpornost na baker med posameznimi izolati močno niha. Najbolj tolerantni izolati lahko rastejo celo na hranilnem gojišču, ki vsebuje 8000 ppm bakra ali impregniranem lesu, ki vsebuje do 30 kg bakra/m³. To dejstvo je zaskrbljujoče, saj bakrovi pripravki sodijo med najbolj razširjena zaščitna sredstva za les. Toleranca na baker je povezana z velikim izločanjem oksalne kisline, ki z bakrovimi učinkovinami tvori v vodi netopne in zato biološko neaktivne komplekse bakrovega oksalata. Toleranca na baker po eni strani predstavlja težavo, po

drugi strani pa tolerantne izolate bele hišne gobe v biotehnoloških procesih lahko uporabimo za mikoremediacijo odsluženega zaščenega lesa (Humar, 2008d).

3.2.4 Izpostavitve vzorcev glivam

Po avtoklaviranju steklovine, gojišča in vzorcev smo nadaljnje delo opravili v brezprašni komori. Po 20 mL PDA gojišča smo prelili v 180 sterilnih petrijev. Po 36 petrijev smo cepili z eno izmed petih gliv: *Gloeophyllum trabeum*, *Hypoxyylon fragiforme*, *Pleurotus ostreatus*, *Antrodia vaillantii* in *Trametes versicolor*.

Ko so testne glive dovolj zrastle, smo pregledali petrijeve za rast gliv in morebitne kontaminacije. Kontaminirane petrijeve smo zavrgli ter pripravili nove, s svežim gojiščem. Vzgojili smo neokužene vcepke gliv.

3.2.5 Gravimetrično določanje izgube mase

Pred začetkom poskusa smo stehali vseh 84 absolutno suhih vzorcev lesa. Vzorce, izpostavljene delovanju gliv, smo po izpostavitvi odstranili iz kozarcev in petrijev, jih obrisali in še vlažne stehali. Nato smo 63 vzorcev (21 vzorcev kostanjevine, 21 bukovine, 21 smrekovine) ponovno sušili 24 h v laboratorijskem sušilniku (Kambič, 103 ± 2 °C) in jih ponovno stehali. Ostalih 21 vzorcev smrekovine smo impregnirali.

Razliko v masi smo gravimetrično določili po enačbi 1 :

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_{1s}}{m_{1s}} \cdot 100 \% \quad \dots (1)$$

Pri čemer je:

Δm sprememba mase [%]

m_0 masa absolutno suhega vzorca pred izpostavitvijo delovanju glive [g]

m_{1s} masa absolutno suhega vzorca po izpostavitvi delovanju glive [g]

3.3 DOLOČANJE KAPILARNEGA NAVZEMA VODE

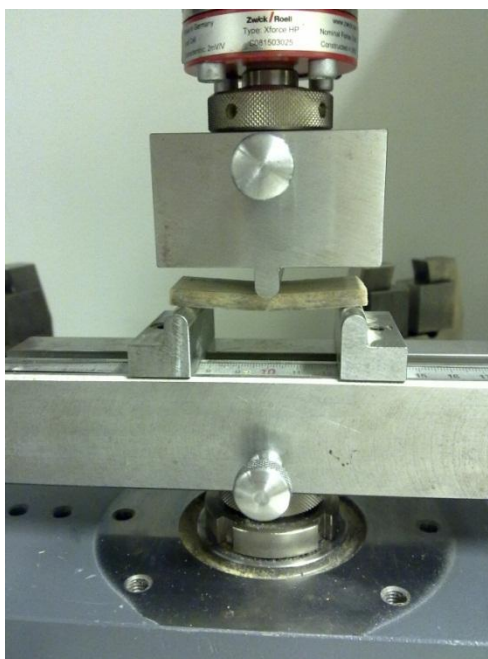
Vzorci smo najprej posušili v laboratorijskem sušilniku Kambič na 103 ± 2 °C, 24 h in jih uravnovesili v komori s 65 % RZV in 25 °C. Na manjši ploskvi vzorca smo narisali diagonali in na stičišču rahlo zabili manjši žebelj. Vzorec smo nato vstavili v tenziometer (Krüss 100) nad čašo z vodo (Slika 13). Vzorec smo približali nad površino vode in zagnali program. Naprava je pričela beležiti navzem vode, ko se je površje vzorca dotaknilo vode. Merjenje posameznega vzorca je trajalo 200 s, na 2 s so se beležili podatki. Zanimala nas je hitrost navlaževanja in končni navzem vode po 200 s.



Slika 13: Tenziometer Krüss 100 – meri kapilarni navzem vode v vzorec

3.4 DOLOČANJE UPOGIBNE TRDNOSTI

Upogibna trdnost je odpor lesnega nosilca med oporama proti maksimalni sili, ki deluje pravokotno na os nosilca (Slika 14) (Polanc in Leban, 2004).

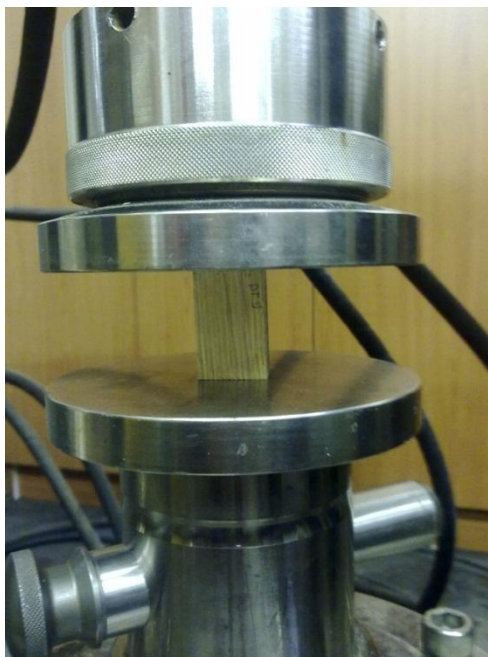


Slika 14: Določanje upogibne trdnosti

Na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin Oddelka za lesarstvo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani, smo preverili mehanske lastnosti kostanjevine, bukovine, smrekovine in smrekovine impregnirane s Silvanolinom®. Preverjali smo, do kakšne mere je prišlo do sprememb v strukturi lesa. Uporabili smo napravo za določanje mehanskih lastnosti materialov Zwick-Roell na absolutno suhih vzorcih. Pred testiranjem vsakega vzorca smo le-temu morali izmeriti debelino in širino ter ju vnesti v program.

3.5 DOLOČANJE TLAČNE TRDNOSTI

Tlačna trdnost je odpor lesa proti maksimalni sili, ki stiska, tlači les vzporedno s smerjo lesnih vlaken ali pa pravokotno nanje. Največkrat preizkušamo tlačno trdnost v smeri lesnih vlaken (Slika 15). Zaradi obremenitve se celična stena deformira (Polanc in Leban, 2004).



Slika 15: Določanje tlačne trdnosti

Ta del eksperimenta smo opravili v Laboratoriju za preskušanje lesnih tvoriv Oddelka za lesarstvo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Uporabili smo napravo za določanje mehanskih lastnosti Zwick-Roell (Slika 16 in 17). Vzorce smo predhodno posušili na 103 ± 2 °C v laboratorijskem sušilniku Kambič za 24 h, ker so bili prej uporabljeni za merjenje privzema vode. Nato smo izmerili debelino in širino vsakega posameznega vzorca in jih pred meritvijo vnesli v program. Vzorec smo postavili v center med dve ploskvi in nanj pritiskali s silo. Program je glede na površino vzorca in maksimalno silo (sila v trenutku, ko se vzorec začne lomiti) izračunal tlačno trdnost lesa.



Slika 16 in 17: Naprava za določanje mehanskih lastnosti Zwick-Roell

3.6 EKSTRAKCIJA

Po 15 vzorcev posamezne vrste lesa smo dali v stekleni kozarec, 3 vrste po 5 vzorcev. Na vrh smo dali vato, da vzorci niso splavili (Slika 18). Za topilo smo uporabili cikloheksan, vodo in 70 % metanol. Pripravili smo sistem za ekstrakcijo Büchi in 24 h izpirali vzorce s posameznim topilom. Ekstraktivi so se zbirali v čašah pod vzorci. Nato smo vzorce 24 h sušili v laboratorijskem sušilniku Kambič, pri temperaturi $103 \pm 2^\circ\text{C}$ in stehali na 1 mg natančno.

Delež ekstraktivov smo izračunali po enačbi 2:

$$E = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \cdot 100 \% \quad \dots (2)$$

Pri čemer je:

E delež ekstraktivov po izpiranju [%]

m_0 ... masa absolutno suhega vzorca pred ekstrakcijo [g]

m_1 ... masa absolutno suhega vzorca po ekstrakciji [g]



Slika 18: Priprava vzorcev za ekstrakcijo

3.7 SORPCIJA

Vzorci za določevanje sorpcijskih lastnosti smo postavili v laboratorijski sušilnik Kambič pri temperaturi 60 ± 2 °C. Zatem smo prestavili v eksikator in stehali na en miligram natančno. Nato je sledilo uravnotežanje vzorcev pri dveh različnih RZV, ki smo jih dosegli z nasičenimi solnimi raztopinami, prikazanimi v preglednici 5.

Preglednica 5: Nasičene vodne raztopine različnih soli za doseganje izbrane relativne zračne vlažnosti pri 20 °C

Nasičena solna raztopina	Relativna zračna vlažnost (φ)
NaNO ₂	65 %
ZnSO ₄ × 6H ₂ O	87 %

Za zagotovitev ustreznih pogojev (RZV) je bilo potrebno dobro zatesniti stekleno komoro. Temperatura v prostoru je bila 20 °C. Z ventilatorjem smo dosegli enakomerno porazdelitev vlažnosti v celotni komori.

Vzorci so bili izpostavljeni izbrani RZV toliko časa, da so vzpostavili ravnovesje z okoliškim zrakom v komori. V našem primeru smo jih uravnovešali 21 dni. Po 21. dneh smo ji stehali na en miligram natančno. Po dveh uravnovešanjih smo jih sušili 24 h na 103 ± 2 °C do absolutno suhega stanja. Posušene vzorce smo ponovno stehali in iz absolutno suhe mase izračunali predhodno vlažnost vzorcev lesa, enačba 3.

Vlažnost lesa pri določeni RZV:

$$VL = \frac{m_{RZV} - m_s}{m_s} \cdot 100\% \quad \dots (3)$$

Pri čemer je:

VL vlažnost lesa [%]

m_{RZV} ... masa pri določeni relativni zračni vlažnosti [g]

m_s masa absolutno suhega vzorca [g]

3.8 ANALIZA REZULTATOV

Za analizo in obdelavo rezultatov smo uporabili računalniški program Microsoft Excel 2010. Za vse meritve smo izračunali povprečne vrednosti in standardne odklone, kot to priporočajo relevantni standardi, ki se uporabljajo na tem področju. Kljub temu, da je število vzorcev enako ali celo večje, kot zahteva standard, je bilo premajhno za resnejšo statistično analizo. Število vzorcev je bilo omejeno s finančnimi možnostmi, površino terenskega testa in razpoložljivimi kapacitetami laboratorija in laboratorijske opreme. Kakorkoli, primerljivo število vzorcev je bilo uporabljeno tudi v preostalih raziskavah s tega področja (IRG-WP compendium, 2012). Pogosto pa se na področju preiskave materialov niti ne podajamo povprečnih vrednosti, temveč podajamo minimalne oziroma maksimalne vrednosti, saj material navadno propade zaradi šibkih mest in ne zaradi povprečnih lastnosti. Kakorkoli, v tej nalogi zaradi lažje predstave podajamo le povprečne vrednosti.

3.9 OPREMA IN APARATURE

- čaše 100 mL
- čaše 500 mL
- čopič
- erlenmajerice 1,5 L
- gaza
- globoke petrijevke (100 mm premer x 50 mm višina)
- kovinske spatule
- kuhalnica
- lonec 2 L
- merilni valji

- pincete
- papirnate brisače
- plastične mrežice
- plastične posode 2 L
- plastična vedra 5 L
- samolepilna PVC folija
- stekleni liji
- stekleni kozarci
- steklene palčke
- svinčene uteži
- velike petrijevke (300 mm premer x 100 mm višina)
- žlice

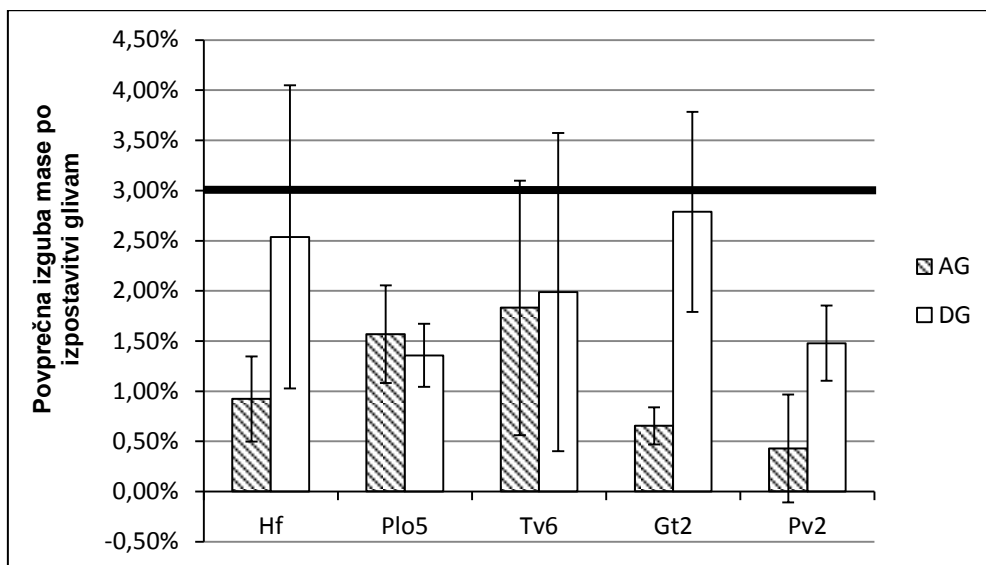
3.9.1 Aparature

- analitska tehtnica (Sartorius)
- avtoklav (Sutjeska)
- brezprašna komora (Iskra Pio)
- digitalno kljunasto merilo (Mitutoyo)
- komora za uravnoteženje
- kuhalnik
- laboratorijski sušilnik (Kambič)
- namizni krožni žagalni stroj (Proxxon)
- rastna komora (Kambič)
- sistem za ekstrakcijo (Büchi, B – 811)
- tenziometer (Krüss 100)
- univerzalni testirni stroj (Zwick-Roell)

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 FUNGICIDNE LASTNOSTI LESA

4.1.1 Izguba mase vzorcev kostanjevine po izpostavitvi glivam



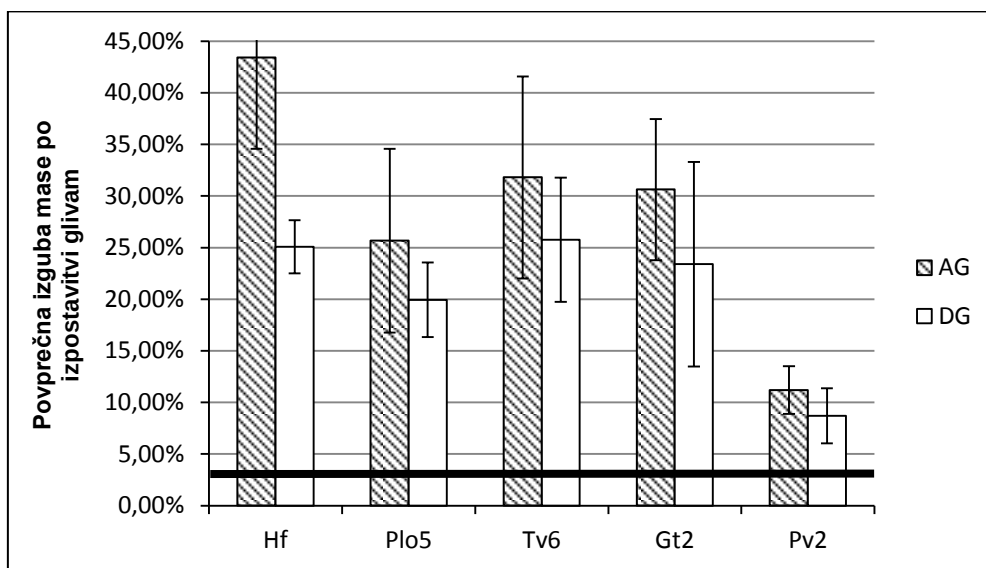
Slika 19: Povprečna izguba mase vzorcev kostanjevine po izpostavitvi glivam. Vzorci so bili pred izpostavitvijo naravno starani za 0 (AG) in 12 (DG) mesecev [%]. Odebeljena črta označuje mejo 3 %. Hf – ogljena kroglica (*Hypoxylon fragiforme*), Plo5 – bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus*), Tv6 – pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*), Gt2 – navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*), Pv2 – bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*).

Povprečna izguba mase kostanjevine, okužene z vsemi petimi testnimi glivami, je v obdobju A (nestarani les) bila pod 3 %, kar standard SIST EN 113 (2006) smatra za zanemarljivo izgubo mase. Rezultat je pričakovan, saj kostanjevina sodi med najbolj odporne lesne vrste v našem podnebnem pasu. V obdobju D (12 mesecev staranja) se je povprečna izguba mase zaradi delovanja večine gliv povečala, vendar še vedno ni presegala zgornje meje 3 %, ki jasno kaže na dovzetnost na glivni razkroj. Na podlagi literaturnih podatkov (Green III in Highley, 1997) smo pričakovali, da bo vzorce jedrovine kostanja najbolj razkrajala ena izmed gliv bele trohnobe, saj te prevladujejo na listavcih. Po pričakovanju so v povprečju največ mase (1,8 %) izgubili kontrolni-nestarani vzorci izpostavljeni pisani ploskocevki. Sledili so vzorci izpostavljeni bukovemu ostrigarju (1,6 %) in ogljeni kroglici (0,9 %). Še manjši delež mase so izgubili vzorci izpostavljeni navadni tramovki (0,7 %) in beli hišni gobi (0,4 %). Po enem letu izpostavitve se je izkazalo, da sta bili v povprečju najbolj agresivni glivi navadna tramovka in ogljena kroglica. Izguba mase

je bila 2,8 % in 2,5 %. Sledila je pisana ploskocevka (2,0 %), bela hišna goba (1,5 %) in bukov ostrigar (1,4 %).

Pri pisani ploskocevki je bilo pričakovati majhen razkroj, saj Schmidt (2006) navaja, da ne razkraja hrastovine, ki pa je po lastnostih zelo podobna kostanjevini. Razgradnja kontrolnih vzorcev okuženih z belo hišno gobo je bila pričakovano najnižja, saj jo v naravi zasledimo zlasti na iglavcih (Unger, 2001). Po enem letu staranja kostanjevine, se je za najbolj vitalno izkazala navadna tramovka, ki pogosteje razkraja iglavce, kar je po eni strani presenetljiv rezultat. Kakorkoli, najpomembnejši sklep, ki ga lahko povzamemo je, da se v enem letu naravne izpostavitve, iz lesa ne izpere dovolj ekstraktivnih učinkovin, da bi le to vplivalo na naravno odpornost.

4.1.2 Izguba mase vzorcev bukovine po izpostavitvi glivam



Slika 20: Povprečna izguba mase vzorcev bukovine po izpostavitvi glivam. Vzorci so bili pred izpostavitvijo naravno starani za 0 (AG) in 12 (DG) mesecev [%]. Odebeljena črta označuje mejo 3 %. Hf – ogljena kroglica (*Hypoxylon fragiforme*), Plo5 – bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus*), Tv6 – pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*), Gt2 – navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*), Pv2 – bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*).

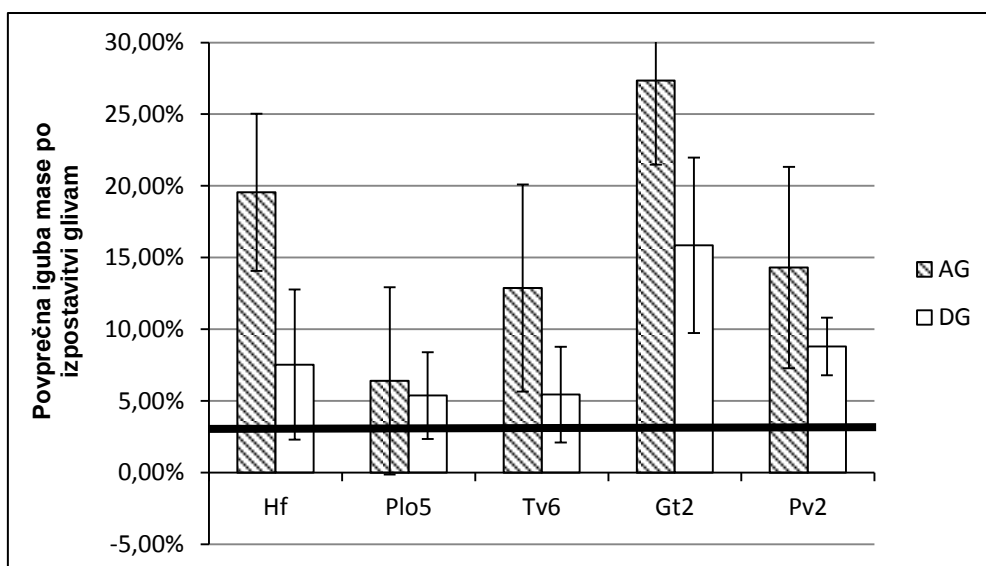
Povprečna izguba mase bukovine, ki je bila eno leto starana na prostem, je nižja od vzporednih vzorcev, ki niso bili izpostavljeni na prostem, vendar razlike niso statistično značilne. Izguba mase se je najbolj razlikovala pri vzorcih okuženih z ogljeno kroglico. Kot navaja Humar (2009), je ogljena kroglica primarni kolonizator lesa, ki v laboratorijskih

pogojih v 16 tednih razgradi 40 % nestarane bukovine. Les, ki smo ga izpostavili za 12 mesecev naravnim vremenskim razmeram, je po izpostavitvi ogljeni kroglici izgubil 25,1 % mase. Kontrolni vzorci so v skladu s pričakovanji izgubili 43,4 %. Razlika med obdobjema A in D znaša 18,3 odstotnih točk, kar je bistveno več kot pri vzorcih okuženih z ostalimi lesnimi glivami. Najmanjšo izgubo mase je povzročila bela hišna goba, ki je v obdobju A povzročila 11,2 % izgube mase, v obdobju D pa 8,7 %. Nizka izguba mase je pričakovana, saj gliva *A. vaillantii* v naravi praviloma ne povzroča trohnobe na lesu listavcev.

Največji razkroj vzorcev bukovine so povzročile glive bele trohnobe, ki razgrajujejo lignin in pogosteje okužujejo listavce. Posebno pisana ploskocevka je najpogostejša na bukvi (Pohleven, 2008). Izrazit razkroj smo opazili tudi pri vzorcih izpostavljenih navadni tramovki, ki tako na listavcih kot iglavcih povzroča rjavo trohnobo z razgradnjo celuloze. Podobno kot pisana ploskocevka, je tudi ta gliva sposobna razgradnje raznolikih substratov.

Glede na to, da je izguba mase po naravnem staranju upadla, le to nakazuje na to, da je med naravnim staranjem prišlo do sprememb, ki vplivajo na fungicidne lastnosti lesa. Glede na to, da je bilo že po 3 mesecih na lesu opaziti prve kloбуčke pahljačice (*Schizophyllum commune*). Ta primarna kolonizatorka, je razkrojila enostavno dostopen organski material, ki tekom izpostavitve v laboratoriju ni bil več na voljo glivam razkrojevalkam.

4.1.3 Izguba mase vzorcev smrekovine po izpostavitvi glivam

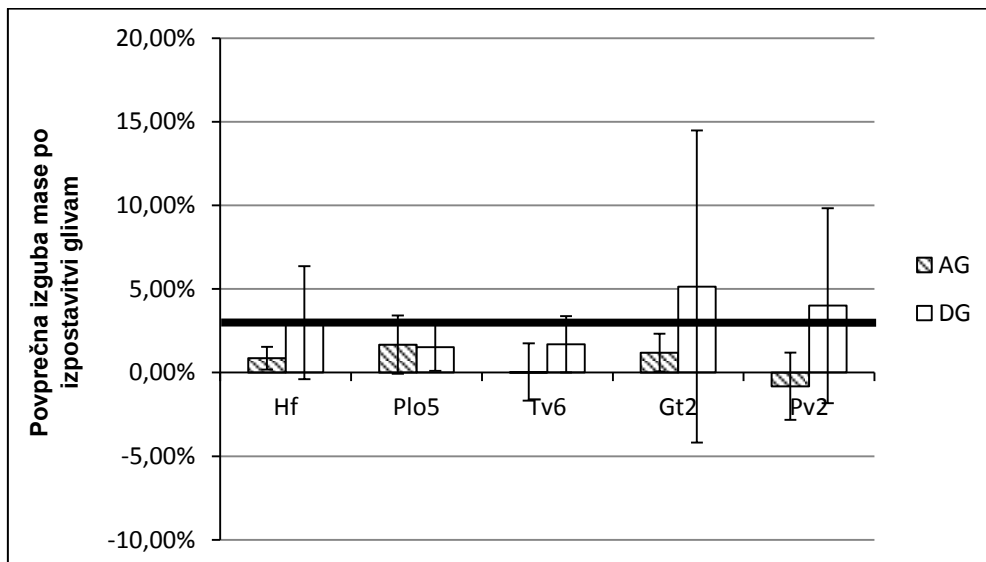


Slika 21: Povprečna izguba mase vzorcev smrekovine po izpostavitvi glivam. Vzorci so bili pred izpostavitvijo naravno starani za 0 (AG) in 12 (DG) mesecev [%]. Odebeljena črta označuje mejo 3 %. Hf – ogljena kroglica (*Hypoxylon fragiforme*), Plo5 – bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus*), Tv6 – pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*), Gt2 – navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*), Pv2 – bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*).

Pri smrekovini je največjo izgubo mase opaziti pri kontrolnih vzorcih razkrojenih z navadno tramovko in ogljeno kroglico (27,3 %; 19,6 %). Eno leto staranim vzorcem je podobno, kot pri bukovih vzorcih izguba mase po izpostavitvi glivam močno upadla. Delež izgube mase je najvišji po izpostavitvi navadni tramovki (15,9 %), ki ji sledi bela hišna goba (8,8 %). Najnižjo izgubo mase je povzročila pisana ploskocevka in bukov ostrigar. Zadnji dve sta tipični glivi bele trohnobe, ki ju praviloma najdemo na lesu listavcev, zato je nizka izgube mase izpostavljene smrekovine pričakovana.

Navadna tramovka, ki je tipična povzročiteljica rjave trohnobe, je smrekovino najbolj razkrajala. Vzrok za to so dobro razviti mehanizmi za razgradnjo celuloz, preostanek pa je oksidiran lignin, ki je viden kot rjavo obarvanje lesa. Razkroj je bil pričakovano slabši pri glivah bele trohnobe, saj so te pogostejše na listavcih kot iglavcih. Izjema je le ogljena kroglica na kontrolnih vzorcih, kar bi lahko kazalo na prilagodljivost te glive. Menimo, da so vzroki za nižjo izgubo starane smrekovine primerljivi z vzroki, ki smo jih opisali za izpostavljeno bukovino.

4.1.4 Izguba mase vzorcev smrekovine zaščitene s Silvanolinom® po izpostavitvi glivam



Slika 22: Povprečna izguba mase vzorcev smrekovine zaščitene s Silvanolinom® po izpostavitvi glivam. Vzorci so bili pred izpostavitvijo naravno starani za 0 (AG) in 12 (DG) mesecev [%]. Odebeljena črta označuje mejo 3 %. Hf – ogljena kroglica (*Hypoxylon fragiforme*), Plo5 – bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus*), Tv6 – pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*), Gt2 – navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*), Pv2 – bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*).

Smreka zaščitena s Silvanolinom®, ki ni bila starana, ni izgubila skoraj nič mase. Največji delež izgube so imeli vzorci okuženi z bukovim ostrigarjem in še ta je znašal le 1,7 %, kar standard SIST EN 113 (2006) razvršča kot zanemarljivo izgubo mase. Tudi 12 mesecev starani vzorci, niso izgubili veliko mase. Izguba je bila med 5,1 % in 1,5 %. Nad 3 % izgube je povzročila navadna tramovka, kjer je bila izguba 5,1 %, bela hišna goba (4,0 %) in natanko 3 % izgube mase je povzročila ogljena kroglica. Pod 3 % izgube mase smo določili pri pisani ploskocevki (1,7 %) in bukovem ostrigarju (1,5 %).

Pri vzorcih, ki so bili starani eno leto, sta največjo izgubo mase povzročili glivi rjave trohnobe, kar ne preseneča, saj ju najpogosteje najdemo na iglavcih. Poleg tega, je predvsem za belo hišno gobo znano, da lahko razkraja les zaščiten z bakrovimi pripravki (Humar, 2008c). Kljub temu izguba ni bilo tako velika, kar pomeni, da je Silvanolin® učinkovito zaščitno sredstvo. Glive bele trohnobe so bile manj učinkovite pri razgradnji, saj so rezultati pokazali, da so razkrojile 3 % in manj lesa. Vzrok je, da pogosteje okužujejo les listavcev kot iglavcev. Po drugi strani, pa so glive bele trohnobe, tudi bolj občutljive na

bakrove aktivne učinkovine, kot glive rjave trohnobe (Humar, 2004). Glivi razkrojevalki rjave trohnobe sta razkrojili precej več lesa kot ostale, čeprav so vsi vzorci bili zaščiteni. Vzroke je lahko, da so glive rjave trohnobe bolj odporne na borove učinkovine kot glive bele trohnobe. Po drugi strani je lahko večja izguba mase vzorcev posledica depolimerizacije lignina in hemiceluloze, ki jo povzroča etanolamin (Humar in sod., 2007). Verjetno pa del vzrokov za večjo izgubo mase staranega lesa pripišemo izpiranju aktivnih učinkovin iz impregniranega lesa. V prvi vrsti, gre verjetno za izpiranje borovih učinkovin, za katere je znano, da se relativno hitro izperejo iz lesa (Unger in sod., 2001).

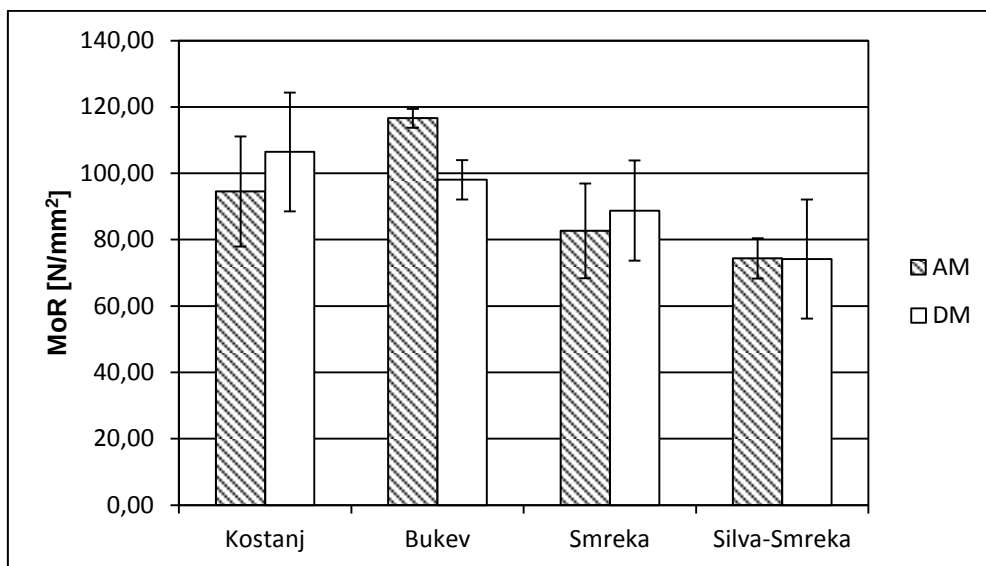
Ključno vprašanje določanja fungicidnih lastnosti je, kako naravno staranje vpliva na lastnosti lesa. Ta podatek je pomemben tako s praktičnega vidika, kot tudi z znanstvenega. Z biotehnološkega vidika, pa nas zanima, ali je naravno staran les primeren za nadaljnjo obdelavo z glivami. Izguba mase po izpostavitvi glivam je eden izmed najenostavnejših kazalnikov, ki nakazuje na fungicidne lastnosti lesa. Izgubo mase smo določali po enačbi 1 iz poglavja 3.5. Iz dobljenih podatkov vidimo, da so bile glive vitalne, ker so izgube mase pri smrekovini in bukovini vzorcev praviloma višje od 20 % (SIST EN 113, 1995). Kot je razvidno iz predstavljenih podatkov, je izguba mase bukovine in smrekovine padala s časom izpostavljenosti (Sliki 20 in 21). Obratno je bilo s kostanjevino in smrekovino zaščiteno s Silvanolinom®, kjer se je izguba mase le malo povišala s časom izpostavljenosti.

4.2 SPREMEMBA UPOGIBNE IN TLAČNE TRDNOSTI

Z merjenjem tlačne in upogibne trdnosti kontrolnih in izpostavljenih vzorcev smo želeli preveriti mehanske spremembe lesa. Mehanske lastnosti pogosto hitreje nakažejo na spremembe v strukturi lesa zaradi delovanja gliv, kot jih zaznamo z izgubo mase ali vizualno. Zato se mehanska testiranja uporabljajo predvsem za vrednotenje začetnih stopenj razkrojenosti lesa (Unger in sod., 2001).

4.2.1 Upogibna trdnost

Upogibna trdnost, je ena izmed najpogostejše določenih trdnosti. Nakazuje predvsem na spremembe v razgradnji celuloze.



Slika 23: MoR = modul porušitve [N/mm²] - sprememba upogibne trdnosti kontrolnih (AM) in staranih (DM) vzorcev kostanjevine, bukovine, smrekovine in zaščitene smrekovine s Silvanolinom®.

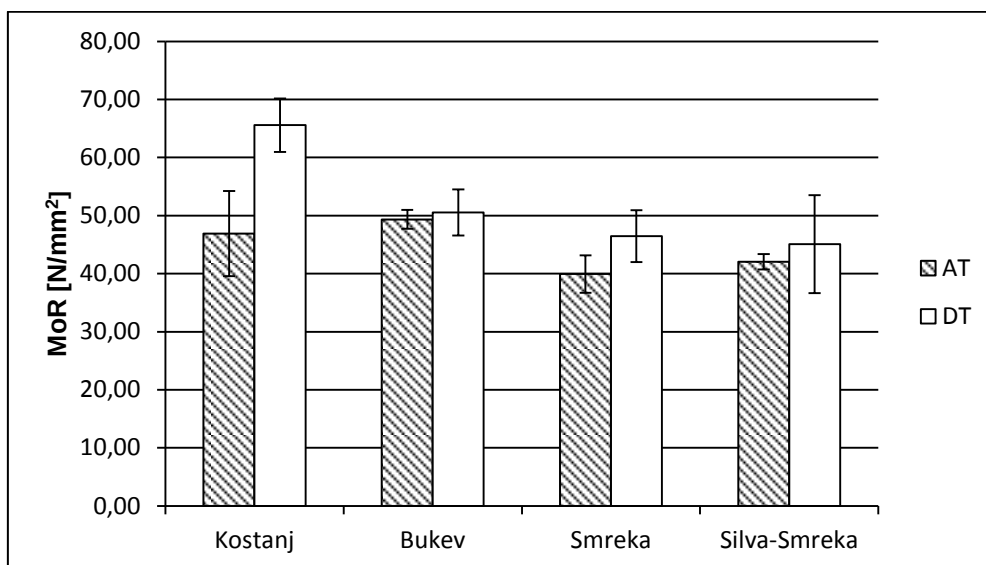
Rezultati (Slika 23) so pokazali, da po enem letu naravnega staranja ni prišlo do velikih sprememb v upogibni trdnosti lesa. Po pričakovanju, je povprečna upogibna trdnost kostanjevine in bukovine višja od povprečne upogibne trdnosti smrekovine. Natančnejši pregled rezultatov pokaže, da je povprečna upogibna trdnost kostanjevine in smrekovine nekoliko izboljšala, pri smreki zaščiteni s Silvanolinom® je ostala nespremenjena in pri bukovini se je poslabšala. Ti podatki se nanašajo le na povprečne vrednosti. Za gotovejšo analizo bi bilo potrebno izvesti statistično analizo, kar pa zaradi omejitev eksperimenta ni bilo mogoče. Povprečje kontrolnih vzorcev kostanjevine je bilo 94,51 N/mm² in se je po enem letu povišalo na 106,46 N/mm². Pri smrekovini je bila ta sprememba manjša, in sicer iz 82,76 N/mm² se je upogibnost zvišala na 88,76 N/mm². Kot že omenjeno, spremembe zaradi naravne izpostavitve pri zaščiteni smrekovini praktično ni bilo zaznati. Kontrolni vzorci so imeli 74,39 N/mm² MoR (modul porušitev), pri staranih vzorcih pa 74,17 N/mm². Z bukovino je bilo drugače. Po enem letu izpostavljenosti je MoR padel iz 116,57 N/mm² na 98,06 N/mm². Ta podatek kaže, da pri lesu po enoletnem staranju ni prišlo do intenzivnejšega razkroja. Na začetno stopnjo razkrojenosti nakazujejo le bukovi

vzorci. Kakorkoli, v primeru intenzivnejšega razkroja bi morale biti upogibne trdnosti bistveno nižje.

V skupini kontrolnih vzorcev je bila smrekovina zaščitena s Silvanolinom[®] tista, ki je imela najnižje povprečno upogibno trdnost. Nekaj višjo je imela smrekovina, še višjo kostanjevina in najvišjo bukovina. Na podlagi sipanja rezultatov lahko povzamemo, da ima les bukve najvišjo upogibno trdnost, ki je primerljiva s trdnostjo kostanjevine. Po enem letu izpostavljenosti lesa, je najvišjo upogibno trdnost imela kostanjevina in najnižjo zaščitena smreka. Sodeč po rezultatih je Silvanolin[®] dobro zaščitno sredstvo, saj skoraj ni prišlo do sprememb, kar pomeni da abiotski in biotski dejavniki razkroja niso vplivali na spremembe mehanskih lastnosti.

4.2.2 Tlačna trdnost

Tlačna trdnost za razliko od upogibne trdnosti nakazuje predvsem na spremembe v zgradbi lignina. Zaradi lastnosti lesa je nekoliko manj indikativna, kot upogibna trdnost in je bolj podvržena variabilnosti rezultatov. Kakorkoli, po staranju se je le-ta spremenila pri vseh vrstah lesa. Pri vseh izpostavljenih vzorcih se je povprečna vrednost zvišala. Največje spremembe je bilo opaziti pri kostanjevini, saj je bila izmerjena tlačna trdnost kontrolnih vzorcev $46,90 \text{ N/mm}^2$. Po enem letu staranja se je povišala za $18,66 \text{ N/mm}^2$, kar znaša $65,56 \text{ N/mm}^2$. Tudi pri smrekovini je bilo opaziti spremembe v povprečni tlačni trdnosti. MoR kontrolnih, nestaranih vzorcev je znašal $39,93 \text{ N/mm}^2$, po enem letu staranja se je povišal na $46,45 \text{ N/mm}^2$. Manjše spremembe smo zaznali pri zaščiteni smreki in najmanjše pri bukovini. Glede na velik standardni odklon menimo, da staranje pri teh dveh materialih ni imelo izrazitega vpliva na tlačno trdnost. Kontrolnim vzorcem zaščitene smreke smo povprečno izmerili $42,04 \text{ N/mm}^2$ tlačne trdnosti. Po enem letu je znašala $45,07 \text{ N/mm}^2$. Bukovini smo pred izpostavitvijo izmerili $49,33 \text{ N/mm}^2$, po enem letu staranja pa $50,53 \text{ N/mm}^2$ (Slika 24).



Slika 24: MoR = modul porušitve [N/mm²] - sprememba tlačne trdnosti kontrolnih (AM) in staranih (DM) vzorcev kostanjevine, bukovine, smrekovine in zaščitene smrekovine s Silvanolinom®.

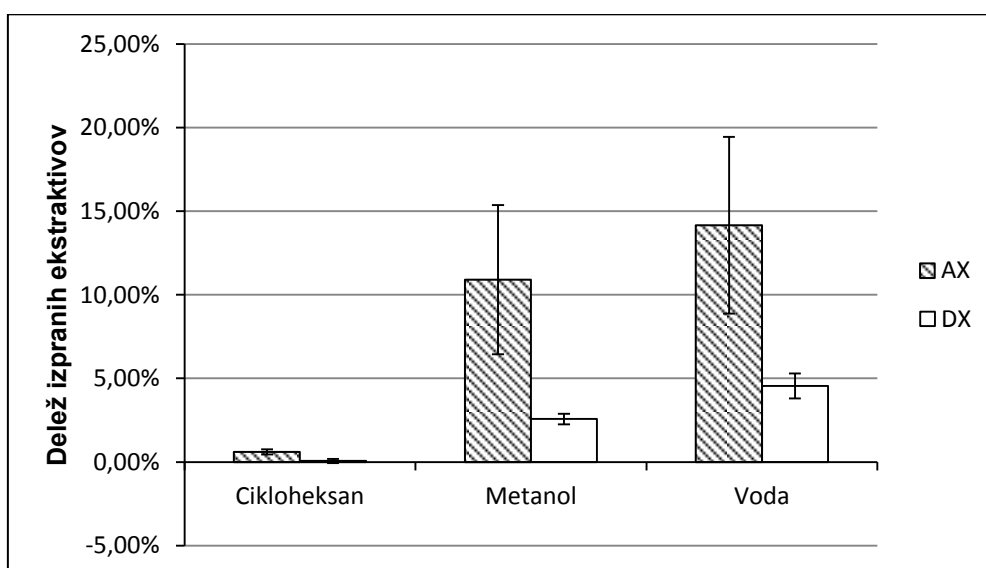
Iz določanja upogibne in tlačne trdnosti lahko povzamemo, da je les kostanja in buke zelo trden ter les od smreke zelo mehak. Vendar pa po enem letu izpostavljenosti lesa ugotavljamo, da je zaščitno sredstvo Silvanolin® učinkovito, ker se mehanske lastnosti niso bistveno spremenile. Pri kostanjevini so se mehanske lastnosti po enem letu izboljšale.

Na podlagi rezultatov, ki kažejo izboljšanje tlačne trdnosti, predvidevamo da je možnih več vzrokov za to. Prvi izmed njih je, da je večja povprečna tlačna trdnost lahko posledica variabilnosti materiala. Druga hipoteza je, da če les sušimo, pride do tesnejših interakcij med celuloznimi fibrilami in mehanske lastnosti se izboljšajo. V našem primeru smo vzorce sušili dvakrat. Prvič, preden smo jih uporabili za tenziometrijo, kjer smo spremljali navzem vode, in drugič, po končani tenziometriji. Včasih sušenje pri temperaturah do 140 °C pozitivno vpliva na mehanske lastnosti (Green in sod., 1999). Tretja razlaga je v povezavi z jedrovinskimi snovmi – ekstraktivi. Ti se vrinejo med celulozne in ligninske makromolekule in onemogočijo stik med njimi, tako da so mehanske lastnosti slabše. V primeru, da ekstraktivov ni, pride do tesnejših interakcij med celuloznimi in ligninskimi makromolekulami. Tako je upogibnost večja. Vendar je to le domneva. Četrta možnost je kolonizacija z glivami modrivkami. Kot poroča Vek (2007), je lahko vzrok za izboljšanje mehanskih lastnosti melanin, ki dodatno premreži strukturo lesa. Izkazalo se je, da je imel pomodrel les boljši modul elastičnosti kot nepomodrel les.

4.3 DELEŽ EKSTRAKTIVOV V LESU

Ekstraktivi v lesu imajo velik vpliv na odpornost lesa. Nekateri lahko povečajo odpornost na glive, drugi jo močno zmanjšajo. Za izpiranje ekstraktivov iz vzorcev smo uporabili tri topila: cikloheksan, vodo in 70 % metanol. Najvišji delež ekstraktivov smo ugotovili pri izpiranju z vodo in najnižji pri izpiranju s cikloheksanom.

4.3.1 Delež ekstraktivov v kostanjevini



Slika 25: Delež izpranih ekstraktivov [%] iz kostanjevine, kontrolnih (AX) in 12 mesecev starih vzorcev (DX). Uporabljena topila so cikloheksan, voda in 70 % metanol.

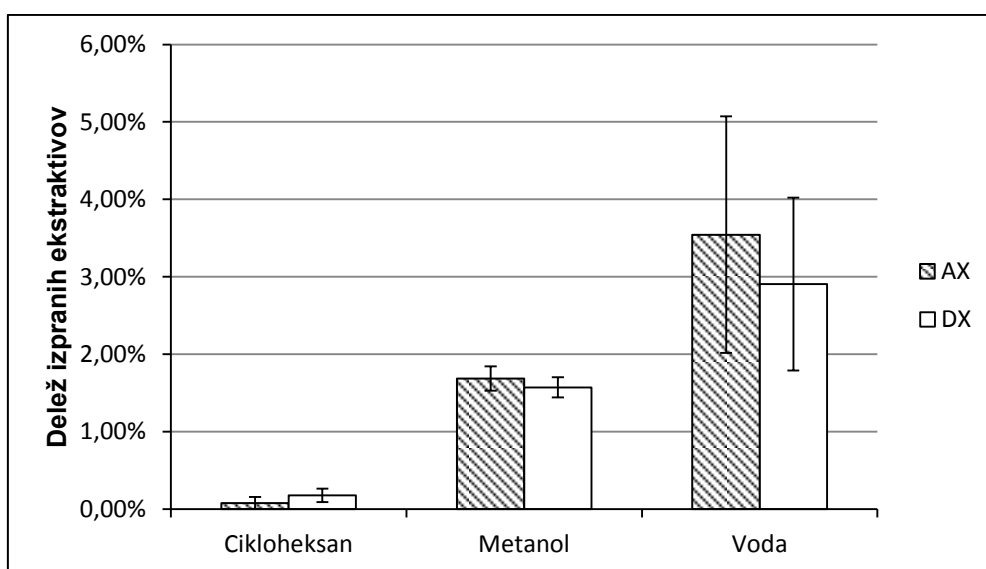
Za kostanj je znano, da vsebuje veliko ekstraktivnih učinkovin, kar se s pridom uporablja, tudi v komercialne namene za proizvodnjo tanina. Velike količine taninov, so med drugim tudi vzrok za dobro naravno odpornost kostanjevine. Izmed vzorcev kostanjevine, se je največ ekstraktivov izpralo iz kontrolnih, nestarih vzorcev (Slika 25). Največ ekstraktivov se je v obdobju A izpralo z vodo in to 14,15 %, po enem letu, pa je delež vodotopnih ekstraktivov znašal le 4,54 %. Z metanolom se je iz lesa izpralo 10,91 % v obdobju A in 2,57 % po 12 mesecih izpostavitve naravnim vremenskim razmeram. S cikloheksanom se je izpralo 0,60 % ekstraktivov v času A in 0,07 % v času D, kar je skoraj zanemarljivo.

Ta rezultat kaže na to, da se je količina ekstraktivov močno zmanjšala (za 10 odstotnih točk), kljub temu pa je les ohranil svoje fungicidne lastnosti (Slika 19). Ta podatek po drugi

strani nakazuje tudi na to, da na fungicidne lastnosti vplivajo še druge lastnosti, kot le delež ekstraktivov. Ena od njih je tudi vodoodbojnost, ki smo jo osvetlili v nadaljevanju.

Iz vzorcev jedrovine smo izpirali fenolne snovi, ki imajo zaščitno funkcijo. Enostavni fenoli so klasificirani kot hidrofilni ekstraktivi, ki se topijo v polarnih topilih (metanol, aceton). Z mešanico cikloheksana se je izpralo manj ekstraktivov, ker je cikloheksan topilo lipofilnih ekstraktivov (Zule, 2011).

4.3.2 Delež ekstraktivov v bukovini

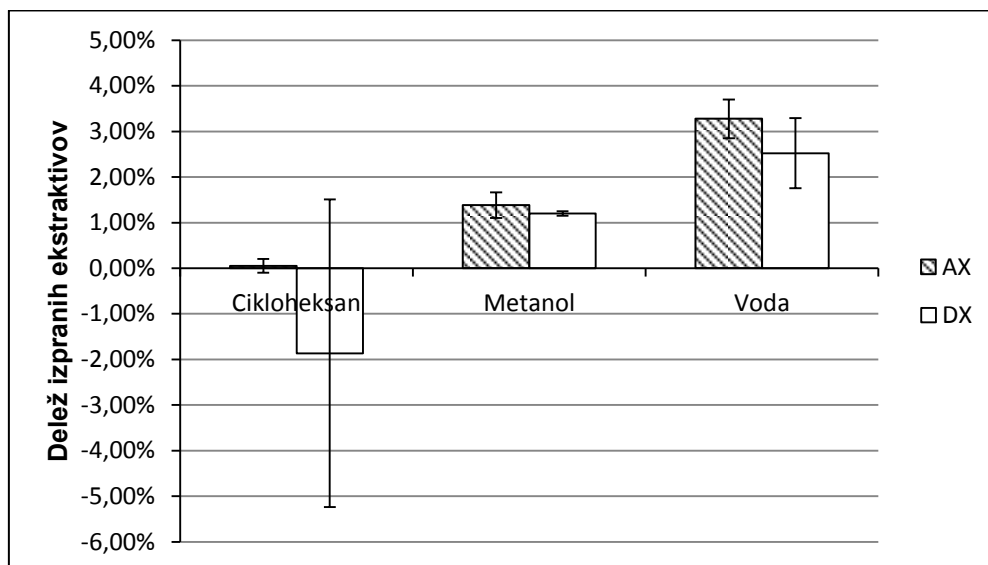


Slika 26: Delež izpranih ekstraktivov [%] iz bukovine, kontrolnih (AX) in 12 mesecev starih vzorcev (DX).
Uporabljena topila so cikloheksan, voda in 70 % metanol

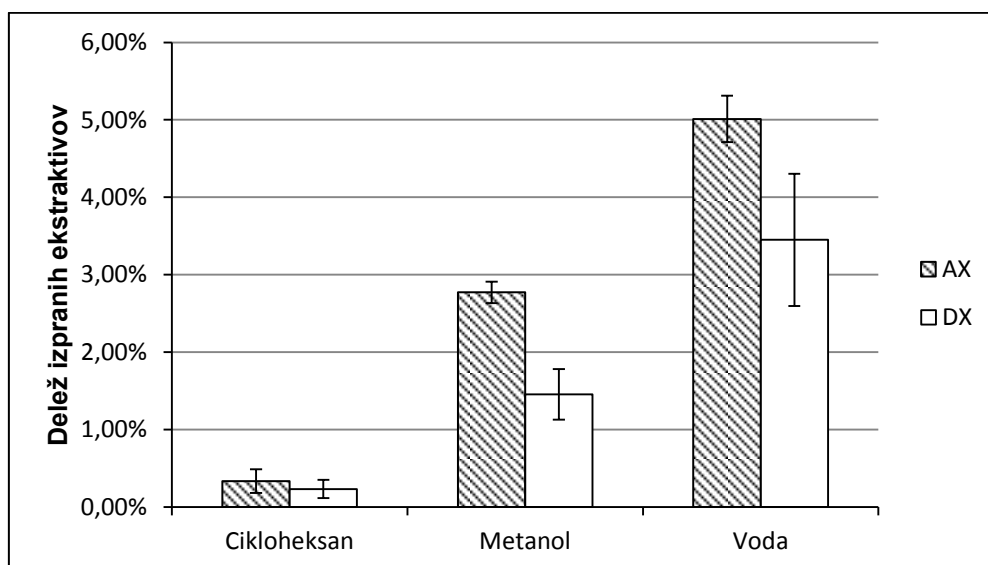
Delež ekstraktivov bukovine (Slika 26) je po pričakovanju nižji od kostanjevine. Vrednosti cikloheksana so višje v vzorcih, ki so bili izpostavljeni 12 mesecev, vendar so razlike zanemarljive. Ta delež je po 12 mesecih staranja 0,18 %, v obdobju A (kontrola) pa 0,08%. Z vodo se je izpral najvišji delež ekstraktivov v obdobju A in ta je znašal 3,54 %, pri eno leto starih vzorcih pa 2,90 %. Z izpiranjem z metanolom se delež ekstraktivov ni bistveno spremenil. V času A se je izpralo 1,68 % ekstraktivov. Ta odstotek je bil nižji za 1,11 %, pri vzorcih, ki so bili starani eno leto.

Pri bukovini smo pričakovali, da se bo delež vodotopnih ekstraktivov, zaradi začetnih stopenj razkroja, povečal. Do tega ni prišlo. Vzrokov za to je več, verjetno pa so se ekstraktivi med izpostavitvijo izprali iz lesa, del pa so jih porabile tudi glive.

4.3.3 Delež ekstraktivov v smrekovini in impregnirani smrekovini s Silvanolinom®



Slika 27: Delež izpranih ekstraktivov [%] iz smrekovine, kontrolnih (AX) in 12 mesecev starih vzorcev (DX). Uporabljena topila so cikloheksan, voda in 70 % metanol.



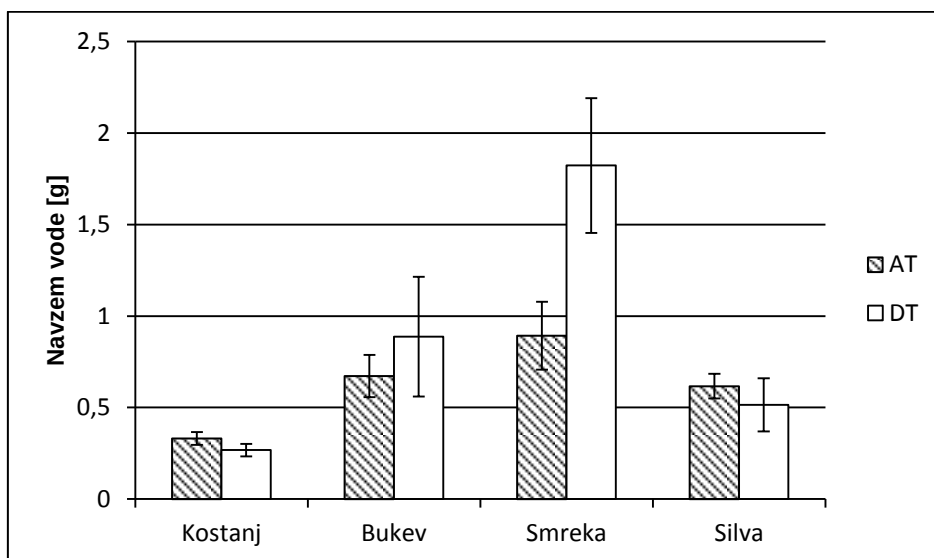
Slika 28: Delež izpranih ekstraktivov [%] iz zaščitene smrekovine s Silvanolinom®, kontrolnih (AX) in 12 mesecev starih vzorcev (DX). Uporabljena topila so cikloheksan, voda in 70 % metanol.

Med primerjavo vzorcev smrekovine (Slika 27) in smrekovine zaščitene s Silvanolinom® (Slika 28) podatki kažejo, da se je v povprečju večji delež ekstraktivov izpral iz nestarane, zaščitene smrekovine. Z vodo se je v tem obdobju izpralo 5,01 % in iz nezaščitene smrekovine 3,28 % ekstraktivov. Pri leto dni staranih vzorcih se je odstotek ekstraktivov znižal, in sicer se je iz nezaščitene smrekovine izlužilo 2,52 %, iz zaščitene pa 3,45 % ekstraktivov. Najmanj ekstraktivov se je podobno kot pri drugih vzorcih izpralo s cikloheksanom. Odstotek ekstraktivov kontrolnih vzorcev nezaščitene smrekovine je 0,05 %, zaščitene 0,33 %. Vrednosti so po letu dni izpostavljenosti padle na negativnih 1,86 % pri nezaščiteni smrekovini in na 0,46 % pri zaščiteni smrekovini s Silvanolinom®. Vrednosti izpiranja z metanolom so bile v obdobju A pri smreki 1,38 % in v obdobju D 1,20 %. Iz zaščitene smrekovine se je izpralo nekaj več ekstraktov in sicer iz kontrolnih vzorcev 2,77 % in iz izpostavljenih 1,46 %.

4.4 NAVZEM VODE IN SORPCIJSKE LASTNOSTI

4.4.1 Kapilarni navzem vode

Kapilarni navzem vode je poleg deleža ekstraktivov eden izmed parametrov, ki ima največji vpliv na odpornost lesa na glive. Hitreje in bolj, ko se les navlaži, bolj je izpostavljen delovanju lesnih gliv. Zato smo želeli osvetliti, kako se s časom spreminja kapilarni navzem vode. Na ta parameter ima velik vpliv delež por, zato že na začetku pričakujemo, da bo les kostanja vpil manj vode, kot les smreke.



Slika 29: Navzem vode [g] kostanjevine, bukovine, smrekovine in zaščitene smrekovine s Silvanolinom® kontrolnih in 12 mesecev starih vzorcev.

Najvišji povprečni navzem vode je opaziti pri vzorcu izpostavljenе smreke. Ta je znašal 1,822 g. Kontrolni, nestarani vzorec smreke je navzel precej manj, a še vedno v povprečju največ vode izmed vseh nestaranih vzorcev (0,892 g). Kontrolni vzorci zaščitene smreke so privzeli 0,617 g vode, izpostavljeni nekaj manj (0,515 g). Ta podatek je pričakovan, saj Silvanolin® vsebuje tudi hidrofobno oktanojsko kislino, kar se odraža v lastnostih lesa. Najnižji navzem vode smo po pričakovanju določili pri lesu kostanju. Nestarani vzorci so v povprečju privzeli 0,331 g vode, izpostavljeni nekaj manj (0,268 g). Vzorci bukke so po enem letu izpostavljenosti privzeli 0,887 g, neizpostavljeni pa 0,672 g. Glede na veliko variabilnost, pri bukovini ne moremo z gotovostjo potrditi, da staranje vpliva na kapilarni navzem vode.

Po dobljenih podatkih lahko sklepamo, da so glive razkrojevalke uspešno okužile les bukke in smreke. To je razvidno tako iz mehanskih lastnosti, kot tudi kapilarnega navzema vode. Kot je vidno po rezultatih navzema vode starih vzorcev, se je z razkrojenostjo lesa povišal predvsem povprečni kapilarni navzem vode v smrekovino. Ti rezultati se skladajo s podatki dobljenimi pri izgubah mas okuženih vzorcev z glivami. Največ mase so v povprečju izgubili prav vzorci lesa bukke in smreke. Vzorci kostanjevine so imeli zelo nizek navzem vode (najnižje izmed vseh vrst lesa), kar potrjuje dejstvo, da je kostanj zelo odporen les. Kot je navedeno v preglednici 1, v poglavju 2.1.1 Naravna odpornost, spada kostanj v drugi razred odpornosti, kar pomeni, da je odporen les. Zaščitena smreka je imela nekoliko višji navzem kot kostanj, vendar nižjega kot smrekovina. Kljub temu je

zaščita bila učinkovita. V primerjavi z nezaščitnimi vzorci smreke, je imela impregnirana smreka bistveno nižji navzem in glive razkrojevalke je niso razkrojile. Po letu dni izpostavljenosti so vzorci celo imeli nižji navzem vode kot kontrolni vzorci.

4.4.2 Sorpcijske lastnosti

Sorpcijske lastnosti so eden izmed najpomembnejših lastnosti, ki odražajo kemijske spremembe lesa na eni strani, ter po drugi strani vplivajo tudi na rabo lesa. Vlažen les je bolj izpostavljen delovanju gliv, predvsem plesnim, in se teže obdeluje.

Preglednica 6: Vlažnosti [%] kontrolnih (A) in eno leto staranih (D) vzorcev lesa kostanjevine, bukovine, smrekovine in zaščitene smrekovine s Silvanolinom[®], ki so bili za tri tedne izpostavljeni 65 % in 87 % relativni zračni vlažnosti. Standardni odkloni so podani v oklepajih.

Relativna vlažnost lesa [%]				
Relativna zračna vlažnost	65 %		87 %	
Obdobje	A	D	A	D
Kostanj	9,0 (0,3)	8,0 (0,1)	14,7 (0,8)	14,5 (0,4)
Bukev	9,0 (0,1)	8,4 (0,1)	16,3 (0,4)	15,5 (0,4)
Smreka	9,3 (0,1)	8,9 (0,5)	15,8 (0,5)	15,6 (0,2)
Silva-Smreka	11,0 (0,3)	8,6 (0,2)	18,1 (0,6)	15,3 (0,3)

V preglednici 6 so prikazani podatki o vlažnostih lesa po uravnovešanju v komorah z različno vlažnostjo. Pričakovali smo, da bodo imeli starani vzorci nižjo vlažnost, kot nestarani vzorci, saj smo pričakovali, da bo v staranem lesu zaradi biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja, na voljo več prostih mest za vezavo vode. Iz preglednice 6 je razvidno, da je imel staran les praviloma nižjo vlažnost od kontrolnih vzorcev. Pri 65 % RZV je prišlo do največjih odstopanj pri zaščiteni smrekovini. Razlika med obema vortcema znaša kar 2,4 odstotne točke. Tudi vlažnost lesa kontrolnih vzorcev je bila 11,0 %, izpostavljenih pa 8,6.

Pri 87 % RZV se je vlažnost vzorcev lesa povišala, vendar med primerjavo staranih in nestaranih vzorcev opazimo, da je vlažnost lesa izpostavljenih vzorcev padla v primerjavi s kontrolami. Pri neizpostavljenih vzorcih se je vlažnost lesa gibala med 14,7 % in 18,1 %, pri staranih vzorcih pa je bila med 14,5 % in 15,6 %.

Kostanj se je spet izkazal kot les, pri katerem smo določili najnižjo povprečno vlažnost ne glede na staranje, kar je po vsej verjetnosti tudi eden od razlogov za njegovo odpornost. Vlažnost kostanjevine je bila najnižja izmed vseh vzorcev. Po drugi strani je imel les smrekovine in bukovine je podobno vlažnost, vendar nekoliko višjo od kostanjevine. Tudi ta podatek sovпада z odpornostjo lesa. Smrekovina in bukovina sta namreč bistveno bolj dovzetni za razkroj kot kostanjevina.

5 SKLEPI

Vse glive, ki so jim bili izpostavljeni vzorci, so bile vitalne, saj so brez težav razkrajale kontrolno bukovino in smrekovino. Po drugi strani, glive niso razkrajale nestarane kostanjevine in impregnirane smrekovine.

Enoletno naravno staranje ni vplivalo na odpornost kostanjevega lesa. Po drugi strani se je odpornost starane smrekovine in starane bukovine nekoliko izboljšala, odpornost impregnirane smrekovine pa poslabšala.

Upogibna trdnost staranih vzorcev, kostanjevine in smrekovine, se je izboljšala, pri bukovini se je poslabšala. Tlačna trdnost se je po enem letu izboljšala pri vseh vrstah lesa.

Največ ekstraktivnih snovi smo izprali z vodo. Količina ekstraktivov v starani kostanjevini se je močno zmanjšala. Pri staranem bukovem lesu se delež izpranih ekstraktivov ni povečal. Iz smrekovine zaščitene s Silvanolinom® se je izpralo več ekstraktivov kot iz nezaščitene smrekovine.

Z razkrojenostjo lesa se je povišal povprečni kapilarni navzem vode predvsem pri smrekovini.

Naravno staran les se je zaradi delovanja abiotskih in biotskih dejavnikov razkroja uravnovesil pri nižjih vlažnostih kot nerazkrojen les.

6 POVZETEK

Les je kot naraven material izpostavljen različnim dejavnikom razgradnje. Večina slovenskih drevesnih vrst ima neodporen les, zato skušamo trajnost takšnega lesa podaljšati. Na trajnost v veliki meri vplivajo klimatski pogoji, ki jih je potrebno določiti za vsako okolje in vsako lesno vrsto in tip zaščite posebej.

V našem podnebnem pasu les ogrožajo predvsem glive razkrojevalke. V naravi je razkroj zaželen proces, kadar pa les uporabljamo v gospodarske namene, so ti procesi razgradnje nezaželeni in jih želimo upočasniti. Pomembno je poznavanje kolonizacije gliv razkrojevalk in sam proces glivnega razkroja. To omogoča razvoj učinkovitejših zaščitnih pripravkov.

Raziskovali smo vpliv biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja na odpornost, mehanske in sorpcijske lastnosti lesa. Primerjali smo kontrolne vzorce lesa kostanja, bukve, smreke in zaščitene smreke s Silvanolinom® z vzorci, ki so bili eno leto izpostavljeni naravnim vremenskim vplivom. Vzorce smo izpostavili petim glivam: ogljeni kroglici, bukovemu ostrigarju, pisani ploskocevki, navadni tramovki in beli hišni gobi. Izgubo mase smo določili gravimetrično. Ekstrakte smo izpirali s tremi različnimi topili: cikloheksanom, vodo in 70 % metanolom. Za določanje mehanskih lastnosti smo vzorcem izmerili upogibno in tlačno trdnost. S spremljanjem navzema vode v vzorce in uravnotežanjem vzorcev na 65 % in 87 % relativni zračni vlažnosti smo določali sorpcijske lastnosti lesa.

Ugotovili smo, da so vse uporabljene glive uspešno razkrajale lesa, a v povprečju je bila najbolj uspešna gliva rjave trohnobe navadna tramovka. Najbolj je razkrojila vzorce bukovine. V povprečju so kontrolni vzorci izgubili 30,6 % mase, izpostavljeni pa 23,4 %.

Upogibna trdnost se je v primeru kostanjevine in smrekovine s staranjem izboljšala. Najbolj se je izboljšala pri kostanjevini, za 11,94 N/mm². Podobno se je zgodilo pri tlačni trdnosti, kjer se je tlačna trdnost kostanjevine izboljšala za 18,66 N/mm². Nepričakovano je, da se je tlačna trdnost izboljšala pri vseh vrstah izpostavljenega lesa.

Največ ekstraktivov smo izprali iz vzorcev kostanjevine z vodo, kar dokazuje, da sodi kostanj med bolj odporne vrste, saj vsebuje veliko fenolnih snovi, ki imajo zaščitno

funkcijo. Izprali smo 14,17 % ekstraktivov iz kontrol in 4,04 % iz staranih vzorcev. To nakazuje, da se je del ekstraktivov med staranjem izpral iz lesa.

S spremljanjem sorpcijskih lastnosti smo zavrgli hipotezo, da se bo razkrojen les uravnesil pri višjih vlažnostih, kot nerazkrojen les.

Delno smo potrdili hipotezo, da se mehanske lastnosti različnih vrst lesa zaradi delovanja biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja poslabšajo. V primeru bukovine ta hipoteza drži. Hkrati smo potrdili, da je Silvanolin® učinkovito zaščitno sredstvo, saj se niso spremenile lastnosti zaščitene smreke.

7 VIRI

- Aloui F., Ayadi N., Charrier F., Charrier B. 2004. Durability of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): relations with phenol extractives. Holz als Roh und Werkstoff, 62, 4: 289-290
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa: univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Daniel G., Nilsson T. 1998. Development in the study of soft rot and bacterial decay. V: Forest products Biotechnology. Bruce A., Palfreman J. W. (ur.). London, Taylor and Francis: 37-62
- Deacon J. W. 1997. Modern Mycology. London, Blackwell Publishing: 303 str.
- Dinwoodie J. 2000. Timber: Its nature and behaviour. London, E & FN Spon: 257 str.
- Eaton R.A., Hale M.D.C. 1993 Wood, Decay, Pests and Protection. London, Chapman and Hall: 546 str.
- Fabčič B. 2008. Vpliv širine branik hrastovine na naravno odpornost proti glivam razkrojevalkam. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 77 str.
- Fengel D., Wegener G. 1989. Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin, Walter de Gruyter: 613 str.
- Gerardin P., Neya B., Dumarçay S., Petrissans M., Serraj H., Huber F. 2004. Contribution of gums to natural durability of *Prosopis africana* heartwood. Holzforschung, 58: 39-44
- Gorišek Ž., Straže A., Jene R. 2004. Vpliv toplotne obdelave na sorpcijske lastnosti lesa. Les, 56, 5: 140-147

Green III. F., Highley T. L. 1997. Mechanism of brown rot decay: Paradigm or paradox. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 39: 113-124

Green F., Clausen C. A. 2005. Copper tolerance ob brown-rot fungi: Oxalic acid production in southern pine treated with arsenic-free preservatives. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 56: 75-79

Green D. W., Winandy J. E., Kretschmann D. E. 1999. Mechanical Properties of Wood. V: *Wood handbook — Wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-113. Madison, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: 1-45

Guilley E., Charpentier J. P., Ayadi N., Snackers G., Nepveu G., Charrier B. 2004. Decay resistance against *Coriolus versicolor* in Sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.): analysis of the between-tree variability and correlations with extractives, tree growth and other basic wood properties. *Wood Science and Technology*, 38, 7: 539-554

Hafner B. 2009. Vpliv klimatskih pogojev na vlažnost lesa impregniranega z vodnimi emulzijami polietilenskih in montanskih voskov. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 59 str.

Hartford W. H. 1972. Chemical and Physical properties of wood preservatives and wood preservative system. V: *Wood deterioration and its prevention by preservative treatments*. Vol. 2. Preservative and preservative system. Syracuse, Syracuse university Press: 154 str.

Hillis W. E. 1987. Heartwood and tree exudates. Berlin, New York, Springer-Verlag: 268 str.

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

Humar M. 2004. Zaščita lesa danes – jutri. *Les*, 56, 6: 184-188

Humar M. 2006. Izpiranje baker-etanolaminskih pripravkov iz lesa. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 80: 111-118

Humar M., Žlindra D., Pohleven F. 2007. Improvement of fungicidal properties and copper fixation of copper-ethanolamine wood preservatives using octanoic acid and boron compounds. Holz als Roh und Werkstoff, 65: 17-21

Humar M. 2008a. Bukov ostrigar – užitna goba, ki jo lahko gojimo tudi doma. Les, 60, 9: 353

Humar M. 2008b. Tramovka. Les, 60, 4: 159

Humar M. 2008c. Bela hišna goba. Les, 60, 2: 77

Humar M. 2008d. Adsorpcija baker-etanolaminskih zaščitnih pripravkov v les. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 85: 47-54

Humar M., Fabčič B., Zupančič M., Pohleven F., Oven P. 2008. Influence of xylem growth ring width and wood density on durability of oak heartwood. International Biodeterioration and Biodegradation, 64, 4: 368-371

Humar M. 2009. Ogljena kroglica ali jagodasti skorjeder. Les, 61, 9-10: 429

Humar M., Lesar B. 2009. Fungicidne lastnosti posameznih sestavin komercialnih baker-etanolaminskih pripravkov za zaščito lesa. Trajnostna raba lesa v kontekstu sonaravnega gospodarjenja z gozdovi. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 107-114

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

Kitek Kuzman M. 2008. Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 309 str.

Kunca A. *Stereum sanguinolentum*. 2009. Forestry images (4. maj 2010).

<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5382917> (16. jul. 2012)

Lesarski terminološki slovar. 2008. 1. izdaja. Ljubljana, Zveza lesarjev, Lesarska založba: 121 str.

Lindsey J. *Gloeophyllum trabeum*. 2007.

<http://www.commanster.eu/commanster/Mushrooms/Basidio/SpBasidio/Gloeophyllum.trabeum.html> (31. mar. 2012)

Ogris N. *Hypoxylon fragiforme* (Pers.) J. Kickx f. (1835). 2010. Varstvo gozdov Slovenije.

<http://www.zdravgozd.si/prirocnik/slika.aspx?idслика=a35d59a7-dc85-4caf-a6f9-f16d0d5974ef> (31. mar. 2012)

Panshin A. J., De Zeeuw C. 1980. Textbook of wood technology : structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada. New York, McGraw-Hill: 722 str.

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

Pohleven F. 2008. Pisana ploskocevka. Les, 60, 3: 115

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.

Polanc J., Leban I. 2004. Les – zgradba in lastnosti. Ljubljana, Zveza lesarjev, Lesarska založba: 176 str.

Råberg U., Brischke C., Rapp A.O., Högborg, O.S., Land, C.J. 2007. External and internal fungal flora of pine sapwood (*Pinus sylvestris* L.) specimens in above-ground field tests at six different sites in south-west Germany, *Holzforschung* 61:104-111

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

Rowell R. M., Banks W. B. 1985. Water repellency and dimensional stability of wood. General technical report FPL-50. Madison, U. S. Department of Agriculture, Forest Service; Forest Products Laboratory: 24 str.

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

Schmidt O. 2006. Wood and Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, and Use. Berlin, Springer-Verlag: 334 str.

Schultz T.P., Harms W.B., Fisher T.H., McMurtrey K.D., Minn J., Nicholas D.D. 1995. Durability of Angiosperm Heartwood: The Importance of Extractives. Holzforschung, 49, 1: 29-34

Sinkovič P. 2006. Primernost uporabe kostanjevine za lesene talne obloge. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 68 str.

SIST EN 113. Zaščitna sredstva za les – Določanje meje učinkovitosti proti glivam odprtotrosnicam. 1995: 25 str.

SIST EN 335-1/2. Trajnost lesa in lesnih proizvodov – Definicije razredov uporabe – 1. in 2. del. 2006: 23 str.

SIST EN 350-1. Trajnost lesa in lesnih izdelkov – Naravna trajnost masivnega lesa – 1. del: Navodila za osnove preskušanja in klasifikacije naravne trajnosti lesa. 1995.

SIST EN 350-2. Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa – 2. del: Naravna trajnost in možnost impregnacije izbranih, v Evropi pomembnih vrst lesa. 1995.

Siversten M. S., Vestøl G. I. 2010. Liquid water absorption in uncoated Norway spruce (*Picea abies*) claddings as affected by origin and wood properties. Wood Material Science & Engineering, 5, 3-4: 181-193

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

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

Torelli N. 1990. Les & skorja: slovar strokovnih izrazov. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 70 str.

Torelli N. 2003. Ojedritev – vloga in proces. Les, 55, 11: 368-379

Tsoumis G. 1991. Science and technology of wood. Science and technology of wood: structure, properties, utilization. New York, Van Nostrand Reinhold: 494 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, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 58 str.

Wakeling R.N. 2006. Is field test data from 20 x 20 mm stakes reliable? Effects of decay hazard, decay type and preservative depletion hazard. Document IRG/WP 06-20327. Stockholm, International Research Group on Wood Protection: 20 str.

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

Zule J. 2001. problematika lesnih ekstraktivnih spojin v papirni industriji. Les, 53, 4: 113-118

Zule J. 2011. Kemijska karakterizacija lipofilnih in hidrofilnih ekstraktivov v lesu evropskega macesna (*Larix decidua* Mill.). Doktorsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 124 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, prof. dr. Mihi Humarju, za prevzem mentorstva, svetovanje, kritiko in pomoč ter za hiter pregled diplomske naloge.

Hvala tudi Nejcu Thalerju za vso pomoč pri izvedbi eksperimentalnega dela in vse nasvete pri pisanju naloge. Hvala za slike.

Hvala prof. dr. Franciju Aco Celarju za hiter pregled diplomske naloge.

Zahvaljujem se staršem, bratu in fantu za vso podporo in potrpežljivost ter spodbudne misli tekom študija in nastajanja diplomske naloge.

PRILOGA A

Preglednica z vsemi pomembnejšimi podatki in rezultati

Glive				
	Povprečje od Izguba mase		StdOdk od Izguba mase	
	A = 0 dni	D = 12 leto	A = 0 dni	D = 1 leto
1 Kostanj				
Gt2	0,66%	2,79%	0,19%	1,00%
Hf	0,92%	2,54%	0,42%	1,51%
Plo5	1,57%	1,36%	0,49%	0,31%
Pv2	0,43%	1,48%	0,54%	0,37%
Tv6	1,83%	1,99%	1,27%	1,59%
2 Bukev				
Gt2	30,62%	23,39%	6,84%	9,90%
Hf	43,39%	25,09%	8,84%	2,57%
Plo5	25,66%	19,94%	8,91%	3,62%
Pv2	11,20%	8,71%	2,30%	2,67%
Tv6	31,79%	25,77%	9,78%	6,02%
3 Smreka				
Gt2	27,35%	15,86%	5,86%	6,13%
Hf	19,55%	7,53%	5,47%	5,24%
Plo5	6,40%	5,37%	6,53%	3,02%
Pv2	14,31%	8,79%	7,03%	2,01%
Tv6	12,88%	5,44%	7,22%	3,33%
4 Silva-Smreka				
Gt2	1,20%	5,15%	1,13%	9,33%
Hf	0,86%	2,99%	0,68%	3,38%
Plo5	1,67%	1,53%	1,74%	1,43%
Pv2	-0,82%	4,00%	2,02%	5,83%
Tv6	0,04%	1,70%	1,72%	1,68%

Upogibna trdnost				
	Povprečje od MoR [N/mm ²]		StdOdk od MoR [N/mm ²]	
	A = 0 dni	D = 1 leto	A = 0 dni	D = 1 leto
1 Kostanj	94,51	106,46	16,57	17,88
2 Bukev	116,57	98,06	2,84	5,93
3 Smreka	82,67	88,76	14,26	15,07
4 Silva-Smreka	74,39	74,17	6,08	17,98

Tlačna trdnost				
	Povprečje od MoR [N/mm ²]		StdOdk od MoR [N/mm ²]	
	A = 0 dni	D = 1 leto	A = 0 dni	D = 1 leto
1 Kostanj	46,90	65,56	7,31	4,59
2 Bukev	49,33	50,53	1,63	3,98
3 Smreka	39,93	46,45	3,24	4,47
4 Silva-Smreka	42,04	45,07	1,33	8,42

Ekstraktivi						
	Povprečje od Delež ekstraktivov			StdOdk od Delež ekstraktivov		
	A = 0 dni			A = 0 dni		
	Cikloheksan	Metanol	Voda	Cikloheksan	Metanol	Voda
1 Kostanj	0,60%	10,91%	14,15%	0,15%	4,47%	5,28%
2 Bukev	0,08%	1,68%	3,54%	0,08%	0,16%	1,53%
3 Smreka	0,05%	1,38%	3,28%	0,15%	0,28%	0,42%
4 Silva-Smreka	0,33%	2,77%	5,01%	0,15%	0,14%	0,30%

Povprečje od Delež ekstraktivov			StdOdk od Delež ekstraktivov		
D = 12 leto			D = 12 leto		
Cikloheksan	Metanol	Voda	Cikloheksan	Metanol	Voda
0,07%	2,57%	4,54%	0,13%	0,32%	0,75%
0,18%	1,57%	2,90%	0,09%	0,13%	1,12%
-1,86%	1,20%	2,52%	3,37%	0,05%	0,77%
0,23%	1,46%	3,45%	0,12%	0,33%	0,85%

Navzem vode				
	A = 0 dni		D = 1 leto	
	Povprečje	StOdk	Povprečje	StOdk
1 Kostanj	0,331	0,035	0,268	0,034
2 Bukev	0,672	0,116	0,887	0,327
3 Smreka	0,892	0,185	1,822	0,368
4 Silva-Smreka	0,617	0,068	0,515	0,145

Sorpcija				
	A = 0 dni			
	Povprečje od Vlažnost lesa (65°C)	StdOdk od Vlažnost lesa (65°C)	Povprečje od Vlažnost lesa (87°C)	StdOdk od Vlažnost lesa (87°C)
1 Kostanj	9,0%	0,3%	14,7%	0,8%
2 Bukev	9,0%	0,1%	16,3%	0,4%
3 Smreka	9,3%	0,1%	15,8%	0,5%
4 Silva-Smreka	11,0%	0,3%	18,1%	0,6%

D = 1 leto			
Povprečje od Vlažnost lesa (65°C)	StdOdk od Vlažnost lesa (65°C)	Povprečje od Vlažnost lesa (87°C)	StdOdk od Vlažnost lesa (87°C)
8,0%	0,1%	14,5%	0,4%
8,4%	0,1%	15,5%	0,4%
8,9%	0,5%	15,6%	0,2%
8,6%	0,2%	15,3%	0,3%