

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Mojca ŽLAHTIČ

**VPLIV NARAVNEGA STARANJA NA IZBRANE LASTNOSTI
SMREKOVINE IN KOSTANJEVINE**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij – 2. stopnja

**THE EFFECT OF NATURAL AGING ON THE SELECTED
PROPERTIES OF WOOD OF NORWAY SPRUCE AND SWEET
CHESTNUT**

M. Sc. THESIS
Master Study Programmes

Ljubljana, 2013

Magistrsko delo je zaključek magistrskega študija lesarstva – 2. stopnja na Biotehniški fakulteti v Ljubljani. Opravljeno je bilo v laboratorijih Delovne skupine za patologijo in zaščito lesa ter laboratorijih Katedre za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je dne 10.1.2013 odobril naslov magistrskega dela in za mentorja imenoval prof. dr. Miho Humarja, za recenzenta pa prof. dr. Primoža Ovena.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: doc. dr. Manja KITEK KUZMAN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

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

Član: prof. dr. Primož OVEN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Datum zagovora: 5. julij 2013

Magistrsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana Žlahtič Mojca se strinjam z objavo svojega magistrskega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je projekt, ki sem ga oddala v elektronski obliki, identičen tiskani verziji.

Mojca Žlahtič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	UDK 630*81
KG	naravna odpornost/ekstraktivi/fungicidne lastnosti/mehanske lastnosti/kapilarni navzem vode/barvne spremembe/star les
AV	ŽLAHTIČ, Mojca
SA	HUMAR, Miha (mentor)/OVEN, Primož (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2013
IN	VPLIV NARAVNEGA STARANJA NA IZBRANE LASTNOSTI SMREKOVINE IN KOSTANJEVINE
TD	Magistrsko delo (Magistrski študij – 2. stopnja)
OP	XIII, 80 str., 10 pregl., 32 sl., 61 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Les vedno bolj pridobiva na pomenu. Ker bo lesa predvidoma že okoli leta 2020 pričelo zmanjkovati, ga bomo vedno pogosteje reciklirali ali tudi ponovno uporabljali. Želeli smo določiti vpliv naravnega staranja na izbrane lastnosti smrekovine in kostanjevine. Uporabili smo več 10 let star kostanjev drog (<i>Castanea sativa</i>) in 6 let star smrekov nosilec (<i>Picea abies</i>). Staremu lesu smo določili odpornost na glive, pri čemer smo uporabili izolate 5 različnih gliv razkrojevalk lesa: <i>Gloeophyllum trabeum</i> , <i>Antrodia vaillantii</i> , <i>Hypoxylon fragiforme</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> in <i>Trametes versicolor</i> . Mehanske lastnosti smo določali s tritočkovnim upogibnim testom (modul elastičnosti) in tlačnim obremenjevanjem vzorcev. Spremembe v navzemu vode smo določevali na tenziometru. Zanimal nas je tudi delež ekstraktivov v lesu, pri čemer smo za izpiranje uporabili 3 različna topila: vodo, 70 % metanol in cikloheksan. Numerično smo ovrednotili barve staranega lesa po CIE – L*, a*, b* sistemu. Rezultati testiranja kažejo na to, da se relevantne lastnosti kostanjevine niso bistveno spremenile. Tudi po več desetletjih rabe je les ohranil odpornost proti glivam razkrojevalkam lesa, za razliko od lesa smreke. Pri kostanju so prav tako opazne ohranjene mehanske lastnosti in nizek kapilarni navzem vode. Pri ekstrakciji se je kot najučinkovitejše topilo izkazala voda, tako pri kostanjevini in smrekovini. Po drugi strani se je 6 let stara smrekovina izkazala za manj odporno lesno vrsto, z višjo izgubo mase, večjim kapilarnim navzemom vode in manjšim deležem ekstraktivov. Obe lesni vrsti sta z leti spremenili naravno barvo lesa, ki s starostjo potemni.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du2
DC UDC 630*81
CX natural durability/extractives/fungicidal properties/mechanical properties/capillary water uptake/colour changes/old wood
AU ŽLAHTIČ, Mojca
AA HUMAR, Miha (supervisor)/OVEN, Primož (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2013
TI THE EFFECT OF NATURAL AGING ON THE SELECTED PROPERTIES OF WOOD OF NORWAY SPRUCE AND SWEET CHESTNUT
DT M. Sc. Thesis
NO XIII, 80 p., 10 tab., 32 fig., 61 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Wood is more and more important material. Since the availability of wood will presumably be scarce by year 2020, it will be more frequently reused and recycled. We tried to determine the effect of natural ageing on the selected properties of spruce and chestnut. The tested wood was a several decades old chestnut pole (*Castanea sativa*) and a 6 year old spruce beam (*Picea abies*). The resistance to the different wood decay fungi: *Gloeophyllum trabeum*, *Antrodia vaillantii*, *Hypoxylon fragiforme*, *Pleurotus ostreatus*, and *Trametes versicolor* was determined. Mechanical properties were measured by a 3-point bending test (modulus of elasticity) and compressive strength of samples. Changes in water uptake were defined with the use of tensiometre. Extractives in wood were determined by using 3 different solvents: water, 70% methanol, and cyclohexane. The colour of the aged wood was numerically evaluated by the CIE L*, a*, b* system. The test results show that the relevant properties of chestnut did not change significantly. In comparison to the spruce, even after several decades of use, wood kept the resistance against the wood decay fungi. Preserved mechanical properties and low capillary water uptake were also observed with chestnut. The most effective solvent for extraction is water, the same with chestnut and spruce. On the other site the 6 year old spruce has turned out to be a less susceptible wood species, with higher weight loss, higher water capillary uptake, and lower amount of extractives. Over the years, the both wood species changed natural colour which turned darker with age.

KAZALO VSEBINE

str.

Ključna dokumentacijska informacija (KDI).....	III
Key Words Documentation (KWD).....	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VIII
Kazalo slik	IX
Okrajšave in simboli.....	XI
Slovarček	XII

1	UVOD	1
1.1	OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2	CILJI RAZISKOVANJA	2
1.3	DELOVNE HIPOTEZE	2
2	PREGLED OBJAV	4
2.1	LES IN RABA LESA NA PROSTEM	4
2.1.1	Les	4
2.1.2	Raba lesa na prostem in razredi izpostavitve	4
2.2	DEJAVNIKI RAZKROJA LESA	7
2.2.1	Abiotiski dejavniki	7
2.2.2	Biotski dejavniki	8
2.3	LESNE GLIVE	9
2.3.1	Glive rjave trohnobe	11
2.3.1.1	Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i>)	11
2.3.1.2	Bela hišna goba (<i>Antrodia vaillantii</i>)	13
2.3.2	Glive bele trohnobe	14
2.3.2.1	Ogljena kroglica (<i>Hypoxylon fragiforme</i>)	14
2.3.2.2	Bukov ostrigar (<i>Pleurotus ostreatus</i>)	16
2.3.2.3	Pisana ploskocevka (<i>Trametes versicolor</i>)	18
2.4	NARAVNA ODPORNOST IN ŽIVLJENJSKA DOBA LESA	20

2.4.1	Naravna odpornost	20
2.4.1.1	Ekstraktivne snovi	24
2.4.2	Trajnost lesa in življenjska doba lesa	25
2.4.3	Primeri dejanske življenjske dobe lesa na prostem	26
2.5	DOSEDANJE RAZISKAVE O VPLIVU STARANJA NA LASTNOSTI LESA	27
2.6	SMREKA (<i>Picea abies</i> Karst.)	28
2.6.1	Opis lesa	29
2.6.2	Lastnosti lesa	29
2.6.3	Uporaba	29
2.6.4	Naravna odpornost	30
2.7	KOSTANJ (<i>Castanea sativa</i> Mill.)	30
2.7.1	Opis lesa	30
2.7.2	Lastnosti lesa	31
2.7.3	Uporaba	31
2.7.4	Naravna odpornost	31
3	MATERIALI IN METODE	32
3.1	MATERIALI	32
3.1.1	Vzorci	32
3.1.2	Lesne glive	33
3.1.3	Oprema in aparature	33
3.1.3.1	Oprema	33
3.1.3.2	Aparature	34
3.2	METODE	35
3.2.1	Izdelava vzorcev	35
3.2.1.1	Vzorci za izpostavitve delovanju gliv	36
3.2.1.2	Vzorci za določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti	36
3.2.1.3	Vzorci za izpiranje ekstraktivov	37
3.2.1.4	Vzorci za določanje navzema vode in tlačne trdnosti	37
3.2.2	Določevanje fungicidnih lastnosti lesa	37
3.2.2.1	Priprava hranilnega gojišča in steklovine	38
3.2.2.2	Inokulacija micelija	39
3.2.2.3	Izpostavitve vzorcev glivam	39

3.2.2.4	Gravimetrično določanje izgube mase	40
3.2.3	Določevanje mehanskih lastnosti lesa	42
3.2.3.1	Upogibna trdnost (MoU) in modul elastičnosti (MoE)	42
3.2.3.1.1	Določevanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti	42
3.2.3.2	Tlačna trdnost (Fm)	43
3.2.3.2.1	Določevanje tlačne trdnosti	43
3.2.4	Kapilarni navzem vode	45
3.2.5	Ekstrakcija po Soxhletu	47
3.2.5.1	Topilo: VODA	49
3.2.5.2	Topilo: 70 % METANOL (% - volumski)	49
3.2.5.3	Topilo: CIKLOHEKSAN	49
3.2.5.4	Gravimetrično določanje deleža ekstraktivov	50
3.2.6	Numerično vrednotenje barve po CIE – L*, a*, b* SISTEMU	50
3.2.6.1	Določanje barve staranega lesa	52
4	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	53
4.1	FUNGICIDNE LASTNOSTI LESA	53
4.1.1	Izguba mase vzorcev smrekovine po izpostavitvi glivam	53
4.1.2	Izguba mase vzorcev kostanjevine po izpostavitvi glivam	55
4.2	MEHANSKE LASTNOSTI LESA	58
4.2.1	Upogibna trdnost (MoU) in modul elastičnosti (MoE)	58
4.2.2	Tlačna trdnost (Fm)	61
4.3	KAPILARNI NAVZEM VODE	63
4.4	EKSTRAKCIJA PO SOXHLETU	65
4.4.1	Delež ekstraktivov v smrekovini	65
4.4.2	Delež ekstraktivov v kostanjevini	66
4.5	NUMERIČNO VREDNOTENJE BARVE PO CIE – L*, a*, b* SISTEMU	69
5	SKLEPI	71
6	POVZETEK.....	72
7	VIRI	74

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na mesto uporabe (SIST-EN 335-1/2, 2011)	6
Preglednica 2: Poškodbe, ki jih povzročajo lesne glive (dopolnjeno in spremenjeno po Pečenko, 1987).....	10
Preglednica 3: Razvrstitev lesnih vrst v 5 odpornostih razredov	22
Preglednica 4: Osnovni razredi ekstraktivnih snovi (dopolnjeno in spremenjeno po Ressel, 2007)	25
Preglednica 5: Glive uporabljene pri poskusu določevanja fungicidnih lastnosti lesa.....	33
Preglednica 6: Izguba mase in vsebnost vode v vzorcih po 12 tednih delovanja gliv razkrojevalk lesa	57
Preglednica 7: Primerjava povprečnih vrednosti in standardnih deviacij mehanskih lastnosti vzorcev smreke in kostanja.....	62
Preglednica 8: Primerjava navzema pri smreki in kostanju.	64
Preglednica 9: Primerjava izpranih ekstraktivov iz vzorcev smreke in kostanja z uporabo treh različnih topil (voda, metanol in cikloheksan).	68
Preglednica 10: Povprečne vrednosti spremenljivk L*, a*, b* in spremembe barve ΔE za kontrolne vzorce in star les smreke in kostanja	69

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Dejavniki razkroja lesa (Kervina-Hamović, 1990)	7
Slika 2: Plodišče navadne tramovke (<i>G. trabeum</i>)	12
Slika 3: Plodišče bele hišne gobe Slika 4: Rizomorfi bele hišne gobe	13
Slika 5: Mlada trosišča ogljene kroglice (foto: Miha Humar, 2005).....	15
Slika 6: Plodišča ogljene kroglice z značilno črno površino, po kateri je gliva dobila slovensko ime (foto:Miha Humar, 2008)	16
Slika 7: Plodišče bukovega ostrigarja (foto: Miha Humar).....	17
Slika 8: Mlada plodišča bukovega ostrigarja, vzgojena v steklenem kozarcu (foto: Miha Humar).....	17
Slika 9: Klobučki pisane ploskocevke, <i>Trametes vesicolor</i> , izraščajo na bukovem štoru v gozdovih	19
Slika 10: Drog, iz katerega so bili izdelani vzorci v okviru naloge. Del droga v stiku z zemljo je povsem razkrojen, medtem ko je preostali del droga praktično nepoškodovan.....	32
Slika 11: Fini razrez vzorcev na krožnem žagalnem stroju Proxxon	35
Slika 12: Fini razrez vzorcev kostanja in smreke za izpostavitv delovanju gliv in ekstrakcijo	36
Slika 13: Fini razrez vzorcev kostanja in smreke za določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti	36
Slika 14: Fini razrez vzorcev kostanja in smreke za določanje kratkotrajnega navzema vode in tlačne trdnosti. Na smrekovem vzorcu so dobro vidni znaki razkrojenosti.	37
Slika 15: Avtoklav	38
Slika 16: Inokulacija micelija z glivami, ki so shranjene v mikoteki Katedre za patologijo in zaščito lesa na Oddelku za lesarstvo, BF	39
Slika 17: Izpostavitv vzorcev glivam	40
Slika 18: Analitska tehniča Sartorius	40
Slika 19: Preizkus upogibne trdnosti vzorcev lesa	43
Slika 20: Testirni stroj Zwik Z100 za določanje tlačne trdnosti vzorcev	44
Slika 21: Priprava vzorcev za meritev na tenziometru Krüss 100.....	45

Slika 22: Tenziometer Krüss 100	46
Slika 23: Soxhlet aparat za ekstrakcijo Büchi, B-811	48
Slika 24: CIELAB sistem	51
Slika 25: Povprečna izguba mase vzorcev smrekovine po izpostavitvi glivam.	53
Slika 26: Povprečna izguba mase vzorcev jedrovine kostanja po izpostavitvi glivam.	55
Slika 27: MoU predstavlja upogibno trdnost (N/mm^2) kontrolnih, svežih (KU) in staranih (VU) vzorcev smreke in kostanja	58
Slika 28: MoE predstavlja modul elastičnosti (N/mm^2) kontrolnih, svežih (KU) in staranih (VU) vzorcev smreke in kostanja	60
Slika 29: Fm predstavlja tlačno trdnost (N/mm^2) kontrolnih, svežih (KT) in staranih (VT) vzorcev smreke in kostanja	61
Slika 30: Kapilarni navzem vode (g/mm^2) kontrolnih, svežih (KT) in staranih (VT) vzorcev smreke in kostanja	63
Slika 31: Delež ekstraktivov [%], ki smo jih izprali iz kontrolnih, svežih (KX) in staranih (VX) vzorcev smreke s tremi različnimi topili: vodo, 70 % metanolom in cikloheksanom	65
Slika 32: Delež ekstraktivov [%], ki smo jih izprali iz kontrolnih, svežih (KX) in staranih (VX) vzorcev kostanja s tremi različnimi topili: vodo, 70 % metanolom in cikloheksanom	66

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Fm	Tlačna trdnost (N/mm ²)
Gt2	Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i>)
HF	Ogljena kroglica (<i>Hypoxylon fragiforme</i>)
IAWA	Mednarodno združenje lesnih anatomov
MoE	Modul elastičnosti (N/mm ²)
MoU	Upogibna trdnost (N/mm ²)
Plo5	Bukov ostrigar (<i>Pleurotus ostreatus</i>)
Pv2	Bela hišna goba (<i>Antrodia vaillantii</i>)
Tv6	Pisana ploskocevkica (<i>Trametes versicolor</i>)

SLOVARČEK

Bela trohnoba	je trohnoba, ki jo povzročajo glive; le-te razgrajujejo predvsem lignin pa tudi celulozo in hemicelulozo, pri čemer ostaja celuloza v presežku (pribitku, v večjem deležu) (Lesarski priročnik, 2008). Če lesna gliva razgrajuje predvsem lignin, se okuženi les v končni fazi obarva belo in govorimo o beli trohnobi.
Beljava	je periferni del debla ali veje s še živimi (parenhimskimi) celicami, ki vsebujejo rezervne snovi (npr. škrob) (IAWA 163, cit. po Torelli, 1990).
Higroskopnost	je sposobnost lesa, ki zaradi svoje specifične kemične zgradbe in velike notranje površine, ki jo oblikujejo makro (lumni) in mikro kapilare v celični steni, lahko vsebuje več ali manj vode. Zaradi spreminjajočih se klimatskih razmer niha tudi lesna vlažnost. Vsebnost higroskopne oz. vezane vode je omejena s številom sorpcijskih mest, ki jih lahko vežejo vodne molekule (Gorišek, 2009).
Jedrovina	označuje notranje plasti lesa v rastočem drevesu, kjer so celice odmrle, rezervne snovi, ki so jih le-te vsebovale (npr. škrob), pa so se odstranile ali spremenile v jedrovinske snovi. Jedrovina je lahko neobarvana (smreka, jelka), večinoma pa obarvana (dob, rdeči bor, itd.); tedaj jo imenujemo črnjava (IAWA 44, cit. po Torelli, 1990).
Ojedritev	je starostni, genetsko programiran pojav, ki slej ko prej nastopi pri večini lesnih vrst. Pri nekaterih se pojavi že v prvih desetletjih življenja, pri drugih pa se beljava ne pretvori

v jedrovino tudi po 100 in več letih. V procesu ojedritve žive parenhimske celice začnejo odmirati, ob tem se običajne biokemijske poti presnove spremenijo in nastajati začnejo predhodniki jedrovinskih snovi ali ekstraktivov (Torelli, 2003).

Piravost	tip bele trohnobe, ki jo povzroča več gliv hkrati. Zanja so značilne črne conske linije, ki razmejujejo predele različno razkrojenega lesa.
Relativna zračna vlažnost	razmerje med dejansko absolutno vlažnostjo in maksimalno vlažnostjo oz. med delnim tlakom vodne pare in tlakom nasičenosti vodne pare v zraku (Geršak in sod., 2003).
Rjava trohnoba	trohnoba, ki jo povzročajo glive, ki razgrajujejo celulozo in hemiceluloze; v (presežku) pribitku pa ostane lignin, ki rjavo obarva strohneli les; zanjo so značilne razpoke vzdolžno in prečno na vlakna (prizmatično razpokan les) (Lesarski priročnik, 2008). V kolikor gliva razkraja le celulozo, se les zaradi prebitka lignina obarva rjavo ter kockasto razpada, v tem primeru govorimo o rjavi prizmatični trohnobi.
Tlačna trdnost	je odpornost proti stiskanju vlaken. Pri lesu je največja odpornost v smeri lesnih vlaken, najmanjša pa pravokotno na smer vlaken.
Upogibna trdnost	odpor materiala proti zunanji sili, ki ga skuša upogniti in zlomiti. Pri največji sili je dosežena upogibna trdnost oz. največja napetost, ki jo element še zdrži (Gorišek, 2009).

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Les. Proti koncu 20. stoletja ga odkrivamo na novo. V nekaj preteklih stoletjih je bil zlasti v srednji Evropi pregan kot gradbeni material. Po eni strani upravičeno, po drugi strani pa so cele vasi in regije živele od izkoriščanja gozdov. Globalno vzeto – v času in prostoru – je les vedno bolj razširjen in uporaben gradbeni material. V primerjavi z drugimi materiali je najbolj univerzalen in dostopen v večini področij, kontinentov in klimatskih pasov. Lahko ga je obdelovati, njegov transport ni zahteven. Les posrečeno združuje vrsto dobrih lastnosti, kot so tlačna, natezna in upogibna trdnost, toplotna izolativnost in preprostost obdelave, kar odtehta nekatere slabe strani (gorljivost, neodpornost proti vlagi in škodljivcem ter podobno) (Brezar, 2008).

Les pridobiva na pomenu kot gradbeni material. Sodobna gradnja vse bolj izkorišča naravne materiale. Povečuje se zanimanje za materiale, ki tekom pridobivanja, obdelave in predelave minimalno ali ne obremenjujejo okolja. Za tak material velja les, pri katerem pa se soočamo z vprašanji življenjske dobe in naravne trajnosti. To je še posebej pomembno za pravilno načrtovanje in vzdrževanje lesenih konstrukcij, saj je les uporabljen na prostem, izpostavljen biotskim in abiotskim dejavnikom razkroja. Poleg tega vse bolj pridobiva na pomenu kaskadna raba lesa, kjer še posebej pridejo do izraza prednosti lesa. Les je material z vsaj dvema ali tremi uporabnostnimi cikli: najprej ga uporabimo kot produkt (žagan les, gradbene komponente, pohištvo), drugič kot material v reciklirnem procesu (plošče ali papir) in slednjič za pridobivanje energije. Konkurenčni materiali (plastika, jeklo, beton) sicer utegnejo imeti nekaj tehničnih prednosti, vendar sta njihovo energijsko in okoljsko ravnoesje na podlagi kriterijev ocene življenjskega cikla (LCA) bistveno slabša od lesa (Humar in sod., 2012).

Življenjska doba lesa je odvisna od več dejavnikov, kot so: podnebni pas, lokalni pogoji uporabe, vrsta lesa in mesto uporabe. Znano je, da je klima v Sloveniji izrazito neugodna za rabo lesa na prostem. Žal ima večina domačih lesnih vrst naravno neodporen les, ki je še bolj podvržen razkroju in hitrejšemu staranju. Kaj se z lesom dogaja v procesu staranja, pa še ni v celoti raziskano, je pa ključnega pomena, kadar želimo les ponovno uporabiti ali reciklirati. Temu vprašanju se bomo posvetili v tem magistrskem delu.

1.2 CILJI RAZISKOVANJA

- Določiti vpliv naravnih procesov staranja na naravno odpornost smrekovine (*Picea abies* L.) in jedrovine kostanja (*Castanea sativa* Mill.).
- Določiti fungicidno odpornost lesa na glive razkrojevalke. Pri tem smo uporabili 5 različnih gliv (Ogljena kroglica – *Hypoxylon fragiforme*, Bukov ostrigar – *Pleurotus ostreatus*, Pisana ploskocevka – *Trametes versicolor*, Navadna tramovka – *Gloeophyllum trabeum* in Bela hišna goba – *Antrodia vaillantii*).
- Določiti vpliv staranja na upogibno in tlačno trdnost smrekovine in jedrovine kostanja.
- Določiti vpliv staranja na navzem kapilarne vode.
- Določiti delež ekstraktivov pri stari smrekovini in jedrovini kostanja.
- Numerično ovrednotiti spremembo barve po CIE – L*, a*, b* sistemu.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Znano je, da les s starostjo izgublja svoje mehanske in odpornostne lastnosti. Dovzetnost za napad lesnih škodljivcev se povečuje, kakor se povečuje kratkotrajni navzem vode v les. Prav tako spremeni svojo naravno barvo. Starejši kot je, temnejša je njegova barva. Iz dosedanjih raziskav je znano, da se sorpcijske lastnosti s starostjo ne spreminjajo. Predpostavili smo naslednje delovne hipoteze, ki smo jih po koncu raziskav potrdili ali ovrgli.

- Naravna odpornost jedrovine kostanja se s starostjo ne spreminja, medtem ko se naravna odpornost smrekovine poslabša. Jedrovina kostanja velja za odporen les, ki ga uvrščamo v drugi razred odpornosti, medtem ko les smreke spada v četrti razred neodpornih drevesnih vrst skupaj z lesom jelke in bresta.
- Mehanske lastnosti jedrovine kostanja se s staranjem ne spreminjajo, mehanske lastnosti stare smrekovine pa so slabše, kot je značilno za sveže posekan smrekov les.
- Delež topnih snovi se med naravnim staranjem pri smrekovini povečuje, pri jedrovini kostanja pa se zmanjšuje.

2 PREGLED OBJAV

2.1 LES IN RABA LESA NA PROSTEM

2.1.1 Les

Les je količinsko in tudi sicer že od nekdaj ena najpomembnejših surovin. Njegova poraba tudi danes nenehno narašča. V razvitih deželah predvsem na račun velike porabe papirja. Les nastaja ob blagodejnem učinku na okolje. Gozdovi predstavljajo najpomembnejši vir lesa kot surovine. Ker je njihov prirastni potencial omejen in ker se površine gozdov v nekaterih predelih stalno zmanjšujejo, bo prihodnja oskrba z lesom v veliki meri odvisna tudi od plantaž. Pričakovati je, da bo lesa na globalnem tržišču začelo zmanjkovati v 15 do 20 letih.

Botanično je les sekundarni ksilem, ki ga kambij v procesu sekundarne (debelitvene) rasti proizvaja navznoter, t.j. v smeri stržena (Čufar, 2006). Je olesenelo heterokapilarno porozno tkivo, ki se je evolucijsko razvilo v različne vrste, velikosti in oblike celic (Gorišek, 2008).

Ima izredne lastnosti, vendar, ker je organska snov, nanj delujejo številni uničujoči dejavniki (Kervina-Hamović, 1990). Če lesa ob uporabi na prostem ne zaščitimo, propade.

2.1.2 Raba lesa na prostem in razredi izpostavitve

Les, ki je v uporabi na prostem, je podvržen dejavnikom razkroja lesa, ki so opisani v nadaljevanju.

S pravilnimi konstrukcijskimi rešitvami in s skrbnim vzdrževanjem moramo zagotoviti, da bodo lesni izdelki ves čas suhi. Zračno suh les je popolnoma varen pred okužbo z lesnimi glivami in napadom insektov vlažnega lesa. Če pa so objekti in izdelki narejeni iz

jedrovine odpornejših drevesnih vrst, bodo varni tudi pred večino lesnih insektov, ki napadajo suh les (Pohleven in sod., 1992).

Preventivna konstrukcijska zaščita se začne že pri načrtovanju objekta. S pravilno zasnovano konstrukcijo lahko zagotovimo, da je les čim bolj zavarovan pred močenjem. Če pa pride do navlažitve, mora konstrukcija omogočiti, da se les čim prej posuši. V kolikor pa takšna zaščita ni mogoča, je potrebno izdelke, ki spadajo v tretji ali četrti razred izpostavitve, impregnirati z biocidnimi proizvodi.

Razne ograje, zunanji opaži, predvsem pa lesni izdelki v stiku z zemljo (stebri, drogovi, pragovi) so zelo izpostavljeni lesnim škodljivcem in jim s konstrukcijo ne moremo zagotoviti zahtevane življenjske dobe. V takšnih primerih je potrebno lesne izdelke pred vgraditvijo preventivno zaščititi z biocidnimi proizvodi, ki v les globoko prodrejo in se v njem dobro fiksirajo. V zadnjem času se zaradi varovanja okolja v zaščiti lesa uveljavlja strogo namembna uporaba biocidov (Pohleven in sod., 1992). Biocidno zaščito uporabimo le, kadar lesa nismo uspeli zaščititi na drug, okolju prijaznejši način.

Preglednica 1: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na mesto uporabe (SIST-EN 335-1/2, 2011)

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		
4	4 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 4T
5	V stalnem stiku z morsko 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 organska snov razpada zaradi različnih dejavnikov v anorgansko. Vsi ti dejavniki imajo v naravi na splošno pozitivno vlogo, ker bi se brez njihovih vplivov organska snov kopičila in onemogočila rast rastlin, ki za svoj razvoj potrebujejo anorgansko snov (Kervina-Hamović, 1990).

Taki procesi pa niso zaželeni na lesu, ki je uporabljen v konstrukcijske ali druge uporabne namene v gradbeništvu. V slednjih primerih želimo sicer koristen razkroj lesa upočasniti ali popolnoma preprečiti. To lahko dosežemo s konstrukcijsko, nebiocidno zaščito, modifikacijo ali biocidno zaščito. Razkroj lesa povzročajo abiotični (neživi) in biotični (živi) dejavniki (Slika 1).



Slika 1: Dejavniki razkroja lesa (Kervina-Hamović, 1990)

2.2.1 Abiotski dejavniki

Abiotski dejavniki so dejavniki nežive narave, kot so vremenski in kemijski vplivi. Med najhujše uničevalce lesa abiotskega izvora pa lahko uvrstimo ogenj, ki širom sveta uničuje ogromne količine lesa.

Atmosferski kisik, padavine, visoke in nizke temperature ter sončna svetloba pa povzročajo sorazmerno majhne in počasne poškodbe lesa. Vidne postanejo šele čez nekaj let v obliki razpok ter potemnitev, kosmatosti in reliefnosti površine (Pohleven, 2009).

UV-svetloba je energijsko najintenzivnejši, očesu nevidni ultra-vijolični del sončne svetlobe. Vidni in nevidni IR-del svetlobe se absorbira v lesu ali/in premazu tako, da se absorbirana svetlobna energija pretvori v toplotno in se zato poveča temperatura lesa ali/in premaza. UV-svetloba pa je sposobna sprožati v lesu fotokemične reakcije. Lignin se začne razgrajevati v rjavo obarvane produkte (kinone), topne v vodi, zato se površina lesa najprej rumeno, nato svetlo-rjavo, končno pa temno-rjavo obarva, če je površina lesa konstrukcijsko zaščitena pred padavinami. Če pa dež površino lesa spira, se pri tem sperejo tudi ostanki lignina, zato postaja površina lesa siva in delež lignina na površini se zmanjša. Začenja se erozija površine, ki sčasoma postaja vse bolj reliefna. Degradirana površina lesa upočasnjuje odtekanje vode, to pa ustvarja ugodne razmere za razvoj gliv (Pečenko, 1987).

2.2.2 Biotski dejavniki

Nasprotno od abiotskih dejavnikov razkroja lesa poznamo še biotske. To so dejavniki žive narave, kjer so najpomembnejši lesni škodljivci. Teh je več vrst, glive, insekti, bakterije, morski škodljivci in tudi človek.

Les propade zaradi gliv in insektov zato, ker ga uporabljajo za svojo prehrano. Glive les uničujejo kemijsko, insekti pa mehansko. Spremembe, ki jih povzročijo eni in drugi, se kažejo v izgubah tehničnih in drugih lastnosti lesa. Te spremembe so v začetku neopazne, lokalizirane, sčasoma pa so vse bolj vidne. Na koncu ostane od lesa brezoblična prašna masa.

Značilnost delovanja lesnih škodljivcev je specializacija na posamezne sestavine posameznih drevesnih vrst, na posamezne plasti lesa in na posamezna stanja (vlažnosti) lesa, kot tudi na posamezne stopnje samega razkroja, kar pomeni, da, ko je les razkrojen do določene stopnje, preneha delovanje enih škodljivcev, so pa ustvarjeni pogoji za delovanje

drugih, tako da škodljivci lesa delujejo kontinuirano. Kemijske spremembe v lesu, ki jih povzročajo eni, so pogosto pogoj za nastanitev in delovanje drugih. Zaradi tega gre razkroj lesa do konca (Kervina-Hamović, 1990).

Lesne glive ob ugodnih pogojih (vlažen les in pravšnja temperatura) okužijo les s trosi. Iz trosov vznikne podgobje, ki prodre v notranjost in s pomočjo izločenih encimov razkraja sestavine lesa. Nekatere glive, kot na primer plesni in glive modrivke, povzročajo le estetske spremembe lesa. Plesni obarvajo les le površinsko, medtem ko modrivke prodrejo globlje v les in temno obarvajo celotno beljavo. Mehanske lastnosti lesa se pri tem bistveno ne spremenijo.

Glive, povzročiteljice trohnenja, pa lahko les popolnoma uničijo. Podgobje glive izloča v lesno maso encime, ki razkrajajo les, glive pa vsrkajo razgradnje produkte v celice. Ker glive ne izkoristijo vseh razgradnjih produktov, jih del ostane v lesu, kar bi se moralo odraziti v povečanem deležu ekstraktivov. Glive povzročiteljice bele in rjave trohnoobe poleg barvnih sprememb močno zmanjšajo tudi mehanske lastnosti lesa.

Lesni insekti les močno in trajno poškodujejo z vrtanjem rogov. Zelo nevarni so insekti, ki napadajo suh les. Počasi, vendar v daljšem časovnem obdobju močno, poškodujejo kipe, razne uporabne predmete, nosilne konstrukcije, ostrešja ter pohištvo. Nekatere vrste v svojih rogovih gojijo celo simbiotske glive. Glive in insekti skupaj povzročijo še hitrejši razkroj in popoln razpad lesne mase, zato s preprečevanjem okužbe lesa z glivami lahko posredno zmanjšamo nevarnost napada insektov (Pohleven, 2009).

2.3 LESNE GLIVE

Les je med najpomembnejšimi obnovljivimi viri. Polimerna sestava celične stene (celuloza, hemiceluloze, lignin) ter izredno neugodno razmerje med dušikom in ogljikom omogočata lesu dolgotrajno obstojnost in ga zaznamujeta kot stabilen in težko dostopen vir hranil. Lesne glive so primarne razkrojevalke lesa in so ključne za mineralizacijo strukturnih spojin lesa. Encimatski sistemi nekaterih gliv so zmožni razgraditi olesenele

celične stene in omogočijo razkroj tudi drugim organizmom, kot so bakterije in žuželke. Glive imajo tako pomembno vlogo pri kroženju energije in hranil ter so nepogrešljive za nemoteno delovanje talnih ekosistemov. Posredno ali neposredno so vpletene tudi v različne prehranske verige. Micelij in trosnjaki gliv predstavljajo dragocen vir proteinov, mineralov in vitaminov za številne organizme, tudi za človeka (Piškur in sod., 2008).

Preglednica 2: Poškodbe, ki jih povzročajo lesne glive (dopolnjeno in spremenjeno po Pečenko, 1987)

Skupine gliv, povzročiteljc poškodb	Razgrajujejo	Vrsta poškodbe
Glive, ki les obarvajo (nepopolne glive, Fungi imperfecti zaprtotrosnice, Ascomycota)	Celično vsebino živih parenhimskih celic	Obarvanje lesa
Glive razkrojevalke (odprtotrosnice, Basidiomycota, redko tudi zaprtotrosnice, Ascomycota)	Lignin in celulozo	Bela trohnoba
Glive razkrojevalke (odprtotrosnice, Basidiomycota)	Predvsem celulozo	Rjava trohnoba
Glive »mehke« trohnobe (nepopolne glive, Fungi imperfecti, tudi zaprtotrosnice, Ascomycota)	Celulozo (predvsem v sekundarni plasti stene lesne celice)	»Mehka« trohnoba (soft rot)

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

Tako so pri razkroju lesa z glivami zelo pomembni nekateri fizikalni in kemijski dejavniki, kot so kemijska sestava lesa (celuloza, kot glavni vir hrane), vlaga, temperatura, zrak, svetloba in vrednost pH. Če kateri izmed naštetih dejavnikov ni ustrezen, prične gliva

hirati in kmalu zatem lahko tudi odmre. To dejstvo je zelo pomembno tudi pri odkrivanju metod in pripravkov za zatiranje lesnih gliv (Pečenko, 1987).

2.3.1 Glive rjave trohnobe

Glive rjave trohnobe so najpogostejši biotski uničevalci lesa. Razgrajujejo hemicelulozo in celulozo olesenele celične stene, ligninska komponenta ostane nerazgrajena, vendar delno modificirana. Okuženi les potemni, se skrči ter razpade v kockaste strukture, ki se zlahka zdrobijo v rjavkast prah (Green in Highley, 1997; Jellison in sod., 1997).

2.3.1.1 Navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*)

Izvira iz rodu tramovk (*Gloeophyllum* sp.). Najdemo jih praktično po vsem svetu od Evrope, Azije, Avstralije, S. in J. Amerike, Afrike, z izjemo tropskih in puščavskih predelov. Tramovke so ene izmed najpomembnejših razkrojevalk lesa, vrtnega pohištva, ograj, telekomunikacijskih drogov, ostrešij, mostov, lesenih plovil, na skladiščih... Najpogostejša je na lesenih oknih. Še posebej pogosto jih najdemo na tehničnem lesu, ki se občasno navlažuje. Nevarna je zlasti, kadar, zaradi napačne konstrukcije ali slabega vzdrževanja, zamaka ali zastaja voda. Izjemoma raste tudi na fiziološko oslabeledih drevesih. Znotraj stavb teh gliv navadno ne najdemo.

Tramovke povzročajo 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. V primeru, da gliva okuži les v temnem, vlažnem prostoru, se na površini lesa pojavi rumenkastorjav, gost, puhast micelij, ki ga zelo težko ločimo od lesa.

Trosnjaki so enoletni, različnih oblik, školjkasti, v obliki traku, konzol, pogosto se pojavijo tudi v izrazitih vrstah. Ponavadi jih je več skupaj. Klobuki so žilavi in prožni. Večinoma

zrastejo iz razpok. Na spodnji strani klobuka je lamelasto trosišče. Lamelle so razvrščene v vzdolžni smeri. Na zgornji strani klobuka so dobro razvidne rjave koncentrične prirastne plasti. Površina je rahlo razbrazdana. Posamezne vrste tramovk med seboj ločimo po barvi klobuka in gostoti lamel. Navadna tramovka ima plodišča oker do rjave barve z najgostejšimi lamelami od 20 do 40 lamel na cm (Slika 2).



Slika 2: Plodišče navadne tramovke (*G. trabeum*)

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 ustreza vlaga, ujeta v les, iz katerega ne more hitro izhlapeti. Takšni primeri so okna, premazana z debeloslojnimi površinskimi premazi. Če želimo tramovko uničiti s segrevanjem, moramo les dve uri izpostaviti temperaturi, višji od 97 °C.

Zaradi odpornosti na višje temperature in sušo tramovka zlahka preživi v lesenih oknih ali tramovih, ki se čez dan na soncu močno segrejejo. Ob neugodnih pogojih preide v latentno stanje. Tramovka lahko preživi kar 10 let v lesu z 12 % vlažnostjo. Poleg tega, da lahko preživi v relativno suhem lesu, lahko razkraja tudi močno vlažen les (Humar, 2008a).

2.3.1.2 Bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*)

Bela hišna goba je zelo pogosta v kletih, rudnikih in drugih zelo vlažnih okoljih, po čemer je tudi dobila angleško ime »mine fungus«. Okužuje tudi les na skladiščih. Najdemo jo tudi v gozdu na podzemnih delih hlodovine (Slika 3). Glivo najdemo tako v zmernem kot tudi v 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.



Slika 3: Plodišče bele hišne gobe



Slika 4: Rizomorfi bele hišne gobe

Ta vrsta je tipičen predstavnik rjave trohnobe. Razkrojen les prizmatično razpoka, vendar so razpoke plitkejšje 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. V praksi belo hišno gobo najlažje spoznamo po značilnih belih, gladkih rizomorfi (Slika 4), ki ostanejo prožni tudi, ko gliva odmre. Micelij (rizomorfi) na lesu pogosto razrašča v obliki ledene rože na oknih, ki ga z lahkoto odstranimo s površine. Rizomorfi navadno ne prodrejo v zidake ali beton. Ta gliva med razkrojem močno zakisa les z izločanjem oksalne kisline.

Beli hišni gobi ustrezajo višje temperature kot sivi hišni gobi ali kletni gobi. Glivi 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 belo hišno goba 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, 2008b).

2.3.2 Glive bele trohnobe

Glive bele trohnobe so edini organizmi, ki so sposobni razgraditi vse strukturne spojine lesa (celulozo, hemicelulozo, lignin). Les zaradi razkrojenega lignina postane svetlejši, zato to vrsto razkroja imenujemo bela trohnoba (Eaton in Hale, 1993).

2.3.2.1 Ogljena kroglica (*Hypoxylon fragiforme*)

Ogljena kroglica (*Hypoxylon fragiforme* (Pers.: Fr.) J. Kickx.) je zelo pogosta razkrojevalka lesa listavcev v Evropi in Severni Ameriki. Spada med tipične saprofitske glive in okuži odmrle veje kmalu po tem, ko se odlomijo, oziroma ko odmrejo. Plodišča 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 zaprtotrosnice (Ascomycota), zelo dobro razkraja les. Uvrščamo jo med glive bele trohnobe in je tudi ena izmed povzročiteljic piravosti. Nekateri avtorji poročajo, da so latentni micelij ogljene kroglice zasledili tudi na živih drevesih. Kakorkoli,

gliva je zelo agresiven primarni kolonizator lesa, ki se zadrži na lesu tudi več let. V laboratorijskih pogojih v 16 tednih razkroji povprečno 40 % mase bukovine.

Ta vrsta peritecijskih gliv ima kopaste, sestavljene trosnjake, ki so brez beta (Slika 5). Plodišča (stromata) ogljene kroglice zrastejo med junijem in novembrom. So hemisferične, pogosto celo povsem sferične oblike. Pojavljajo se posamično ali pa v večjih ali manjših skupinah. Često je celotna površina veje povsem pokrita s trosnjaki. Mladi so sive barve, kasneje za kratek čas postanejo roza-rdeče, zrela plodišča pa so temno rjave barve. 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 (Slika 6). Črna plodišča opazimo v vseh letnih časih. Premer plodišč znaša od 2 mm do 9 mm. Površina kroglic je hrapava in po barvi mladih plodišč ter hrapavosti je gliva dobila tudi latinsko ime (fragiforme - kot jagoda). Pod ogljeno površino se skriva svetlejša sredica, iz katere so z ekstrakcijo s KOH včasih pridobivali oranžno barvilo. Če plodišče kroglice prerežemo, že s prostim očesom opazimo značilne peritecije ($r =$ od 250 μm do 400 μm). Z mikroskopom si lahko v peritecijih ogledamo dobro vidne aske z osmimi sporami. Sveža stroma je žilava, ko se posuši, pa postane krhka.



Slika 5: Mlada trosišča ogljene kroglice (foto: Miha Humar, 2005)



Slika 6: Plodišča ogljene kroglice z značilno črno površino, po kateri je gliva dobila slovensko ime
(foto: Miha Humar, 2008)

Zanimivo je, da je tudi ta gliva, podobno kot številne druge, uporabna v zdravilne namene. Iz plodišč so že izolirali učinkovine (fragiformine), ki zavirajo napredovanje AIDSa pri HIV-pozitivnih bolnikih. Poleg tega mlada plodišča 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).

2.3.2.2 Bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus*)

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. Navadno na konstrukcijskem lesu ne povzroča škode, v novem času pa poročajo o škodi, ki jo ta gliva povzroča na vezanih in ivernih ploščah. Zato je ostrigar standardna gliva za testiranje odpornosti ivernih in OSB plošč proti trohnenju.

P. ostreatus povzroča tipično belo trohno. Na okuženem lesu najdemo bel, usnjat micelij. Plodišča, vidna na sliki 7, so sestavljena iz klobuka z betom. Klobuk po obliki spominja na školjko in doseže premer od 5 cm do 15 cm. So od sivorjave do rumenkastorjave barve. Navadno izraščajo v šopih. Beti so nameščeni stransko, poševno in

so različnih dolžin. Lamelle trosišča na spodnji strani so belkasto rjave in so prirasle k betu. Včasih vonj trosišč spominja na rahel vonj po janežu. Spore so bele, cilindrične oblike, velike od $8\ \mu\text{m}$ do $12\ \mu\text{m}$ $\times$ od $3\ \mu\text{m}$ do $4,5\ \mu\text{m}$. Hife v notranjosti lesa so brezbarvne, tanko-stene, premera $1\text{-}3\ \mu\text{m}$. Bukovemu ostrigarju ustreza temperatura okoli $27\ ^\circ\text{C}$ ter vlažnost lesa med 60 in $80\ \%$. Pri teh pogojih lahko gliva priraste tudi $7,5\ \text{mm}$ dnevno. Gliva ne prenese sušnih obdobj. S temperaturo pa je povezana tudi tvorba plodišč. Rast gob izzove temperaturni šok, ko temperatura pade vsaj pod $15\ ^\circ\text{C}$. Zaradi te lastnosti nekateri to glivo poimenujejo tudi zimski ostrigar.



Slika 7: Plodišče bukovega ostrigarja (foto: Miha Humar)



Slika 8: Mlada plodišča bukovega ostrigarja, vzgojena v steklenem kozarcu (foto: Miha Humar)

Plodišča bukovega ostrigarja (Slika 8) so zelo okusna, zato ga zelo pogosto gojijo v prehrambene namene. Gliva bukov ostrigar pa ima še mnogo širšo uporabnost. Micelij bukovega ostrigarja lahko uporabimo tudi za razstrupljanje zemlje, okužene z odpadnimi olji, pesticidi ali biocidi (mikoremediacija). Struktura teh onesnažil je sorodna strukturi lignina, zato jih te glive prepoznajo kot vir hrane in jih v določenih pogojih lahko mineralizirajo. Poleg tega je micelij glive *P. ostreatus* lahko odličen biofilter ali celo biokontrolni agent. V gozdu bi z micelijem bukovega ostrigarja lahko okužili sveže šore in na ta način preprečili ali vsaj omejili nezaželeno okužbo s parazitskimi glivami (štorovka, jelov koreničnik). V zadnjem času še posebej pridobiva pomen uporabe te glive v medicinske namene (Humar, 2008c).

2.3.2.3 Pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*)

Pisana ploskocevka, *Trametes versicolor* (L. ex Fr.) Pilat ali *Coriolus versicolor* (L. ex Fr.) Quel, 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 oslabljen 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. Izraščajo v skupinah eden vrh drugega in so različnih barv od svetlo do temno rjave, okrasto rdeče do sive pa vse do črnomodre barve. Ob barvni variabilnosti trosnjakov pa se barve v koncentričnih pasovih spreminjajo tudi na istem klobučku (Slika 9). Robovi so vedno svetlejši, pri mladih gobah beli. To jim daje značilno pisanost, od tod tudi ime pisana ploskocevka.



Slika 9: Klobučki pisane ploškocevke, *Trametes vesricolor*, izraščajo na bukovem štoru v gozdovih Dravinjskih goric na Štajerskem (foto: Franc Pohleven)

Trosovnica na spodnji strani klobučka je bela, sestavljena iz kratkih cevč (od tod rodovno ime), iz katerih se dnevno sprosti na milijone belih trosov.

Uporabljajo jo pri uničevanju posebnih odpadkov, kot je z Lindanom in pentaklorofenolom impregniran (zaščiten) les, ter razstrupljanju polj, kjer so bila v preteklosti uporabljena poliklorirana organska fitofarmacevtska sredstva, kot je na primer Atrazin. Postopek razstrupljanja odpadkov in zemlje z glivami imenujemo mikoremediacija (Pohleven, 2008).

2.4 NARAVNA ODPORNOST IN ŽIVLJENJSKA DOBA LESA

Naravna odpornost lesa poleg mesta vgraditve in načina uporabe vpliva na življenjsko dobo lesa, ki je za uporabnika lesa pomembnejša od same naravne odpornosti (Lesar in sod., 2008).

2.4.1 Naravna odpornost

Les s svojo kemično sestavo in anatomsko zgradbo preprečuje napad škodljivcev. Govorimo o naravni odpornosti, ki je odvisna od kemične in anatomske zgradbe lesa. Naravna odpornost je lastnost, ki jo ima les v naravnem, zdravem stanju in pomeni dovzetnost za škodljivce (Pohleven, 2008b).

Naravna odpornost lesa je odvisna zlasti od kemičnih sestavin lesa, ki jih imenujemo ekstraktivne ali akcesorne sestavine. Ekstraktivi, kot so škrob, sladkorji in beljakovine, pospešujejo napade škodljivcev. Smole, tanini, terpenoidi, alkaloidi, fenoli in fenolni glikozidi zavirajo ali preprečujejo te napade in vplivajo pozitivno na naravno odpornost posameznih vrst lesa.

Na odpornost lesa lahko vplivamo z izbiro drevesne vrste in lokacijo rasti drevesa ter časom sečnje. Menijo, da je najbolj odporen les, ki je posekan pozimi (Pohleven, 2008b).

Razlike v odpornosti so tudi v samem deblu istega drevesa: beljava je vedno manj odporna kot jedrovina.

Mednarodno združenje lesnih anatomov (IAWA 1964 cit. po Torelli, 2003) je definiralo beljavo kot "(navadno) periferni del debla ali veje z živim parenhimom, ki vsebuje rezervne snovi (npr. škrob)." 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 (npr. škrob) v njem pa so se odstranile ali transformirale v jedrovinske snovi."

Ojedritev je starostni, genetsko programiran pojav, ki slej ko prej nastopi pri večini lesnih vrst. Pri nekaterih se pojavi že v prvih desetletjih življenja, pri drugih pa se beljava ne pretvori v jedrovino tudi po 100 in več letih. 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. Jedrovinske snovi so nizkomolekularne in penetrirajo v celično steno. Pri vrstah, ki tvorijo diskoloriran les, pa nastajajo visokopolimerne enote in ne morejo penetrirati v celično steno. Zato le-te ne vplivajo na povečano naravno odpornost lesa (Torelli, 2003; Čufar, 2006).

Glavni razlog za naravno odpornost posamezne lesne vrste so biološko aktivni ekstraktivi v jedrovini (Panshin in De Zeeuw, 1980; Viitanen in sod., 1997; Dinwoodie, 2000; Windesen in sod., 2002; Haupt in sod., 2003; Aloui in sod., 2004; Guilley in sod., 2004; Bhat in sod., 2005). 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. Poleg tega rezervna hrana v parenhimskih celicah povečuje dovzetnost na razkroj (Panshin in De Zeeuw, 1980). Zaradi tega je beljava vseh lesnih vrst po standardu SIST EN 350-2 (1994) razvrščena v najnižji odpornostni razred 5 (zelo občutljivo na razkroj) (Preglednica 3).

Evropski standard SIST EN 350-2 uvršča med odporne samo tri evropske komercialne lesne vrste: les robinije, les pravega kostanja in hrastovino. Glede na naravno odpornost razvrstimo lesne vrste v 5 odpornostnih razredov (SIST EN 350-2, 1995).

Preglednica 3: Razvrstitev lesnih vrst v 5 odpornostih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v 5. razred odpornosti (SIST EN 350-2, 1995). Trajnost lesa velja zales v stiku z zemljo. Izguba mase je potekala v laboratorijskih pogojih: 16 tednov, 22 °C, kot to narekuje standard.

Razred odpornosti	Trajnost lesa (leta)	Izguba mase (%)	Drevesna vrsta
Zelo odporne (1)	20+	<1	robinija (1-2), iroko, tik
Odporne (2)	15-20	1-5	kostanj, dob, tisa
Zmerno odporne (3)	10-15	5-10	oreh, macesen, bor (3-4), duglazija
Neodporne (4)	5-10	10-30	smreka, jelka, brest
Zelo občutljive (5)	<5	>30	javor, breza, gaber, lipa, topol, bukev

Odpornost jedrovine v primerjavi z beljavo iste drevesne vrste je boljša predvsem zaradi vsebnosti ekstraktivov. Ekstraktivne snovi se nahajajo v stenah ali lumnih celicah in predstavljajo zelo širok spekter kemičnih spojin, ki imajo v drevesu fungistatičen in bakteriostatičen učinek.

Hidrofobnost lesa ima tudi zelo pomemben učinek na naravno odpornost (Gerardin in sod., 2004). Hidrofobnost povečujejo snovi, odložene v lumnih celic (tile, gumozni depoziti) in smole. Poleg že omenjenih dejavnikov na vlažnost vpliva še nižja stopnja difuzivnosti (Panshin in De Zeeuw, 1980; Dinwoodie, 2000).

Na naravno odpornost lesa proti glivam odločilno vpliva tudi zgradba celične stene. Gostota lesa vpliva tudi na naravno odpornost lesa, vendar pa gost les sam po sebi ne pomeni nujno dobre naravne odpornosti. Tako je bukovina veliko manj odporna od jedrovine bora ali rdeče cedre (Panshin in de Zeeuw, 1980; SIST EN 350-2, 1994), kljub temu da je bukovina gostejša. Pri hrastu na gostoto vpliva širina branik – širše so, višja je gostota (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 samo s širino branik,

saj je količina ekstraktivov ravno tako pomemben dejavnik, ki vpliva na naravno odpornost (Aloui in sod., 2004).

Naravna odpornost jedrovine je najvišja na zunanjem delu tik ob beljavi in se proti notranjosti zmanjšuje. Najnižja je tik ob strženu (Viitanen in sod., 1997; Dinwoodie, 2000; Bhat in Florence, 2003; Gerlinger in sod., 2004; Guilley in sod., 2004; Flaete in Haartveit 2004; Bhat in sod., 2005; Kokotuse in sod., 2006), v smeri nasprotnega radia pa praviloma ni bistvene razlike (Guilley in sod., 2004 in Bhat in sod., 2005). Opisan vpliv oddaljenosti od stržena na odpornost velja za les iglavcev in listavcev, ki rastejo v zmernem klimatskem pasu.

Do zmanjšanja odpornosti notranjih plasti jedrovine po vsej verjetnosti pride zaradi encimskih ali mikrobioloških sprememb v ekstraktivih, zaradi staranja drevesa (Dinwoodie, 2000) in zaradi izpiranja v vodi topnih biološko aktivnih ekstraktivov (Panshin in de Zeeuw, 1980; Aloui in sod., 2004).

Naslednji pomemben vzrok je tudi manjša vsebnost ekstraktivnih snovi v juvenilnem lesu (Gierlinger in Wimmer, 2004). Prav tako je dokazano, da je zunanja jedrovina starejših dreves odpornejša kot pri mlajših drevesih primerljive velikosti (Viitanen in sod., 1997; Bhat in Florence, 2003). Povečanje odpornosti zunanjega dela jedrovine v starejših drevesih bi utegnila biti starostna komponenta. V starejšem drevju naj bi bili ekstraktivi bolj toksični (Panshin in de Zeeuw, 1980), možno pa je tudi, da drevesa s starostjo proizvedejo večje količine ekstraktivov (Haupt in sod., 2003). Naravna odpornost variira tudi po višini drevesa, velja, da narašča z naraščanjem razdalje od korenin (Reis, 1973).

Naravna odpornost lesa posameznih dreves iste vrste lahko variira v zelo širokem območju in je večja od variabilnosti znotraj drevesa (Panshin in De Zeeuw, 1980; Viitanen in sod., 1997; Dinwoodie, 2000; Bhat in Florence, 2003; Gerlinger in sod., 2004; Guilley in sod., 2004; Flaete in Haartveit, 2004; Bhat in sod., 2005; Kokotuse in sod., 2006). Takšna variabilnost je najverjetneje posledica različnega delovanja genov (Viitanen in sod., 1997; Viitanen in sod., 1998), predvsem vpliva genetske zgradbe na tvorbo biološko aktivnih ekstraktivov (Bhat in Florence, 2003). Poleg tega se moramo zavedati, da vitalnost drevesa

in lastnosti rastišča ravno tako vplivajo na naravno odpornost jedrovine (Panshin in de Zeeuw, 1980). Naravna odpornost jedrovine hrasta je variirala med zelo odporno (prvi razred) in neodporno (četrti razred).

Po podatkih iz literature čas sečnje nima neposrednega vpliva na lastnosti lesa, vključno z njegovo naravno odpornostjo (Panshin in de Zeeuw, 1980; Torelli, 2005; Lesar in sod., 2008).

2.4.1.1 Ekstraktivne snovi

Ekstraktivne snovi se nahajajo v stenah ali lumnih in predstavljajo zelo širok spekter kemičnih spojin. Najvažnejši so polifenoli, ki vključujejo tanine, flavonoide (npr. antocianini, katehini, itd.), lignane, stilbene itd. Pogosto se pojavljajo še maščobe, maščobne kisline, voski in hlapljivi ogljikovodiki (Preglednica 4). Njihov delež navadno predstavlja le nekaj odstotkov, vendar je njihov vpliv na lesne lastnosti zelo velik.

Prispevajo k značilnemu vonju lesa, povečujejo njegovo odpornost proti glivam in insektom ter lahko vplivajo na gostoto, trdoto in trdnost lesa. Ekstraktivne snovi so lahko dražeče ali škodljive za zdravje ljudi, ki se ukvarjajo z obdelavo in predelavo lesa (Čufar, 2006).

Vrste in koncentracije ekstraktivov so odvisne od drevesne vrste, tipa tkiva, geografske lege rastišča, klimatskih pogojev, letnega časa odvzema, starosti in zdravstvenega stanja drevesa...

Preglednica 4: Osnovni razredi ekstraktivnih snovi (dopolnjeno in spremenjeno po Ressel, 2007)

Komponente	Značilnosti	Nahajališče
Eterična olja	Terpeni; monoterpeni in seskviterpeni Terpentin	Pretežno iglavci
Smole	Kislinski diterpeni Oleinska smola	Pretežno iglavci
Maščobe in voski	Suberin	Majhen delež
Tanini	Hidrolizirajoči tanini, predvsem galotanini (estri galne kisline z glukozo) Kondenzirani tanini, osnovani na flavonoidih	Listavci in iglavci
Lignani	Optično aktivni dimeri fenilpropanoidnih enot	Listavci in iglavci
Ogljikovi hidrati	Tipične hranljive rezerve	Listavci in iglavci

2.4.2 Trajnost lesa in življenjska doba lesa

Življenjska doba lesa je obdobje, v katerem les ohrani trdnost in stabilnost, ki sta zahtevani za določen proizvod. Ko so te lastnosti manjše oziroma slabše od zahtevanih, je treba proizvod zamenjati, tako da se zagotovi varnost uporabnikov skozi celotno dobo uporabe (Brischke in sod., 2006). V slovenščini se poleg življenjske dobe uporablja še drug podoben izraz: trajnost lesa, ki je definirana kot obdobje, v katerem les obdrži vse svoje naravne lastnosti in je odvisna od (naravne) odpornosti lesa ter mesta in načina vgradnje oziroma konstrukcije ter mesta uporabe (Pohleven, 2008). Naravne lastnosti lesa so trdnost, odpornost, barva itd., ki se lahko s časom uporabe spreminjajo, na primer barva, a ne vplivajo na zmanjšanje mehanskih lastnosti in odpornosti, ki sta ključni za zagotavljanje varnosti skozi celotno obdobje uporabe lesa. Zato se nam zdi življenjska doba bolj primeren izraz in ga bomo uporabljali v tej nalogi. Trajnost lesa oziroma življenjska doba

lesa sta za uporabnika lesa pomembnejši od same naravne odpornosti, saj nam poveda, koliko časa bo les obdržal svoje relevantne lastnosti.

Vsi vemo, da lahko ostrešje ali pohišstvo, izdelano iz neodporne smrekovine, zdrži dlje časa kot hrastovi koli v zemlji. V praksi pravimo, da so koli bolj ogroženi kot ostrešje ali pohišstvo, zato moramo za izdelavo teh izdelkov uporabiti različne materiale in postopke zaščite, da lahko dosežemo primerljivo trajnost. Da bi se lažje odločili za pravo vrsto lesa ali primeren postopek zaščite, so evropski strokovnjaki lesene izdelke razdelili v pet različnih razredov izpostavitve glede na njihovo ogroženost oziroma mesto vgradnje (Lesar in sod., 2008).

2.4.3 Primeri dejanske življenjske dobe lesa na prostem

Ena izmed najpomembnejših lastnosti lesa, ki vpliva na trajnost lesa, je njegova naravna odpornost. Prav naravna odpornost pa je tista, ki odloča o življenjski dobi konstrukcijskega lesa. Konstrukcija, mesto vgradnje in ustrezni klimatski pogoji prav tako odločilno vplivajo na trajnost lesa, zato je ne moremo opredeliti kot absolutno vrednost. Referenčna magnituda variira glede na lokacijo prav zaradi različnih klimatskih pogojev. Razvrščanje trajnosti lesa zato temelji na primerjavi preizkušane lesa z referenčno lesno vrsto (bukovina za listavce in beljava bora za iglavce) (Brischke in sod. 2012).

Brischke in sod. (2012) so pripravili popis literaturnih podatkov o življenjski dobi lesa. Relativne vrednosti (naravne odpornosti) so razdeljene v skupine in opredeljene v trajnostne razrede, ki se nanašajo na življenjsko dobo, glede na določeno lokacijo. Nezadostna primerljivost dobljenih trajnosti lesa je eden ključnih problemov napovedovanja življenjske dobe lesenih konstrukcij, navkljub točno določenim klimatskim pogojem.

Les je bil testiran nad zemljo v tretjem razredu izpostavitve, a pri tem so bile uporabljene različne standardne metode. Višji kot je faktor, tem višjo naravno trajnost ima posamezna

lesna vrsta. V literaturi ni bilo opisanega kostanja, zato smo za primerjavo vzeli les hrasta, ki je po lastnostih zelo podoben kostanju. Vidna je zelo velika variabilnost med podatki.

Hrastu (*Quercus robur*) so najnižji in najvišji faktor naravne obstojnosti določili na Švedskem, 1,33 - 4,00 (vrednosti močno variirajo, tudi zaradi načina izpostavitve vzorcev). Več testov je bilo opravljenih tudi v Nemčiji. V Hamburgu so določili najnižje faktorje od 1,35 in do 1,56. Boljši rezultati so se kazali v Stuttgartu, 1,66, in Reulbachu, 1,83. Kakorkoli, najvišji odpornostni faktor je bil zabeležen v Belgiji, 5,67. Iz naštetih podatkov lahko razberemo, da faktor naravne odpornosti pri hrastu variira med 1,33 in vse do 5,67. V najslabšem primeru to pomeni, da hrastovina na prostem zdrži le malo dlje od bukovine (Brischke in sod., 2012).

Pri smrekovini se prav tako kaže velika variabilnost podatkov, le da je na splošno znano, da ima smreka manjšo naravno odpornost v primerjavi s hrastom (kostanjem), ki v našem podnebnem pasu velja za najodpornejšo lesno vrsto. Najnižji faktor naravne odpornosti je bil določen v Hannovru, Nemčija, 0,82 oziroma 1,00, ki je značilen tudi za Švedsko. Najvišji faktor je bil zabeležen na Norveškem, 1,19. Seveda pa velja omeniti, da je faktor naravne odpornosti odvisen tudi od širine branik. Pri smreki z ožjimi branikami (1 mm) je zabeležen višji faktor (1,36 - 1,25) kot pri smrekovini z branikami, širokimi okoli 3 mm (1,20 - 0,56) ali 6 mm (1,11 - 0,48) (Brischke in sod., 2012).

2.5 DOSEDANJE RAZISKAVE O VPLIVU STARANJA NA LASTNOSTI LESA

Brischke in sod. (2013) so določili tudi trajnostne razrede, ki temeljijo na izračunih povprečne izgube mase zaradi delovanja gliv. Do teh rezultatov so prišli z uporabo laboratorijskih testov izpostavitve glivam razkrojevalkam lesa, kot to določa standard SIST EN 350-1. Definirali so 5 trajnostnih razredov (1 - zelo trajna lesna vrsta, 5 - netrajna lesna vrsta). Za vzorce so uporabili več lesnih vrst, pri čemer nas konkretno zanimajo raziskave na borovcih, ki jih bomo primerjali s smreko, in hrastu, kot primerjava kostanju. Uporabili so dve glivi: *Coniophora puteana* in *Trametes versicolor*.

Rezultati testov so pokazali, da obstajajo velike razlike med beljavo in jedrovino bora, prav tako pa so tudi velike razlike v trajnosti znotraj posamezne lesne vrste, kot je to vidno pri hrastu. Jedrovino bora so klasificirali v 3. do 4. razred trajnosti, beljava pa je izkazala najslabše rezultate (5. razred). Medtem pa so les hrasta uvrstili v 2. razred trajnosti kot trajno lesno vrsto.

Kakorkoli, še vedno je mogoče opaziti velika odstopanja, a razlogi za te razlike še niso znani. Tekom naravnega staranja lesa so zagotovo najpomembnejša zaščita ekstraktivi, ki služijo kot naravna zaščita lesa.

Raziskane so bile tudi razlike v mehanskih, fungicidnih in sorpcijskih lastnosti staranega lesa. Thaler in sod. (2013) navajajo, da je najpogostejši povzročitelj izgube mase pri neodpornih vrstah (primer: smreka) prav glivni razkroj, pri odpornejših vrstah (primer: kostanj) pa izpiranje ekstraktivov iz lesa. Odpornost smrekovine in kostanjevine tako pada s staranjem lesa. Pri smreki povzročijo glive višjo izgubo mase kot pri kostanju. Prav tako se zmanjšujejo mehanske lastnosti.

2.6 SMREKA (*Picea abies* Karst.)

V okviru naše naloge smo uporabili smrekovino in kostanjevino, zato v naslednjih poglavjih podajamo opisa omenjenih lesnih vrst.

Navadna smreka je vednozeleno, do 50 m visoko in do 2 m debelo iglasto drevo. Včasih doseže izjemne dimenzije. Je značilna vrsta hladnih rastišč z zelo majhnimi potrebami po poletni toploti in je zelo prilagodljiva vrsta s široko ekološko amplitudo.

V Sloveniji je naravnih rastišč malo, saj smrekovja predstavljajo le 1,4 % vseh gozdnih rastišč, razširjena pa so le v Alpah in Dinaridih (Brus, 2011).

2.6.1 Opis lesa

Smrekovina ima neobarvano jedrovino, ki se od beljave barvno ne loči. Les je večinoma rumenkastobel, v starosti tudi rumenkastorjav. Branike od ozkih do zelo širokih so razločne. Poskobljane površine imajo svilnat lesk. Svež les diši po smoli. Pogost je pojav smolnih žepkov (Čufar, 2006).

2.6.2 Lastnosti lesa

Gostota je nizka, do srednja ($\rho_{\square} = 430 \text{ kg/m}^3$), krčenje je zmerno (vzdolžni totalni skrček je 0,3 %, tangencialno 7,8 %, radialno 3,6 % in 12,0 % volumski skrček). 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.

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 le zmerno odporen proti atmosferilijam in neodporen proti insektom in glivam. Pri uporabi na prostem mora biti smrekovina pravilno vgrajena in zaščitena oz. površinsko obdelana. V primerjavi z borovino se slabše impregnira (Čufar, 2006).

2.6.3 Uporaba

Smrekovina je mehek, elastičen in v Sloveniji daleč najpogostejši les, uporabljen v gradbeništvu, pohištveni industriji, papirni industriji in celo pri izdelavi glasbil. V Sloveniji raste najboljša resonančna smreka na Jelovici, Pokljuki in nad Drago na Kočevskem. Iz smrekovih iglic pridobivajo eterična olja, skorjo uporabljajo za strojenje, iz smreke pridobivajo tudi terpentin (Brus, 2011).

2.6.4 Naravna odpornost

Naravna odpornost smreke se skupaj z jelko in brestom uvršča med neodporne lesne vrste, ki spadajo v četrti razred odpornosti, z življenjsko dobo v tretjem razredu uporabe od 5-10 let. V stiku z zemljo propade v 3 do 5 letih.

2.7 KOSTANJ (*Castanea sativa* Mill.)

Evropski pravi ali domači kostanj je do 35 m visoko in 3 m debelo listopadno drevo. Dočaka visoko starost, pri najstarejših drevesih jo ocenjujejo na več kot 2500 let. Je ena najbolj kisloljubnih drevesnih vrst. Izvira iz Sredozemlja, vendar so ga po Evropi razširili že tako dolgo tega, da je njegovo naravno razširjenost nemogoče natančno ugotoviti. Evropski pravi kostanj je v Sloveniji skoraj gotovo razširjen samoniklo, to potrjujejo tudi najdbe peloda izpred nekaj tisoč let na Koprskem. Razlikujemo dve glavni območji razširjenosti: jedro prvega, celinskega območja, je spodnje Posavje, od koder se je razširil v Haloze, Slovenske gorice, na Goričko, Gorenjsko in ob Savi vse do Mojstrane, ob toku Drave, pogost je v Beli krajini. Jedro drugega, precej manjšega submediteranskega območja, je svet ob spodnjem toku Soče, od koder se je preko manjših nahajališč čez Kras razširil v Brkine in naprej proti Istri (Brus, 2011).

2.7.1 Opis lesa

Kostanjevina ima za razliko od smreke obarvano jedrovino (črnjava). Jedrovina je v svežem stanju sivorumena, kasneje potemni do svetlo oz. temnorjave barve. Beljava je ozka, umazanobela do rumenkasta. Velja za tipično venčastoporozno vrsto. Branike se ostro ločijo.

2.7.2 Lastnosti lesa

Dokaj gost les ($\rho = 530..590 \text{ kg/m}^3$). Občasno ga zamenjamo s hrastom. Žagan les je treba pazljivo zlagati ob uporabi svežih letev. Jedrovina je dokaj odporna proti glivam, ne pa proti insektom. Les ni odporen proti atmosferilijam. Ob stiku z vodo lahko pride do obarvanja. Les je biološko aktiven in lahko povzroča dermatitis.

2.7.3 Uporaba

Na trgu je na razpolago v glavnem kot žagan les in furnir. Dobro se 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 dobra tudi površinska obdelava (Čufar, 2006).

Kostanjev les je zelo trajen in kakovosten, podoben hrastovemu in široko uporaben, na primer v gradbeništvu, sodarstvu, za električne drogove, vinogradniške kole in kurjavo. Les in skorja vsebujeta kar do 10 % ekstraktivov, zato veliko lesa porabijo za proizvodnjo tanina. Nekateri rastlinski deli so uporabni v zdravilstvu. Hranljivo seme je užitno pečeno, kuhano ali kandirano, nekoč so ga mleli v moko, ki je bila marsikje osnovno živilo (Brus, 2011).

2.7.4 Naravna odpornost

Jedrovino kostanja uvrščamo skupaj z dobom in tiso med odporne vrste, v drugi razred naravne odpornosti. Življenjska doba lesa v 3. razredu uporabe je med 15 in 20 let.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

V nadaljevanju so opisani materiali, lesne glive, oprema in aparature, ki smo jih potrebovali pri praktičnem delu magistrskega dela.

3.1.1 Vzorci

V raziskovalni del magistrskega dela smo vključili les, ki je bil v uporabi zunaj, na prostem in naravno staran. Uporabili smo več deset let star kostanjev drog (kostanj – *Castanea sativa* Mill.), ki se je zaradi svoje dotrajanosti podrl, pa čeprav na zunaj ni bilo videti znakov propada in šest let star smrekov nosilec (smreka – *Picea abies* L.), ki je bil vidno trhel, kar je posledica razgradnje lesa.



Slika 10: Drog, iz katerega so bili izdelani vzorci v okviru naloge. Del droga v stiku z zemljo je povsem razkrojen, medtem ko je preostali del droga praktično nepoškodovan.

3.1.2 Lesne glive

Pri določevanju fungicidnih lastnosti lesa smo uporabili izolate gliv, ki so shranjene v mikoteki Katedre za patologijo in zaščito lesa na Oddelku za lesarstvo, Biotehniška fakulteta. Izolati gliv, ki smo jih uporabili, povzročajo rjavo ali belo trohnobo.

Povzročiteljici rjave trohnobe:

- Navadna tramovka – *Gloeophyllum trabeum*,
- Bela hišna goba – *Antrodia vaillantii*.

Povzročiteljice bele trohnobe:

- Ogljena kroglica – *Hypoxylon fragiforme*,
- Bukov ostrigar – *Pleurotus ostreatus*,
- Pisana ploskocevkica – *Trametes versicolor*.

Preglednica 5: Glive uporabljene pri poskusu določevanja fungicidnih lastnosti lesa

Oznaka	Slovensko ime	Latinsko ime	Poreklo	Vrsta trohnobe
Gt2	Navadna tramovka	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	ZIM L018	RJAVA
Pv2	Bela hišna goba	<i>Antrodia vaillantii</i>	ZIM L037	TROHNOBA
Hf	Ogljena kroglica	<i>Hypoxylon fragiforme</i>	ZIM L108	BELA TROHNOBA
Plo5	Bukov ostrigar	<i>Pleurotus ostreatus</i>	ZIM L030	
Tv6	Pisana ploskocevkica	<i>Trametes versicolor</i>	ZIM L057	

3.1.3 Oprema in aparature

3.1.3.1 Oprema

- Brusilni papir,
- čaše različnih velikosti,

- kovinska pinceta,
- kovinske spatule,
- merilni valji,
- papir za avtoklaviranje,
- papirnate brisače,
- petrijevke različnih velikosti,
- plastične mrežice,
- samolepilna PVC folija,
- steklene palčke,
- stekleni kozarci,
- stekleni liji,
- vata.

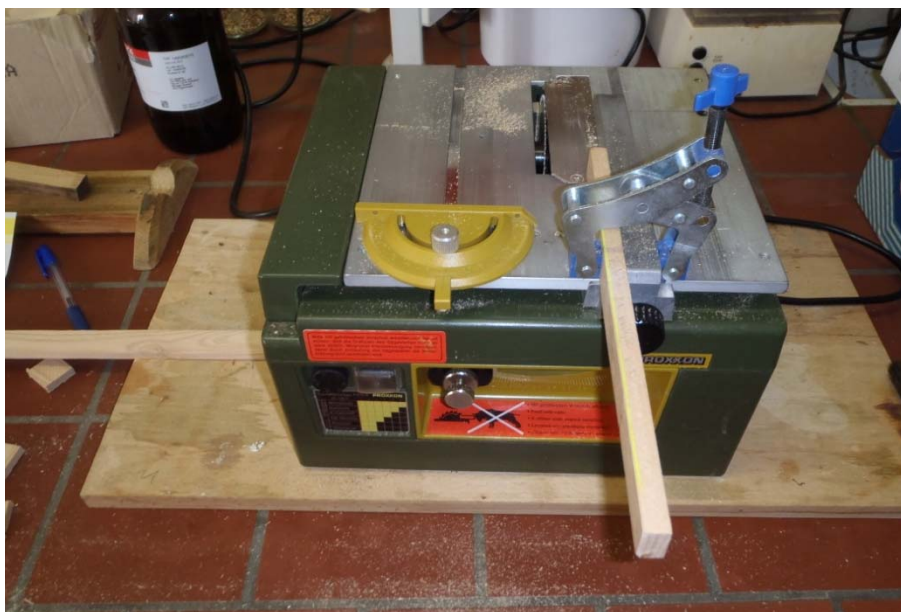
3.1.3.2 Aparature

- Analitska tehtnica, ki tehta na štiri decimalna mesta natančno (Sartorius),
- avtoklav (Sutjeska),
- brezprašna komora – laminarij (Iskra Pio),
- digitalno kljunasto merilo (Mitutoyo),
- komore za uravnoteženje vzorcev v določeni klimi,
- laboratorijski sušilnik (Kambič),
- namizni krožni žagalni stroj (Proxxon),
- rastna komora (Kambič),
- soxhlet aparat za ekstrakcijo (Büchi, B-811),
- tenziometer (Krüss 100),
- univerzalni testirni stroj za mehanske lastnosti (Zwick-Roell).

3.2 METODE

3.2.1 Izdelava vzorcev

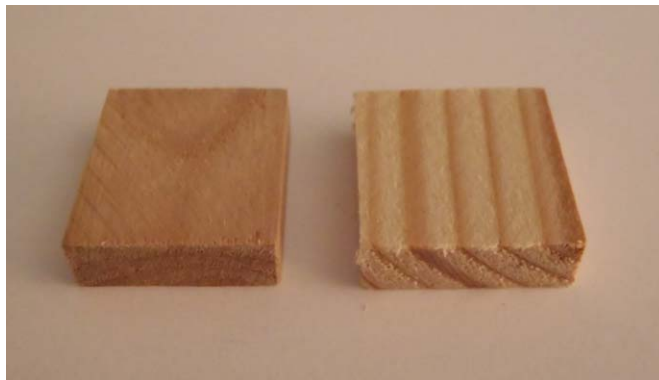
Uporabili smo več deset let star kostanjev drog (Slika 10) in šest let star smrekov nosilec. Iz grobo razrezanih kosov lesa smo se lotili finega razrezovanja vzorcev na namiznem krožnem žagalnem stroju Proxxon (Slika 11) in brušenja obdelovanih površin s pomočjo brusilnega papirja. Zunanje plasti lesa smo zavrgli, zanimal nas je les v notranjosti. Pripravili smo štiri različne dimenzije vzorcev, glede na zahteve metod, določene v skladu s standardi, ki sledijo v nadaljevanju, vzorce smo tudi primerno označili.



Slika 11: Fini razrez vzorcev na krožnem žagalnem stroju Proxxon

3.2.1.1 Vzorci za izpostavitve delovanju gliv

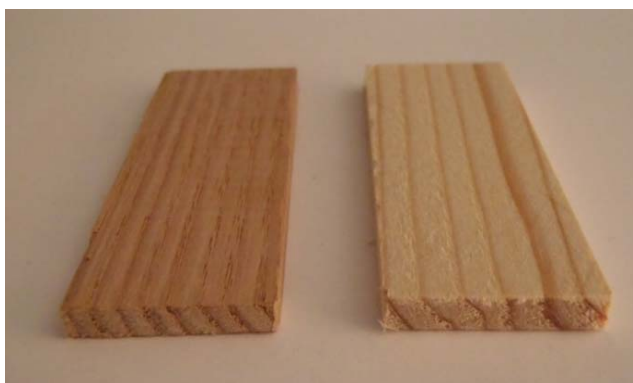
Vzorci smreke in kostanja (Slika 12), ki smo jih izpostavili delovanju gliv, smo razžagali na dimenzije $25\text{ mm} \times 25\text{ mm} \times 8\text{ mm}$. Za vsako vrsto lesa smo potrebovali 45 vzorcev, skupno 90.



Slika 12: Fini razrez vzorcev kostanja in smreke za izpostavitve delovanju gliv in ekstrakcijo

3.2.1.2 Vzorci za določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti

Pripravili smo vzorce dimenzije $65\text{ mm} \times 25\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ (Slika 13). Za vsako vrsto lesa smo pripravili 21 vzorcev, skupno torej 42 vzorcev.



Slika 13: Fini razrez vzorcev kostanja in smreke za določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti

3.2.1.3 Vzorci za izpiranje ekstraktivov

Izpiranje ekstraktivov je potekalo iz vzorcev lesa razžaganih na dimenzije 25 mm × 25 mm × 8 mm. Skupno smo potrebovali 90 vzorcev, 45 vzorcev za vsako lesno vrsto. Vzorci so bili enaki kot pri izpostavitvi glivam (Slika 12).

3.2.1.4 Vzorci za določanje navzema vode in tlačne trdnosti

Navzem vode in tlačno trdnost smo določali iz istih vzorcev dimenzije 40 mm × 25 mm × 15 mm (Slika 14). Pripravili smo 20 vzorcev za vsako lesno vrsto, skupaj 40. Najprej smo določevali navzem, po ustreznem kondicioniranju pa še tlačno trdnost.



Slika 14: Fini razrez vzorcev kostanja in smreke za določanje kratkotrajnega navzema vode in tlačne trdnosti. Na smrekovem vzorcu so dobro vidni znaki razkrojenosti.

3.2.2 Določevanje fungicidnih lastnosti lesa

Vzorci smo po končani pripravi zložili v laboratorijski sušilnik in jih posušili pri temperaturi 103 ± 2 °C. Maso absolutno suhih vzorcev pred izpostavitvijo glivam smo po kondicioniranju v eksikatorju določili na analitski tehtnici. Odpornost lesa na izbrane glive razkrojevalke smo določili v skladu z modificiranim standardom SIST EN 113.

3.2.2.1 Priprava hranilnega gojišča in steklovine

Hranilno gojišče smo pripravili tako, da smo v en liter destilirane vode zatehtali 39 g krompirjevega dekstroznega agarja v prahu – PDA (Potato Dextrose Agar; Difco), proizvajalca DIFCO Laboratories. 4 % mešanico smo dobro pretresli, da se je agar raztopil. Tako pripravljeno hranilno gojišče smo avtoklavirali 15 min pri 121-124 °C (Slika 15). Pri avtoklaviranju gre za postopek sterilizacije, pri katerem steriliziramo s pomočjo nasičene vodne pare pod tlakom. Po končanem postopku smo hranilno gojišče in sterilne plastične petrijevke v laminariju dodatno sterilizirali pod UV svetlobo, da smo preprečili morebitne okužbe. Približno 20 ml hranilnega gojišča smo prelili v petrijevke (90 petrijevk) za enkratno uporabo, velikosti $\varnothing = 85$ mm, $h = 15$ mm, in jih pustili v laminariju 24 ur, da se je gojišče ohladilo in strdilo.



Slika 15: Avtoklav

3.2.2.2 Inokulacija micelija

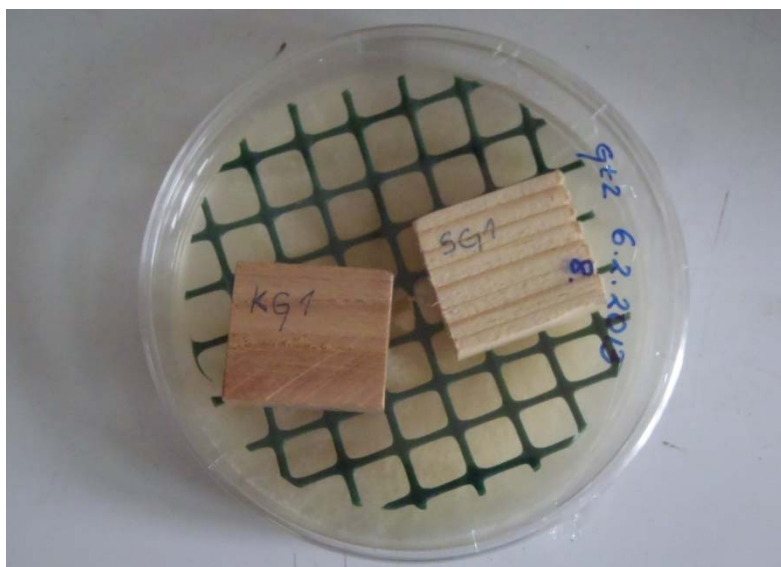
Inokulacijo micelija petih različnih gliv (Preglednica 5), povzročiteljic rjave in bele trohnobe, smo opravili v sterilnih pogojih v laminariju. S pomočjo kovinske spatule smo vcepek glive vstavili na sredino petrijevke s PDA, kot je to vidno na sliki 16. Petrijevko smo zaprli in jo dodatno zaščitili s PVC folijo, da ni prišlo do morebitnih okužb. Spatulo smo pred vsako inokulacijo dodatno razkužili z alkoholom in plamenom.



Slika 16: Inokulacija micelija z glivami, ki so shranjene v mikoteki Katedre za patologijo in zaščito lesa na Oddelku za lesarstvo, BF

3.2.2.3 Izpostavitve vzorcev glivam

Približno en teden po inokulaciji micelija, ko je micelij že prerastel površino hranilnega gojišča, smo pregledali petrijevke zaradi morebitnih kontaminacij. Ker smo glive lepo vzgojili, smo v naslednjem koraku vstavili plastične mrežice in vzorce lesa (Slika 17). Namen mrežic je predvsem opora vzorcem in preprečevanje pretiranega navlaževanja le-teh, ker ne bodo v direktnem stiku s hranilnim gojiščem, hkrati pa preprečimo neposredni stik vzorcev z glivo razkrojevalko. Na mrežico smo vstavili smrekov in kostanjev vzorec. Pripravili smo 45 petrijevk z 90 vzorci in 5 različnimi glivami, 9 petrijevk in 18 vzorcev (9 smrekovih in 9 kostanjevih) za vsako glivo.



Slika 17: Izpostavitve vzorcev glivam

Petrijevke smo nato 12 tednov pustili v rastni komori pri temperaturi 25 °C in 85 % relativni zračni vlažnosti.

3.2.2.4 Gravimetrično določanje izgube mase

Po pretečenih 12 tednih izpostavitve vzorcev glivam smo vzorce izolirali, s površine smo previdno odstranili micelij in jih še vlažne stekali na analitski tehtnici Sartorius (Slika 18) na 0,0001 g natančno.



Slika 18: Analitska tehtnica Sartorius

Vzorci smo ponovno 24 h sušili v laboratorijskem sušilniku s temperaturo 103 ± 2 °C. Po kondicioniranju v eksikatorju smo vzorce stekali, da smo dobili maso vzorcev v absolutno suhem stanju in gravimetrično določili izgubo mase, povzročeno zaradi razkroja lesa z glivami.

Vlažnost vzorcev po izpostavitvi glivam smo izračunali s pomočjo enačbe 1:

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

U...	vlažnost razkrojenega lesa [%]
m_1 ...	masa vlažnega vzorca po izpostavitvi glivam [g]
m_2 ...	masa absolutno suhega vzorca po izpostavitvi glivam [g]

Izgubo mase po izpostavitvi glivam smo gravimetrično določili s pomočjo enačbe 2:

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

Δm ...	sprememba mase [%]
m_0 ...	masa absolutno suhega vzorca pred izpostavitvijo delovanju gliv [g]
m_2 ...	masa absolutno suhega vzorca po izpostavitvi delovanju gliv [g]

3.2.3 Določevanje mehanskih lastnosti lesa

3.2.3.1 Upogibna trdnost (MoU) in modul elastičnosti (MoE)

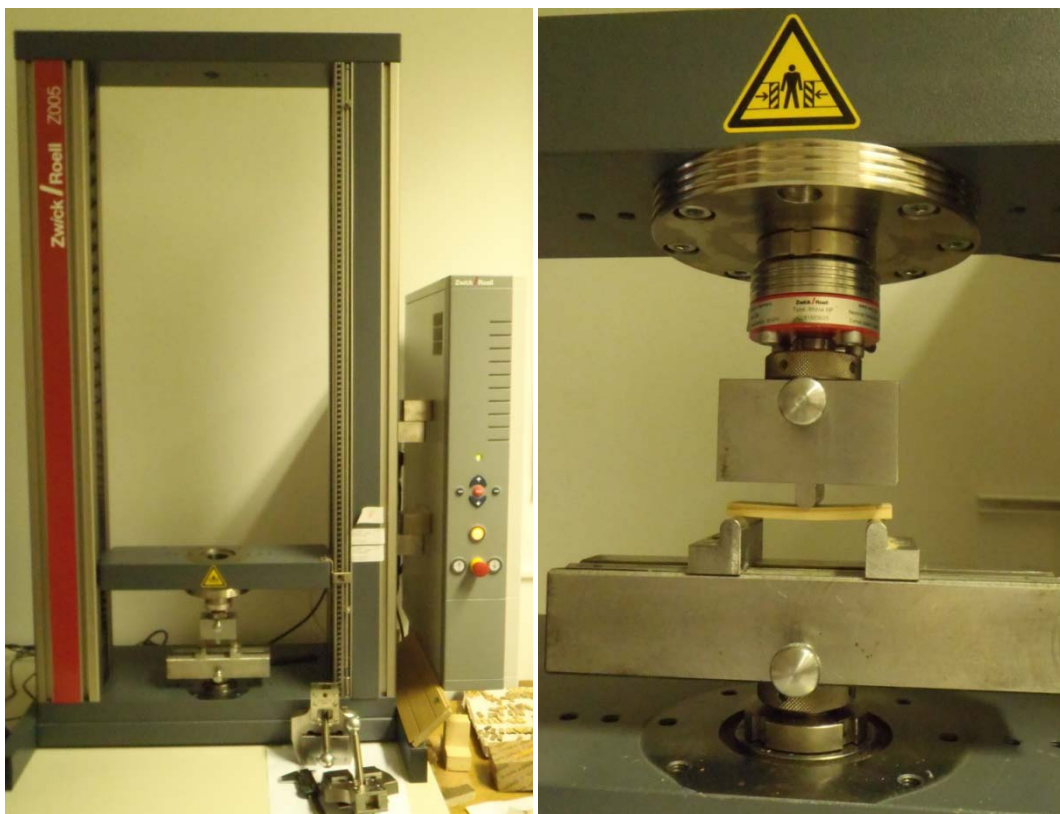
Strojno razvrščanje lesa temelji na upogibnem preizkusu, zato je ta metoda najpogosteje uporabljena za določanje trdnostih karakteristik lesa, s katero določamo modul elastičnosti in upogibno trdnost, ki sta osnovni vrednosti za poenostavljeno izračunavanje in dimenzioniranje konstrukcij ter tudi predvidevanja ostalih mehanskih lastnosti. Pri največji sili je dosežena upogibna trdnost oziroma največja napetost, ki jo element še zdrži (zrušilna napetost). Upogibna trdnost lesa sovпада s prvimi poružitvami, ki se pojavijo na natezni strani. Porušitve se realizirajo kot pretrganje vlaken na konveksni natezni strani, kot uklon na konkavni tlačni strani ali kot zdrs vlaken v sredini preizkušanca zaradi strižnih napetosti (Gorišek, 2009). Upogibna trdnost se spreminja z vlažnostjo in gostoto lesa. Nižja kot je vlažnost in višja kot je gostota, večja je upogibna trdnost.

Modul elastičnosti je razmerje med napetostjo in deformacijo materiala v območju elastičnosti. Materiali z majhnim elastičnim modulom imajo večjo podajnost (upogljivost) oziroma so prožni, tisti z velikim modulom pa so togi (Gorišek, 2009).

3.2.3.1.1 Določevanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti

Upogibno trdnost in modul elastičnosti smo določali na univerzalnem stroju Zwick/Roell Z005, tipa Xforce HP (Slika 19), ki se nahaja na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin, Oddelka za lesarstvo na Biotehniški fakulteti, Univerza v Ljubljani. Vzorce smo pred testiranjem 3 tedne kondicionirali v klimi s temperaturo $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ in $(65 \pm 5) \%$ relativno zračno vlažnostjo do konstantne mase, saj se z vlažnostjo lesa spreminjajo tudi mehanske lastnosti le-tega. Vzorce smo testirali takoj po končanem kondicioniranju. Pred začetkom smo pripravili stroj, kot to določa standard SIST EN 310, in izvedli tritočkovni upogib. Vzorcem smo z digitalnim kljunastim merilom izmerili debelino in širino ter dobljene vrednosti vnesli v program. S pomočjo programa Microsoft

Excel smo dobili iskane vrednosti upogibne trdnosti in modula elastičnosti. Skupno smo testirali 42 vzorcev, 21 smrekovih in 21 kostanjevih.



Slika 19: Preizkus upogibne trdnosti vzorcev lesa

3.2.3.2 Tlačna trdnost (F_m)

Tlačna trdnost je največja napetost, ki jo je material še sposoben prenesti pred porušitvijo. Odvisna je od smeri obremenjevanja. Vzporedno z vlakni je les za 5 do 8 krat odpornejši proti pritiskom, kot je prečno na vlakna (Lesarski priročnik, 2008).

3.2.3.2.1 Določevanje tlačne trdnosti

Tlačno trdnost smo določali na univerzalnem testirnem stroju za preizkušanje mehanskih lastnosti, Zwick Z100 (Slika 20), ki se nahaja v Laboratoriju za preizkušanje lesnih tvoriv, Oddelka za lesarstvo na Biotehniški fakulteti, Univerza v Ljubljani. Za določanje

mehanskih lastnosti vzorcev smo uporabili destruktivno metodo določanja tlačne trdnosti v aksialni smeri poteka vlaken (vzporedno z vlakni). Podobno kot pri testiranju na upogib smo tudi pri tem poskusu vzorce najprej 3 tedne kondicionirali v klimi s temperaturo (20 ± 2) °C in (65 ± 5) % relativno zračno vlažnostjo do konstantne mase. Na stroj smo namestili dve vzporedni ravni plošči, na spodnjo ploščo smo v center postavili vzorec (predhodno smo mu s kljunastim merilom izmerili širino in debelino), zgornja plošča pa se je s konstantno hitrostjo približevala vzorcu. Program na računalniku, ki je povezan s testirnim strojem, je beležil tlačno trdnost, modul elastičnosti in maksimalno silo, ki je potrebna, da pride do porušitve vzorca.



Slika 20: Testirni stroj Zwick Z100 za določanje tlačne trdnosti vzorcev

3.2.4 Kapilarni navzem vode

Poskusa smo se lotili, kot to natančneje opisuje modificirani standard SIST EN 1609, z uporabo tenziometra. Vzorcem enake dimenzije kot za tlačno trdnost, 40 mm × 25 mm × 15 mm, smo natančneje izmerili manjšo ploskev na prečnem prerezu. Zanimali sta nas širina in dolžina. Nato smo na izmerjeni površini zarisali dve diagonali, da smo dobili presečišče, kamor smo zabili iglo, kot je to prikazano na sliki 21, s katero smo vzorec vstavili v tenziometer znamke Krüss 100. Tenziometer (Slika 22) se nahaja na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani.



Slika 21: Priprava vzorcev za meritev na tenziometru Krüss 100

Merilne ploskve se nismo smeli dotikati, da ne bi površine namastili, umazali ali poškodovali. Pod vzorcem smo namestili čašo z vodo pri sobni temperaturi. Vodo smo po potrebi večkrat zamenjali, saj so se vanjo izpirali v vodi topni ekstraktivi. Čašo z vodo smo približali vzorcu in v trenutku, ko se je vzorec dotaknil vode, se je začela meritev.



Slika 22: Tenziometer Krüss 100

Naprava je začela delovati in računalniško podprt program je zabeležil navzem vode na vsaki 2 s, celotna meritev je trajala 200 s.

S pomočjo Microsoftovega programa Excel smo podatke uredili. Zanimal nas je navzem vode v 200 s pri vzorcih smreke in kostanja. Za vsako lesno vrsto smo meritev ponovili 20 krat. V Excelu smo podatke uredili tako, da smo izračunali navzem glede na izmerjeno površino vzorca, ki smo jo izpostavili vodi.

Navzem vode smo izračunali s pomočjo naslednje enačbe 3:

$$\text{Navzem vode} = \frac{\text{navzem po 200s}}{(a \times b)} \times 100 \quad \dots(3)$$

Navzem vode ... [g/cm²]

a... širina [mm]

b... dolžina [mm]

3.2.5 Ekstrakcija po Soxhletu

Ekstrakcijski aparat Soxhlet je leta 1879 izumil Franz von Soxhlet. Prvotno je bil načrtovan za ekstrakcijo lipidov iz trdnih materialov, vendar ni omejen samo na to vrsto ekstrakcije.

Ekstraktivi so v splošnem nestrukturne komponente v drevesnih tkivih in vplivajo na barvo, vonj in mehanske lastnosti lesa. V lesu jih je zelo malo, pa kljub temu ni za prezreti njihove pomembne vloge. So dobro topni v polarnih topilih in jih iz lesa lahko izoliramo s pomočjo ekstrakcije. Delež ekstraktivov v lesu smo določili gravimetrično s tehtanjem absolutno suhih vzorcev pred ekstrakcijo in absolutno suhih vzorcev po ekstrakciji. Da smo določili vsebnost ekstraktivov, smo izvedli ekstrakcijo s tremi različnimi topili, s pomočjo avtomatizirane naprave imenovane Soxhletov aparat (znamke Büchi, B-811), kot jo vidimo na sliki 23.



Slika 23: Soxhlet aparat za ekstrakcijo Büchi, B-811

Delovanje aparata: v bučko, čisto spodaj, nalijemo topilo (v našem primeru so to voda, metanol in cikloheksan), ki ga segrevamo s pomočjo grelnika, kateremu lahko poljubno nastavljamo grelno moč. Topilo odpareva, hlapi potujejo po cevki do hladilnika (čisto zgoraj), ki ga hladimo z mrzlo vodo. Hlapi kondenzirajo in v kapljicah padejo na vzorce, ki se nahajajo v steklenem kozarcu s prepustnim dnom, pokriti z vato, in iz njih izpirajo topne snovi. Ko topilo doseže najvišjo višino, steče nazaj v bučko. Na desni je krmilni sistem, s katerim nastavimo čas cikla izpiranja, javlja nam tudi morebitne napake pri delovanju aparata.

Prednost delovanja takšnega aparata je zagotovo to, da vsakič znova izpiramo vzorce s čistim topilom, medtem ko se ekstrakti zbirajo v bučki. Prihaja do največje možne difuzije, ki je premosorazmerna z razliko koncentracij.

3.2.5.1 Topilo: VODA

Prvih 30 vzorcev (15 smrekovih in 15 kostanjevih) smo ekstrahirali z destilirano vodo. Na vrh vzorcev v steklenem kozarcu smo vstavili vato, da smo preprečili splavitev vzorcev. Steklene kozarce smo vstavili v Soxhletov aparat in na spodnjem delu v steklene čaše nalili topilo. Topilo je zaradi delovanja spodnjih grelcev začelo izhlapevati in se v hladilniku v zgornjem delu aparata kondenziralo nad vzorci ter tako počasi spiralo ekstrakte. Ti so se nabirali v stekleni čaši s topilom. Za tip ekstrakcije smo določili Warm Soxhlet, 6/14. Ekstrakcija je potekala v treh dvanajsturnih ciklih. Po končani ekstrakciji smo aparat razstavili, ga očistili in vzorce posušili v laboratorijskem sušilniku Kambič ($103 \pm 2^\circ\text{C}$ za 24 h). Absolutno suhe vzorce smo zložili v eksikator, da smo preprečili navlaževanje pred tehtanjem na analitski tehtnici na 0,0001 g natančno.

3.2.5.2 Topilo: 70 % METANOL (% - volumski)

Naslednjih 30 vzorcev smo ekstrahirali s 70 % vodno raztopino metanola. S pomočjo merilnega valja in čaše smo odmerili določeno količino metanola, ki smo ga v zahtevanem razmerju redčili z destilirano vodo. Tako smo dobili 70 % metanol. Postopek priprave je enak kot je opisano zgoraj za topilo vode. Razlika je samo v ciklih, ki sta v tem primeru samo dva po 12 h, zaradi nižjega vrelišča, kot ga ima voda in posledično pogostejših ciklov. Temperatura grelcev je 5/12.

3.2.5.3 Topilo: CIKLOHEKSAN

Zadnjih 30 vzorcev smo uporabili za ekstrakcijo s cikloheksanom. Podobno kot pri postopku ekstrakcije z metanolom, samo temperature grelcev so drugačne (4/10).

3.2.5.4 Gravimetrično določanje deleža ekstraktivov

Delež ekstraktivov v starem lesu smo določili z gravimetrično metodo. Pred ekstrakcijo smo tehtali absolutno suhe vzorce, to smo ponovili tudi po končani ekstrakciji. Sušenje je potekalo v laboratorijskem sušilniku Kambič na 103 ± 2 °C, 24 h. Tehtali smo na 0,1 mg natančno.

Delež ekstraktivov v lesu smo določili s pomočjo enačbe 4:

$$E = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 [\%] \quad \dots(4)$$

E...	delež ekstraktivov [%]
m_0 ...	masa absolutno suhega vzorca pred ekstrakcijo [g]
m_1 ...	masa absolutno suhega vzorca po ekstrakciji [g]

Izguba mase vzorcev med ekstrakcijo predstavlja delež izpranih ekstraktivov.

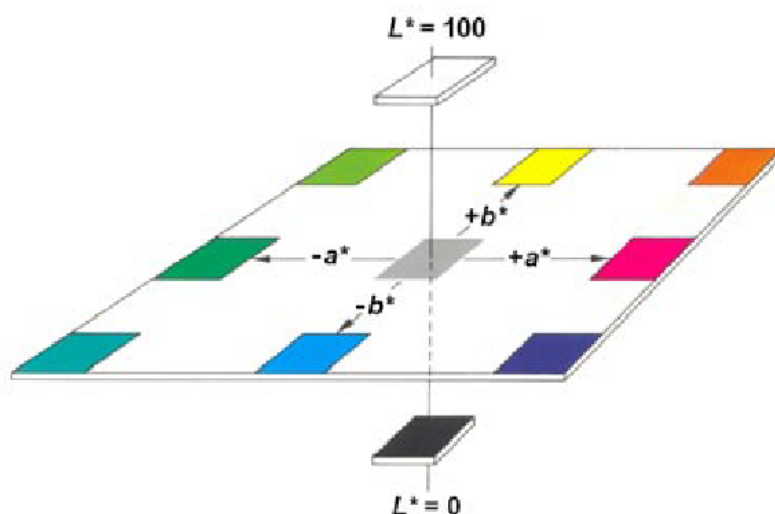
3.2.6 Numerično vrednotenje barve po CIE – L^* , a^* , b^* SISTEMU

CIELAB sistem (Slika 24) je najpogosteje uporabljen in izpopolnjen ter v svetu poznan sistem za numerično vrednotenje barve, ki predstavlja matematično kombinacijo kartezijskega in cilindričnega koordinatnega sistema, kjer je barva opredeljena s tremi osnovnimi vrednostmi:

L^* – določa svetlost barve in zavzema vrednosti od 0 (absolutno črno) do 100 (absolutno belo),

a^* – določa lego barve na rdeče (+) – zeleni (-) osi,

b^* – določa lego barve na rumeno (+) – modri (-) osi (Pavlič in sod. 2008).



Slika 24: CIELAB sistem

Razliko v barvi ΔE med dvema vzorcema izračunamo z enačbami 5-8 (indeks 1 označuje parameter na začetku opazovanja, indeks 2 pa parameter na koncu opazovanja):

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2 \quad \dots(5)$$

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_2 \quad \dots(6)$$

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_2 \quad \dots(7)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \dots(8)$$

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

Omenjena metoda se je na področju zaščite lesa najpogosteje uporabljala za vrednotenje posledic naravnega staranja zaradi delovanja UV žarkov, padavin, temperature... Veliko se uporablja za opazovanje sprememb na neimpregniranem lesu, nekoliko redkeje pa tudi na impregniranem lesu (Vek, 2007).

3.2.6.1 Določanje barve staranega lesa

Kot smo že omenili, se barva lesa s staranjem spreminja. Barvo vzorcev starega lesa smo primerjali z barvami kontrolnih, svežih vzorcev lesa.

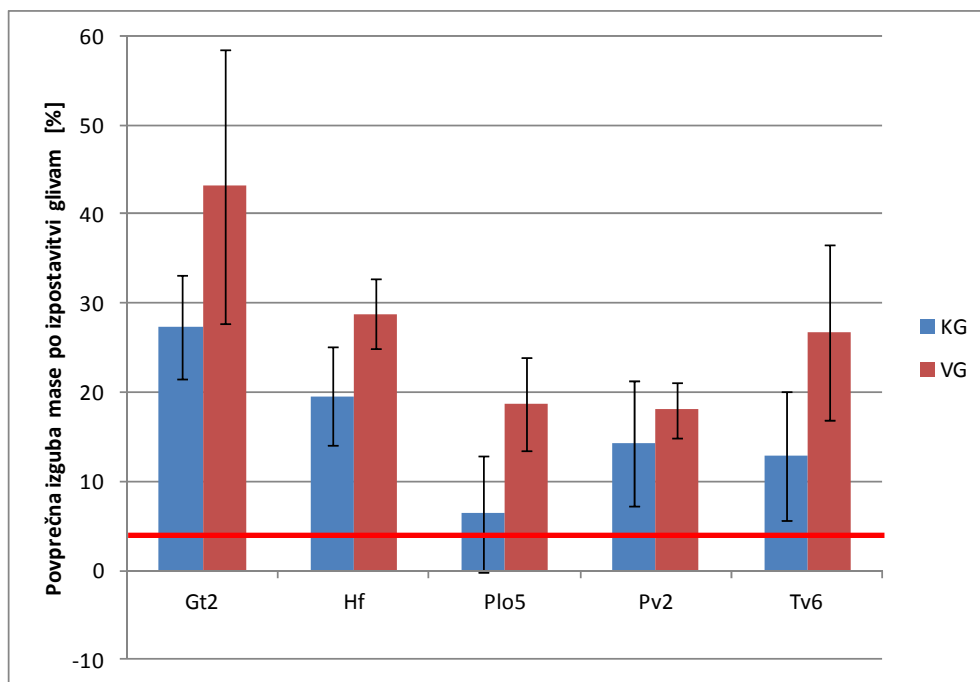
Najprej smo vzorce, ki smo jih uporabili za upogibno trdnost, skenirali na optičnem čitalniku HP 5500. Uporabili smo 21 vzorcev za vsako lesno vrsto, skupaj 42 vzorcev lesa. Dobili smo slike, ki v digitalni obliki prikazujejo barvo površine vzorcev, potrebne za nadaljnjo obdelavo. Za numerično vrednotenje barve smo uporabili CIELAB sistem, po katerem smo s pomočjo programske opreme CorelDRAW 8 določili posamezne komponente L^* , a^* in b^* . Podatke smo obdelali s pomočjo Microsoftovega programa Excel in izračunali povprečne vrednosti omenjenih komponent. Dobljene vrednosti smo nato primerjali z vrednostmi kontrolnih vzorcev in izračunali spremembo barve.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Dobljene rezultate smo primerjali s kontrolnimi (z vrednostmi dobljenimi s testiranjem svežega lesa). Meritve je v sklopu svoje raziskave opravil mladi raziskovalec Nejc Thaler (Thaler in sod., 2013b). Z oznako K so označeni kontrolni vzorci.

4.1 FUNGICIDNE LASTNOSTI LESA

4.1.1 Izguba mase vzorcev smrekovine po izpostavitvi glivam



Slika 25: Povprečna izguba mase vzorcev smrekovine po izpostavitvi glivam. Izpostavili smo vzorce smreke, ki so označeni s VG, in kontrolni nestarani vzorci, označeni s KG. Glive: Gt2 – navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*), Hf – ogljena kroglica (*Hypoxylon fragiforme*), Plo5 – bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus*), Pv2 – bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*), Tv6 – pisana ploskoceвка (*Trametes versicolor*). Rdeča črta označuje mejo 3 %.

Zgornja slika 25 prikazuje graf, na katerem so predstavljene vrednosti povprečne izgube mase zaradi delovanja gliv razkrojevalk lesa na svež les (KG) in naravno staran les (VG) smrekovine. Iz izgub mase je razvidno, da so glive vitalne in so močno razkrojile les. Vidimo, da so vse vrednosti razkroja močno nad 3 % mejo, ki jo določa standard, kot mejo,

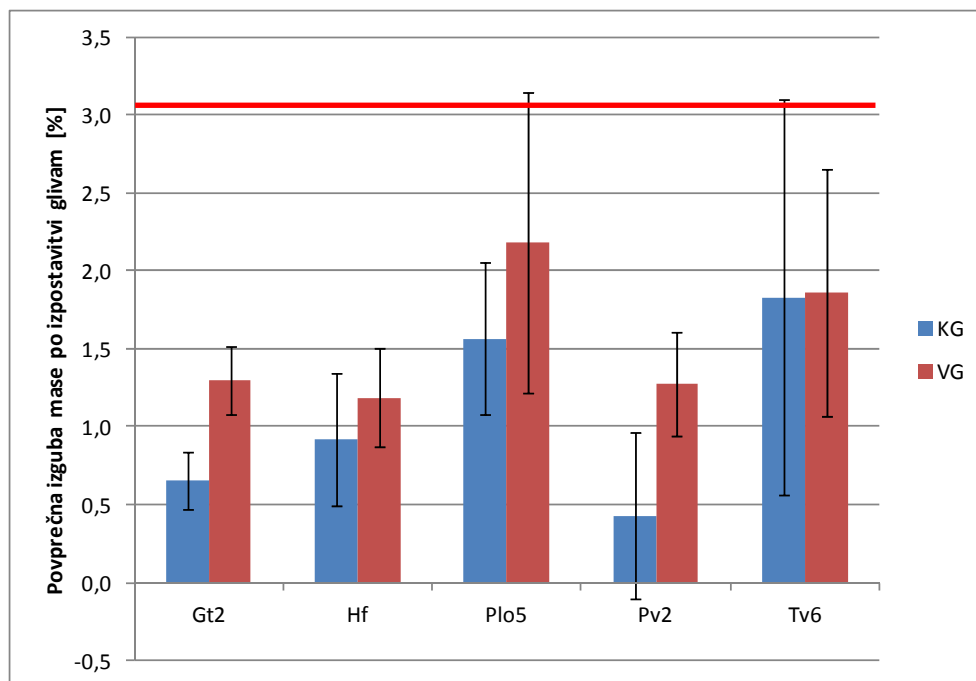
pod katero izgube mase smatramo za zanemarljivi. Tako visoko povprečno izgubo mase lahko pripišemo visoki neodpornosti smreke, ki spada v četrti razred neodpornih lesnih vrst v našem podnebnem pasu.

Največjo izgubo mase pri nestaranih vzorcih smrekovine je povzročila navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*), povzročiteljica rjave trohnobe, s 27,3 % povprečno izgubo mase, sledi ji ogljena kroglica, povzročiteljica bele trohnobe, z 19,5 % povprečno izgubo mase, bela hišna goba (14,3 %), predstavnica rjave trohnobe, in pisana ploskocevka (12,9 %). Najmanjšo izgubo mase, 6,4 %, je povzročila gliva bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus*), prav tako povzročiteljica bele trohnobe. Ti rezultati so pričakovani, saj je znano, da glive bele trohnobe v naravi pogostejše in intenzivnejše razkrajajo les listavcev kot iglavcev.

V primeru staranih vzorcev smrekovine (VG) je bil povzročen največji razkroj s strani glive navadne tramovke, podobno kot pri kontrolnih vzorcih, le da je izguba mase še višja in znaša 43,1 %. Sledi ji ogljena kroglica (28,8 %) in pisana ploskocevka (26,7 %). Najmanjšo izgubo mase sta povzročila bela hišna goba in bukov ostrigar, ki imata zelo primerljivo izgubo mase, približno 18 %. Ker gre za smrekovino, iglavec, ki je bolj dovzeten za razkroj rjave trohnobe, ki razkrajja celulozo, preostanek pa je lignin, kar daje lesu tudi značilno rjavo barvo, lahko rečemo, da so rezultati pričakovani. Še posebej zanimiva je visoka stopnja razkroja lesa zaradi delovanja ogljene kroglice, ki je povzročiteljica bele trohnobe.

Iz primerjave staranih in nestaranih vzorcev vidimo, da je svež les ne glede na to, kateri lesni glivi smo ga izpostavili, bolj odporen proti razkroju. To pripisujemo predvsem večji vsebnosti inhibitornih ekstraktivnih snovi v svežem lesu kot v lesu, ki je bil več let v uporabi in so se le-te v večji meri izprale. Po drugi strani pa so zaradi glivne razgradnje, fotodegradacije, v lesu nastale nove ekstraktivne snovi, ki so lahko vir hrane za lesne glive, kar se odraža tudi v večji izgubi mase staranih vzorcev. Ne smemo pa pozabiti, da je v lesu smreke nasploh manj ekstraktivnih snovi, ki pripomorejo k naravni odpornosti. Med poglavitnimi je smola, ki ima v lesu zaščitno funkcijo.

4.1.2 Izguba mase vzorcev kostanjevine po izpostavitvi glivam



Slika 26: Povprečna izguba mase vzorcev jedrovine kostanja po izpostavitvi glivam. Izpostavili smo vzorce kostanja, ki so označeni s VG, in kontrolni nestarani vzorci, označeni s KG. Gt2 – navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*), Hf – ogljena kroglica (*Hypoxylon fr fragiforme*), Plo5 – bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus*), Pv2 – bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*), Tv6 – pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*). Rdeča črta označuje mejo 3 %.

Kostanj se je izkazal za izredno odporno lesno vrsto za zmerni pas in je upravičil uvrstitev v drugi razred odpornosti. Visoka odpornost proti razkroju lesa s petimi različnimi glivami je razvidna tudi iz slike 26. Vse izgube mase so nižje od 3 %, kar standard SIST EN 113 smatra za zanemarljivo.

Kontrolni vzorci sveže kostanjevine (KG) so po izpostavitvi petim glivam razkrojevalkam lesa izkazali boljšo odpornost kot starani vzorci (VG), vendar so razlike zanemarljive.

Najmanjšo izgubo mase pri KG je povzročila gliva bele hišne gobe (*Antrodia vaillantii*), povzročiteljica rjave trohnobe, s samo 0,4 % izgubo mase. Z višanjem vrednosti razkroja so ji sledile navadna tramovka (0,65 %) (prav tako povzročiteljica rjave trohnobe), ogljena kroglica (0,9 %) in bukov ostrigar (1,5 %). Najvišjo izgubo mase je povzročila pisana

ploskocevka (*Trametes versicolor*) s kar 1,8 % razkrojenostjo, pisana ploskocevka je predstavnica bele trohnobe.

Vendar pa tudi starani vzorci kažejo dovzetnost na glivni razkroj. Največja izguba mase z 2,18 % je bila opazna na vzorcih starega kostanja (VG), ki smo jih izpostavili glivi, povzročiteljici bele trohnobe, bukovemu ostrigarju (*Pleurotus ostreatus*). Z drugo najvišjo izgubo mase 1,86 % ji je sledila pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*), prav tako povzročiteljica bele trohnobe. Ti podatki so pričakovani, saj je znano, da glive bele trohnobe pogosteje razkrajajo les listavcev kot les iglavcev. Glivi rjave trohnobe, navadna tramovka in bela hišna goba, sta povzročili zelo majhno izgubo mase (približno 1,3 %), ampak ne najmanjše. Najnižjo izgubo mase na vzorcih starega kostanja je povzročila gliva *Hypoxylon fragiforme*, ogljena kroglica, le 1,19 %. Slednja je zelo agresiven primarni kolonizator lesa, lesnih vej in drugih ostankov lesa v gozdu, vendar ne razkrajja hrastovine, ki pa je glede na lastnosti zelo podobna kostanju. Če primerjamo standardne odklone, je opaziti velika variabilnost podatkov, kar lahko pripišemo nehomogenosti vzorcev in nekontroliranemu staranju.

Iz dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da ima kostanj, kljub izpostavitvi lesa na prostem in delovanju abiotskih dejavnikov razkroja lesa, dobro naravno odpornost. Posledično sklepamo, da se iz staranega lesa ne izpere toliko ekstraktivov, da bi to vplivalo na naravno odpornost. Poleg tega je potrebno upoštevati, da je bila zaradi velikega premera droga izpiranju izpostavljena le površina, osrednji del droga pa je ostal zaščiten pred biotskimi dejavniki razkroja.

V preglednici 6 so predstavljeni natančnejši podatki o izgubi mase in o vlažnosti lesa, izpostavljenega glivam. Če primerjamo vlažnost po 12 tednih izpostavitve glivam, lahko vidimo, da imajo vzorci kostanja nižjo vlažnost kot vzporedni vzorci smreke. Vlažnost vzorcev lahko povežemo tudi s stopnjo razkroja. V kolikor je višja vlažnost, imajo glive ugodnejše pogoje za rast in razvoj in posledično tudi povzročijo višjo izgubo mase. Poleg tega je iz podatkov v preglednici 6 razvidno, da imajo vzorci kostanja, ne glede na to ali gre za sveži les kostanja ali za star les, primerljivo vlažnost po izpostavitvi glivam. Pri smrekovini je, za razliko od kostanja, opaziti večje razlike. Temu sta vzrok nehomogena

struktura lesenega nosilca ter predhodne okužbe lesa z glivami, ki so posledično vplivale na interakcije gliv z lesom.

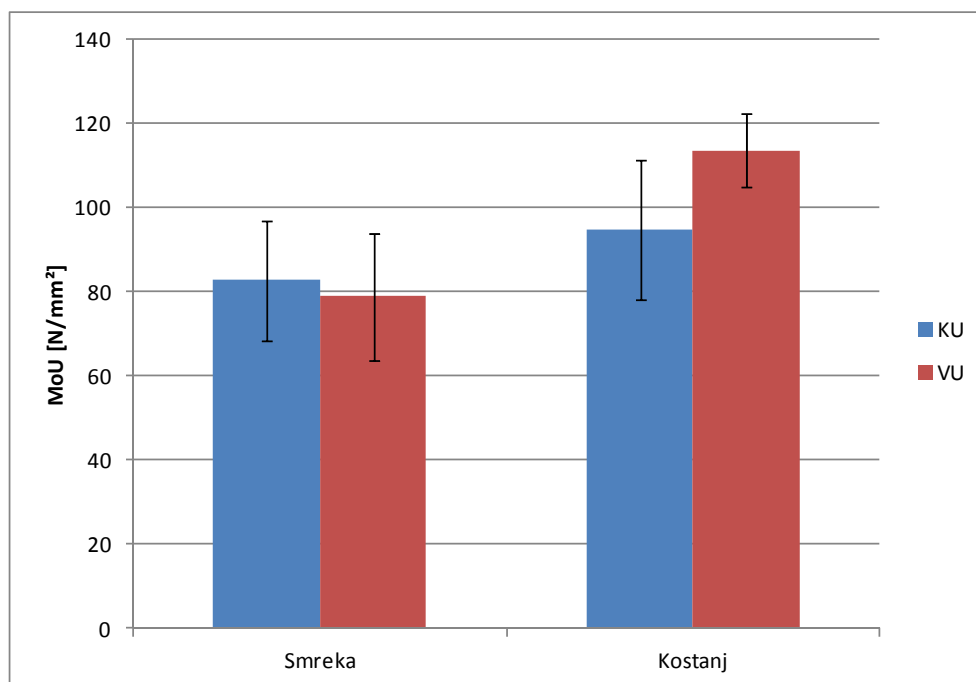
Preglednica 6: Izguba mase in vsebnost vode v vzorcih po 12 tednih delovanja gliv razkrojevalk lesa, standardne deviacije so podane v oklepajih

	KONTROLNI VZORCI		STAR LES	
Vrsta lesa/glive	Izguba mase (st.dev) [%]	Vsebnost vlage (st.dev) [%]	Izguba mase (st.dev) [%]	Vsebnost vlage (st.dev) [%]
SMREKA				
Gt2	27,3 (5,9)	137,8 (62,2)	43,1 (15,3)	126,8 (40,2)
Hf	19,5 (5,5)	107,2 (51,8)	28,8 (3,9)	71,8 (11,4)
Plo5	6,4 (6,5)	122,9 (58,8)	18,8 (5,3)	95,5 (40,5)
Pv2	14,3 (7,0)	63,4 (20,2)	18,0 (3,1)	69,8 (25,7)
Tv6	12,9 (7,2)	105,3 (56,5)	26,7 (9,8)	96,6 (25,7)
KOSTANJ				
Gt2	0,7 (0,2)	83,6 (9,0)	1,3 (0,2)	81,8 (5,4)
Hf	0,9 (0,4)	88,2 (12,3)	1,2 (0,3)	81,0 (10,2)
Plo5	1,6 (0,5)	89,4 (16,3)	2,2 (1,0)	89,7 (9,8)
Pv2	0,4 (0,5)	88,6 (16,8)	1,3 (0,3)	88,3 (5,7)
Tv6	1,8 (1,3)	91,4 (24,6)	1,9 (0,8)	90,0 (11,4)

4.2 MEHANSKE LASTNOSTI LESA

Mehanske lastnosti pogosto hitreje nakažejo 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; Starček 2012). V okviru te naloge smo se odločili za spremljanje upogibne trdnosti in tlačne trdnosti. Upogibna trdnost v največji meri odraža vpliv razgradnje celuloze, med tem ko je slabša tlačna trdnost pogosto posledica razgradnje lignina.

4.2.1 Upogibna trdnost (MoU) in modul elastičnosti (MoE)



Slika 27: MoU predstavlja upogibno trdnost (N/mm^2) kontrolnih, svežih (KU) in staranih (VU) vzorcev smreke in kostanja

Upogibno trdnost se velikokrat uporablja za določanje trdnosti lesa. Na trdnost lesa najbolj vpliva celuloza. V kolikor so zaznane spremembe v upogibni trdnosti, lahko le-te v največji meri pripišemo spremembam v strukturi celuloze.

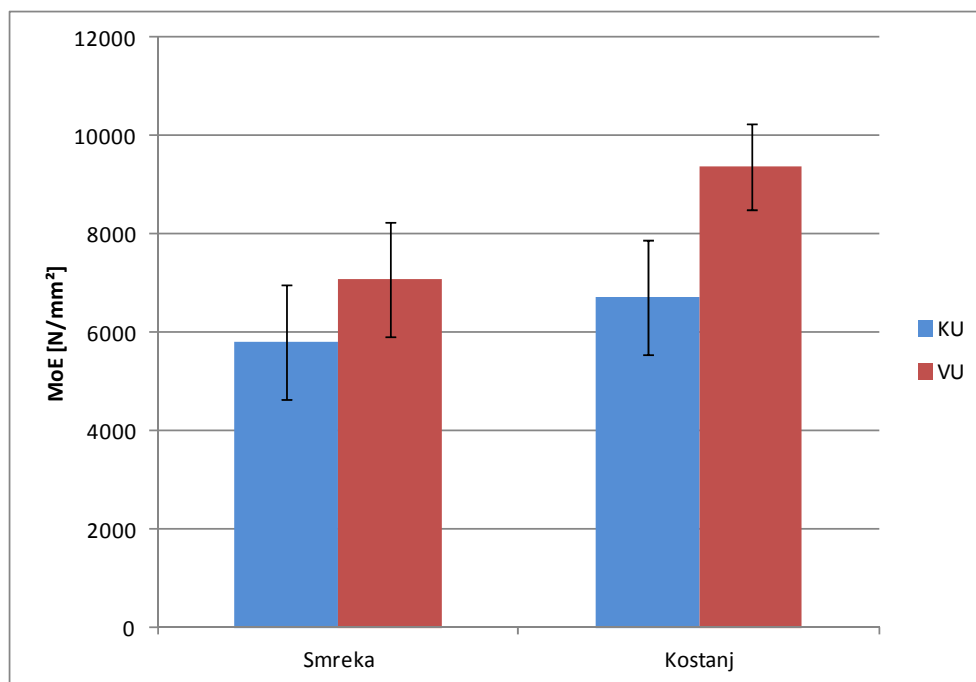
Če podrobneje pogledamo podatke na sliki 27, vidimo, da se upogibna trdnost s starostjo ne spreminja veliko. Opazna so le majhna odstopanja pri smreki, za katero smo že v osnovi

predpostavili nižjo upogibno trdnost v primerjavi s kostanjem. Upogibna trdnost starane smreke se je zmanjšala, med tem ko se je upogibna trdnost starega kostanja povečala. To lahko pripišemo predvsem variabilni zgradbi lesa. Kljub temu da je bila smreka vidno močno razkrojena, so deli zdravega lesa izkazali visoko upogibno trdnost. Žal so bili razkrojeni deli smrekovine tako razkrojeni, da iz njih ni bilo mogoče izdelati vzorcev, saj so se pri mehanski obdelavi zdrobili v prah. Na tem mestu se srečamo z metodološkim problemom, kako orisati mehanske lastnosti starega nosilca. V kolikor testiramo celega, bo morda le en žep trhlega lesa v upogibni coni povsem zameglil stanje na ostalih zdravih delih. Če pa testiramo posamezne, manjše dele lesa, razkrojen del zanemarimo, saj iz njega ni mogoče izdelati preizkušancev.

Vzorci, izdelani iz starane smrekovine, so imeli povprečno upogibno trdnost $78,8 \text{ N/mm}^2$, kar je le za 5 % slabše, kot pri kontrolnih vzorcih, izdelanih iz sveže posekane smrekovine, ki ima MoU $82,7 \text{ N/mm}^2$. Iz podatkov s slike 28 lahko razberemo, da se je povprečni modul elastičnosti testiranih vzorcev pri starani smrekovini zvišal za približno 18 % v primerjavi s svežo smreko, iz $5811,9 \text{ N/mm}^2$ na $7082,8 \text{ N/mm}^2$. Star les smreke je postal manj elastičen.

Upogibna trdnost staranega kostanja je višja od upogibne trdnosti sveže posekanega kostanja. Upogibna trdnost se je s starostjo izboljšala za 17 % (iz $94,5 \text{ N/mm}^2$ na $113,5 \text{ N/mm}^2$). Del teh nihanj lahko pripišemo variabilnosti in nehomogenosti lesa. Ključen podatek pri tem je, da se s starostjo mehanske lastnosti kostanja niso bistveno poslabšale, temveč so ostale primerljive.

Iz rezultatov upogibnih testov tako lahko zaključimo, da les smreke in kostanja kljub starosti in delni razkrojenosti zaradi gliv ne izgubi upogibne trdnosti. To potrjuje, da je les enkratna izbira pri gradnji stanovanjskih in poslovnih objektov.



Slika 28: MoE predstavlja modul elastičnosti (N/mm^2) kontrolnih, svežih (KU) in starih (VU) vzorcev smreke in kostanja

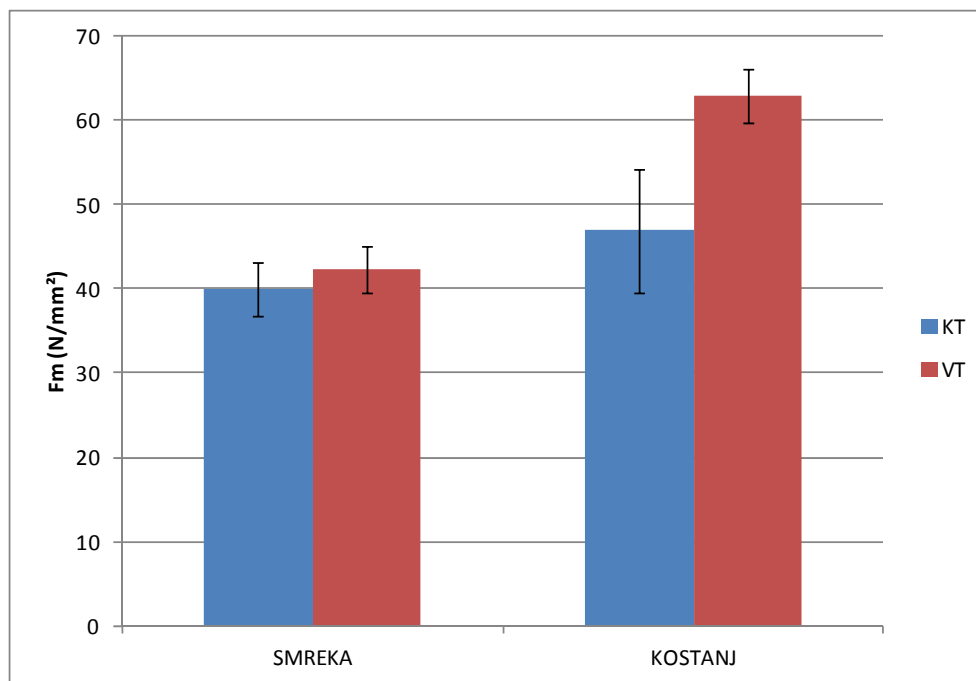
Modul elastičnosti starih vzorcev se je povečal. Pri vzorcih kostanja za 28 % (iz $6708,6 \text{ N/mm}^2$ na $9379,0 \text{ N/mm}^2$) in za 18 % (iz $5811,9 \text{ N/mm}^2$ na $7082,9 \text{ N/mm}^2$) pri smreki (preglednica 7). Naši rezultati so primerljivi z vrednostmi iz literature, ki navajajo 6700 N/mm^2 za smreko in 6600 N/mm^2 za kostanj (Van den Bulcke in sod., 2011).

Materiali z majhnim elastičnim modulom imajo večjo podajnost (upogljivost), oziroma so prožni, tisti z velikim modulom pa so togi. Med osnovnimi kemičnimi spojinami lesa značilno vplivata na elastičnost v mikrofibrilah kristalizirana celuloza in inkrustirani amorfni lignin (Gorišek, 2009).

Kot to navajajo tudi Thaler in sod. (2013a), verjamemo, da je upogibna trdnost bolj realen podatek za ugotavljanje razlik v mehanskih lastnostih. Najpomembnejši razlog je prav modul elastičnosti, ki je definiran kot koeficient napetostno deformacijske krivulje v elastično deformacijskem območju, kar pomeni, da imajo bolj togi materiali, za katere ni nujno, da so tudi trdnejši, višji modul elastičnosti (Thaler in sod., 2013b).

Lep primer za to so testirani vzorci smreke. Svež smrekov les ima višjo upogibno trdnost v primerjavi s starim lesom in nižji modul elastičnosti v primerjavi z vzorci stare smrekovine.

4.2.2 Tlačna trdnost (F_m)



Slika 29: F_m predstavlja tlačno trdnost (N/mm²) kontrolnih, svežih (KT) in starih (VT) vzorcev smreke in kostanja

Na sliki 29 je prikazana povprečna tlačna trdnost vzorcev smreke in kostanja. Lignin je tista komponenta v lesu, ki ima največji vpliv na tlačno trdnost. Podobno, kot je to bilo opisano že pri ostalih mehanskih lastnostih (Slika 27 in 28), je tudi tlačna trdnost višja pri kostanju. Poleg tega iz teh podatkov lahko razberemo, da je tlačna trdnost vzorcev starega lesa boljša od tlačne trdnosti sveže posekanega lesa.

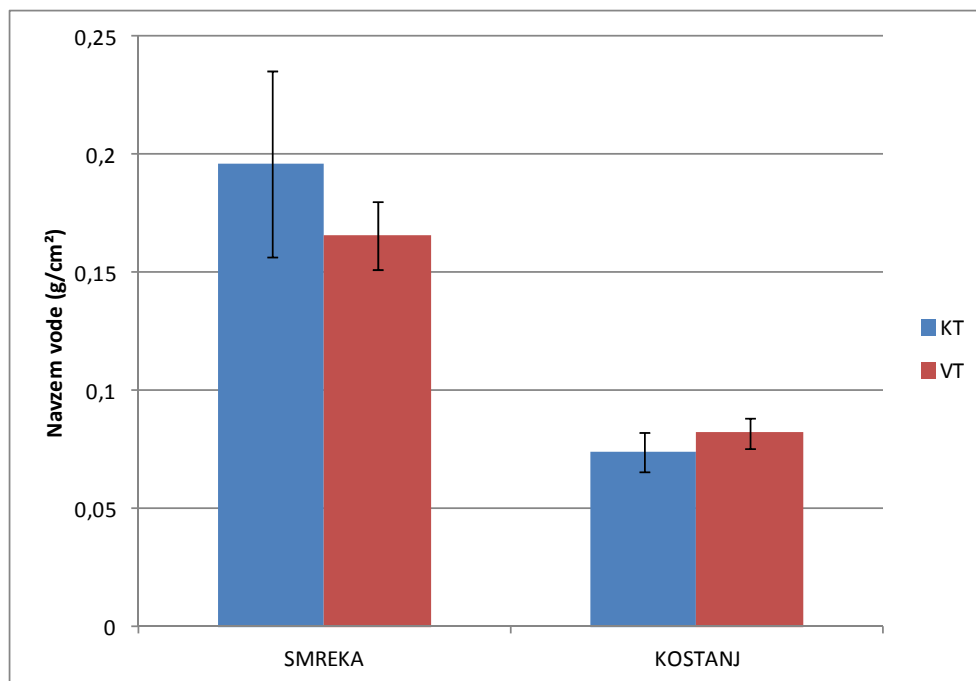
Povprečna tlačna trdnost je v obeh primerih višja pri starem kot pri svežem lesu. Pri starem lesu smreke za približno 6 %, iz 39,9 N/mm² na 42,3 N/mm², in za 25 % v primeru kostanja, iz 46,9 N/mm² na 62,9 N/mm² (Preglednica 7).

Predvidevamo, da je več možnih vzrokov za izboljšanje tlačne trdnosti v procesu staranja lesa. Večja povprečna trdnost starega materiala je lahko posledica variabilnosti in nehomogenosti materiala. Drugi razlog pa je povezan s sušenjem. Če les sušimo, pride do tesnejših interakcij med celuloznimi fibrilami, posledično se mehanske lastnosti izboljšujejo. Green in sod. (1999) so zapisali, da včasih sušenje pri temperaturah do 140 °C pozitivno vpliva na mehanske lastnosti. Na slabšanje trdnosti pa lahko vplivajo ekstraktivi v lesu in okužba z glivami.

Preglednica 7: Primerjava povprečnih vrednosti in standardnih deviacij mehanskih lastnosti (modul elastičnosti – MoE, upogibna trdnost – MoU in tlačna trdnost – F_m) vzorcev smreke in kostanja

Lesna vrsta / mehanske lastnosti	KONTROLNI VZORCI			STAR LES		
	MoE (st.dev.) [N/mm ²]	MoU (st.dev.) [N/mm ²]	F_m (st.dev.) [N/mm ²]	MoE (st.dev.) [N/mm ²]	MoU (st.dev.) [N/mm ²]	F_m (st.dev.) [N/mm ²]
SMREKA	5811,9 (1172,0)	82,7 (14,3)	39,9 (3,2)	7082,9 (1167,9)	78,8 (15,1)	42,3 (2,8)
KOSTANJ	6708,6 (1161,3)	94,5 (16,6)	46,9 (7,3)	9379,0 (876,5)	113,5 (8,7)	62,9 (3,1)

4.3 KAPILARNI NAVZEM VODE



Slika 30: Kapilarni navzem vode (g/cm²) kontrolnih, svežih (KT) in staranih (VT) vzorcev smreke in kostanja

S tenziometrom lahko ocenimo hitrost kratkotrajnega navlaževanja. Ta podatek je zelo indikativen, saj osvetli, kako hitro se navlaži les v primeru kratkotrajnih padavin. Hitreje kot se les navlaži, bolj je dovzeten za glivni razkroj. Po drugi strani je tudi znano, da se permeabilnost lesa, izpostavljenega delovanju gliv, v prvih stopnjah razkroja povečuje. Na zvečanje permeabilnosti še posebej vplivajo glive bele trohnobe (Thaler in sod. 2012).

Količina absorbirane vode je odvisna od več dejavnikov. Če izpostavimo longitudinalno smer lesa vodi, povzročimo najhitrejši navzem (Thaler in sod. 2013a). Slika 30 prikazuje, da je navzem pri kostanju za skoraj polovico manjši kot pri smreki. To lahko pripišemo relativno visoki gostoti lesa kostanja ($\rho = 530..590 \text{ kg/m}^3$) v primerjavi s smreko ($\rho = 430 \text{ kg/m}^3$) in tilam v lumnih lesa kostanja. Vsi ti dejavniki pa močno zavirajo kapilarni navzem vode.

Primerjava starega lesa kostanja in sveže kostanjevine je pokazala, da je star les kostanja v 200 s vpil več vode ($0,08 \text{ g/cm}^2$) kot svež les ($0,07 \text{ g/cm}^2$), vendar so razlike relativno majhne, le 10 %.

Bistveno večje razlike pa opazimo pri smrekovini. Za približno 55 % je bil višji povprečni kapilarni navzem smrekovine v primerjavi s kostanjevim lesom. Razlogi za razlike se skrivajo v anatomski zgradbi in gostoti. Smrekovina ima v povprečju večje celice, zato je kapilarni navzem vode višji. V nadaljevanju se je izkazalo, da imajo vzorci sveže smrekovine višji povprečni navzem kot vzorci starega lesa. Navzem pri starem lesu se je zmanjšal za približno 15 %, iz $0,20 \text{ g/cm}^2$ na $0,17 \text{ g/cm}^2$ (Preglednica 8). Razlogov za to je več. Prvi razlog je, da se pri lesu smrekovine, ki so ga razkrojile glive rjave trohnobe, poveča delež lignina. Lignin pa deluje hidrofobno, kar se odraža v nižjem kapilarnem navzemu vode (Thaler in sod., 2012). Poleg tega so se v razkrojenem lesu smrekovine pojavili žepki trohnobe. Ti žepki so bili veliki nekaj mm^2 . Tako velike vrzeli ne delujejo kot kapilare, zato se je v bistvu zmanjšala površina lesa v stiku z vodo. To je drugi razlog za manjši kapilarni navzem vode v delno razkrojen smrekov les.

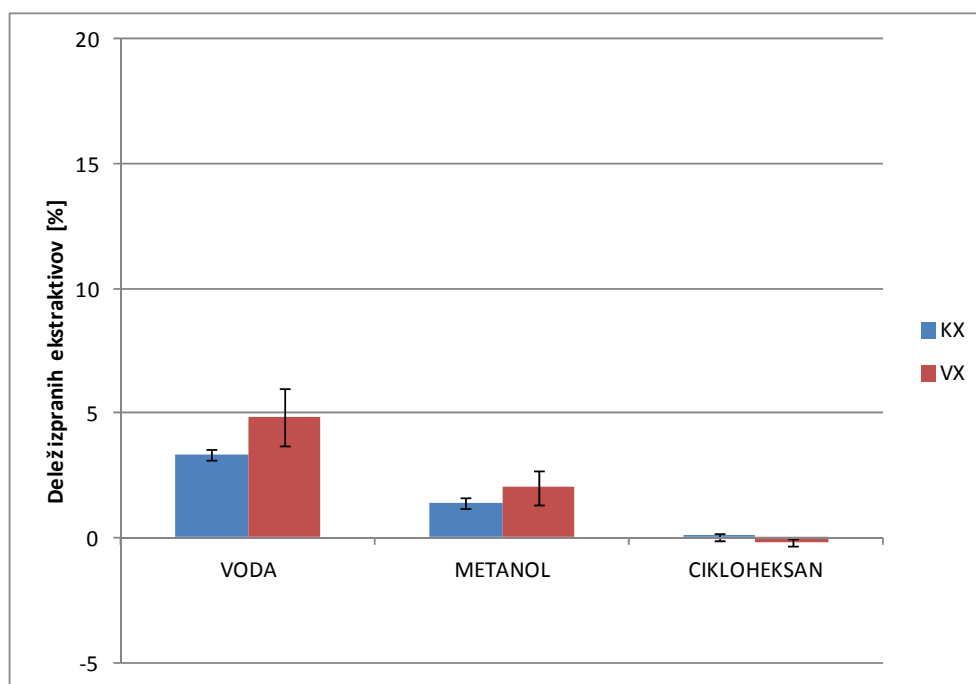
Preglednica 8: Primerjava navzema pri smreki in kostanju. V oklepajih so zapisane standardne deviacije.

	KONTROLNI VZORCI	STAR LES
Lesna vrsta / navzem	Navzem (st.dev.) [g/cm^2]	Navzem (st.dev.) [g/cm^2]
SMREKA	0,2 (0,04)	0,17 (0,01)
KOSTANJ	0,07 (0,01)	0,08 (0,01)

4.4 EKSTRAKCIJA PO SOXHLETU

Z ekstrakcijo smo izprali posamezne komponente, topne v določenem topilu. Delež izpranih ekstraktivov v lesu smo določili gravimetrično s tehtanjem izgube mas po ekstrakciji. Ekstraktivi na splošno predstavljajo zelo pomembno komponento, ki vpliva na naravno odpornost lesa. V lesu obstajata dve vrsti ekstraktivov: takšni, ki zmanjšujejo odpornost lesa, in takšni ki, jo povečujejo. Rezultati so pokazali manjšo vsebnost ekstraktivov v lesu smreke v primerjavi z lesom kostanja. Ta rezultat je pričakovan in je v skladu s podatki v literaturi (Lesar in sod., 2010).

4.4.1 Delež ekstraktivov v smrekovini



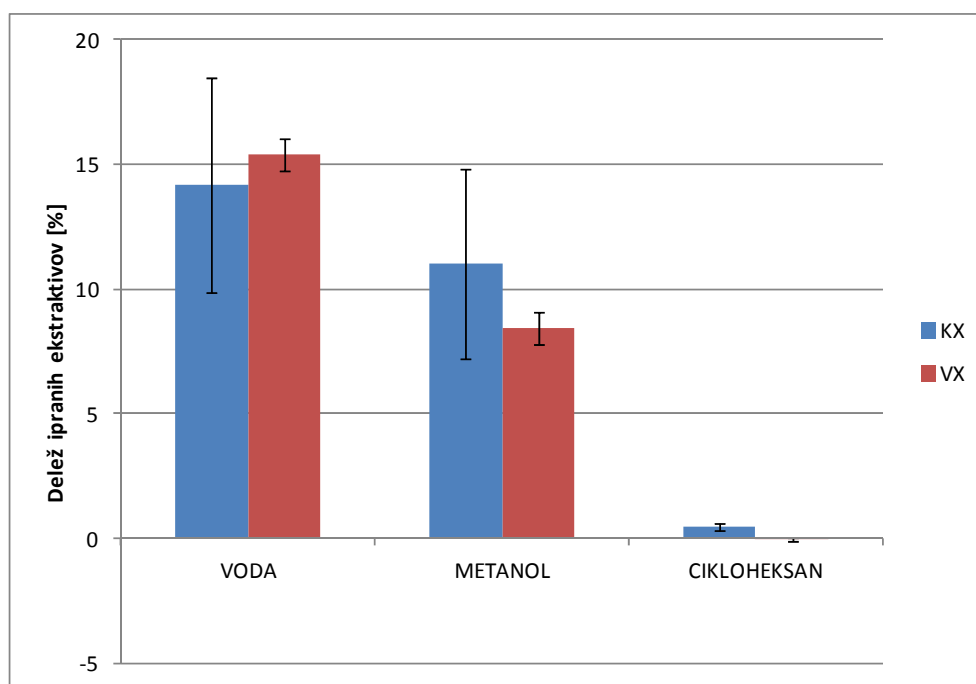
Slika 31: Delež ekstraktivov [%], ki smo jih izprali iz kontrolnih, svežih (KX) in starih (VX) vzorcev smreke s tremi različnimi topili: vodo, 70 % metanolom in cikloheksanom

Primerjava različna topil je pokazala (Slika 31), da se je največ ekstraktivov iz smrekovine izpralo pri ekstrakciji z vodo (polarno topilo). Pri kontrolnem lesu z uporabo vode se je v povprečju izpralo 3,3 %, pri staranem lesu pa 4,9 % ekstraktivnih snovi. Nižje deleže ekstraktivov smo zabeležili pri ekstrakciji s 70 % metanolom, kjer se je pri staranem lesu izpralo za 0,6 % več ekstraktivov (2,0 %) v primerjavi s svežimi vzorci (1,4 %).

Najnižje vrednosti, tudi negativne, so opazne pri uporabi cikloheksana, kjer se je v primeru svežih vzorcev izpralo 0,05 % ekstraktivnih snovi in pri starem lesu -0,2 %.

Kakorkoli, delež ekstraktivov ni edini podatek, ki je pomemben. Poleg tega je pomembna še kemijska sestava ekstraktivov. Po vsej verjetnosti se je povečal delež ekstraktivov v smrekovem lesu zaradi začetnega razkroja. Delno razkrojen les vsebuje razgradne produkte, ki jih glive še niso absorbirale. V nadaljevanju je tako nujno potrebno osvetliti tudi kemijsko sestavo ekstraktivov.

4.4.2 Delež ekstraktivov v kostanjevini



Slika 32: Delež ekstraktivov [%], ki smo jih izprali iz kontrolnih, svežih (KX) in staranih (VX) vzorcev kostanja s tremi različnimi topili: vodo, 70 % metanolom in cikloheksanom

Pri kostanju zaznamo podoben vzorec učinkovitosti ekstrakcije z različnimi topili kot pri smreki. Tudi pri kostanju se je največ ekstraktivov izpralo z vodo in najmanj s cikloheksanom (Slika 32). Iz kostanja smo izpirali fenolne snovi, ki služijo kot zaščita v lesu in so topni v polarnih topilih (metanol). Najbolj poznan proizvod iz ekstraktivov kostanja je vsem dobro poznana polifenolna spojina tanin ali z drugim imenom čreslovina.

Tak komercialni proizvod ima veliko uporabnost, v lesu pa je njegova najpomembnejša naloga povečevanje naravne trajnosti (Lesar in sod., 2010).

V povprečju smo iz jedrovine kostanja izprali višji delež ekstraktivov kot pri smreki. Z vodo smo pri staranih vzorcih kostanja izprali približno 8 % (15,4 %) več kot pri svežih vzorcih (14,2 %). Tako majhna razlika je statistično zanemarljiva zaradi velike variabilnosti vzorcev. Hkrati pa je pomembno tudi to, da smo vzorce staranega lesa kostanja odvzeli v notranjosti droga in ne na površini, kjer se je po predvidevanjih tekom rabe izpral višji delež ekstraktivov. V notranjosti to ni bilo mogoče.

Z uporabo 70 % metanola smo izlužili višjo količino ekstraktivov pri svežem lesu (11,0 %) kot pri staranem lesu (8,4 %). Povprečna količina izpranih ekstraktivov je nižja. Najmanjše vrednosti smo dobili z uporabo cikloheksana, kjer so bile izprane količine minimalne, tudi negativne (vzorci staranega lesa kostanja so dosegli -0,1 %). Medtem je vrednost izpranih ekstraktivov iz svežega lesa le malenkost nad pozitivno vrednostjo (0,5 %). S cikloheksanom se je izpralo najmanj ekstraktivov, ker je cikloheksan topilo lipofilnih ekstraktivov (Zule, 2011).

Če povzamemo, največ ekstraktivov se je izpralo iz lesa kostanja z uporabo topila vode (Preglednica 9). Drugo topilo, ki je pripomoglo k najvišjemu izlužku ekstraktivov iz lesa, je metanol in nenazadnje cikloheksan, čigar vrednosti so bile pri staranem lesu negativne. Pri smreki se je v povprečju izpralo manj ekstraktivov, pojavlja se isti vzorec glede učinkovitosti ekstrahiranja. Tudi po več desetletjih uporabe je večina ekstraktivov ostala v lesu, kar se odraža tudi v ohranjeni odpornosti jedrovine kostanja.

Preglednica 9: Primerjava izpranih ekstraktivov iz vzorcev smreke in kostanja z uporabo treh različnih topil (voda, metanol in cikloheksan). V oklepajih so zapisane standardne deviacije.

	KONTROLNI VZORCI	STAR LES
Lesna vrsta / navzem	EX (st.dev.) [%]	EX (st.dev.) [%]
SMREKA		
voda	3,3 (0,2)	4,9 (1,2)
metanol	1,4 (0,2)	2,0 (0,7)
cikloheksan	0,05 (0,1)	- 0,2 (0,1)
KOSTANJ		
voda	14,2 (4,3)	15,4 (0,6)
metanol	11,0 (3,8)	8,4 (0,6)
cikloheksan	0,5 (0,1)	-0,1 (0,1)

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

Barvo starih vzorcev smreke in kostanja smo primerjali z vzorci svežega lesa. Barvno spremembo smo ovrednotili s pomočjo CIE – L* a* b* sistema, pri čemer smo vsakemu vzorcu določili osnovne tri spremenljivke barvnega koordinatnega sistema. Na podlagi teh spremenljivk smo dobili naslednje vrednosti, zapisane v preglednici 10. Tu velja omeniti, da smo barvo določali lesu v notranjosti, lesu, ki ni bil neposredno izpostavljen delovanju abiotских dejavnikov razkroja.

Preglednica 10: Povprečne vrednosti spremenljivk L*, a*, b* in spremembe barve ΔE za kontrolne vzorce in star les smreke in kostanja

	KONTROLNI VZORCI			STAR LES			Razlika v barvi
Lesna vrsta / sprememba barve	L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔE
SMREKA	85,19	3,61	16,13	64,21	5,16	14,63	21,08
KOSTANJ	71,57	4,10	13,21	58,45	6,98	16,44	13,81

Če naprej pogledamo vrednosti spremenljivk za smrekov les, vidimo, da se je vrednost L*, ki določa svetlost lesa, zmanjšala. To nam pove, da je barva staranega lesa močno potemnela, saj je vrednost L* padla iz 85,19 na 64,21. Vrednost a*, ki določa lego barve na rdeče (+) - zeleni (-) osi, pa se je povečala in razlika nam da negativen predznak, kar nam pove, da se barva nagiba k zeleni. Pri staranem lesu tako zavzema vrednost 5,16, kar je za 1,55 več kot pri svežem lesu. Vrednost b*, ki določa lego barve na rumeno (+) - modri (-) osi, pa se je v primerjavi s kontrolnimi vzorci zmanjšala za 1,5 in dosega vrednost 14,63 pri starem lesu. Sprememba ima pozitiven predznak, kar nakazuje rumeno barvo. To nam pove, da ni vidnih znakov modrenja na starem lesu smrekovine.

V kolikor pa primerjamo kostanjev les, vidimo, da se je vrednost L* pri starem lesu prav tako zmanjšala (iz 71,57 na 58,45), kar ponovno nakazuje na potemnelost lesa. Vrednost

a^* se je tako kot pri smreki povečala iz 4,10 na 6,98, vendar nam razlika da negativni predznak, kar na koordinatnem sistemu določa zeleno barvo lesa. Vrednost b^* pa se je povečala iz 13,21 na 16,44, sprememba je prav tako negativna in nakazuje modro barvo.

Sprememba barve je v obeh primerih lesne vrste vidno opazna. Najvišja sprememba barve je opazna pri smreki in znaša 21,08. Pri kostanju je ta barvna sprememba nižja, le 13,81. V obeh primerih je les vidno temnejši.

Rezultati nam povedo, da les s starostjo spreminja svojo barvo. Ne glede na vrsto lesa, ta izgubi svojo svetlost in potemni. Barva je tako eden pomembnih kazalnikov starosti lesa. Starejši les je temnejši in bolj rumenkast.

5 SKLEPI

Vse glive, ki smo jim izpostavili vzorce, so bile vitalne, saj so uspešno razgradile les. Višjo izgubo mase so povzročile pri staranem lesu smrekovine. V povprečju je izguba mase staranega lesa višja kot sveže posekanega lesa. Povprečna izguba mase vzorcev kostanja po izpostavitvi glivam je zanemarljiva, saj je, ne glede na svež ali staran les, razkroj nižji od 3 % povprečne izgube mase. Standard SIST EN 113 smatra vse izgube mase nižje od 3 % kot zanemarljive.

Pri smrekovem lesu je najvišjo izgubo mase povzročila gliva navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*), povzročiteljica rjave trohnobe. Bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus*), povzročitelj bele trohnobe, je bil najbolj dejaven na staranem lesu kostanja. Les s starostjo izgublja na fungicidnih lastnosti.

Les smrekovine ima med izpostavitvijo glivam višjo povprečno vlažnost kot les kostanja. Les kontrolnih vzorcev ima v osnovi višjo vlažnost kot les, razkrojen zaradi napada gliv razkrojevalk.

Mehanske lastnosti se s staranjem lesa nekoliko spremenijo. Upogibna trdnost smrekovih vzorcev se ni bistveno poslabšala. Upogibna trdnost staranega kostanja se ne spremeni, prav tako tlačna trdnost. Modul elastičnosti je pri obeh vrstah lesa višji, kar nakazuje manjšo elastičnost lesa.

Razlike v navzemu kapilarne vode v les so zelo majhne. Navzem se s starostjo lesa pri vzorcih smreke zmanjša, pri kostanju pa poveča.

Z ekstrakcijo s polarnim topilom (voda) smo izprali največ ekstraktivov iz lesa kostanja. Pri vzorcih smreke je bil določen nižji odstotek ekstraktivov. Ugodna je bila tudi mešanica vode in metanola, cikloheksan je izpral iz lesa le malo ekstraktivnih snovi. Višji odstotek ekstraktivnih snovi smo izprali iz staranega lesa.

6 POVZETEK

Les pridobiva na pomenu kot gradbeni material, pri katerem pa se soočamo z vprašanji življenjske dobe in naravne trajnosti. To je še posebej pomembno za pravilno načrtovanje in vzdrževanje lesenih konstrukcij, saj je les, uporabljen na prostem, izpostavljen biotskim in abiotskim dejavnikom razkroja.

Življenjska doba lesa je odvisna od več dejavnikov, kot so: podnebni pas, lokalni pogoji uporabe, vrsta lesa in mesto uporabe. Znano je, da je klima v Sloveniji izrazito neugodna za rabo lesa na prostem. Žal ima večina domačih lesnih vrst naravno neodporen les, ki je še bolj podvržen razkroju in hitrejšemu staranju.

Zanimalo nas je, kako se spreminjajo izbrane lastnosti lesa smrekovine in kostanjevine tekom staranja. Uporabili smo več deset let star kostanjev drog (kostanj – *Castanea sativa* Mill.) in šest let star smrekov nosilec (smreka – *Picea abies* L.).

Za določevanje fungicidnih lastnosti lesa smo uporabili pet gliv, od tega dve glivi rjave trohnobe (navadna tramovka in bela hišna goba) in tri glive bele trohnobe (ogljena kroglica, bukov ostrigar in pisana ploskocevka). Odpornost lesa na izbrane glive razkrojevalke smo določili v skladu z modificiranim standardom SIST EN 113. Izgubo mase smo določali gravimetrično. Določili smo tudi mehanske lastnosti, kjer smo uporabili tritočkovno metodo za določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti. Testiranje je potekalo na univerzalnem stroju Zwick, kot to določa standard SIST EN 310. Zanimala nas je tudi sprememba tlačne trdnosti. Da bi osvetlili dovzetnost lesa na glivni razkroj, smo izmerili kapilarni navzem vode v les, to natančneje opisuje modificirani standard SIST EN 1609, z uporabo tenziometra. Ekstrakcijo po soxhletu smo izvedli s tremi različnimi topili: voda, metanol in cikloheksan. Barvne spremembne na lesu smo določili s posluževanjem numeričnega vrednotenja barve po CIE – L*, a*, b* sistemu in s pomočjo programske opreme CorelDRAW8.

Višja povprečna izguba mase po izpostavitvi glivam je bila opazna pri smreki, kjer je najvišji razkroj povzročila navadna tramovka s 43,1 % pri vzorcih starega lesa. Pri

kostanju je opazna dobra naravna odpornost, saj je povprečen razkroj povsod nižji od 3 %, ki ga določa standard in velja za zanemarljivo vrednost. Kljub temu je največji razkroj povzročila gliva bukov ostrigar z 2,18 % izgubo mase. Tudi vlažnost vzorcev je nižja kot pri smreki, kar dodatno nakazuje na slabšo naravno odpornost smrekovine.

Mehanske lastnosti se s staranjem ne spreminjajo. Tlačna trdnost starega lesa smreke in kostanja se je celo zvišala. Modul elastičnosti se je prav tako povišal, kar nakazuje na manjšo elastičnost materiala.

Kapilarni navzem vode v les je za približno 50 % višji pri smreki v primerjavi s kostanjem.

Iz lesa kostanja smo ekstrahirali najvišji delež ekstraktivov. To smo dosegli z uporabo polarnega topila (vode), s katero smo pri starem lesu določili 15,4 % ekstraktivnih snovi, kar je za 1,2 % več kot pri kontrolnih, nestaranih vzorcih. To dokazuje, da ima les kostanja veliko ekstraktivnih snovi, ki povečujejo njegovo naravno odpornost. Pri smreki se je v povprečju izpralo manj ekstraktivov. V vodi izprane vrednosti so dosegle le 4,9 % pri staranem lesu.

Z numeričnim vrednotenjem barv po CIE – L*, a*, b* sistemu smo določili, da je v primeru smreke barvna sprememba (ΔE) 21,08, kar nakazuje na to, da se je svetlost staranemu lesu zmanjšala. Ali z drugimi besedami rečeno, les je potemnel. Pri kostanju se odvija podobna zgodba, kjer ΔE znaša 13,81, les je s starostjo potemnel, ampak še zmeraj manj kot les smreke.

7 VIRI

- Aloui F., Ayadi N., Charrier F., Charrier B. 2004. Durability of European oak (*Quercus Petrea* and *Quercus robur*) against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): relations with phenol extractives. Holz als Roh und Werkstoff, 62: 286-290
- Bhat K., Florence E. 2003. Natural decay resistance of juvenile Teak wood grown in high imput plantations. Holzforschung, 57: 453-455
- Bhat K., Thulasidas P., Maria Florence E. 2005. Wood durability of home-garden teak against brown-rot and white-rot fungi. Trees, 19: 654-660
- Brischke C., Bayerbach R., Rapp A. O. 2006. Decay-influencing factors: A basis for service life prediction of wood and wood-based products. Wood Material Science and Engineering 1: 91-107
- Brezar V. 2008. Recenzija. V: Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Kitek Kuzman M. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 10-11
- Brischke, C. Meyer, L., Alfredsen, G., Humar, M., Francis, L., Flæte, P.-O., Larsson-Brelid, P. 2012. Durability of timber products – Part 1: Inventory and evaluation of above ground data on natural durability of timbers. The international research group on wood protection. IRG/WP 12-2 (v pripravi)
- Brischke, C., Welzbacher, C.R., Gellerich, A., Bollmus, S., Humar, M., Plaschkies, K., Scheiding, W., Alfredsen, G., Van Acker, J, De Windt, I. 2013. Determination of the natural durability of solid wood against wood-destroying fungi – a European round-robin test. The international research group on wood protection. IRG/WP 13-20 (v pripravi)
- Brus R. 2011. Dendrologija za gozdarje: univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 408 str.

- Charrier B., Irmoulin M., Charpentier J., Jay Allemand C., Feuillat F., Keller R. 2001. Interspecific variability of European oak durability against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): Comperation between sessile oak and penduncle oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*). International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 01-10393: 8 str.
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa: univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Dinwoodie J. 2000. Timber: Its nature and behaviour. E & FN Spon, London: 257 str.
- Fabčič B. 2008. Vpliv širine branik hrastovine na naravno odpornost proti glivam razkrojevalkam. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. Ljubljana: 77 str.
- Flaete P., Haartveit E. 2004. Non-destructive prediction of decay resistance of *Pinus sylvestris* heartwood by Near Infrared Spectroscopy. Scandinavian journal of forest research, 19: 55-63
- Gerardin P., Neya B., Dumarcay S., Petrissans M., Serraj M., Huber F. 2004. Contribution of gums to natural durability of *Prosopis africana* heartwood. Holzforschung, 58: 39-44
- Geršak M., Velušček V. 2003. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 194 str.
- Gierlinger N., Wimmer R. 2004. Radial distribution of heartwood extractives and lignin in mature European Larch. Wood and fibre science, 36: 387-394
- Gorišek Ž. 2009. Les – zgradba in lastnosti lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.
- 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., Ayadi N., Snakkers 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 properties. Wood Science and Technologie, 38: 539-554

Haupt M., Leithoff H., Meier D., Puls J., Richter H., Faix O. 2003. Heartwood extractives and natural durability of plantation-grown teakwood (*Tectona Grandis* L.) a case study. Holz als Roh- und Werkstoff, 31: 473-474

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

Humar M. 2008b. Bela hišna goba – gliva, ki razkraja tudi zaščiten les. Les, 60, 2: 77

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

Humar M. 2009. Ogljena kroglica ali jagodasti skorjeder. Les, 61, 11-12: 451

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 Bioteterioration and Biodegradation, doi:101016/j.ibiod.2008.03.010: 4 str.

Humar M, Krajnc N., Kropivšek J. Kutnar A. Likar B., Piškur M., Milavec I., Tavzes Č. 2012. Izhodišča za prestrukturiranje slovenske lesnopredelovalne industrije. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 35 f.

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

- Kokotuse A., Stokes A., Bailleres H., Kokou K., Baudasse C. (2006) Decay resistance of Togolese teak (*Tectona grandis* L.f) heartwood and relationship with colour. *Trees*, 20: 219-223
- Lesar B., Humar M., Oven P. 2010. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegova trajnost. *Les*, 62, 11-12: 408-414
- Lesar B., Zupančič M., Pohleven F., Oven P., Humar M. 2010. Vpliv širine branik hrastovine in deleža ekstraktivov na naravno odpornost proti glivam razkrojevalkam lesa. *Les*, 62: 3-4
- Lesarski priročnik. 2008. 1. Izdaja. Ljubljana. DZS: 615 str.
- Lesarski terminološki slovar. 2008. 1. izdaja. Ljubljana, Zveza lesarjev Slovenije, Lesarska založba: 121 str.
- Panshin A., De Zeeuw C. 1980. *Textbook of Wood Technology*, 4 izd. McGraw-Hill, New York: 722 str.
- Pavlič M., Kričej B., Petrič M. 2008. Spektrofotometer – inštrument za numerično vrednotenje barve in barvnih razlik. *Les*, 60, 1: 22-23
- Piškur B., Pohleven F. 2009. Les kot hrana. *Les*, 60, 3: 92-97
- Pohleven F. 2008. Pisana ploskocevka – najbolj pogosta lesna goba. *Les*, 60, 3: 115
- Pohleven F. 2008. Konstrukcijska zaščita lesa pred škodljivci. V: *Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo*. Kitek Kuzman M. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 96-100
- Pohleven F. 2009. Zaščita lesene etnološke dediščine pred škodljivci. *Glasnik SED* 49|1,2: 80-81

- Pohleven F., Petrič M. 1992. Ekološke perspektive zaščite lesa pred škodljivci. Nova proizvodnja, 3: 94-97
- Reis M. 1973. Variation in decay resistance of four wood species of Southeastern Brazil. *Holzforschung*, 27(3): 103- 111
- Ressel, J. 2007. Wood anatomy – an introduction. V Perre, P. 2007. Fundamentals of wood drying. COST E15 Nancy: 366 str.
- SIST EN 310. Wood Based Panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium. 1993
- SIST EN 113. Zaščitna sredstva za les – Določanje meje učinkovitosti proti glivam odprtotosnicam. 1995: 25 str.
- SIST EN 1609. Thermal insulating products for building applications - Determination of short term water absorption by partial immersion. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium. 1997
- SIST EN 335-1/2. Trajnost lesa in lesnih proizvodov – Definicije razredov uporabe – 1. in 2. del. 2011: 23 str.
- 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: 42 str.
- Starček N. 2012. Vpliv biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja na odpornost, mehanske in sorpcijske lastnosti lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Študij biotehnologije: 85 str.

- Thaler N, Humar M. 2013a. Mechanical and fungicidal properties of approximately 100 years old oak, beech and spruce wood beams (v pripravi)
- Thaler N, Humar M. 2013b. Changes of fungicidal, mechanical and sorption properties of wood during above ground outdoor exposure. International Research Group for Wood Protection, IRG/WP: 13-20513
- Thaler N., Lesar B., Humar M. 2012. Življenjska doba lesa, impregniranega s komercialnim baker-etanolaminskim pripravkom, v stiku z zemljo. Les, 64 (11/12): 327-332
- Thaler N., Lesar B., Kariž M., Humar M. 2012. Bioincising of Norway spruce wood using wood inhabiting fungi. *Int. biodeterior. biodegrad.*. [Print ed.], vol. 68, no. 1, str. 51-55
- Torelli N. 2003. Ojedritev – vloga in proces. Les, 55(11): 368-379
- Torelli N. 1990. Les & skorja: slovar strokovnih izrazov. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 70 str.
- Torelli, N. 2005. Lunarni les, mit ali resničnost. Zbornik gozd. in les, 76: 71-101
- Unger A., Schniewind A. P., Unger W. 2001. Conservation of wood Artifacts. Berlin, Springer: 165-265
- Van den Bulcke, J., De Windt, I., Defoirdt, N., & Van Acker, J. 2011. Non-destructive evaluation of wood decay Non-destructive evaluation of wood decay. *Proceedings IRG Annual Meeting, IRG/WP 11-20479*, 11 pp.
- Vek V. 2007. Spremembe mehanskih lastnosti lesa zaradi delovanja gliv modrivk. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 58 str.

- Viitanen H., Leena P., Teijo N., Pirkko V. 1998. Decay resistance of Siberian Larch wood against brown rot fung. Part 2. The effect of genetic variation. International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 98-10287: 6 str.
- Viitanen H., Paaanen L., Saranpaa P., Viitaniemi P. 1997. Durability of larch (*Larix* spp) Wood against brownrot fungi. International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 97-10228: 9 str.
- Windesen E., Wagener G., Lasnino G., Schumacher P. 2002. Investigation of the correlaton between extractives content and natural durability in 20 cultivated larch trees. Holz als Roh- und Werkstoff, 60: 373-374
- 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 Humar za njegov čas, znanje in kritike pri izdelavi magistrskega dela in recenzentu izr. prof. dr. Primožu Ovnu za opravljeno strokovno recenzijo.

Rada bi se zahvalila tudi mlademu raziskovalcu Nejcu Thalerju za pomoč pri eksperimentalnem delu in za pomoč s strokovnimi nasveti. Hvala.

Iskrena hvala mojim najbližjim za podporo in potrpežljivost pri doseganju zastavljenih ciljev.

Hvala vsem.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Mojca ŽLAHTIČ

VPLIV NARAVNEGA STARANJA NA IZBRANE
LASTNOSTI SMREKOVINE IN KOSTANJEVINE

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2013