

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matevž BREGAR

**NARAVNA ODPORNOST, DELEŽ EKSTRAKTIVOV
IN IZBRANE MEHANSKE LASTNOSTI
ŽE UPORABLJENE JEDROVINE HRASTA**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

**NATURAL DURABILITY, EXTRACTIVE RATIO
AND SELECTED MECHANICAL PROPERTIES
OF ALREADY USED OAK HEARTWOOD**

B. Sc. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2015

Diplomski projekt je zaključek Visokošolsko strokovnega študija – 1. stopnje Tehnologija lesa in vlaknatih kompozitov. Delo je bilo opravljeno v Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa in na Katedri za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo odobril naslov diplomskega projekta in za mentorja imenoval prof. dr. Miha Humarja in za recenzenta prof. dr. Franca Pohlevna.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Matevž Bregar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*841.4
KG	naravna odpornost/jedrovina/ekstraktivi/hrast
AV	BREGAR, Matevž
SA	HUMAR, Miha (mentor)/POHLEVEN, Franc(recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	NARAVNA ODPORNOST, DELEŽ EKSTRAKTIVOV IN IZBRANE MEHANSKE LASTNOSTI ŽE UPORABLJENE JEDROVINE HRASTA
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
OP	XI, 40 str., 12 pregl., 17 sl., 9vir.
IJ	Sl
JI	sl/en
AI	Od nekdaj je les med najpomembnejšimi gradbenimi materiali. V času zavedanja podnebnih sprememb, ki jih je povzročil človek, še dodatno pridobiva na pomenu kot okoljsko zelo ustrezen material. Njegova raba ne obremenjuje okolja in je zelo ugodna za bivanje. namen naše naloge je bil ugotoviti, kakšne so relevantne lastnosti hrastovine po več desetletjih rabe. V ta namen smo uporabili približno 150 let star podporni del ostrešja (roka), izdelanega iz hrastove jedrovine. Fungicidne lastnosti smo ugotavljali z izpostavitvijo 5 različnim glivam: <i>Gloeophyllumtrabeum</i> , <i>Antrodiavaillantii</i> , <i>Hypoxylonfragiforme</i> , <i>Pleurotusostreatus</i> in <i>Trametesversicolor</i> . Mehanske lastnosti (upogibno trdnost, modul elastičnosti in tlačno trdnost) smo določili z univerzalnim testirnim strojem Zwick, s tenziometrom pa kapilarni navzem vode. Opravili smo tudi ekstrakcijo po Soxhletu s 3 topili: vodo, 70 % metanolom in cikloheksanom. S staranjem hrastovega lesa se fungicidne lastnosti spreminjajo veliko manj kot pri bukvi. Stara hrastovina ima slabšo odpornost na lesne glive, najbolj je to izrazito pri delovanju glive <i>G. trabeum</i> . S staranjem hrasta se kapilarni navzem vode in mehanske lastnosti bistveno ne spremenijo. S staranjem pa pada delež ekstraktivnih snovi.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dv1
DC UDC 630*841.4
CX natural durability/heartwood/extractives/oak
AU BREGAR, Matevž
AA HUMAR, Miha (supervisor)/POHLEVEN, Franc (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožnadolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2015
TI NATURAL DURABILITY, EXTRACTIVE RATIO AND SELECTED MECHANICAL PROPERTIES OF ALREADY USED OAK HEARTWOOD
DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)
NO XI, 40 p., 12 tab., 17 fig., 9 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Since ancient times the wood is one of the most important building materials. Because of climate change caused by man the wood is even more important as an ecologically very suitable material for living, and from the environmental point of view. We researched changes of some of the most important characteristics of oak wood. We used about 150 year old supporting part of the roof made from oak heartwood. Fungicidal properties were determined by subjecting the samples to 5 different fungi: *Gloeophyllum trabeum*, *Antrodia vaillantii*, *Hypoxyton fragiforme*, *Pleurotus ostreatus* and *Trametes versicolor*. Mechanical properties (bending strength, module of elasticity and compressive strength) were measured with a universal machine Zwick; the capillary uptake of water with tensiometer. We also made extraction by Soxhlet method. We used 3 different solvents: water, 70 % methanol and cyclohexane. With aging the oak fungicidal properties vary much less than in beech. Compared with the control oak wood, the old oak depends on the fungi the timber was exposed to. In the old oak wood, according to the control oak, the mass loss is almost 10 times larger after exposure to rusty gilled polypore (*Gloeophyllum trabeum*). With the aging oak capillary uptake of water and mechanical properties suffer minimal or no change. Partial decline with age was observed in the proportion of extractives

KAZALO VSEBINE

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

1	UVOD.....	1
1.1	OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2	CILJI RAZISKOVANJA	1
1.3	DELOVNE HIPOTEZE	1
2	PREGLED OBJAV.....	2
2.1	Naravna odpornost in trajnost lesa	2
2.1.1	Naravna odpornost lesa	2
2.1.2	Trajnost lesa	5
2.2	Opis hrasta in hrastovine	7
2.2.1	Hrast	7
2.2.2	Vrste hrastov	7
2.2.3	Hrast dob	7
2.2.4	Hrastovina dob	8
2.2.5	Tradicionalna uporaba hrastovine dob	8
3	MATERIALI IN METODE	10
3.1	MATERIALI	10
3.1.1	Vzorci	10
3.1.2	Lesne glive	11
3.1.3	Oprema in aparature	12
3.1.3.1	Oprema	12
3.1.3.2	Aparature	12
3.2	Metode	13
3.2.1	Izdelava vzorcev	13
3.2.1.1	Vzorci za izpostavitvev delovanju gliv	13
3.2.1.2	Vzorci za določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti	14
3.2.1.3	Vzorci za določanje deleža ekstraktivov	14
3.2.1.4	Vzorci za določanje navzema vode in tlačne trdnost	15
3.2.2	Določanje fungicidnih lastnosti lesa	15
3.2.2.1	Priprava hranilnega gojišča in steklovine	15
3.2.2.2	Inokulacija micelija	16
3.2.2.3	Izpostavitvev vzorcev glivam	17
3.2.2.4	Gravimetrično določanje izgube mase	17
3.2.3	Določevanje mehanskih lastnosti lesa	19
3.2.3.1	Upogibna trdnost (MoU) in modul elastičnosti (MoE)	19

3.2.3.2	Določevanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti	19
3.2.3.3	Tlačna trdnost (Fm)	20
3.2.3.4	Določanje tlačne trdnosti	20
3.2.4	Kapilarni navzem vode	21
3.2.5	Ekstrakcija po Soxhletu	22
3.2.5.1	Topilo: Voda	24
3.2.5.2	Topilo: 70 % Metanol (%-volumski)	24
3.2.5.3	Topilo: Cikloheksan	24
3.2.5.4	Gravimetrično določanje ekstraktivov	25
4	REZULTATI	26
4.1	FUNGICIDNE LASTNOSTI LESA	26
4.1.1	Izgube mase vzorcev starega hrasta po izpostavitvi glivam	26
4.1.2	Vlažnosti stare hrastovine po izpostavitvi glivam	29
4.2	Mehanske lastnosti lesa	31
4.2.1	Upogibna trdnost (MoU) in modul elastičnosti (MoE)	31
4.2.2	Tlačna trdnost (Fm)	32
4.3	Delež ekstraktivov v lesu	33
4.3.1	Delež ekstraktivov v starem hrastu	34
4.4	Navzem vode in sorpcijske lastnost	35
4.4.1	Kapilarni navzem vode	35
5	SKLEPI	36
6	POVZETEK	37
7	VIRI.....	39
ZAHVALA.....		1

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Razvrstitev lesnih vrst v pet odpornostih razredov (Lesar in sod., 2008).....	5
Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na mesto uporabe (SIST EN 335 - 1/2, 2006)	6
Preglednica 3: Glive uporabljene za določanje odpornosti lesa.....	11
Preglednica 4: Opis vzorcev za izpostavitve delovanju gliv.....	14
Preglednica 5: Opis vzorcev za določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti	14
Preglednica 6: Opis vzorcev za določanje deleža ekstraktivov	15
Preglednica 7: Opis vzorcev za določanje kapilarnega navzema vode in tlačne trdnosti	15
Preglednica 8: Povprečna izguba mase po izpostavitvi glivam	27
Preglednica 9: Standardni odklon in povprečna izguba mase in vlažnost lesa po 12 tedenski izpostavitvi glivam razkrojevalkam.	30
Preglednica 10: Spremembe mehanskih lastnosti	33
Preglednica 11: Delež izpranih ekstraktivov	34
Preglednica 12: Navzem vode v čela vzorcev po 200 s namakanja.....	35

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Podporna roka iz hrastovine	11
Slika 2: Namizni krožni žagalni stroj za fini razrez(Proxxon).....	13
Slika 3: Vzorca za določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti.....	14
Slika 4: Avtoklav	16
Slika 5: Petrijevka z glivo Gt5	17
Slika 6: Analitska tehtnica	18
Slika 7: Univerzalni stroj za merjenje mehanskih lastnosti	20
Slika 8: Tenziometer	22
Slika 9: Soxhlet aparat za ekstrakcijo	23
Slika 10: Povprečna izguba mase vzorcev hrasta po izpostavitvi glivam. Gt2 – navadna tramovka (<i>Gloeophyllumtrabeum</i>); Hf - ogljena kroglica (<i>Hypoxylonfragiforme</i>); Plo5 - bukov ostrigar (<i>Pleurotusostreatus</i>); Pv2 - bela hišna goba (<i>Antrodiavaillantii</i>); Tv6 - pisana ploskocevka (<i>Trametesversicolor</i>).	26
Slika 11: Povprečna izguba mase vzorcev hrasta po izpostavitvi glivam. Gt2 – navadna tramovka (<i>Gloeophyllumtrabeum</i>); Hf - ogljena kroglica (<i>Hypoxylonfragiforme</i>); Plo5 - bukov ostrigar (<i>Pleurotusostreatus</i>); Pv2 - bela hišna goba (<i>Antrodiavaillantii</i>); Tv6 - pisana ploskocevka (<i>Trametesversicolor</i>).	27
Slika 12: Povprečna vlažnost kontrolnih vzorcev in vzorcev starega hrasta. Gt2 – navadna tramovka (<i>Gloeophyllumtrabeum</i>); Hf - ogljena kroglica (<i>Hypoxylonfragiforme</i>); Plo5 - bukov ostrigar (<i>Pleurotusostreatus</i>); Pv2 - bela hišna goba (<i>Antrodiavaillantii</i>); Tv6 - pisana ploskocevka (<i>Trametesversicolor</i>).	29
Slika 13: Upogibna trdnost starega in kontrolnega hrastovega lesa	31
Slika 14: Modul elastičnosti [N/mm^2] - kontrolnih in starih vzorcev hrastovine.	32
Slika15: Fm – modul porušitve [N/mm^2] – tlačna trdnost vzorcev kontrole in starega hrasta.	32
Slika 16: Delež ekstraktivov v starem hrastu in kontroli izpranih s topili cikloheksana, metanola (70 %) in vode.	34
Slika 17: Navzem vode [g/cm^2] po 200 s namakanja starega hrasta in kontrole.	35

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Fm	Modul porušitve (N/mm^2)
Gt2	Navadna tramovka (<i>Gloeophyllumtrabeum</i>)
HF	Ogljena kroglica (<i>Hypoxylonfragiforme</i>)
MoE	Modul elastičnosti (N/mm^2)
Plo5	Bukov ostrigar (<i>Pleurotusostreatus</i>)
Pv2	Bela hišna goba (<i>Antrodiavaillantii</i>)
Tv6	Pisana ploskocevka (<i>Trametesversicolor</i>)

SLOVARČEK

Bela trohnoba	je trohnoba, ki jo povzročajo glive; ki razgrajujejo predvsem lignin, v kasnejših stopnjah tudi celulozo in hemicelulozo (Lesarski priročnik, 2008).
Beljava	je periferni del debla ali veje s še živimi parenhimskimi celicami, ki vsebujejo rezervne snovi (npr. škrob) (IAWA 163, cit. po Torelli, 1990).
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).
Rjava trohnoba	ta tip trohnobe povzročajo glive, ki razgrajujejo celulozo in hemiceluloze; v (presežku) pribitku pa ostane oksidiran lignin, ki najprej rahlo, kasneje pa vedno temneje rjava obarva strohneli les. Za ta tip trohnobe je značilen prizmatično razpokan les (Lesarski priročnik, 2008).
Tlačna trdnost	je odpornost proti stiskanju materialov. Pri lesu je največja odpornost v smeri lesnih vlaken, najmanjša pa pravokotno na

smer vlaken. Tlačna trdnost v prvi vrsti nakazuje spremembe v strukturi lignina (Žlahtič, 2013).

Upogibna trdnost

odpor materiala proti zunanji sili, ki ga skuša upogniti in kasneje zlomiti. Pri največji sili, tik pred zlomom je dosežena upogibna trdnost (Gorišek, 2009).

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

V Sloveniji les uporabljamo v različne namene. Naše podnebje je sicer neugodno za uporabo neodpornega lesa na prostem, a se kljub temu pogosto uporablja za aplikacije zunaj. Med bolj odporne lesne vrste sodi hrastovina. Hrastovina je relativno draga in je v Sloveniji primanjkuje. Tako je ena od možnosti, da bi ponovno uporabili staro hrastovino, ki je ne rabimo več. Takšen pristop smo poimenovali kaskadna raba lesa. Zato sem se v okviru te naloge osredotočil na hrastovo jedrovino, ki je bila uporabljena pod streho, a v odprtem prostoru. Hrastov kos je bil izdelan v obliki loka. Služil je za podporo legi globokega »podstreška« lesenega skednja. Hkrati je omogočil stabilnost. Ker je bil omenjeni kos lesa v celoti viden, je bil tudi lepo oblikovan.

1.2 CILJI RAZISKOVANJA

Na uporabljeni hrastovi jedrovini je bil cilj raziskovanja:

- Določiti fungicidne lastnosti starega lesa hrasta.
- Določiti izbrane mehanske lastnosti starega lesa: tlačno trdnost, upogibno trdnost (MoU) in modul elastičnosti (MoE).
- Določiti kapilarni navzem vode stari hrastovini.
- Določiti delež ekstraktivov (ekstrakcija po Soxhletu) staremu lesu.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Na podlagi do sedaj opravljenega dela in pregleda literature postavljamo naslednje hipoteze:

- Mehanske lastnosti stare hrastovine bodo ostale primerljive kot mehanske lastnosti sveže hrastovine.
- Odpornost lesa hrasta na glive se s staranjem poslabša.
- S staranjem se povečuje kapilarni navzem vode.

2 PREGLED OBJAV

2.1 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA

2.1.1 Naravna odpornost lesa

Les je zagotovo eden od materialov, za katerega lahko rečemo, da med pridobivanjem, obdelavo in predelavo v najmanjši meri obremenjuje okolje. Les za svoj nastanek potrebuje le ogljikov dioksid, vodo ter sončno svetlobo. V primerjavi z nekaterimi drugimi materiali se nam pri lesu pojavi vprašanje njegove odpornosti proti negativnim vplivom okolice in njegova trajnost oziroma življenjska doba (Lesar in sod., 2008).

Naravna odpornost lesa pomeni njegovo odpornost proti vplivu fizikalnih, kemijskih in bioloških dejavnikov iz okolice (Dinwoodie, 2000). Strokovnjaki so mnenja, da je najpomembnejša odpornost proti biološkim dejavnikom. Iz tega razloga je celo standardizirana definicija naravne odpornosti kot lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in označuje dovzetnost na lesne škodljivce (Lesar in sod., 2008). Glede na to, da so v Sloveniji glive najpomembnejši biološki dejavnik razkroja, se najpogosteje osredotočamo na odpornost lesa na glive razkrojevalke.

Ko govorimo o naravni odpornosti lesa, je pomembno, da obravnavamo les kot surovino, pridobljeno iz drevesnih debel. Pri deblu srečamo plasti, ki jih v vsakdanjem življenju imenujemo kar letnice oziroma branike. Zunanje plasti imenujemo beljavo, notranje pa jedrovino oziroma črnjavo. Plasti beljave pri rastočem drevesu vsebujejo žive parenhimske celice, rezervno hrano in imajo visoko vlažnost. Pri večini drevesnih vrst v dobi rasti začne v notranjosti parenhim odmirat, rezervne snovi pa se odstranjujejo ali pa se pretvarjajo v jedrovinske snovi, ki jih pogosto imenujemo tudi ekstraktivi. Ta proces imenujemo ojedritev in se lahko začne po nekaj desetih letih rasti. Pri nekaterih vrstah lesa se ta proces ne začne niti po sto ali več letih (Lesar in sod., 2008).

V primerjavi z drugimi ligno-celuloznimi materiali večine drugih rastlin je les bolj odporen proti razkroju z glivami in bakterijami. K temu prispeva večja stopnja lignifikacije in proces ojedritve. Biološko aktivni ekstraktivi v jedrovini v največji meri prispevajo k naravni odpornosti lesa (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). Glavni ekstraktivi so polifenoli s tanini, antocianine, flavone, katehine, lignane itd. Pogosto so prisotne tudi maščobe, maščobne kisline, voski in hlapljivi ogljikovodiki (Čufar, 2006). Lifenol je pogosta toksična substanca (Dinwoodie, 2000), elagitanin je pri hrastu (Guilley in sod., 2004), taksifolin pri macesnu (Gerlinger in sod., 2004) in pinosilvin pri borih. V jedrovini imajo pomembno vlogo tudi hranilne snovi kot primer dušik, ki ga glive in insekti potrebujejo za sintezo aminokislin in hitina (Panshin in de Zeeuw, 1980).

Pri beljavi prihaja do pomanjkanja biološko aktivnih ekstraktivov in s tem je omogočena hitrejša rast gliv. Beljava vseh lesnih vrst je po standardu SIST EN 350-2 (1994) razvrščena v najnižji odpornostni razred 5 (zelo občutljivo na razkroj) tudi zaradi rezervne hrane v parenhimskih celicah, ki celo dodatno povečujejo dovzetnost na razkrojevanje (Panshin in de Zeeuw, 1980) (Preglednica 1). Beljava ima v splošnem zelo nizko odpornost tudi v primerih z zelo visoke stopnje odpornosti jedrovine na primer ebenovine in tikovine (Lesar in sod., 2008).

Naravne odpornosti lesa ni mogoče vedno pojasniti samo s prisotnostjo ali odsotnostjo ekstraktivov. Vplive na odpornost je potrebno iskati tudi na snoveh in procesih, ki negativno vplivajo na ravnovesje med zrakom in vodo, ki je nujno potrebno za rast gliv (Panshin in de Zeeuw, 1980). Prav tako na odpornost vplivajo tudi druge lastnosti lesa kot so zgradba celične stene, gostota lesa, sposobnost lesa da ostane suh ... (Lesar in sod., 2008).

Za iglavce in listavce iz zmernega klimatskega pasu velja, da je naravna odpornost jedrovine najnižja pri strženu in se zvišuje proti beljavi, ki je na zunanjem delu debla (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). Z staranjem dreves pride do encimskih in mikrobioloških sprememb v ekstraktivih, posledica tega je zmanjšanje odpornosti notranjih plasti jedrovine (Dinwoodie, 2000). Do zmanjšanja odpornosti pride zaradi manjše vsebnosti ekstraktivnih snovi v juvenilnem lesu, in pa tudi zaradi difuzije vodotopnih biološko aktivnih ekstraktivov (Panshin in de Zeeuw, 1980; Aloui in sod., 2004). Toksičnost se zmanjša zaradi naravne oksidacije ekstraktivov ali njihove kontinuirane polimerizacije, zaradi česar se tvorijo manj biološko aktivne

komponente (Aloui in sod., 2004). Razlog za povečanje odpornosti zunanjega dela jedrovine v starejših drevesih bi lahko bila tudi starostna komponenta. Pri starejših drevesih naj bi bili ekstraktivi bolj toksični, ali pa jih drevo proizvede večje količine (Haupt in sod., 2003). Naravna odpornost je odvisna tudi od višine dreves, saj se z naraščanjem oddaljenosti od korenin odpornost jedrovine povečuje (Reis, 1973, Lesar in sod., 2008).

Naravna odpornost lesa posameznih dreves iste vrste variira v zelo širokem območju in je tudi 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), kar je najverjetneje posledica variabilne genetske zasnove (Viitanen in sod., 1997; Viitanen in sod., 1998) in vpliva genetske zgradbe na tvorbo biološko aktivnih ekstratov (Bhat in Florence, 2003). Na naravno odpornost lesa zagotovo vpliva tudi kakovost ter lega rastišča (Panshin in de Zeeuw, 1980, Lesar in sod., 2008).

2.1.2 Trajnost lesa

Trajnost lesa je neko obdobje v katerem les ohrani vse svoje naravne lastnosti. Trajanje tega obdobja je odvisno od naravne odpornosti ter načina in mesta uporabe. Za izdelavo pohištva ali ostrešja lahko uporabimo neodporno smreko, katera bo zdržala dlje od hrastovega kola v zemlji, zato moramo glede na način uporabe izbrati pravo drevesno vrsto in jo zaščititi z ustreznim postopkom, da dosežemo načrtovano trajnost. Če načrtujemo, da bo nek kol zdržal le tri leta, ga lahko izdelamo iz smrekovine, če pa načrtujemo daljšo trajnost moramo uporabiti odpornejši les ali pa moramo smrekovino impregnirati. Za lažje odločanje pri izbiri materialov so evropski strokovnjaki lesene izdelke uvrstili v pet razredov izpostavitve glede na njihovo ogroženost. Z različnimi testiranjmi so ugotovili, da je tretji razred zelo obsežen in so ga razdelili še v dva podrazreda (Preglednica 2). Poleg tega je treba upoštevati, da je tretji razred uporabe komercialno najpomembnejši. Zato je predpisano večje število testiranj v tretjem in četrtem razredu izpostavitve, še posebej v tretjem razredu saj les v četrtem razredu izpostavitve zamenjujejo drugi materiali (Lesar in sod., 2008).

Preglednica 1: Razvrstitev lesnih vrst v pet odpornostih razredov (Lesar in sod., 2008)

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

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

Razred izpostavitve	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 prisotni termiti, se ta razred označi z 1T
2	Zunaj, pod streho	Občasno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke	V primeru, da so na tem območju prisotni 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 prisotni termiti, se ta razred označi z 3.1T oziroma 3.2T
	3.2 Na prostem, nad zemljo, brez konstrukcijske zaščite	Pogosto vlažen		
4	4.1 Na prostem, v stiku s tlemi in/ali sladko vodo	Pogosto ali stalno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke, glive mehke trohnobe	V primeru, da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 4.1T oziroma 4.2T
	4.2 Na prostem, v stiku s tlemi (ostri pogoji) in/ali sladko vodo	Stalno vlažen		
5	V stalnem stiku z morskou 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

Les v prvem razredu izpostavitve ogrožajo le insekti in potencialno termiti, medtem ko ga v višjih razredih vedno bolj ogrožajo tudi glive (SIST EN 335 – 1/2, 2006) (Preglednica 2), z izjemo petega razreda, kjer je izpostavljen delovanju morskih škodljivcev (Krapež, 2014).

2.2 OPIS HRASTA IN HRASTOVINE

2.2.1 Hrast

Hrast, katerega latinsko ime je *Quercus*, je listopadno drevo s premenjalno nameščenimi listi. Listi so enostavni, pernato deljeni ali pernato krpati. Brsti hrasta so zgoščeni na koncu poganjkov (Brus, 2008). Hrast sodi med najpomembnejše evropske lesne vrste.

2.2.2 Vrste hrastov

V rodu hrastov lahko najdemo med 450 in 600 vrst. Največ vrst hrasta raste v Severni Ameriki. V Evropi poznamo 28 samoniklih vrst (Brus, 2008).

V Sloveniji pa najdemo naslednjih 6 vrst hrasta:

- Dob (*Quercus robur*)
- Graden (*Quercus petraea*)
- Puhasti hrast (*Quercus pubescens*)
- Cer (*Quercus cerris*)
- Črnika (*Quercus ilex*)
- Oplutnik (*Quercus crenata*)

2.2.3 Hrast dob

Hrast dob je listopadno drevo z nepravilno, razvejano krošnjo, ki jo sestavljajo močne veje. Poletni hrast zraste do višine štirideset metrov in dosega debeline do 2,5 metra. Ta vrsta hrasta lahko doseže zelo visoko starost, celo več kot 1000 let. Drevo v sestoji z drugimi zraste visoko in ima polnolesno deblo, na prostem pa je deblo kratko in debelo. V tem primeru tvori zelo lepo, slikovito drevo, ki pa nima toliko gospodarske vrednosti. Koreninski sistem sestavljajo glavna korenina in stranske korenine. Vse korenine so zelo močne in dobro razvite. Skorja na deblu je v mladosti gladka, pozneje pa postane razpokana

in sicer vzdolžno bolj globoko kot prečno. Poganki so zeleno-rjavi in malo rebrasti, brsti pa zrastejo do osem milimetrov. Listi imajo pernato krpato obliko. V mladosti so nekoliko dlakavi. Ženski cvetovi so posamezni ali združeni v manjših klasih, moški pa so sedeči in združeni v rumene mačice. Plod (želod) je elipsast ali podolgovat in do pet centimetrov dolg, ki dozori konec septembra (Brus,2008).

Dobu najbolj odgovarjajo globoka peščena, glinena ali ilovnata, ter z minerali bogata tla. Zmerno prenaša sušo ter tudi celo poplave, ki nastanejo v vegetacijskem času. Dob uspeva po celi Evropi, razen na jugu Španije. V Sloveniji je avtohtona vrsta. Od skupne zaloge slovenskih gozdov je 8 % hrasta (Brus,2008).

2.2.4 Hrastovina dob

Po zgradbi in lastnostih sta si les doba in les gradna močno podobna, saj ju ni niti makroskopsko niti mikroskopsko zanesljivo ne moremo ločiti. Hrast dob spada med venčasto porozne listavce. Ima obarvano jedrovino in se ostro loči od beljave. Jedrovina je svetlo-rjave barve in s časoma potemni na svetlobi. Beljava je ozka rumenkasto bele barve (Pipa, 1997). Traheje lahko vidimo s prostim očesom in sicer prečno kot pore in vzdolžno kot žlebiči (Čufar, 2006). Gostota in ostale lastnosti so zelo odvisne od širine branik. Če želimo gostejši, trdnejši in trši les morajo biti branike čim bolj široke, saj tako naraste delež kasnega lesa z večinoma debelostenimi vlakni. Svež les ima značilen vonj in sicer nekoliko kiselkast in hkrati grenek. V kolikor pride svež les v stik z železovimi ioni se zaradi ekstraktivovv lesu modro-črno obarva (Pipa, 1997).

2.2.5 Tradicionalna uporaba hrastovine dob

Hrastovina je zelo cenjen in kakovosten les. Delimo jo na mehko in trdo hrastovino. Mehkejši les je pri starejših drevesih, ki so rasli počasneje. Uporablja se za dekorativne izdelke, notranjo opremo. Ker se mehkejši les lažje obdeluje je bolj primeren za struženje in rezbarjenje. Kjer pa je pomembna trdnost in trdota pa se uporablja trda hrastovina. Najpogosteje v gradbeništvu in kot konstrukcijski les. Hrastovina je zaradi svojega izgleda, gostote in ostalih lastnosti široko uporabna. Uporablja se za izdelavo stopnic, parketa, mostov, ladij, pomolov, elementov pri kmečkem orodju, železniških pragov... Zelo poznani

pa so tudi hrastovi sodi v katerih zorijo znane pijače, na primer rum, vino, konjak, škotski viski, kateri dobijo posebno aromo in barvo zaradi ekstraktivnih snovi, ki so v hrastovem lesu. Najpogosteje so to fenolne in polifenolne spojine (Brus,2008).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

V nadaljevanj sledi opis materialov, lesnih gliv, opreme in aparatur, ki smo jih uporabljali skozi praktični del diplomske naloge.

3.1.1 Vzorci

Za diplomsko delo sem iskal hrastov kos (*Quercus sp.*) starega ostrešja. Običajno so pri ostrešjih hrastovi samo spodnji elementi ostrešja kot so podporni stebri in pripadajoče roke, ki služijo proti zibanju oz. za stabilnosti ostrešja. Nenosilni in zgornji deli so običajno smrekovi.

Na starem delu lesenega skednja sem pred rušenjem izbral hrastovo roko. Po opisih lastnika je bil pod star med 150 in 200 leti. Prav tako je po opisih lastnika bila streha redno vzdrževana, kar pomeni, da je bil izbran kos redno pod streho in se ni močil. Podporna roka je bila vpeta med hrastov steber in smrekovo gredjo na notranji strani skednja in ni bila direktno izpostavljena zunanjim vremenskim vplivom.

Hrastov kos oziroma podporna roka je bila v obliki loka, dolžine približno 1 m, in preseka 15 cm x 15 cm kot kaže slika 1. Iz omenjenega dela starega hrasta smo izdelali vzorce različnih velikosti. Velikost vzorcev so bile odvisne od namena testiranja oziroma analize. Zaradi velikega števila vzorcev, je bil vsak vzorec ustrezno označen.



Slika 1: Podporna roka iz hrastovine

3.1.2 Lesne glive

Za določevanje fungicidnih lastnosti smo uporabili izolate gliv, ki povzročajo rjavo ali belo trohnobo. Glive smo pridobili iz Zbirke industrijskih mikroorganizmov Biotehniške fakultete.

Preglednica 3: Glive uporabljene za določanje odpornosti lesa

Oznaka	Slovensko ime	Latinsko ime	Poreklo	Vrsta trohnobe
Gt2	Navadna tramovka	<i>Gloeophyllumtrabeum</i>	ZIM L018	RJAVA TROHNOBA
Pv2	Bela hišna goba	<i>Antrodiavaillantii</i>	ZIM L037	RJAVA TROHNOBA
Hf	Ogljena kroglica	<i>Hypoxylonfragiforme</i>	ZIM L108	BELA TROHNOBA
Plo5	Bukov ostrigar	<i>Pleurotusostreatus</i>	ZIM L030	BELA TROHNOBA
Tv6	Pisana ploskocevka	<i>Trametesversicolor</i>	ZIM L057	BELA TROHNOBA

3.1.3 Oprema in aparature

3.1.3.1 Oprema

Pri svojem delu sem uporabljal naslednjo opremo:

- čaše različnih velikosti,
- petrijevke različnih velikosti,
- stekleni liji,
- stekleni kozarčki,
- steklene palčke,
- kovinske spatule,
- kovinska pinceta,
- PVC mrežica,
- samolepilna PVC folija,
- vata,
- brusni papir,
- merilni valji,
- papir za avtoklaviranje,
- papirnate brisače,

3.1.3.2 Aparature

Za ugotavljanje lastnosti sem uporablja naslednje aparature:

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

- laboratorijski sušilnik (Kambič)
- rastna komora (Kambič)

3.2 METODE

3.2.1 Izdelava vzorcev

Vzorci so izdelani iz hrastove cca. 150 let stare podporne roke. Podporno roko smo najprej razrezal na grobo, in šele po nekaj dneh na končne dimenzije vzorcev (Slika 2), ki so v skladu s standardi. Vzorce smo tudi primerno označili in s tem so bili pripravljeni za nadaljnje postopke. Pri navajanju dimenzij vzorcev pomeni prva oz. največja dimenzija dolžina vzorca in predstavlja smer rasti.



Slika 2: Namizni krožni žagalni stroj za fini razrez(Proxxon)

3.2.1.1 Vzorci za izpostavitve delovanju gliv

Za izpostavitve delovanju gliv smo pripravili vzorce, ki so opisani v preglednici 4. Dimenzije vzorcev so ustrezale uveljavljenim testom, ki smo jih na to in sorodne tematike že opravili.

Preglednica 4: Opis vzorcev za izpostavitve delovanju gliv

Število vzorcev	Dolžina (mm)	Širina (mm)	Debelina (mm)	Oznaka / gliva
45	25	25	8	GB1...GB9 / Plo5 GB10 ... GB18 / Hf GB19 ... GB27 / Tv6 GB28 ... GB36 / Pv2 GB37 ... GB45 / GT2

3.2.1.2 Vzorci za določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti

Za določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti smo uporabili hrastove vzorce, ki so opisani v preglednici 5 in prikazani na sliki 3.

Preglednica 5: Opis vzorcev za določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti

Število vzorcev	Dolžina (mm)	Širina (mm)	Debelina (mm)	Oznaka
30	65	25	5	MB1 ... MB30



Slika 3: Vzorca za določanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti

3.2.1.3 Vzorci za določanje deleža ekstraktivov

Vzorci za določanje deleža ekstraktivov so opisani v preglednici 6. Vzorce za določanje deleža ekstraktivov smo izžagali iz vzorcev za določanje upogibne trdnosti.

Preglednica 6: Opis vzorcev za določanje deleža ekstraktivov

Število vzorcev	Dolžina (mm)	Širina (mm)	Debelina (mm)	Oznaka / topilo
30	25	25	8	EX1 ... EX10 / cikloheksan EX11 ... EX20 / voda EX21 ... EX30 / metanol (70%)

3.2.1.4 Vzorci za določanje navzema vode in tlačne trdnost

Zaradi pomanjkanja materiala za testiranje smo za oba postopka uporabili iste vzorce in so opisani v preglednici 7. Vzorcem smo najprej določili kapilarni navzem vode, nato pa smo jim določili še tlačno trdnost.

Preglednica 7: Opis vzorcev za določanje kapilarnega navzema vode in tlačne trdnosti

Število vzorcev	Dolžina (mm)	Širina (mm)	Debelina (mm)	Oznaka
15	40	25	15	TH1 ... TH15

3.2.2 Določanje fungicidnih lastnosti lesa

Pripravljene vzorce smo v laboratorijskem sušilniku 24 h sušili pri temperaturi 103 ± 2 °C. Vzorce smo zložili v eksikator in počakali, da se posušijo ter jim z analitsko tehtnico določili maso absolutno suhih vzorcev pred izpostavitvijo glivam.. Odpornost lesa na glive smo določili v skladu z modificiranim standardom SIST EN 113 (letnica).

3.2.2.1 Priprava hranilnega gojišča in steklovine

Priprava hranilnega gojišča je potekala tako, da smo odtehtali 39 g krompirjevega dekstroznega agarja v prahu – PDA (PotatoDextrose Agar; Difco), proizvajalca DiFCOLaboratories v en liter destilirane vode. Tako smo dobili 4 % mešanico. Z namenom, da se hranilno gojišče dobro razporedi, smo mešanico dobro pretresli. Zatem smo hranilno gojišče avtoklavirali 15 min pri 121-124 °C. Avtoklaviranje (slika 4) je postopek sterilizacije, ki poteka s pomočjo nasičene vodne pare pod tlakom. Nezaželeno kontaminacijo hranilnega gojišča in sterilnih plastičnih petrijevk smo preprečili z dodatnim

obsevanjem s svetlobo UV. V vsako od 45 petrijevk smo prelil približno 20 ml hranilnega gojišča in jih postavili v laminarij. Prelite petrijevke smo pustili 24h, da se je gojišče ohladilo in strdilo. Petrijevke so bile oblike valja s premerom 85 mm in višine 15 mm ter namenjene za enkratno uporabo.



Slika 4: Avtoklav

3.2.2.2 Inokulacija micelija

Inokulacijo micelija smo opravili v sterilnih pogojih v laminariju. Uporabili smo micelij petih različnih gliv, ki povzročajo rjavo ali belo trohno. Za vstavljanje vcepka glive v petrijevko (slika 5), ki je vsebovala hranilno gojišče PDA, smo uporabljali kovinske spatule. Pred vsako inokulacijo smo spatulo dodatno razkužili z alkoholom in nato se s plamenom. Na koncu smo petrijevko zaprli in jo še dodatno zaščitili s PVC folijo.



Slika 5: Petrijevka z glivo Gt5

3.2.2.3 Izpostavitve vzorcev glivam

Po enem tednu je micelij prerastel površje hranilnega gojišča. Zaradi morebitnih kontaminacij smo vizualno preverili petrijevke. Nato smo v petrijevke vstavili plastične mrežice in na zložili še vzorce lesa. Mrežica je služila kot opora za vzorec in preprečevala neposreden stik glive razkrojevalke s hranilnim gojiščem. Na ta način preprečimo pretirano navlaževanje vzorca lesa. Pri našem poizkusu smo v vsako petrijevko izpostavili po en vzorec. Pripravili smo po 45 vzorcev in sicer za vsako od petih različnih gliv po 9 vzorcev. Petrijevke smo pustil v rastni komori 12 tednov pri temperaturi 25 °C in 85 % relativni zračni vlažnosti.

3.2.2.4 Gravimetrično določanje izgube mase

Po 12 tednih izpostavitve hrastovih vzorcev glivam je sledilo gravimetrično določanje izgube mase. Na vzorcih so zrasle glive. Zato smo morali najprej iz vzorcev nežno odstraniti glivni micelij. Nato smo še vlažne natančno stehali v analitski tehtnici (slika 6). Uporabili smo tehtnico Sartorius z natančnostjo 0,0001 g.



Slika 6: Analitska tehtnica

Sledilo je ponovno sušenje, ki je trajalo 24 h pri temperaturi $103 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ v laboratorijskem sušilniku. Po končanem kondicioniranju v eksikatorju smo vzorce ponovno stehtali. Tako smo dobili maso vzorcev v absolutno suhem stanju. Glive so povzročile razkroj lesa in s tem tudi izgubo mase.

Za določanje oz. računanje vlažnosti vzorcev razkrojenega lesa smo uporabili gravimetrično metodo, ki jo opisuje naslednja enačba.

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_2}{m_2} \times 100 [\%] \quad \dots (1)$$

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)

Določanje upogibne trdnosti je najpomembnejši postopek in najpogosteje uporabljena metoda za merjenje trdnostnih karakteristik lesa in dimenzioniranje konstrukcij. Največjo silo pri upogibanju, ki jo element še zdrži imenujemo zrušilna napetost. Ko je sila prevelika, pride do porušitve oziroma do pretrganja vlaken na spodnji, natezni strani (Gorišek, 2009). Vlažnost in gostota lesa imata velik vpliv na upogibno trdnost. Praviloma se višja vlažnost in nižja gostota odražata v nižji upogibni trdnosti.

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). Podatek o modulu elastičnosti ima velik pomen za dimenzioniranje konstrukcij.

3.2.3.2 Določevanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti

Za določevanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti smo uporabili univerzalni stroj Zwick/Roell Z005 (Slika 7), tip Xforce HP. Stroj se nahaja v prostoru Katedre za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo na Biotehniški fakulteti, Univerze v Ljubljani. Konstantno maso pred testiranjem smo dosegli s 3 tedenskim kondicioniranjem vzorcev s temperaturo 20 ± 2 °C in 65 ± 5 % relativne zračne vlažnosti, ki smo jo dosegli z uravnovešanjem nad nasičenimi raztopinami soli. Z vlažnostjo lesa se spreminjajo mehanske lastnosti. Po končanem kondicioniranju smo pripravili stroj po zahtevah standarda SIST EN 310. Z izvedbo tritočkovnega upogiba smo testirali vzorce. Z digitalnim kljunastim merilom smo vzorcem izmerili debelino in širino. Rezultate smo vnesli v tabele programa Microsoft Excel in s pomočjo pripravljenih enačb dobili iskane vrednosti upogibne trdnosti in modula elastičnosti.



Slika 7: Univerzalni stroj za merjenje mehanskih lastnosti

3.2.3.3 Tlačna trdnost (F_m)

Tlačna trdnost je definirana kot največja napetost, ki jo je material še sposoben prenesti pred zlomom oz. porušitvijo. Obremenimo jo lahko v različnih smereh. Les je odpornejši, če nanj pritiskamo v smeri vzporedno z vlakni kot, če prečno na vlakna (Lesarski priročnik, 2008). Tlačno trdnost lahko določamo na relativno kratkih vzorcih, sicer pride do uklona in ne tlačne porušitve.

3.2.3.4 Določanje tlačne trdnosti

Za določanje tlačne trdnosti smo uporabili univerzalni testirni stroj za preskušanje mehanskih lastnosti, Zwick Z100, ki se nahaja v prostoru Oddelka za lesarstvo na Biotehniški fakulteti, Univerze v Ljubljani. Za določanje tlačne trdnosti smo uporabili destruktivno metodo. Porušitev je potekala vzporedno z vlakni. Pred testiranjem mehanskih lastnosti smo izvedli postopek tritedenskega kondicioniranja pod enakimi pogoji, kot pri testiranju na upogib. Za izvedbo tega postopka smo na stroj namestili dve vzporedni plošči, kamor smo položili vzorec. Pred namestitvijo vzorca na spodnjo ploščo smo mu s kljunastim merilom izmeril širino in debelino, nato pa je stroj z konstantno hitrostjo zgornjo

ploščo približeval vzorcu. Podoben postopek je bil uporabljen tudi v drugih raziskavah, kar nam omogoča primerjavo podatkov. Testirni stroj je povezan z računalnikom tako, da je računalniški program beležil tlačno trdnost, modul elastičnosti in maksimalno silo, ki je potrebna za porušitev vzorca. Iz več paralelk smo nato izračunali povprečno vrednost.

3.2.4 Kapilarni navzem vode

Poskus smo izvedli s tenziometrom znamke Krüss v skladu z modificiranim standardom SIST EN 1609. Vzorcem smo izmerili širino in debelino in tako izračunali ploščino na prečnem prerezu, ki je bil v stiku z vodo. Na omenjeno ploskev smo zarisali diagonali, da smo dobili center. Nato smo v center zabili iglo. Prek igle je bil vzorec vpet v tenziometer. Poskus smo opravili na tenziometru, ki stoji v laboratorijih Katedre za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete, univerze v Ljubljani.

Pri delu smo morali paziti, da se nismo dotikali merilne ploskve. Z dotikom bi ploskev lahko onesnažili, namastili ali celo poškodovali, kar bi vplivalo na kvaliteto maritve. Pod vzorec smo postavili čašo destilirane vode. Vzorec smo približali čaši vode pri sobni temperaturi in ko se je dotaknil vode se je meritev začela.

Tenziometer (slika 8) je bil povezan z računalnikom tako da je računalniški program beležil navzem vode vsake 2 s. Trajanje meritve je 200 s. Podatke meritev in površine ploskev smo obdelali v programu Microsoft Excel. Izračunali smo navzem v odvisnosti od površine vzorca, ki je bila izpostavljena vodi in časa namakanja.

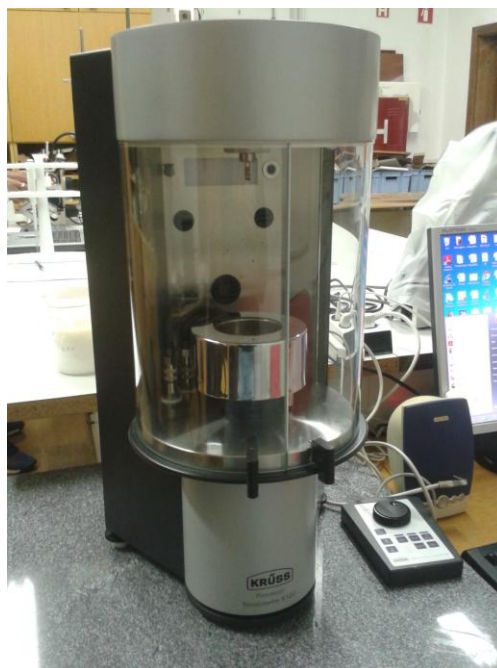
Za izračun navzema vode smo uporabili enačbo:

$$Navzem\ vode = \frac{navzem\ po\ 200s}{(a \times b)} \times 100 [\%] \quad \dots(2)$$

Navzem vode...[g/cm²]

a... širina [mm]

b... dolžina [mm]



Slika 8: Tenziometer

3.2.5 Ekstrakcija po Soxhletu

Franz von Soxhlet je leta 1879 izumil ekstrakcijski aparat Soxhlet (slika 9). Prvotni namen aparata je bil za ekstrakcijo lipidov iz trdnih materialov, kasneje pa so razvili aplikacije zavse vrste ekstrakcij. Drevesna tkiva imajo v sebi nestrukturane komponente, ki jih imenujemo ekstraktivi in vplivajo na vonj, barvo, odpornost, sorpcijske lastnosti in mehanske lastnosti lesa. Čeprav jih je v lesu zelo malo, imajo pomembne vloge. Zaradi topnosti v polarnih topilih jih lahko izoliramo oziroma določimo s pomočjo ekstrakcije. Delež ekstraktivov smo določili z gravimetrično metodo in sicer z tehtanjem absolutno suhih vzorcev pred ekstrakcijo in absolutno suhih vzorcev po ekstrakciji. To je uveljavljen pristop. Vsebnost ekstraktivov smo določil z postopkom ekstraktiranja s tremi različnimi topili. Postopek smo izvedeli s pomočjo avtomatizirane naprave imenovane Soxhletov aparat (znamka Büchi, B-811).



Slika 9: Soxhlet aparat za ekstrakcijo

Delovanje aparata: v bučko nalijemo topilo (v našem primeru so to voda, metanol in cikloheksan), ki ga segrevamo z grelnikom, ki ima nastavljivo moč, glede na vrsto oziroma tip topila. Topilo odpareva, hlapi potujejo po cevki do hladilnika, ki pa ga hladimo z mrzlo vodo. Vzorci se nahajajo v steklenem kozarcu, na njih pa v kapljicah padajo kondenzirani hlapi izbranega topila. Vzorci v kozarcu s prepustnim dnom so pokriti z vato in kapljice iz njih izpirajo topne snovi. Ko topilo doseže največjo višino, steče nazaj v bučko. Aparat ima krmilni sistem, kjer nastavimo čas cikla izpiranja, javi pa nam tudi morebitne napake delovanju aparata, tako da je delo s to napravo v celoti avtomatizirano.

Velik plus delovanja takšnega aparata je, da se vzorci vedno znova izpirajo s čistim topilom, medtem, ko se ekstraktivi zbirajo v bučki. Tako prihaja do maksimalne možne difuzije, ki je premo sorazmerna z razliko koncentracij. Ekstrakcijo izvajamo tako dolgo, dokler v topilu ne zaznamo več ekstraktivov.

3.2.5.1 Topilo: Voda

Prvih 10 vzorcev smo ekstrahirali z destilirano vodo. Da smo preprečili splavitev vzorcev v steklenem kozarcu smo na vrh vzorcev vstavil vato. Tako pripravljene steklene kozarce smo vstavili v Soxhletov aparat in v spodnjem delu v steklene čaše nalili topilo. Zaradi segrevanja grelcev je topilo začelo izhlapevati in se v zgornjem delu aparata v hladilniku kondenziralo nad vzorci in tako počasi spiralo ekstraktive, ki so se nabirali v stekleni čaši s topilom. Uporabili smo tip ekstrakcije WARM Soxhlet, 6/14. Ekstrakcija se je izvajala v treh dvanajsturnih ciklih. Po končani ekstrakciji smo aparat razstavili in očistil. Nato pa sem dal vzorce sušit v sušilnik Kambič pri temperaturi 103 ± 2 °C za 24 h. Absolutno suhe vzorce smo zložili v eksikator. Tako smo preprečili navlaževanje pred tehtanjem z analitsko tehtnico.

3.2.5.2 Topilo: 70 % Metanol (%-volumski)

S 70 % vodno raztopino metanola smo ekstrahirali drugih 10 vzorcev. Mešanico metanola in destilirane vode smo pripravili s pomočjo merilnega valja in čaše. Nadaljnji korak je enak kot zgoraj opisan postopek, kjer je bilo topilo voda. Zaradi nižjega vrelišča sta v tem primeru samo dva dvanajsturna cikla. Pri tem je temperatura grelcev 5/12. Čas izpiranja smo lahko zmanjšali, saj je zaradi boljše hlapnosti metanola v istem časovnem obdobju poteklo več ciklov, kot v primeru vode.

3.2.5.3 Topilo: Cikloheksan

Zadnjih 10 vzorcev pa smo ekstrahirali s cikloheksanom. Postopek je bil podoben kot pri ekstrakciji z metanolom, le temperature grelcev so bile drugačne (4/10). Čas izpiranja smo lahko zmanjšali, saj je zaradi boljše hlapnosti cikloheksana v istem časovnem obdobju poteklo več ciklov, kot v primeru vode.

3.2.5.4 Gravimetrično določanje ekstraktivov

Z gravimetrično metodo smo določili delež ekstraktivov v lesu. Vzorce smo sušili pri temperaturi 103 ± 2 °C . Absolutno suhe vzorce smo stehali pred in po ekstrakciji s točnostjo na 0,1 mg.

S pomočjo spodnje enačbe smo določili izgubo mase in s tem delež ekstraktivov v lesu:

$$E = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 [\%] \quad \dots (3)$$

E... delež ekstraktivov [%]

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

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

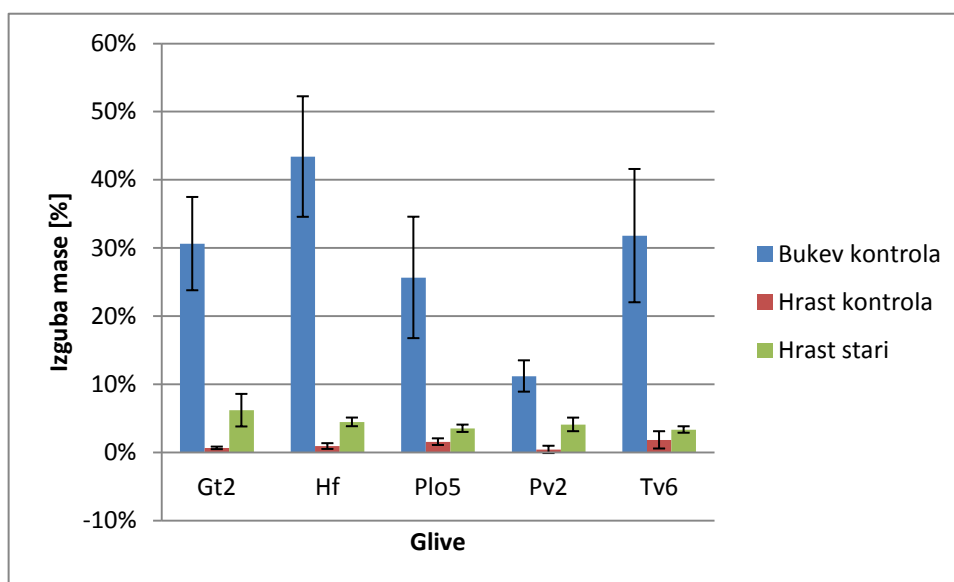
4 REZULTATI

Po opravljenih vseh praktičnih testih in meritvah stare hrastove jedrovine oz. starega hrasta smo zbrane podatke vnesli v Exelove tabele. Da bi lahko ugotovili posledice staranja hrastovega lesa, smo v tabele vnesli primerljive podatke že prej opravljenih meritev na kontrolnih vzorcih »zdravega, sveže posekanega« hrasta. Za ugotavljanje fungicidnih lastnosti starega hrasta pa smo za primerjavo vzeli še dodatno podatke prav tako že prej opravljenih meritev kontrolne bukke.

4.1 FUNGICIDNE LASTNOSTI LESA

Za ugotavljanje fungicidnih lastnosti starega hrasta sta nas zanimala izguba mase in vlažnost vzorcev po izpostavitvi petim različnim glivam.

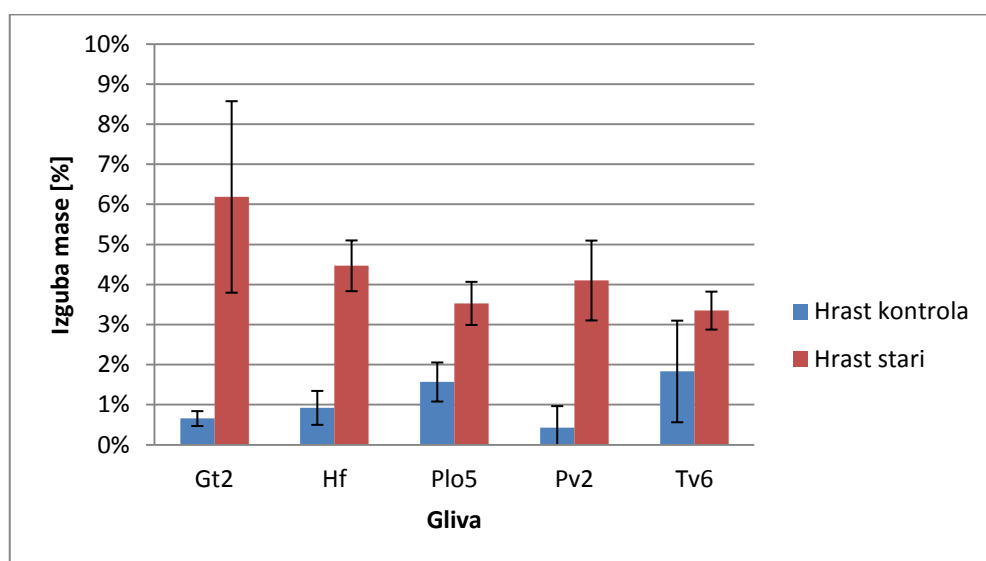
4.1.1 Izgube mase vzorcev starega hrasta po izpostavitvi glivam



Slika 10: Povprečna izguba mase vzorcev hrasta po izpostavitvi glivam. Gt2 – navadna tramovka (*Gloeophyllumtrabeum*); Hf - ogljena kroglica (*Hypoxylonfragiforme*); Plo5 - bukov ostrigar (*Pleurotusostreatus*); Pv2 - bela hišna goba (*Antrodiavaillantii*); Tv6 - pisana ploskocevka (*Trametesversicolor*).

Preglednica 8: Povprečna izguba mase po izpostavitvi glivam

Vrsta lesa	Povprečna izguba mase po izpostavitvi vsem petim glivam (%)
Kontrolna bukev	28,534
Kontrolni hrast	1,082
Stari hrast	4,326



Slika 11: Povprečna izguba mase vzorcev hrasta po izpostavitvi glivam. Gt2 – navadna tramovka (*Gloeophyllumtrabeum*); Hf - ogljena kroglica (*Hypoxylonfragiforme*); Plo5 - bukov ostrigar (*Pleurotusostreatus*); Pv2 - bela hišna goba (*Antrodiavaillantii*); Tv6 - pisana ploskocevka (*Trametesversicolor*).

Zaradi različne strukture lesa so izgube mase po izpostavitvi glivam zelo različne.

Gliva navadna tramovka (*Gloeophyllumtrabeum*) je povzročila 30% izgubo mase pri kontrolni bukvi, pod 1% pri kontrolnem hrastu in 7% pri starem hrastu (Sliki 10 in 11) (Preglednica 8). Staremu hrastu je navadna tramovka med vsemi glivami v 12 tednih najbolj zmanjšala maso in pustila najmanjše posledice pri masi kontrolnega hrasta. Rezultat je zanimiv, saj tramovka sodi med glive, ki povzroča rjavo trohnobo in ne sodi med tipične razkrojevalke lesa listavcev. Očitno je med staranjem prišlo do razgradnje biološko aktivnih ekstraktivov, ali pa je bil uporabljen les, ki je imel že v osnovi manj odporen les.

Ogljena kroglica (*Hypoxylonfragiforme*) je zmanjšala maso kontrolne bukve v povprečju kar za 43%, kontrolnega hrasta za 1% in starega hrasta za 6%. Pri kontrolni bukvi po izpostavi ogljeni kroglici opazne najbolj drastične izgube mase; pri nekaterih vzorcih tudi izguba polovice mase.

Bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus*) je glede na ostale glive puščal povprečne posledice. Zmanjšal je maso kontrolne bukve za 26%, kar je relativno malo v primerjavi s tramovko, masa kontrolnega hrasta je upadla za 2% in starega hrasta za 4%. Vrednost za stari hrast presega 3 %, ki je meja za zaznavno izgubo mase.

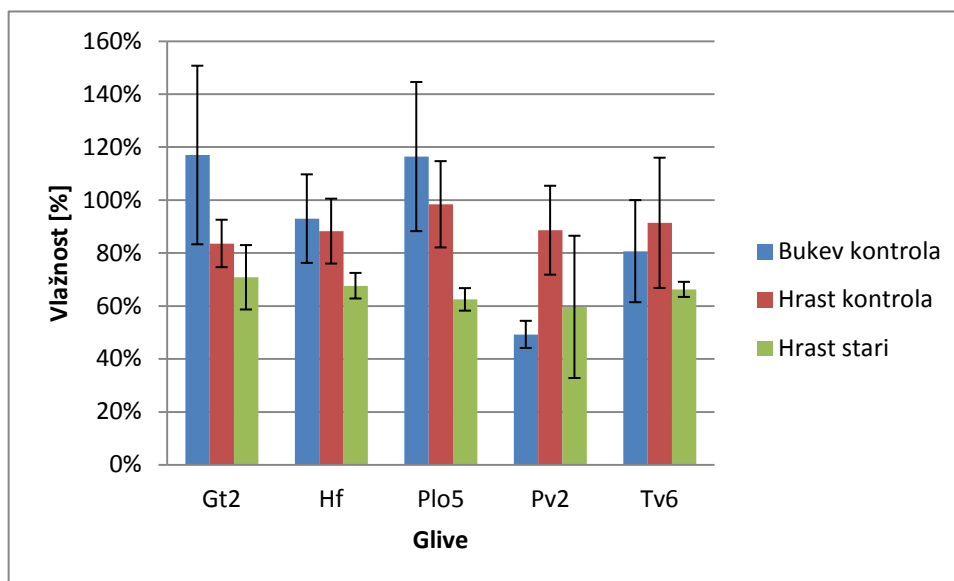
Najmanj je na izgubo teže vplivala izpostava beli hišni gobi (*Antrodia vaillantii*). Kontrolni bukvi se je masa zmanjšala za 11%, kontrolnemu hrastu za manj kot 1% in staremu hrastu za 5%. Nizke vrednosti so pričakovane, saj ta gliva sodi med glive rejave trohnobe. Še posebej pogosto se dobro izkaže na lesu, ki vsebuje biocide.

Najmanj razlike med izgubo mase med kontrolnim in starim hrastom pa je pustila gliva pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*). Kontrolni bukvi se je zmanjšala masa za 42%, kontrolnemu hrastu za 2% in staremu hrastu za 4%. Pisana ploskocevka je gliva, ki jo pogosto najdemo na bukovem lesu. Očitno pa je, da gliva nima ustreznih encimov za razgradnjo hrastovine.

Po izpostavitvi vsem petim glivam je v povprečju kontrolna bukev izgubila 28,534%, kontrolni hrast 1,082% in star hrast 4,326% mase (Preglednica 8).

Glede na majhne izgube mase lahko potrdimo da les hrasta spada med bolj odporne lesne vrste. Dobro odpornost ohrani tudi po več desetletjih rabe. Pri tem je treba upoštevati, da se je hrastov les nahajal v suhem okolju in zato ni prišlo do izpiranja ekstraktivov ali predhodne glivne okužbe, kar bi lahko vplivalo na odpornost lesa.

4.1.2 Vlažnosti stare hrastovine po izpostavitvi glivam



Slika 12: Povprečna vlažnost kontrolnih vzorcev in vzorcev starega hrasta. Gt2 – navadna tramovka (*Gloeophyllumtrabeum*); Hf - ogljena kroglica (*Hypoxylonfragiforme*); Plo5 - bukov ostrigar (*Pleurotusostreatus*); Pv2 - bela hišna goba (*Antrodiavaillantii*); Tv6 - pisana ploskocevka (*Trametesversicolor*).

Vlažnost vseh treh vrst lesa po izpostavitvi glivam je zelo različna. Najvišjo vlažnost smo opazili pri bukovini izpostavljeni tramovki in ogljeni kroglici (Slika 12, preglednica 9). V kolikor med seboj primerjamo podatke o izgubi mase in vlažnosti lesa v preglednici 9, opazimo, da med tema dvema parametroma ni zaznati nobene povezave. Ni splošnega pravila, ki bi veljal za vse glive.

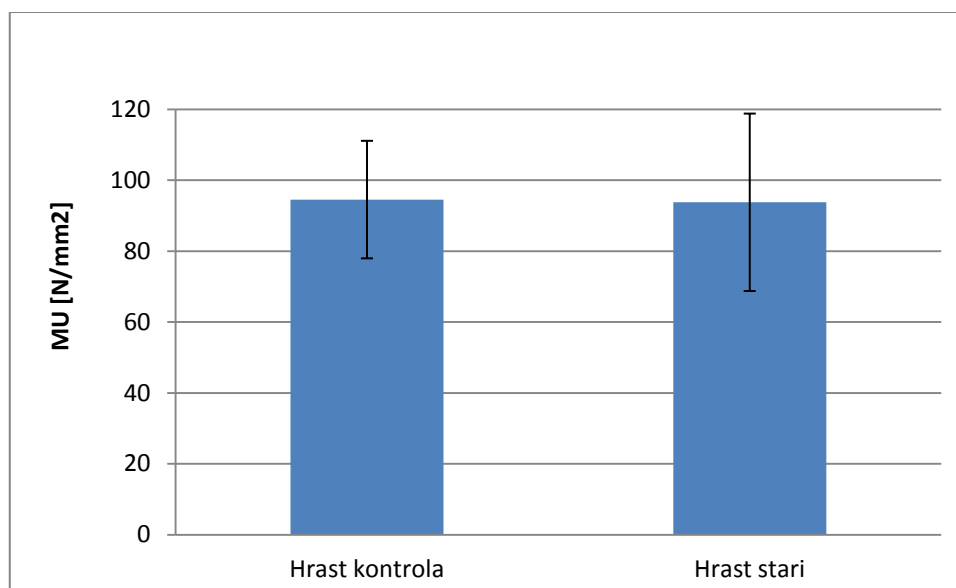
Preglednica 9: Standardni odklon in povprečna izguba mase in vlažnost lesa po 12 tedenski izpostavitvi glivam razkrojevalkam.

Vrsta lesa	Gliva	Fungicidne lastnosti			
		Izguba mase		Vsebnost vlage	
		(%)	St.dev. (%)	(%)	St.dev. (%)
Bukev kontrola	Gt2	30,63	6,84	116,98	33,72
	Hf	43,39	8,84	92,95	16,72
	Plo5	25,66	8,91	116,39	28,16
	Pv2	11,20	2,30	49,22	5,13
	Tv6	31,79	9,78	80,67	19,28
Hrast kontrola	Gt2	0,66	0,18	83,57	8,96
	Hf	0,92	0,42	88,24	12,25
	Plo5	1,57	0,49	98,36	16,29
	Pv2	0,43	0,53	88,57	16,79
	Tv6	1,83	1,27	91,37	24,59
Hrast stari	Gt2	6,18	2,39	70,80	12,16
	Hf	4,47	0,63	67,62	4,83
	Plo5	3,53	0,54	62,46	4,25
	Pv2	4,10	0,99	59,63	26,85
	Tv6	3,35	0,47	66,24	2,85

4.2 MEHANSKE LASTNOSTI LESA

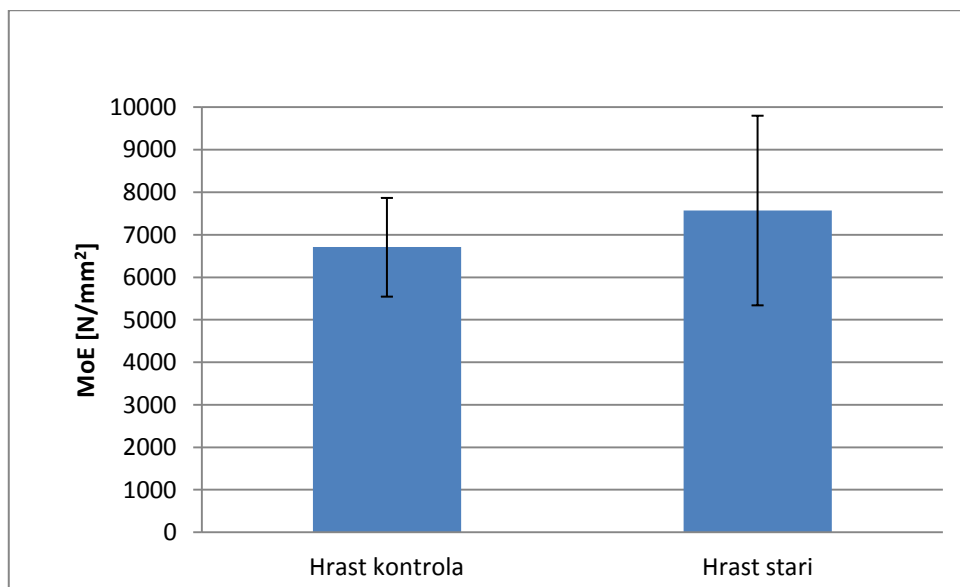
Ugotavljali smo tri bistvene mehanske lastnosti starega hrasta, in sicer upogibno in tlačno trdnost ter modul elastičnosti. Pri ugotavljanju upogibne trdnosti (MoU) smo vzeli za izhodišče modul porušjenja (MoR), ki ga dejansko izmeri sama naprava za merjenje vzorcev na upogib. Zaradi pomanjkanja količine materiala, ostalih mehanskih testov nismo uspeli izvesti.

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



Slika 13: Upogibna trdnost starega in kontrolnega hrastovega lesa

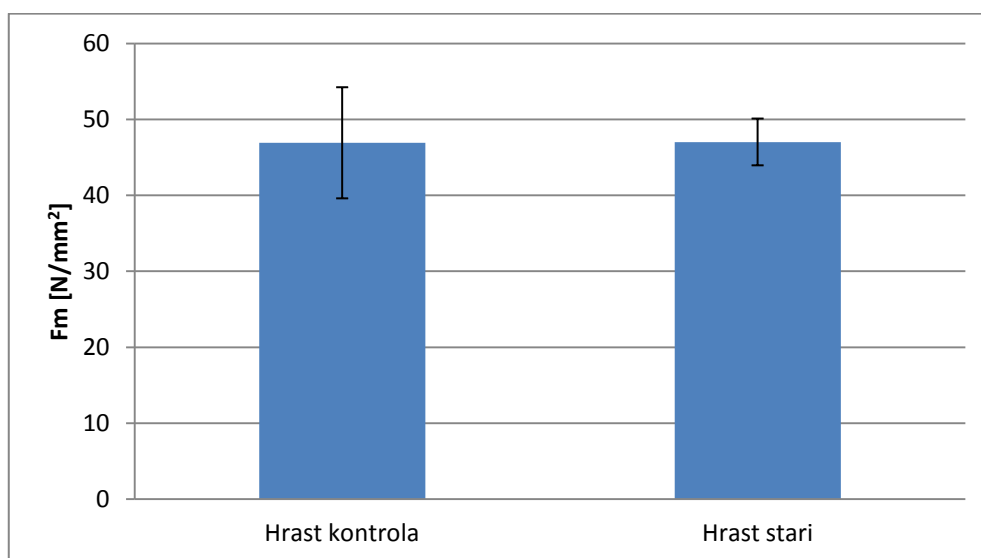
Iz rezultatov je jasno razvidno, da se s staranjem hrasta upogibna trdnost bistveno ne spreminja. Za kontrolni hrast znaša $94,5 \text{ N/mm}^2$, za star hrast pa $93,7 \text{ N/mm}^2$. To pomeni, da se je upogibna trdnost hrasta v dvesto letih bistveno ni poslabšala. Ker ne poznamo izhodiščne vrednosti ne moremo gotovo trditi za koliko se je poslabšala upogibna trdnost, a zagotovo lahko trdimo, da je upogibna trdnost ostala v okvirih, ki omogočajo nadaljnjo rabo starega lesa tudi v konstrukcijske namene.



Slika 14: Modul elastičnosti [N/mm²] - kontrolnih in starih vzorcev hrastovine.

Modul elastičnosti starega lesa je nekoliko večji, kot smo ga zabeležili pri kontrolnih vzorcih. Pri kontrolnem vzorcu smo določili MoE 6708,5 N/mm², pri starem pa 7573,1 N/mm². Razlika med moduloma zaradi velikega standardnega odklona ni statistično značilna (Slika 14). Podatek pa nakazuje, da so mehanske lastnosti starega lesa ustrezne tudi s tega vidika.

4.2.2 Tlačna trdnost (Fm)



Slika 15: Fm – modul porušitve [N/mm²] – tlačna trdnost vzorcev kontrole in starega hrasta.

S staranjem hrastovega lesa se tudi tlačna trdnostne spreminja. Za veliko vrst lesa je značilno, da se s staranjem tlačna trdnost poveča za nekaj ali več deset procentov. Pri sveže posekane hrastu smo določili tlačno trdnost $46,9 \text{ N/mm}^2$, pri starem hrastu pa $47,1 \text{ N/mm}^2$. To pomeni, da je tlačna trdnost stare hrastovine primerljiva s tlačno trdnostjo kontrolnega vzorca. Podatki so pomembni tudi s praktičnega vidika, saj omogočajo neovirano ponovno rabo starega lesa (Slika 15).

Skupni podatki mehanskih lastnosti so prikazani v preglednici 15. Iz te preglednice je razvidno, da ne glede na uporabljen test, lahko sklepamo, da so mehanske lastnosti stare hrastovine povsem primerljive s kontrolnimi vrednostmi. To pomeni, da star les lahko ponovno vključimo v sistem kaskadne rabe lesa.

Preglednica 10: Spremembe mehanskih lastnosti

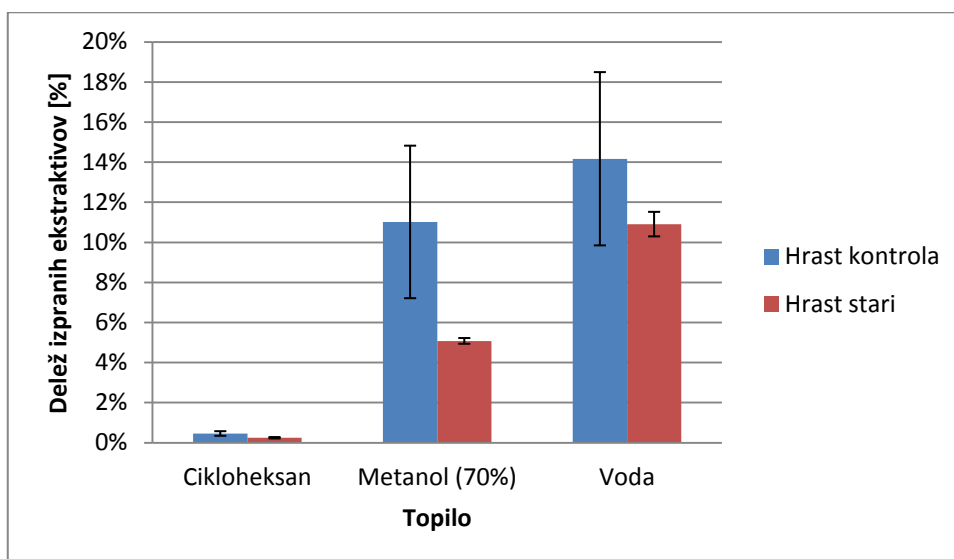
Vrsta lesa	Mehanske lastnosti					
	Upogibna trdnost (MoR)		Modul elastičnosti (MoE)		Tlačna trdnost (Fm)	
	povprečje [N/mm ²]	St.dev. [N/mm ²]	povprečje [N/mm ²]	St.dev. [N/mm ²]	povprečje [N/mm ²]	St.dev. [N/mm ²]
Hrast kontrola	94,5	16,6	6708,5	1161,3	46,9	7,3
Hrast stari	93,7	25,1	7573,1	223,7	47,1	3,1

Takšni rezultati potrjuje dejstvo, da je hrast zelo uporaben pri gradnji objektov. Hkrati nam dajejo odgovor na vprašanje, zakaj vidimo toliko starih lesenih objektov, kjer so vitalni deli iz hrastovega lesa.

4.3 DELEŽ EKSTRAKTIVOV V LESU

Odpornost lesa je povezana z vsebovanimi ekstraktivi. Z vidika zaščite ločimo dve vrsti ekstraktivov. Medtem, ko ena vrsta povečuje, druga vrsta zmanjšuje odpornost lesa. Ekstraktive smo izpirali s tremi različnimi topili, in sicer s cikloheksanom, 70% metanolom in vodo. Na ta način smo dobili dober pregled nad ekstraktivi v lesu.

4.3.1 Delež ekstraktivov v starem hrastu



Slika 16: Delež ekstraktivov v starem hrastu in kontroli izpranih s topili cikloheksana, metanola (70 %) in vode.

Iz slike 16 je razvidno, da se je pri ekstrakciji z vodo izpralo največ ekstraktivov, nekaj manj z metanolom (70%) in najmanj pri ekstrakciji z cikloheksanom. Ti rezultati so pričakovani, saj je znano da hrast vsebuje predvsem vodotopne fenolne ekstraktive. V primerjavi s kontrolnim hrastom je bil v starem hrastu izpran manjši delež ekstraktivov (Preglednica 11).

Preglednica 11: Delež izpranih ekstraktivov

Vrsta lesa	Topilo	Ekstraktivi	
		Povprečje [%]	St.dev. [%]
Hrast kontrola	Cikloheksan	0,46	0,12
	Metanol (70%)	11,02	3,81
	Voda	14,17	4,32
Hrast stari	Cikloheksan	0,25	0,03
	Metanol (70%)	5,08	0,14
	Voda	10,91	0,61

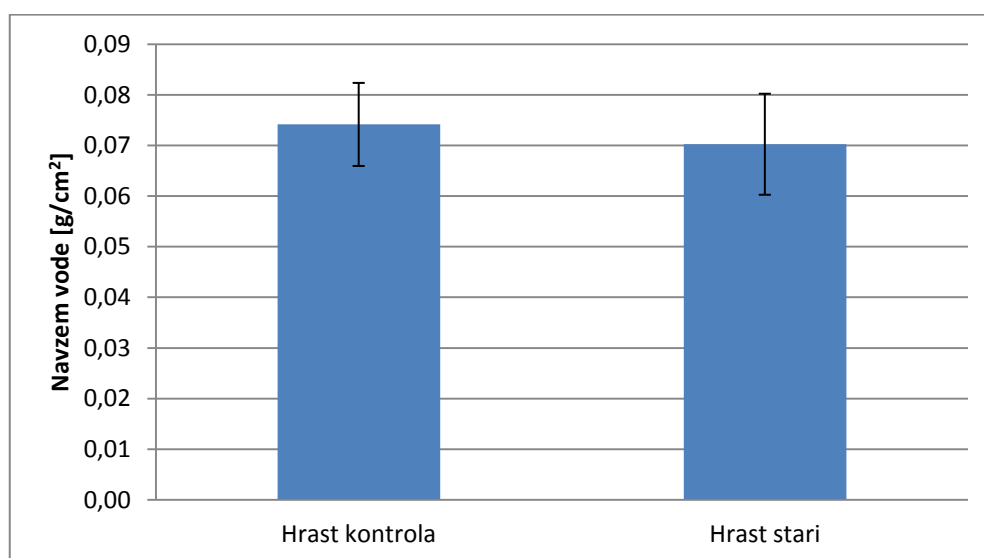
Manjši deleže ekstraktivov v strem lesu je lahko posledica dejstva, da je bilo že v izhodišču v lesu manj ekstraktivov, ali pa so se med uporabo ekstraktivi delno razgradili ali polimerizirali in na ta način postali netopni. Drugo odporto vprašanje je kakšna je sestava ekstraktivov. Ali je sestava ekstraktivov v starem lesu primerljiva s sestavo ekstraktivov v svežem lesu. Na to vprašanje bo treba odgovoriti v kakšni od prihodnjih nalog.

4.4 NAVZEM VODE IN SORPCIJSKE LASTNOST

Glede sorpcijskih lastnosti smo ugotavljali samo kratkotrajen navzem vode. Pri praktičnih testih smo uporabljali tako nepoškodovane kot vzorce, na katerih je bil opravljen test porušitve.

4.4.1 Kapilarni navzem vode

Kapilarni navzem vode je podatek ki nakazuje, koliko vode les vpije v primeru kratkotrajnega vlaženja. Če les ostane suh, je manjša verjetnost okužbe z glivami.



Slika 17: Navzem vode [g/cm²] po 200 s namakanja starega hrasta in kontrole.

Preglednica 12: Navzem vode v čela vzorcev po 200 s namakanja

Vrsta lesa	Navzem vode	
	Povprečje [g/cm ²]	St.dev. [g/cm ²]
Hrast kontrola	0,0742	0,0082
Hrast stari	0,0703	0,0100

Primerjava kontrolnega in starega hrasta pri kapilarnem navzemu vode nam pokaže da je razlika minimalna in znaša okrog 5 % (Slika 17; Preglednica 12) Večji navzem vode je bil pri kontrolnem hrastu, a razlika med obema materialoma je tako majhna, da ji ne pripisujemo velikega pomena, saj lahko izhaja že iz anatomskih razlik. Ta podatek pa nakazuje, da voda v star les ne prodira lažje, kot v svež les.

5 SKLEPI

Za izvedbo diplomskega projekta so bili izbrani pravi materiali in metode, saj so omogočali pridobitev vseh potrebnih podatkov za pripravo rezultatov. Z ustrezno opremo ter aktivnimi glivami in topili smo uspešno opravili analize in teste na vseh pripravljenih vzorcih starega hrastovega lesa. Pri pripravi rezultatov pa smo upoštevali povprečje meritev vseh vzorcev pri posamezni metodi.

S staranjem hrastovega lesa se fungicidne lastnosti spreminjajo zelo odvisno od tega, katerim glivam je les izpostavljen. Med izbranimi glivami je največjo izgubo mase povzročila gliva navadna tramovka. Pri starem hrastovem lesu je bila glede na kontrolni hrast kar skoraj desetkrat večja izguba mase. Kljub vsemu je bila izguba mase relativno nizka v primerjavi z bukovino.

S staranjem se mehanske lastnosti hrastovega lesa v primerjavi s fungicidnimi mnogo manj spreminjajo. Upogibna in tlačna trdnost se z leti ne spreminjata; rahlo se poveča le modul elastičnosti.

Z izpiranjem s topili smo ugotovili, da v splošnem delež ekstraktivov v hrastu z leti upada.

Prav tako se s staranjem bistveno ne spreminja kratkotrajni kapilarni navzem vode.

6 POVZETEK

Od nekdaj je les med najpomembnejšimi gradbenimi materiali. Zaradi mnogih dobrih lastnosti, ki se tičejo samega materiala in razmeroma enostavne obdelave je bil vedno vsestransko uporaben, in sicer od najzahtevnejših gradbenih konstrukcij pa do enostavnih dekoracij. V času zavedanja podnebnih sprememb, ki jih je povzročil človek, pa les še dodatno pridobiva na pomenu kot ekološko zelo ustrezen material tako za okolje kot samo bivanje.

Pri uporabi lesa v različne namene je pomembno poznavanje njegovih lastnosti, saj samo na ta način leseni izdelek lahko dolgo in učinkovito služi svojemu namenu. Večina slovenskih avtohtonih vrst lesa nima svoje naravne odpornosti. Dodatno je naša klima zelo neugodna za uporabo lesa na prostem.

Pri diplomskem projektu smo želeli ugotoviti spremembo nekaterih najbolj pomembnih lastnosti hrastovega lesa. V ta namen smo uporabili približno 150 let star podporni delostrešja (roka), ki je bil izdelan iz hrastove jedrovine.

Fungicidne lastnosti smo ugotavljali z meritvijo izgube mase in vlažnosti lesa po izpostavitvi petim različnim glivam. Uporabili smo navadno tramovko, belo hišno gobo, ogljeno kroglico, bukov ostrigar in pisano ploskocevko. Mehanske lastnosti smo izmerili s pomočjo univerzalnega stroja Zwick. Pridobili smo rezultate o upogibni trdnosti, modulu elastičnosti in tlačni trdnosti. S tenziometrom smo lahko izmerili kapilarni navzem vode. Opravili smo tudi ekstrakcijo po Soxhletu. Uporabili smo tri različna topila: voda, 70 % metanol in cikloheksan. Vse navedene meritve smo opravili v skladu s standardi, ki smo jih lahko izpolnjevali z ustrežno opremo in metodami.

Največja izguba mase po izpostavitvi glivam je absolutno in relativno glede na kontrolni vzorec povzročila navadna tramovka in sicer 6,18 % oz. približno desetkrat več kot pri kontrolnem vzorcu. Vse meritve izgube mase pri kontrolnem vzorcu so pod 3 %, kar po standardu pomeni (meja je 3 %) zanemarljiva vrednost. Izgube mase po izpostavitvi ostalim glivam so rahlo nad omenjeno mejo. V primerjavi s kontrolno bukvijo, ki v povprečju izgubi 28,5 % mase, je hrast neprimerno bolj odporen les. Vlažnost po izpostavitvi glivam s staranjem narašča.

Medtem, ko se upogibna in tlačna trdnost z leti ne spreminja, se modul elastičnosti rahlo večja. Pri kontrolnem hrastu smo izmerili $6708,5 \text{ N/mm}^2$, pri starem pa $7573,1 \text{ N/mm}^2$.

Delež ekstraktivov s staranjem upada. Največjo razliko smo ugotovili pri izpiranju s 70 % metanolom. Pri starem hrastu smo izprali samo 46 % glede na kontrolni hrast.

S staranjem hrastovega lesa minimalno upada tudi kapilarni navzem vode.

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
- Brus R. 2008. Dendrologija za gozdarje: univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 408 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.
- 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
- 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.
- Guilley E., Charpentier J., Ayadi N., Snakkers G., Nepveu G., Charrier B. 2004. Decay resistance against *Coriolus versicolor* in Sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.). analiysis 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

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

Krapež D. 2014. Vpliv izpostavitve lesa na prostem na vsebnost ekstraktivov in tlačno trdnost. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 63 str.

Lesar B., Humar M., Oven P. 2008. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegova trajnost. *Les*, 60, 11-12: 408-414

Lesarski priročnik. 2008. 1. Izdaja. Ljubljana. DZS: 615 str.

Panshin A., De Zeeuw C. 1980. *Textbook of Wood Technology*, 4 izd. McGraw-Hill, New York: 722 str.

Pipa R. 1997. *Anatomija in tehnologija lesa*: Lesarska založba, 135 str.

Reis M. 1973. Variation in decay resistance of four wood species of Southeastern Brazil. *Holzforschung*, 27(3): 103- 111

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 odprtotrosnicam. 1995: 25 str.

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.

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

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.

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., Paajanen 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.

Žlahtič M. 2013. Vpliv naravnega staranja na izbrane lastnosti smrekovine in kostanjevine. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 81 str.

ZAHVALA

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matevž BREGAR

**NARAVNA ODPORNOST, DELEŽ EKSTRAKTIVOV
IN IZBRANE MEHANSKE LASTNOSTI
ŽE UPORABLJENE JEDROVINE HRASTA**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2015