

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Anamarija VALANTIČ

**MEHANSKE LASTNOSTI UTRJENEGA STROHNJENEGA LESA IN
NJEHOVA ODPORNOST PROTI LESNIM GLIVAM**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**MECHANICAL PROPERTIES OF CONSOLIDATED ROTTED
WOOD AND HIS RESISTANCE TO WOOD FUNGI**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2016

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

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Franca Pohlevna in za recenzenta prof. dr. Milana Šerneka.

Mentor: prof. dr. Franc Pohleven

Somentor: /

Recenzent: prof. dr. Milan Šernek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Anamarija VALANTIČ

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*844.4
KG	utrjevanje lesa/impregnacija/tlačna trdnost/upogibna trdnost/odpornost/lesne glive
AV	VALANTIČ Anamarija
SA	POHLEVEN, Franc (mentor)/ŠERNEK, Milan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	MEHANSKE LASTNOSTI UTRJENEGA STROHNJENEGA LESA IN NJEGOVA ODPORNOST PROTI LESNIM GLIVAM
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP	XI, 47 str., 10 pregl., 24 sl., 30 vir.
IJ	Sl
JI	sl/en
AI	Star les, s katerim se srečujejo restavratorji in konzervatorji, je pogosto napaden z različnimi škodljivci. Ta degradacija spremeni lastnosti lesa in oslabi njegove mehanske lastnosti. Z različnimi utrjevalci smo impregnirali vzorce lesa. Izvedeti smo hoteli, kateri utrjevalci imajo najboljše biocidne lastnosti in hkrati vračajo vsaj nekaj mehanskih lastnosti ponovno v les. To smo storili tako, da smo test razdelili na dva dela. V prvem delu smo se osredotočali na odpornost proti lesnim glivam, v drugem delu pa smo preverjali mehanske lastnosti lesa impregniranega s petimi izbranimi utrjevalci. Utrjevalce smo izbrali glede na pogostosti uporabe v restavratorstvu/ konzervatorstvu in komercialni dostopnosti. Uporabili smo tudi sredstvo, ki je bilo še v razvoju. Cilj naloge je torej bil ugotoviti odpornost petih lesnih utrjevalcev na navadno tramovko (<i>Gloeophyllum trabeum</i>) in belo hišno gobo (<i>Poria vaillantii</i>), ter preiskusili njihov vpliv na tlačno in upogibno trdnost tako utrjenih vzorcev. Ugotovili smo, da je najbolj odporen utrjevalec na belo hišno gobo bil Utrjevalni restavrator, na navadno tramovko pa utrjevalec z nano delci. Pri poskusu tlačne trdnosti so bili v povprečju najboljši vzorci impregnirani z utrjevalcem z nano delci, pri testu upogibne trdnosti pa vzorci impregnirani s poliestersko smolo.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 630*844.4
CX Wood consolidation/impregnation/compressive strength/bend strength/resistance/wood fungi
AU VALANTIČ Anamarija
AA POHLEVEN, Franc (supervisor)/ŠERNEK, Milan (co-advisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2016
TI MECHANICAL PROPERTIES OF CONSOLIDATED ROTTED WOOD AND HIS RESISTANCE TO WOOD FUNGI
DT Graduation Thesis (University studies)
NO XI, 47 p., 10 tab., 24 fig., 30 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Old wood, with which restorers and conservators are usually faced, is often attacked by various pests. This degradation alters the properties of wood and weakens its mechanical properties. For the purpose of this thesis, we impregnated various wood samples with different consolidants. We wanted to identify which consolidants have the best biocidal properties and at the same time give at least some of the mechanical properties back to the wood. In doing so we divided the test in two parts. In the first part of the test we focused on the resistance against wood-decaying fungi, while in the second part we examined the mechanical properties of the wood samples that we impregnated with five selected consolidants. The consolidants were selected according to frequency of use in the restoration / conservation science and commercial availability. We also used a consolidant which was still being developed at the time. The aim of the project was therefore to determine the resistance of the five wood consolidants against the brown rot fungi (*Gloeophyllum trabeum* and *Poria vaillantii*), and test their effect on compressive and flexural strength of the consolidated samples. We came to the conclusion that the most resistant consolidant against *Poria vaillantii* is the Consolidating restaurateur. Consolidant with nanoparticles is the most effective against *Gloeophyllum trabeum*. On average, the samples impregnated with the consolidant with nanoparticles gave the best results in the compressive strength tests and those impregnated with polyester resin gave the best results in the flexural strength tests.

KAZALO VSEBINE

str.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV IN TEORETIČNIH OSNOV	2
2.1 O LESU	2
2.1.1 Krčenje, nabrekanje in vlažnost	2
2.1.2 Gostota	3
2.1.3 Trdnost in upogib	3
2.1.4 Mikroskopska zgradba lesa	3
2.1.5 Kemijska sestava lesa	5
2.2 BIOLOŠKI ŠKODLJIVCI LESA	7
2.2.1. Glive	7
2.2.1.1 Razmnoževanje	8
2.2.1.2 Delitev gob gledena oskrbo s hrano	9
2.2.1.3 Pogoji za rast in delovanje	9
2.2.1.4 Vrste napadov	9
2.2.1.5 Vrste trohnob	10
2.2.1.5.1 Bela trohnoba	10
2.2.1.5.2 Rjava trohnoba	12
2.2.1.5.2.1 Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i>)	13
2.2.1.5.2.2 Bela hišna goba (<i>Poria vaillantii</i>)	14
2.3 ZAŠČITA LESA	15
2.3.2 Utrjevalci lesa	16
2.3.2.1 Odstranjevanje utrjevalcev in strupenih snovi iz lesa	18
2.3.3 Smole	18
3 MATERIALI IN METODE	19
3.1 MATERIAL	19
3.1.1 Vzorci	19

3.1.2	Utrjevalci	19
3.1.3	Glive	20
3.2	METODE	20
3.2.1	Poskus z glivami.....	20
3.2.1.1	Razrez lesa.....	20
3.2.1.2	Impregniranje in utrjevanje	20
3.2.1.3	Kondicioniranje vzorcev.....	20
3.2.1.4	Priprava gojišč in avtoklaviranje	20
3.2.1.5	Izpostavitve vzorcev delovanju gliv	21
3.2.2	Poskus za določanje tlačne trdnosti in upogiba	24
3.2.2.1	Uravnovešanje vlage.....	24
3.2.2.2	Preizkus tlačne trdnosti.....	24
3.2.2.3	Preizkus upogibne trdnosti	25
4	REZULTI IN RAZPRAVA	26
4.1	ODPORNOST LESNIH UTRJEVALCEV NA GLIVE RJAVE TROHNOBE.....	26
4.1.1	Odpornost vzorcev na belo hišno gobo (<i>Porio vaillantii</i>).....	26
4.1.2	Odpornost vzorcev na navadno tramovko (<i>Gloeophyllum trabeum</i>)	27
4.2	MEHANSKE LASTNOSTI	31
4.2.1	Tlačni test	31
4.2.2	Upogibni test	32
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	34
5.1	Razprava	34
5.2	Sklepi	35
6	POVZETEK.....	36
VIRI		37

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Uporabljeni gobi s podatki izvora	20
Preglednica 2: Povprečna izguba mase nezaščitenih novih testnih vzorcev pri beli hišni gobi	26
Preglednica 3: Povprečna izguba mase nezaščitenih starih testnih vzorcev pri beli hišni gobi	26
Preglednica 4: Povprečne izgube mase impregniranih vzorcev pri beli hišni gobi	27
Preglednica 5: Povprečna izguba mase nezaščitenih novih testnih vzorcev pri navadni tramovki	28
Preglednica 6: Povprečna izguba mase nezaščitenih starih testnih vzorcev pri navadni tramovki	28
Preglednica 7: Povprečne izgube mase impregniranih vzorcev pri navadni tramovki	28
Preglednica 8: Pregled povprečnih izgub mas	30
Preglednica 9: Povprečje rezultatov maksimalne sile in tlačne napetosti na vzorcih impregniranih z utrjevalnimi sredstvi	31
Preglednica 10: Povprečje rezultatov maksimalne sile in upogibne trdnosti na različna utrjevalna sredstva	32

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Zgradba celične stene (Hassan, 2016).....	4
Slika 2: Piknje v celični steni (Noyau, 2016).....	5
Slika 3: Zgradba in lokacija celuloze v lesni celici (Chen, 2010).....	5
Slika 4: Lokacija hemiceluloze znotraj celične stene (Achyuthan, 2010).....	6
Slika 5: Zgradba gliv (Chapman, 2015).....	8
Slika 6: Bazidiospore (Jeffree, 2008).....	8
Slika 7: Penetracija hif skozi celično steno (Blanchette, 2015).....	10
Slika 8: Struktura lesa z belo trohnobo (Blanchette, 2015).....	11
Slika 9: Mikroskopska povečava lesa okuženega z belo trohnobo (Blanchette, 2015).....	11
Slika 10: Struktura fragmentiranega lesa okuženega z rjavo trohnobo (Blanchette, 2015).....	13
Slika 11: Navadna tramovka (Lindsey, 2007).....	14
Slika 12: Rizomorfi bele hišne gobe (Humar, 2008).....	14
Slika 13: Prikaz razporeditve utrjevalca po lesni strukturi brez uporabe vakuumu (A in B) in z uporabo vakuumu (C in D) (Spirydowicz in sod., 2001).....	17
Slika 14: Vzorci z gobami.....	21
Slika 15: Bela hišna goba prekriva kontrolna vzorca in vzorec impregniran s poliestersko smolo.....	22
Slika 16: Bela hišna goba prekriva kontrolna vzorca v skupini z vzorcem impregniranim z epoksi smolo.....	22
Slika 17: Navadna tramovka prekriva kontrolna vzorca. Vzorec impregniran z Utrjevalnim restavratorjem je skoraj nedotaknjen.....	23
Slika 18: Navadna tramovka prekriva kontrolna vzorca skupaj z vzorcem impregniranim s poliestersko smolo.....	24
Slika 19: Vzorci po testu tlačne trdnosti.....	25
Slika 20: Graf upogibne porušilne napetosti.....	25
Slika 21: Povprečna izguba mase vzorcev glede na zaščitno sredstvo pri beli hišni gobi ..	27
Slika 22: Povprečna izguba mas glede na zaščitno sredstvo pri navadni tramovki	29
Slika 23: Povprečna porušitvena sila pri poskusu tlačne trdnosti za uporabljene utrjevalce	32
Slika 24: Povprečna porušitvena sila pri poskusu upogibne trdnosti za uporabljene utrjevalce	33

1 UVOD

Ker je les naraven material, je dovzeten za vplive okolja in biološke lesne škodljivce. Če ni primerno zaščiten, se sčasoma začne njegov razkroj. V naravi je to sicer nujen, na uporabnih predmetih in stavbnem pohištvu pa nezaželen proces. Z tem namenom smo impregnirali vzorce lesa dimenzij 15 x 25 x 50 mm s petimi različnimi utrjevalci z biocidnimi lastnostmi in jih izpostavili delovanju gliv. Vzorci so bili stehtani pred in po poskusu. Iz dobljenih meritev smo izračunali povprečne izgube mas. Ugotovili smo, da je bela hišna goba bolj intenzivno razkrajala les kot navadna tramovka. Najbolj odporen utrjevalec na belo hišno gobo je bil Utrjevalni restavrator, na navadno tramovko pa utrjevalec z nano delci. Naredili smo tudi poskus na tlačno in upogibno trdnost z impregniranimi vzorci dimenzij 20 x 20 x 45 mm za tlačno trdnost in 20 x 20 x 300 mm za upogibno trdnost. Pri poskusu tlačne trdnosti so bili v povprečju najboljši vzorci impregnirani z utrjevalcem z nano delci, pri testu upogibne trdnosti pa vzorci impregnirani s poliestersko smolo.

2 PREGLED OBJAV IN TEORETIČNIH OSNOV

2.1 O LESU

Les je porozen, higroskopski in obnovljiv material. S svojo impresivno zgradbo in lastnostmi nam že tisočletja služi kot material za gradnjo, uporabne in kulturno zgodovinske predmete. Postopki obdelave in predelave so okolju prijazni ter energetsko bolj učinkoviti kot pri drugih materialih.

2.1.1 Krčenje, nabrekanje in vlažnost

Vlažnost lesa predstavlja vodo, ki je absorbirana na površju ali prosto vodo (tekočo, kapljevina), ki je v sami porozni strukturi. Vlažnost lesa vpliva na fizikalne lastnosti (krčenje in nabrekanje, gostota, električne, akustične lastnosti, mehanske lastnosti), biološke lastnosti (odpornost na insekte, glive, bakterije,...) in tehnološke lastnosti (sušenje, kemična zaščita, lepljenje, premazovanje, utrjevanje,...). Vlago lahko les sprejema iz zraka ali direktno iz tekočega stanja (Gorišek, 2007).

Lastnosti lesa se najbolj spremenijo pri točki nasičenja celičnih sten (proces sušenja, ko v lesu prosta voda izhlapi, vezana voda pa je še v lesu). Ko pade vlažnost pod to točko, se začnejo praktično vse lastnosti lesa spreminjati (vlažnost 0 – popolnoma suh les, vlažnost 25-30% - točka nasičenja, $u_{\max}$ - popolnoma prepojen les; v naravi se ga ne dobi, je pa dostikrat pri arheološkem lesu, ki je bil dalj časa v vodi) (Gorišek, 2007).

Krčenje in nabrekanje lesa je količinsko enako volumnu oddane oz. sprejete higroskopske vode. Zaradi izrazite anizotropije sta skrček in nabrek glede na anatomske smeri različna (Gorišek in sod., 1994). Lahko se spremenita, če namesto vode uporabimo druge tekočine. Razredčene alkalne snovi lahko povzročijo močno nabrekanje, medtem ko je pri razredčenih kislinah to komaj opazno. Koncentrirane kisline, bodo ne samo povečale nabrekanje, ampak les uničile s hidrolizo. Nekatere nasičene raztopine bodo morda povečale nabrek. Ker pa pri utrjevanju nabrekanje ni zaželeno, se raje uporablja nopolarna oz. slabo polarna organska topila kot sta toluen in oktan. Nabrek v organskih raztopinah je odvisen od temperature, kar nam namiguje na kemični mehanizem (Unger in sod., 2001).

Medtem ko sama starost lesa nima znatnega vpliva na higroskopnost, so večje razlike pri lesu, ki je bil v vodi (arheološki vodni les, točka nasičenja okoli 50%). Posledica je krčenje pri večji stopnji vlažnosti, celice se drugače razgrajujejo, zato večje nabrekanje in krčenje. Tak les je težje osušiti in stabilizirati, ker se preveč obremeni celice in se te enostavno zrušijo. Lesne strukture ni mogoče več vrniti v prvotno stanje (Unger in sod., 2001).

Če se les lahko nadaljno tretira s tekočinami, je odvisno od njegove vlažnosti, vrste lesa, deleža beljave in črnjave, strukture (aspiracija pikenj in otiljenje).

2.1.2 Gostota

Gostota lesa je definirana kot razmerje med maso in volumnom. Les kot porozna snov lahko vsebuje snovi v plinastem (zrak, vodna para), tekočem (voda, konzervansi) ali trdnem stanju (soli, utrjevalci). Glede na to katere snovi les vsebuje, zelo vpliva na njegovo maso in volumen.

Lesovi z višjo gostoto se bolj krčijo, sušijo in so načeloma bolj odporni. Gostota lesa vpliva tudi na trdnost, togost in upogib. Gostota bo manjša pri lesu, ki je bil napaden z insekti in glivami, kot pri zdravem lesu. Tak les postane tudi bolj permabilen. Prednost večje permabilnosti je lažja impregnacija, a obenem tudi bolj neenakomerna porazdelitev impregnanta ali utrjevalca po lesu. Pri lesovih, ki so bili dolgo časa v vodi, je vpliv gostote na mehanske in odpornostne lastnosti drugačen. (Unger in sod., 2001).

2.1.3 Trdnost in upogib

Mehanske lastnosti lesa se najpogosteje določa z meritvami tlačne trdnosti in upogiba. Najpomembnejše trdnostne lastnosti so: natezna, tlačna, upogibna in strižna trdnost.

Les je močno anizotropičen. V različnih smereh ima različne lastnosti. Tudi njegova trdnost je odvisna od smeri v lesni strukturi. Natezne in upogibne lastnosti se lahko močno razlikujejo med seboj glede na smer vlaken in delovanja. Trdnost lesa je odvisna še od gostote, orientiranosti vlaken, deleža kasnega lesa in kemijske sestave. Lignin ima boljše tlačno trdnost, les z večjim deležem celuloze pa natezno trdnost.

Ko je les osušen pod točko nasičenja celičnih sten, se njegove trdnostne in upogibne lastnosti izboljšajo (Unger in sod., 2001).

2.1.4 Mikroskopska zgradba lesa

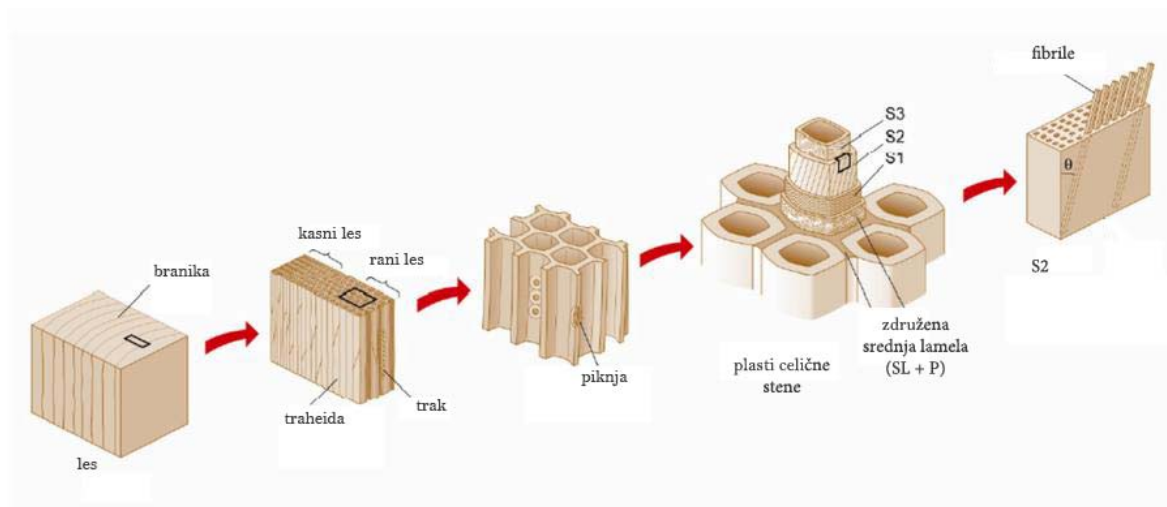
Struktura lesa iglavcev je enostavnejša od strukture lesa listavcev, kateri je sestavljen iz več tipov celic.

Tipična celica traheid in trahej ali vlaken je sestavljena iz: srednje lamele, primarne stene in sekundarne stene. Ta je nadaljno deljena na zunanji sloj (S1), srednji (S2) in tretji (S3) sloj sekundarne stene (slika 1).

Primarno steno sestavljajo celuloza, hemiceluloza in lignin. Lignina je več kot v sekundarni steni. Primarna stena predstavlja prvo steno, ki obdaja celico ob njenem nastanku v kambiju (Wilcox, 1973).

Sekundarna stena je sestavljena iz treh slojev (S1, S2, S3). V teh slojih so plasti celuloznih fibril različno usmerjene. Sloj S2 predstavlja največji delež celične stene. Ta sloj v veliki meri tudi narekuje fizikalne lastnosti celične stene in določa lastnosti lesa. Sestavljena iz pretežno celuloze in hemiceluloze (Wilcox, 1973).

Pri nekaterih vrstah lesa se na notranjem sloju sekundarne stene nahaja še tako imenovani **bradavičasti sloj**. Glavni sestavini sta lignin in hemiceluloze (Čufar, 2002).



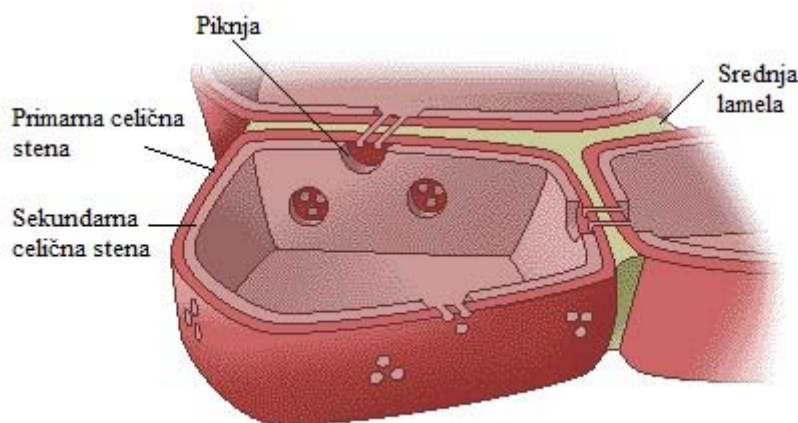
Slika 1: Zgradba celične stene (Hassan, 2016)

Opaženo je bilo, da je S3 sloj sekundarne stene nekaterih drevesnih vrst zelo odporen na rjavo trohnobo, na napade nekaterih gob bele trohnobe in na kisline in baze. Tudi S2 kaže odpornost na rjavo trohnobo. Za S1 je bilo ugotovljeno, da kaže odpornost na rjavo in belo trohnobo. Zdržena srednja lamela je kazala največjo odpornost na napade rjave in bele trohnobe (Wilcox, 1973).

Srednja lamela je sloj, ki lepi skupaj dve sosednji celici. Je skoraj brez celuloze in ima največji delež lignina. Srednjo lamelo in primarni steni dveh sosednjih celic imenujemo zdržena srednja lamela (Čufar, 2006).

Odprtine v sekundarni celični steni imenujemo pikenje. Pikenj je več vrst, ampak načeloma so vsaj z ene strani zaprte z membrano. Preko pikenj se vrši izmenjava snovi med celicami (slika 2). Pri parenhimskih celicah so pikenje bolj preproste, pri celicah z dobro razvito sekundarno steno (kot traheide in vlakna) pa so naprednejše (Wilcox, 1973).

Skozi pikenje se lahko vraščajo mehurjasti izrastki trakovne ali aksialne parenhimske celice v trahejni lumen. Te izrastke imenujemo tile (Polanc, 2004).



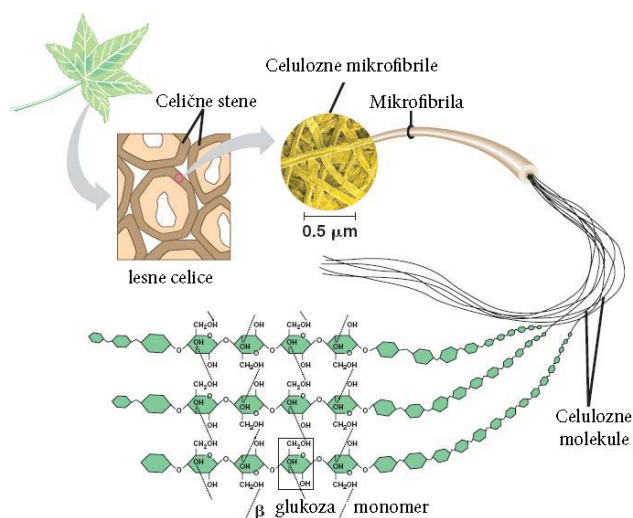
Slika 2: Piknje v celični steni (Noyau, 2016)

Wilcox (1973) trdi, da piknje v procesu degradacije omogočajo prehod tistim organizmom, ki nimajo dovolj dobrih sposobnosti penetrirati skozi celično steno. Piknje omogočajo tudi pretok tekočin med celicami in v lesu.

2.1.5 Kemijska sestava lesa

Načeloma ni razlik v elementarni sestavi iglavcev in listavcev. Elementi, ki sestavljajo les, so ogljik, kisik, vodik in dušik. Glavne sestavine lesa so celuloza, hemiceluloza in lignin. Celuloza in hemiceluloza so polisaharidi. Delež teh treh sestavin varira pri iglavcih in listavcih. Največje razlike se kažejo v deležu hemiceluloze.

Celuloza je primarni gradnik celičnih sten in je glavna oblika ogljika in energije (Piškur in Pohleven, 2008). Zgrajena je iz molekul glukoze (grozdnega sladkorja), ki nastaja pri fotosintezi (slika 3). Celuloza je brezbarvna snov, ki se topi samo v določenih spojinah, v lugih in kislinah šele pri večjih temperaturah.

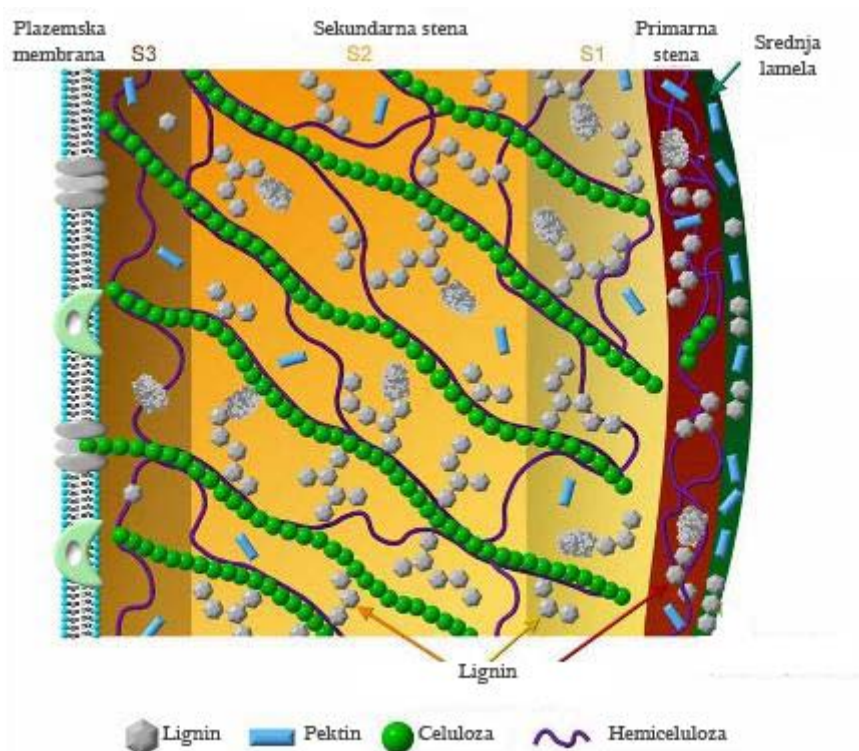


Slika 3: Zgradba in lokacija celuloze v lesni celici (Chen, 2010)

Lignin: delež lignina narašča s starostjo drevesa. Nekje med 20-30 % ga najdemo v celični steni. Je manj odporen na kemične reagente. Ko celice prenehajo rasti, se začne v celično steno nalagati lignin. Procesu pravimo lignifikacija.

Hemiceluloza: zgrajena je iz pentoz in heksoz. Obdaja celulozne fibrile (Humar in Pohleven, 2000) in je običajno prva komponenta, ki jo gliva začne razgrajevati (Piškur in Pohleven, 2008). V lesu predstavljajo hemiceluloza hrano za insekte in mikroorganizme.

Povezava glavnih gradnikov celične stene (celuloze, hemiceluloze in lignina), spominja na beton, kjer so polisaharidi jeklo in lignin beton (slika 4) (Unger in sod., 2001).



Slika 4: Lokacija hemiceluloze znotraj celične stene (Achyuthan, 2010)

Ostale sestavine lesa (ekstraktivi) so v lesu le v manjših količinah. Mednje spadajo škrob, smola, čreslovine, barvila, toksične in mineralne snovi (pepel, kalcij, fosfor, magnezij, mangan, natrij, aluminij, železo, klorid, fosfat in sulfat) (Čufar, 2002).

Les se s časom stara in spreminja glede na okolje v katerem je. Sprememb ne prinese staranje samo po sebi, ampak jih prinesejo; izpostavljenost zraku, klimatske razmere, prisotnost razkrojevalskih organizmov (insektov, bakterij, gliv in vodnih organizmov). Pri kulturno-zgodovinskih predmetih se v suhem lesu te sestavine ne spremenijo. Pri lesu, ki je bil v zemlji, pa sta vodik in kisik prisotna v manjših količinah. Količina dušika se rahlo poveča. Ves izkopan les ima višji delež pepela v primerjavi z novim lesom, ki ima

vsebnost pepela manj kot 1%, medtem ko ga ima arheološki les, ki je bil v mokrih pogojih 10% ali več. Delež hemiceluloze in celuloze je večji v starem lesu, delež lignina pa manjši zaradi oksidativne razgradnje. Študije so pokazale, da se razgradnja vlažnega arheološkega lesa začne s hemicelulozo, sledi celuloza, lignin pa je najbolj odporen, ker za razpad potrebuje kisik, ki ga globoko v zemlji ali vodi ni, oziroma ga je manj. V anaerobnih pogojih je les zaradi bakterij izpostavljen kemični razgradnji (hidrolizi) in strukturnim spremembam. Razgradnja sten gre v smeri S3, S2, S1. Na koncu ostane le srednja lamela. Suh les bo na odprtem in zraku obledel in razpokal. Les, ki je bil poškodovan z organizmi bo kazal znake trohnobe in razpadanja. Insekti na lesu pustijo sledove rovov in luknjic, glive modrivke obarvanja, gobe rjave trohnobe pa les potemnijo in pustijo vidne »kockaste« razpoke (Unger in sod., 2001).

2.2 BIOLOŠKI ŠKODLJIVCI LESA

Razkrojevanje lesa povzročajo biotični (glive, bakterije, insekti, morski škodljivci in človek) in abiotični dejavniki (vreme; dež, sneg, veter, temperature, vlažnost, UV svetloba, zrak, kemikalije in ogenj). Svetloba in kisik iz zraka razkrajata lignin in dolgoročno tudi celulozo. Površina lesa je zaradi fizikalnega razkroja »pripravljena« za nadaljni napad z biološkimi škodljivci (Pohleven, 2006).

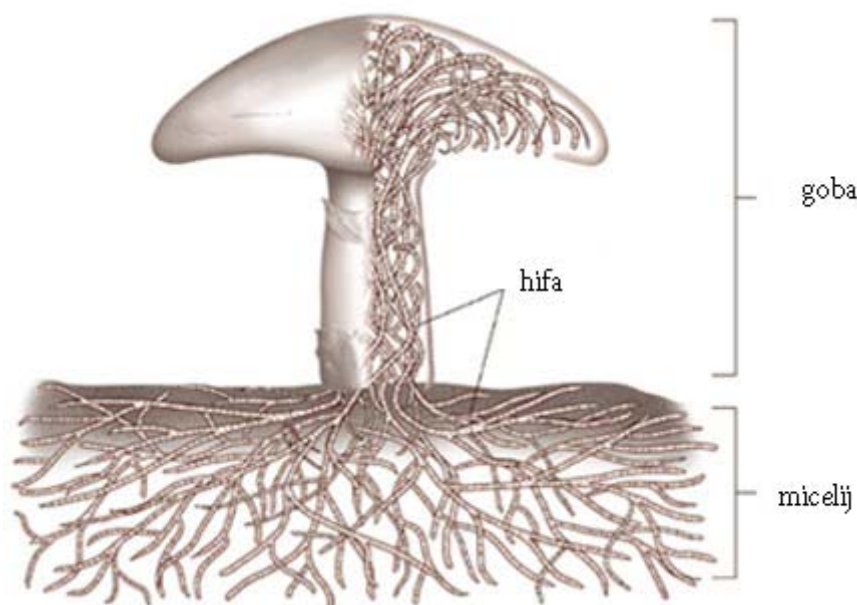
Biološki dejavniki z razkrajanjem lesne mase skrbijo za ekološko ravnovesje v naravi (Polanc in Leban, 2004). Ko ti dejavniki razkrojujejo lesne izdelke ali zgodovinski les, jim pravimo lesni škodljivci. Ker ta diplomska naloga temelji na poskusu z lesnimi glivami, se bomo osredotočili na to skupino škodljivcev.

2.2.1. Glive

So večcelični heterotrofni organizmi. Prehranjujejo se z organskimi snovmi drugih organizmov. Lesne glive razgrajujejo lesne komponente in strukturo, ter s tem omogočajo hrano tudi drugim organizmom. So pomemben člen v delovanju ekosistema in ohranjanja ravnovesja v naravi (Piškur in Pohleven, 2008).

Njihov potencial se kaže na številnih drugih področjih, tudi v agrikulturi, medicini in bioenergetiki. Z raziskovanjem njihovega delovanja se pripomore k izboljšavi okolja, dobrobit ljudi, ekonomije in tudi izboljšavi znanja, kako omejiti okužbe gliv na uporabnih predmetih, v hišah, na živih drevesih, itd. (Pohleven, 2006).

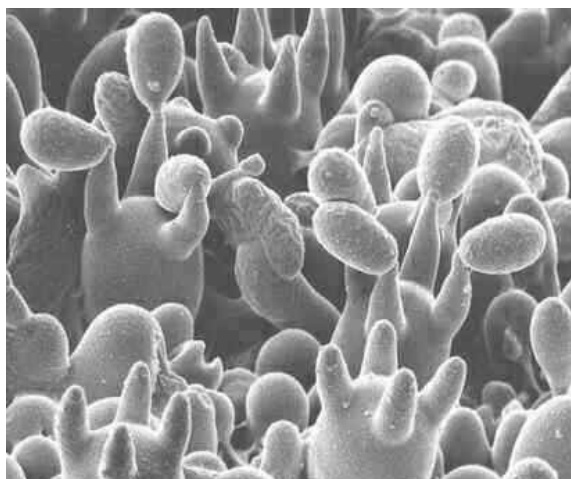
Glive so sestavljene iz prehranjevalnega dela (podgobje ali micelij) in razmnoževalnega dela (trosnjak ali goba) (slika 5). Micelij je sestavljen iz nitastih tvorb, ki jih imenujemo hife. Pri nekaterih vrstah gob se hife združujejo v vrvice ali rizomorfe. Hife proizvajajo encime, s katerimi prodirajo v les in ga razkrajajo. Te razkrojke goba posrka in jih porabi za energijo. S hifami in rizomorfi se goba širi preko lesa (pa tudi preko betona ali opeke). Iz podlage zraste trosnjak ali goba, ki na himenju (trosivnici) tvori spore (trose) (Pohleven, 2006).



Slika 5: Zgradba gliv (Chapman, 2015)

2.2.1.1 Razmnoževanje

Razmnoževanje gob poteka s sporami. Razmnoževanje je lahko spolno ali nespolno. Večina gob, ki naseljujejo les, spada v skupino Basidiomycota (prostotrosnice), Ascomycota (zaprtotrosnice) in Deuteromycota (Fungi imperfecti ali nepopolne glive) (Unger in sod., 2001). Glive, pri katerih nastanejo spore na površini himenija in sesprostijo v ozračje, spadajo v skupino Basidiomycota (slika 6). Glive, kjer spore nastanejo v zaprtih mešičkih in se sprostijo, ko se mešiček odpre, spadajo v skupino Ascomycota ali zaprtotrosnic.



Slika 6: Bazidiospore (Jeffree, 2008)

2.2.1.2 Delitev gob gledena oskrbo s hrano

Glede na način prehranjevanja delimo gobe na: simbiotske (živijo v sožitju), saprofitske (razkrajajo odmrl les npr. v stavbah, skladiščih) in parazitske glive (Pohleven, 2006). Določamo jih lahko tudi glede na okolje v katerem se nahajajo (drevesa, stavbni les, les v skladiščih) in glede na način okužbe: glive razkrojevalke (bela trohnoba, rjava trohnoba, mehka trohnoba), glive modrivke in površinske plesni (povzročajo obarvanja) (Unger in sod., 2001).

2.2.1.3 Pogoji za rast in delovanje

Glive za prehranjevanje in življenje v lesu potrebujejo pravšnjo količino zračne vlage, lesne vlažnosti in zraka (kisika). Uspevajo v temperaturnem območju od 10-40°C (Pohleven in Piškur, 2008). Za optimalno delovanje potrebujejo lesno vlažnost 35-60% (Unger, 1995), temperaturo od 23-27°C (Unger in sod., 2001), optimalno zračno vlago 90-95%, in pH 4-6. Potrebuje rahlo difuzno svetlobo, direktne ne marajo. Voda v lesu služi za transport hranil, za encimatski proces in kot topilo (Unger in sod., 2001). Les ne sme biti nasičen z vodo, saj ji tako zmanjka zraka. To je tudi razlog, zakaj ne morejo živeti v beljavi zdravega ali sveže posekanega lesa. Premalo vlage v lesu pa povzroča plazmolizo in s tem odmiranje gob (Pohleven, 2006), pH ugodno območje si lahko ustvarja sama (glive ob okužbi močno zakisajo les) (Humar in Pohleven, 2000).

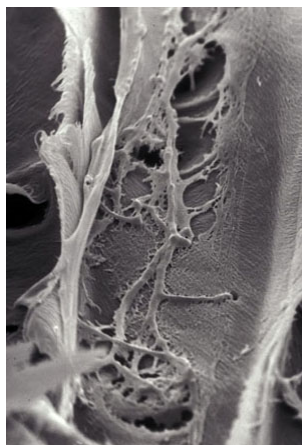
Glive razkrojevalke lahko uničimo s sušenjem ali potopitvijo lesa, zaduševanjem (plini, ki vežejo ali izpodrinejo kisik) in s segrevanjem nad 62°C. Nekatere vrste gliv lahko dolgo časa čakajo na ugodne pogoje za svoje delovanje in jih v suhih prostorih ne uničimo. Preživijo lahko zelo nizke temperature (do -40°C), pa tudi visoke. Preživijo tudi kratka obdobja brez kisika. Lahko jih uniči z izpostavljanjem neposredni sončni svetlobi ali z UV svetilkami. Uničimo jih tudi z bazičnimi spojinami, kot je gašeno apno (Unger in sod., 2001).

2.2.1.4 Vrste napadov

Oblika trohnobe je odvisna od encimov, ki jih goba izloča za razgradnjo celične stene (Unger in sod., 2001). Les, ki je bil okužen z glivami razkrojevalkami, postane lažji, trdnost, kalorična vrednost in elastičnost se zmanjša, spremenita se tudi barva in vonj. Poveča se vpijanje vode, prevajanje toplote in vnetljivost. Razgradijo se celuloza, hemiceluloza in lignin. Kot produkt razgradnje nastanejo voda, minerali, organske kisline, CO₂ in v končni fazi monosaharidi (Pohleven, 2006).

Nobena vrsta lesa ni odporna na razkroj z lesnimi glivami. Razlika je samo v tem, da se nekateri lesovi razkrajajo počasneje, nekateri hitreje. To je odvisno od naravne odpornosti lesne vrste, okolja v katerem je in seveda vrste okužbe. Ni tudi nujno, da se vse vrste gliv prehranjujejo z istim lesom. Nekatere okužujejo iglavce, druge listavce. Nekatere okužujejo beljavo, druge črnjavo, spet tretje oboje (Unger in sod., 2001). Prehajanje hif skozi celično steno vidimo na sliki 7.

Trohnoba se lahko pojavi tudi na lesu, ki je bil stoletja zapečaten v grobnicah globoko pod zemljo. Zayed (1956) je opazil, da se je najbolj močno trohnenje pojavilo na predmetih, ki so bili v stiku s tlemi grobnice oz. ob njenih stenah. Nabiranje vlage se je moralo zgoditi takoj po zaprtju grobnice in na lesu so morale biti še vitalne spore. Zdi se, da so rjavo trohnobo prenašali insekti, ki so vstopili v grobnico (Blanchette in sod., 1994).



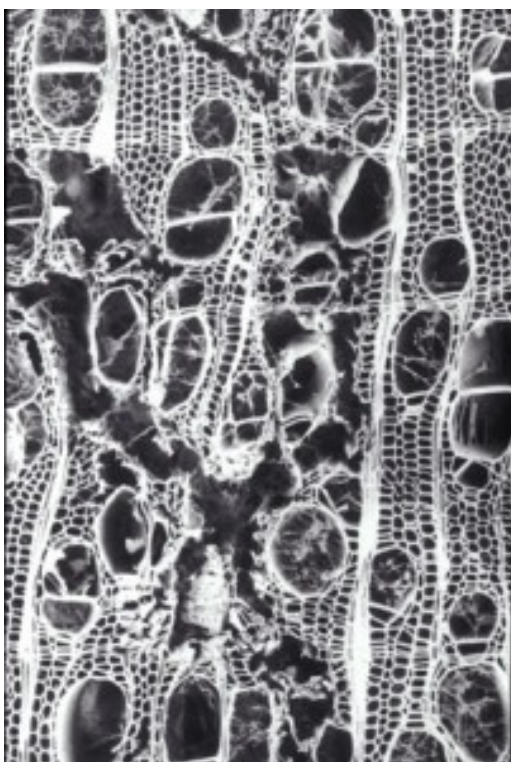
Slika 7: Penetracija hif skozi celično steno (Blanchette, 2015)

2.2.1.5 Vrste trohnob

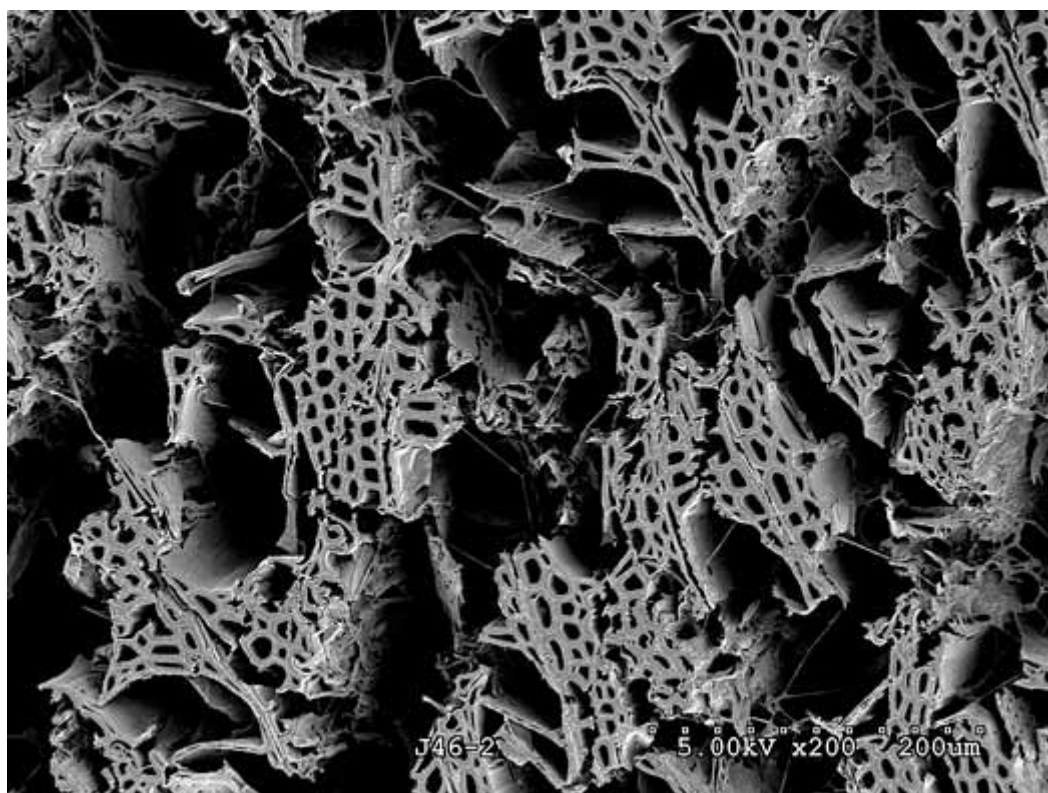
Trohnobe delimo glede na: vlažnost lesa (sušna, vlažna ali mehka) in glede na spremembo barve (rjava, bela, piravost, modrenje in plesni). Za namen te diplomske naloge smo se osredotočili predstaviti belo in rjavo trohnobo.

2.2.1.5.1 Bela trohnoba

Gobe bele trohnobe razgrajujejo predvsem lignin, delno pa tudi celulozo in hemicelulo (Wilcox, 1973). Proces razgradnje lignina in polisaharidov lahko poteka istočasno ali zaporedno. Zaradi tega se med procesom razgradnje delež celuloze in lignina spreminja. Bela trohnoba tako, zaradi intenzivnejše razgradnje lignina, daje lesu značilno belo barvo, po kateri je ta vrsta trohnobe dobila svoje ime (Unger in sod., 2001). Lignin obstaja v celičnih stenah, kot del zapletene matrike s celulozo. Ko bela trohnoba razkroji lignin, se lesna masa sesede. Pri trohnenju lesne celice dolgo časa ohranjajo svojo obliko. Razlog je v tem, da se celične stene (vlaknih listavcev in traheidah iglavcev) postopno in enakomerno tanjšajo, razkroj lignina in celuloze poteka iz površine lumna navzven (Wilcox, 1973) (sliki 8 in 9). Bela trohnoba povzroči manj sprememb dimenzijske stabilnosti volumna, kot rjava. Prazni prostori povečajo zmožnost sprejemanja vode, zato les bolj nabrekne in je bolj gobast. Ko je suh, je lahek in mehek z razpuščeno strukturo in obliko (Unger in sod., 2001).



Slika 8: Struktura lesa z belo trohno (Blanchette, 2015)



Slika 9: Mikroskopska povečava lesa okuženega z belo trohno (Blanchette, 2015)

2.2.1.5.2 Rjava trohnoba

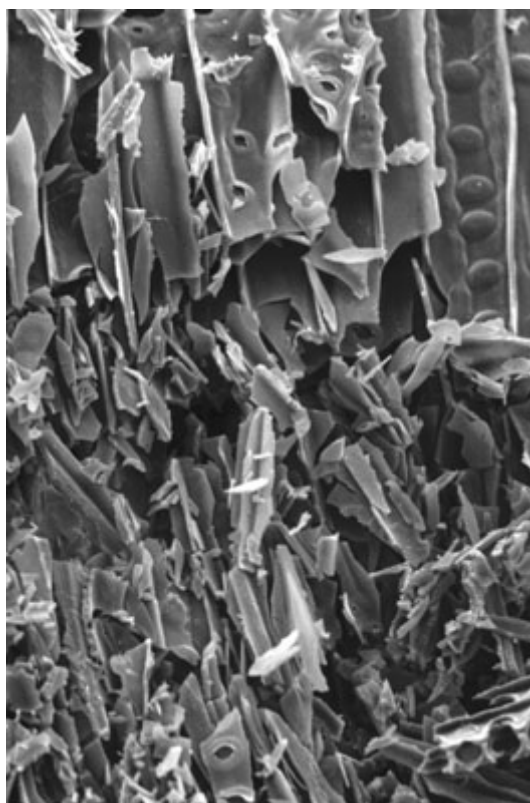
Glive rjave trohnobe okužijo predvsem les iglavcev (Humar in Pohleven, 2000). Razgrajujejo samo celulozo in hemicelulozo. Lignin je pri tem izpostavljen oksidaciji, zaradi katere potemni. S tem daje lesu značilno rjavo barvo (Unger in sod., 2001). Hife izraščajo v celičen lumen in so v stiku s celično steno (Wilcox, 1973). Skoznjo lahko prodrejo skozi piknje in prevajalne elemente ali kemično, z razgradnjo sten. Faze razkroja rjave trohnobe delimo na začetno ali nevidno, zgodnjo, vmesno in zadnjo. Začetna faza razkroja je neencimska in izguba mase lesa ni opazna (Humar in Pohleven, 2000).

Razgradnja celuloze zaradi rjave trohnobe poteka na difuzen način preko cele celične stene, kar ima za posledico v zgodnji fazi razkroja velike izgube trdnosti (Blanchette in sod., 1994), še preden je razkroj vidno opazen. Spremembe se najprej zgodijo pri traheidah iglavcev in vlaknih listavcev (Blanchette in sod., 1994; Humar in Pohleven, 2000).

V zgodnji fazi okužbe je celuloza odstranjena, vendar preostanek lignina drži celični okvir, zato celica obdrži obliko. Napaden je tudi trakovni parenhim. Poškodbe se vidijo šele v vmesni in zadnji fazi, ko preostal celični material nima več sposobnosti ohranjanja prvotno obliko in se sesede (kolapsira). Ko trohnenje napreduje, se razgradijo polisaharidi. Za sabo pustijo preostal celičen material, ki sestoji primarno iz modificiranega lignina (Blanchette in sod., 1994). V pozni fazi razkroja se celice ne tanjšajo kot pri beli trohnobi, ampak se sesedajo. Stopnja kolapsiranja se med sosednjimi celicami močno razlikuje. Razlikuje se celo na območjih celičnega zidu same celice. Na podlagi tega neenakomernega uničenja je možno razložiti prizmatično razpokan videz lesa. Rjava trohnoba (za razliko od bele trohnobe kjer se postopno odstranjujejo plasti celične stene), najprej napade notranje dele sekundarne stene (Wilcox, 1973).

Dovzetnost za razkroj različnih lesnih tkiv, vrst celic in slojev celičnih sten, je odvisen odrazlik v kemični sestavi (Wilcox, 1973). Kmalu po okužbi les začne izgubljati trdnost, na volumnem skrčku, upogibni trdnosti (lomljivosti), natezni in tlačni trdnosti. Pride do spremembe dimenzij (Pohlevem, 2006). Pojavijo se vzporedne in pravokotne razpoke, ki se s stopnjevanjem razkrojevanja spremenijo v kocke. V končni fazi se te kocke zdrobijo v prah, ki je bolj kot ne sestavljen iz lignina. Celične stene so v tej fazi popolnoma uničene (Unger in sod., 2001) (slika 10). Tak les, predvsem star, arheološki les predstavlja svojevrsten izziv konzervatorjem, ki ga morajo stabilizirati, preden ga lahko premaknejo brez povzročitve nadaljne škode (Blanchette in sod., 1994).

Najbolj tipične predstavnice gliv rjave trohnobe so: navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*), siva hišna goba (*Serpula lacrymans*), kletna goba (*Coniophoraputeana*) in bela hišna goba (*Poria vaillantii*) (Humar in Pohleven, 2000).



Slika 10: Struktura fragmentiranega lesa okuženega z rjavo trohno (Blanchette, 2015)

2.2.1.5.2.1 Navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*)

Razširjenost: Avstralija, Azija, Evropa (edino v VB jo je malo), Nova Zelandija, Severna Amerika in Južna Afrika. Pojavlja se na hlodovini iglavcev, lesu v uporabi, predvsem iglavcev, ki so navlaženi (ograje, drogovi za elektriko, železniški pragovi, ostrešjih, čolni, leseni mostovi...). Tudi na oknih iz lesu iglavcev, kjer je bila ujeta vlaga. Pojavi se občasno v temnih prostorih z visoko zračno vlažnostjo. Micelij je rdečerrjave barve, nitkast, suh in klobučast.

Neenak razkroj se začne neenakomerno v notranjosti lesa, zato jo na površju v začetni fazi ne opazimo. Les se loči po branikah z mnogimi kockastimi razpokami. Ko se tramovka opazi na površini lesa, je ponavadi izdelek že popolnoma uničen.

Substratski micelij je bel in puhast. Trosnjak je lahko v obliki trakov, strešnikov ali se pojavijo v vrstah. Je usnjast, močan in upogljiv (Unger in sod., 2001) (slika 11).

Optimalni pogoji so 26-35°C in 40-60% vlažnost lesa. Najbolje se razvijajo ob prisotnosti »ujete« vlage. Preživi lahko tudi v oknih, ki so bila ogrevana in osušena s sončno pripeko. Preživi lahko tudi nekaj mesecev z vlago 12%. Navadna tramovka je dokaj odporna na kreozot, PCP in CCA (Unger in sod., 2001).



Slika 11: Navadna tramovka (Lindsey, 2007)

2.2.1.5.2.2 Bela hišna goba (*Poria vaillantii*)

Pojavlja se na območjih zmernega in tropskega pasu Afrike, Azije, Avstralije, Evrope. Nekoliko manj v ZDA.

Okužuje povečini iglavce, najpogostje se nahaja v rudnikih, zelo vlažnih stavbah, v lesu na odprtem, ki je v kontaktu z zemljo.

Površinski micelij je popolnoma bel, gladek, v rasti je podoben ledenim rožam na oknu. Tudi ko je že suh, rizomorfi ostanejo fleksibilni (slika 12).

Optimalni pogoji za rast so 26-27°C, lesna vlažnost 35-45%. Bela hišna goba potrebuje dosti vlage, lahko pa preživi daljša obdobja mirovanja zaradi suše (Unger in sod., 2001).



Slika 12: Rizomorfi bele hišne gobe (Humar, 2008)

2.3 ZAŠČITA LESA

Les zaščitimo zaradi prisotnih škodljivcev, ali da napad preprečimo. To naredimo s fizičnimi, kemijskimi ali konstrukcijskimi ukrepi.

Preventivni ukrepi lahko nastopijo že ob sečnji drevesa, pa vse do izdelave in uporabe izdelkov. V gozdu upoštevamo čas sečnje, lupljenje debel, spravilo lesa in njegovo pravilno skladiščenje. Pri izdelkih izbiramo primerno lesno vrsto, pravilno konstrukcijo in vgradnjo. V prostorih, kjer leseni izdelki stojijo ali so vgrajeni, pazimo na vlažnost in prezračevanje. Les se lahko po različnih postopkih modificira. Tak les postane bolj odporen in dimenzijsko stabilnejši. Modifikacija je lahko kemična, termična, površinska ali pa encimska (Pohleven, 2007).

Preventivni kemični načini vključujejo uporabo biocidov in kombinacijo biocidov, topil in polnil. Dandanes se strmi k čim bolj okolju in zdravju prijaznim ter ekonomsko smiselnim metodam, ki ponavadi vključujejo več različnih materialov in postopkov (Unger in sod., 2001). Še vedno najpogosteje uporablja biocide na osnovi bakra (Humar in Pohleven, 2005). Obstaja pa tudi več alternativnih metod. Ena od alternativ so ekstraktivi črnjave in skorje različnih lesnih vrst. Uporabi se jih lahko kot naravne, biorazgradljive fungicide (Kawamura in sod., 2010). Še posebej se tu omenja cedra, katere ekstraktivi so izkazovali fungicidne lastnostitako na glive bele, kot rjave trohnobe (Mun in Prewitt, 2011).

2.3.1. Zaščita lesa nekoč

Že od pradavnine so hoteli uporaben les zaščititi pred propadanjem. Uporabljalo se je morske in mineralne soli, rastlinsko olje, balzame ter smole. Zgodovinsko pomembne spomenike so impregnirali z olji iz cipres, ceder in brinov. V srednjem veku se je razširila uporaba živosrebrovega klorida in arzenika. Za zaplinjevanje so uporabljali kalijev cianid. Uporaba katrana in petroleja se je izkazala za neučinkovito (Unger in Unger, 1994).

Konzervansi so lahko na osnovi topil in/ali na osnovi vode. Sredstva na vodni osnovi vključujejo uporabo neorganskih biocidov (soli), ki so raztopljeni v vodnih pripravkih. Primerni so za les z dokaj nizko vlažnostjo 20-30%, vlažen les (nad 30%) in zelo suh les (pod 20%).

Zaščitna sredstva na osnovi organskih topil so sestavljeni iz organskih biocidov, ki so vsaj deloma raztopljeni v organskih raztopinah. Topila po tretmaju izhlapijo, biocidi ostanejo v lesu in jih voda ne izpira. Manj nabrekanja lesa v nasprotju z vodnimi pripravki.

Lahko so formulirani s polarnimi (alkohol) ali nepolarnimi topili (bencin). Polarna topila lahko povzročajo nabrekanje, medtem ko nepolarna ne (Unger in sod., 2001).

Na predmetih, ki so že bil okuženi ali napadeni z insekti, izvajamo kemično in nekemično represivno zaščito. Med nekemično spada sušenje lesa, segrevanje/zmrzovanje, dovajanje nadtlaka/podtlaka, mikrovalovi, ultrazvok, gama žarki, rengentski žarki. Med kemično represivno zaščito se šteje vrsto postopkov, s katerimi les impregniramo z biocidnimi sredstvi ali zaplinimo s fungimanti. Zaplinjevanje je razširjeno zlasti pri tretiranju

muzejskih eksponatov, ki so napadeni z insekti. Zaradi vplivov na okolje je danes dovoljen fumigant fosfin (Pohleven, 2007).

Tlačni procesi so: z ali brez uporabe nadtlaka ali vakuuma, injiciranje pod visokim pritiskom.

Breztlačni procesi so: površinski (premazovanje, obžiganje in dimljenje, brizganje, kratko namakanje) in procesi s potapljanjem (namakanje, potapljanje, potapljanje s temperaturno razliko).

Posebni procesi impregnacije: difuzija, vbrizgavanje, kapsuliranje, zaduševanje, zaplinjevanje.

Tlačna impregnacija je navadno najbolj učinkovita. Za posebne zgodovinske predmete se večinoma uporablja netlačne in posebne impregnacije (Unger in sod., 2001).

2.3.2 Utrjevalci lesa

Primarna funkcija utrjevalcev je stabilizacija lesa (ojačanje razkrojene strukture), ki je bil poškodovan zaradi bioloških, kemičnih ali mehanskih vplivov (Unger in sod., 2001). Utrjevanje lesa ni nekaj novega. Koncept so poznali že zelo dolgo nazaj, spreminjale so se le utrjevalne metode (Unger in Unger, 1994).

Medtem ko se danes za utrjevanje največ uporablja polimerne materiale, so včasih uporabljali živalsko lepilo, staljen vosek, sušča olja in naravne smole (Wang in Schiewind, 1985).

Od 20. stol. se les utrjuje s sintetičnimi produkti kot so; celulozni nitrat, celulozni acetat, razne mešanice (parafina in čebelji vosek), naylon, poliakrilne spojine in epoksi smole. Od 70. let 20. stol. še nenasičene poliesterske smole, akrilne monomere, nanomateriale, itd. (Unger in Unger, 1994).

Utrjevanje poteka glede na namen nadaljne uporabe izdelka. Uporabiti ga je smiselno le toliko, kolikor je potrebno (Wang in Schiewind, 1985). Namen je povrniti lesu gostoto in stabilnost oziroma mehansko trdnost. Utrjevanje je lahko delno ali popolno (Unger in Unger, 1994). Postopek utrjevanja se ne bistveno razlikuje od postopka zaščite lesa. Z utrjevanjem se lesu poveča masa. Najbolj uporabljena tehnika in sredstvo je impregnacija s topnimi termoplastičnimi smolami. Izbira in koncentracija topila ni samoumevna, ampak se prilagaja namenu in mestu uporabe. Ugotovljeno je bilo, da les, ki je bil utrjen s polimernim sredstvom pridobi višjo trdnost kot nov, neimpregniran les (Wang in Schiewind, 1985).

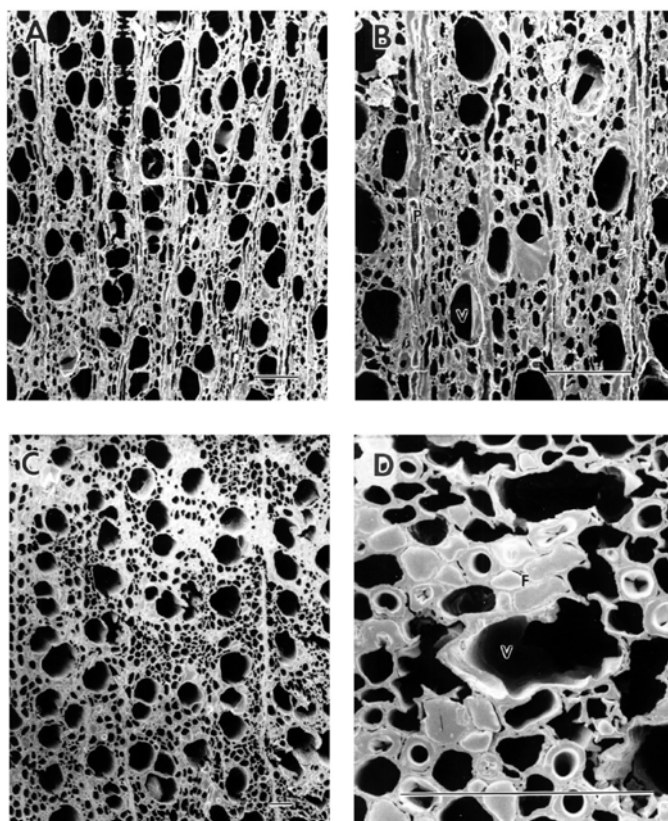
Kako dobro se bo uporabljen utrjevalec razporedil po lesu je odvisno od permabilnosti lesa, viskoznosti tekočine in pritiska s katerim bo sredstvo penetriralo v les. Vemo, da se tekočine po lesu gibajo kot masni tok (proste tekočine) ali z difuzijo (para) skozi prazne celične strukture in piknje. Les, ki je bil okužen z glivami, bakterijami in napaden z insekti, je načeloma bolj permabilen, kot zdrav les. Ravno te poškodbe lesne strukture, lahko močno vplivajo na enakomerno porazdelitev sredstva po lesu (Unger in sod., 2001) (slika 13).

Izbira pravega utrjevalca predstavlja poseben izziv. Vedeti moramo, kje se bo nahajal eksponat po obdelavi in ali je izbran utrjevalec kompatibilen z že prisotnimi premazi, smolami, laki, pozlatami in kakšen vpliv bo imel na nadaljno obdelavo in izpostavljenost

na škodljivce. Med tretiranjem ne sme povzročiti krčenja in nabrekanja lesa. Zaželeno je, da ima zadovoljivo penetracijo v les, je reverzibilen in okolju prijazen. Tudi postopek utrjevanja moremo prilagoditi posameznem eksponatu in stanju. Impregnacija z utrjevalci je skorajda enaka impregnaciji z biocidi. Najbolj uporabljene tehnike so premazovanje, injiciranje, namakanje in vakuumsko impregniranje. Vakuumsko impregniranje je najboljša izbira za globoko penetracijo in enakomerno porazdelitev. Žal pa ni preveč uporabno za občutljive ali močno poškodovane predmete. Utrjevanje arheološkega, prepojenega lesa je posebna kategorija, ki zahteva svojevrstno obravnavo (Unger in sod., 2001).

Pri utrjevanje lesnih konstrukcij se za majhne površini najbolj uporabljajo akrilne spojine; vodne akrilne disperzije in akrilni polimeri v organskih topilih (Paraloid B-72). Za močno oslavljen les se uporablja epoksi smole. Za manjše nadomestne dele se uporablja epoksi in poliesterske smole. Na japonskem se les modificira s poliuretanom.

Postopki utrjevanja umetniških predmetov z zaključnimi premazi se razlikujejo od postopkov, ki se uporabljajo za konstrukcije. Uporaba vodnih sistemov za umetniške predmete je omejena. Polimeri v organskih topilih in dvo komponentne smole (epoksi smole), so pogosto uporabljane za delno stabilizacijo dragocenih predmetov. Termoplastni polimeri imajo prednost pred duroplastičnimi polimeri zaradi reverzibilnosti (Unger in Unger, 1994).



Slika 13: Prikaz razporeditve utrjevalca po lesni strukturi brez uporabe vakuum (A in B) in z uporabo vakuum (C in D) (Spirydowicz in sod., 2001)

2.3.2.1 Odstranjevanje utrjevalcev in strupenih snovi iz lesa

Sestava utrjevalcev in biocidov se vedno znova spreminja. Poudarek je na razvijanju okolju prijaznejših, stabilnejših snovi in snovi, ki bi se jih kasneje tudi lahko lažje odstranilo iz lesa, v primeru novih konzervatorskih posegov.

Veliko strupenih biocidov se z leti nabira na površini, zaradi izhlapevanja in parnega tlaka biocidov. Metode, ki jih uporabljajo za čiščenje biocidov, so: mokri in suhi postopki, vakuumski postopki, lepljiva folija, toplotni postopki (dovajanje vlažnega ali segretega zraku, segrevanje z visokofrekvenčnim elektromagnetnim poljem, nizkotemperaturni postopki, Cryo metoda s čopičem ali blazino, več metod z ledom, na podlagi topil (paste, spreji, potapljanje, itd.). Odstranjevanje globljih plasti utrjevalcev je zahtevnejše in dolgotrajnejše kot odstranjevanje snovi iz površja (Unger in sod., 2001).

Za odstranjevanje utrjevalcev iz lesa najpogosteje uporabljajo laserje (Belli in sod., 2008).

Ne smemo pozabiti še na mikrobne metode. Nekatere tolerantne gobe in bakterije so odlični razstrupljevalci odpadnega zaščenega lesa (Humar in Pohleven, 2003). Seveda pa je ta metoda mnogo primernejša za razstrupljanje odsluženega lesa in kulturno-zgodovinskih eksponatov, kot tistega, ki je še vedno v uporabi (Unger in sod., 2001).

2.3.3 Smole

Glojek (2008) je za polimerne material dal sledeč opis; »Polimeri predstavljajo čiste produkte procesa polimerizacije, medtem ko polimerni materiali predstavljajo tehnično uporabne umetne snovi z vsemi dodatki za izboljšanje izhodiščnih lastnosti polimerov. Izraz "umetne smole" to predvsem velja za termoreaktivne umetne mase, ki zaradi svoje velike viskoznosti spominjajo na naravne smole. Ta neprimeren izraz se še danes uporablja za plastične mase nasplošno«.

Smole so lahko naravne ali sintetične. Danes so v komercialni uporabi najbolj razširjene duroplastne in termoplastične sintetične smole. Pri duroplastičnih smolah predstavlja največjo težavo nereverzibilnost smol in nekatere nezaželjene estetske lastnosti, ki jih smole, npr. epoksi smole, puščajo na lesu. Če hočemo utrjevati z reverzibilnimi polimeri, lahko rešitev najdemo pri termoplastičnih smolah. Termoplastične in duroplastične smole se uporablja tudi za strohnel les, ker dokazano izboljšujejo trdnost in ostale fizikalne lastnosti lesa (Wang in Schiewind, 1985).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIAL

3.1.1 Vzorci

Za obsežnejše raziskovalno delo smo potrebovali večjo količino starega, degradiranega lesa. Želja je bila, da se vzorci pripravijo na zelo poškodovanem lesu. Kar pa je predstavljalo velik problem s stališča, da bi bili vzorci pred vakuumskim impregniranjem z utrjevalci čimbolj enaki med seboj. Vzorci starega, z insekti poškodovanega lesa, so mestoma različno ohranjeni, kar predstavlja neenakost samih vzorcev.

Za poskus odpornosti proti glivam:

Iz večjega kosa lesa smreke smo izrezali manjše vzorčne koščke dimenzij 15mm x 25mm x 50mm, ki so si bili po poškodovanosti med seboj čimbolj podobni. Del vzorčkov je ostal nezaščiten, del smo jih impregnirali z utrjevalci. Izdelali smo še vzorčke istih dimenzij in iste lesne vrste, vendar iz zdravega lesa, ki so nam služili kot kontrolni vzorci impregnirani z utrjevalci.

Vzorci za preizkus upogibne in tlačne trdnosti.

Prav tako smo izrezali vzorčke iz poškodovanega in zdravega lesa smreke. Polovico vzorčkov iz poškodovanega lesa smo impregnirali z istimi utrjevalci, kot pri poskusu za odpornost proti glivam. Dimenzije vzorčkov za preizkus tlačne trdnosti so bile 20mm × 20mm×45mm. Dimenzije vzorčkov za preizkus upogibne trdnosti pa 20mm×20mm×300mm.

3.1.2 Utrjevalci

Za namen tega poskusa je bilo uporabljenih pet utrjevalcev. Izbrani so bili na podlagi dveh kriterijev in sicer njihovi sposobnosti utrditve zelo degradiranega lesa in zmožnosti fungicidne zaščite.

Ti utrjevalci so bili:

1. Utrjevalni restavrator, Belinka Belles, d.o.o., Slovenija (vsebuje organska topila, akrilne smole in biocide) (B)
2. SG715 blanc, SICOMIN, Francija (epoksi smola) (E)
3. Paraloid B-72, Rohm and Haas, Internacional (akrilna smola) (Pa)
4. R712, Leda Industrie S.r.l., Italija (nenasičena poliesterska smola) (P)
5. Zaščitno sredstvo z nano delci (še v razvoju), Gradbeni inštitut, Slovenija (N)

3.1.3 Glive

Uporabilismo dve glivi rjave trohnobe in sicer; belo hišno gobo (*Poria vaillantii*) in navadno tramovko (*Gloeophyllum trabeum*) (preglednica 1).

Preglednica 1: Uporabljeni gobi s podatki izvora

Goba	Kratica	Izvor
Bela hišna goba (<i>Poria vaillantii</i>)	Pv 2	Univerza v Ljubljani (ZIM L037, Raspor <i>et al.</i> 1995)
Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i>)	Gt 2	Univerza v Ljubljani (ZIM L017, Raspor <i>et al.</i> 1995)

3.2 METODE

3.2.1 Poskus z glivami

Poskus z lesnimi glivami smo izvajali po standardu SISTEN 113:1980

3.2.1.1 Razrez lesa

Vzorci lesa smo v sodelovanju z g. Stankom Vitezom izrezali iz večjega kosa poškodovanega starega lesa smreke in večjega kosa zdravega lesa smreke z navadno krožno žago.

3.2.1.2 Impregniranje in utrjevanje

Impregniranje vzorcev je ravno tako potekalo v sodelovanju z g. Stankom Vitezom, po standardu SIST EN 113 (1989).

3.2.1.3 Kondicioniranje vzorcev

Vzorci so bili dani v sušilno komoro in razporejeni tako, da se med seboj niso dotikali. Dvakrat tedensko smo jih obrnili. Proces kondicioniranja je trajal štiri tedne.

Preden smo vzorčke dali v kozarce z glivami, smo jih dali v sušilnik (103°C) in jih naslednji dan stehali v absolutno suhem stanju. Iz razlike mase začetnega suhega stanja in suhega stanja po izpostavitvi glivam smo izračunali izgubo mase.

3.2.1.4 Priprava gojišč in avtoklaviranje

Hranilno gojišče smo pripravili iz krompirjevega glukoznega agarja, ki smo ga pripravili po navodilu proizvajalca. Iz 1,8l vode smo skuhali 70,2g PDA. Skuhano gojišče smo prelili v 50, 350 ml steklenih kozarcev s kovinskim pokrovom. Pokrovi so imeli v sredini luknjo, ki smo jo zamašili z vato. Tako smo omogočili glivi dihanje in preprečili okužbe. Kozarce

smo postavili v avtoklav za 45 minut, pri T 121°C oz. tlaku 1,5 bara. Po končani sterilizaciji smo jih prenesli v brezprašno komoro, kjer smo gojišče inokulirali z micelijem glive in nanj položili sterilne plastične mreže. Namen mreže je ločitev vzorčkov in gojišča. Ves uporabljen pribor je bil sproti razkuževan z alkoholom in nad plamenom.

Kozarce smo postavili v rastno komoro da je micelij prerasel gojišče. Po enem tednu, smo v laminariju v kozarce položili sterilne vzorčke lesa (slika 14).



Slika 14: Vzorci z gobami

3.2.1.5 Izpostavitve vzorcev delovanju gliv

V vsakem kozarcu so bili po trije označeni in oštevilčeni vzorčki. Dva sta bila iz starega strohnelega lesa (eden impregniran in eden neimpregniran), eden pa iz zdravega, neimpregniranega lesa, ki je služil za kontrolo. Za vsak utrjevalec smo imeli 10 vzorčkov, oz. 5 za vsako gobo. Torej 25 kozarcev za vsako gobo, skupno 50 testnih kozarcev in 150 vzorčkov.

Kozarčke smo dali za 16 tednov v rastno komoro s temperaturo 25°C in 70% relativno zračno vlago (slike 15, 16, 17 in 18). Po končanem procesu smo vzorčke vzeli iz komore, jih odprli in previdno odstanili micelij ter posušili. Iz mase pred in po izpostavitvi glivam, smo izračunali izgubo mase, iz česar smo sklepali na vpliv utrjevalca na odpornost vzorcev proti lesnim glivam.



Slika 15: Bela hišna goba prekriva kontrolna vzorca in vzorec impregniran s poliestersko smolo



Slika 16: Bela hišna goba prekriva kontrolna vzorca v skupini z vzorcem impregniranim z epoksi smolo.



Slika 17: Navadna tramovka prekriva kontrolna vzorca. Vzorec impregniran z Utrjevalnim restavratorjem je skoraj nedotaknjen.



Slika 18: Navadna tramovka prekriva kontrolna vzorca skupaj z vzorcem impregniranim s poliestersko smolo.

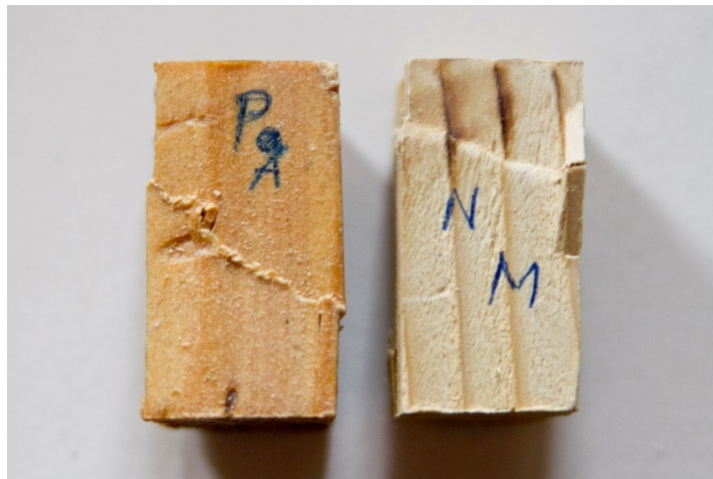
3.2.2 Poskus za določanje tlačne trdnosti in upogiba

3.2.2.1 Uravnovešanje vlage

Vzorčke namenjene testiranju upogibne in tlačne trdnosti smo najprej dali v komoro za izenačevanje vlage. Ko smo bili vzorci uravnovešeni, smo jih zavili v paratesno folijo, kjer so počakali na začetek poskusov. Pred preizkusom smo izmerili dimenzije vzorčkov z natančnostjo 0,01mm.

3.2.2.2 Preizkus tlačne trdnosti

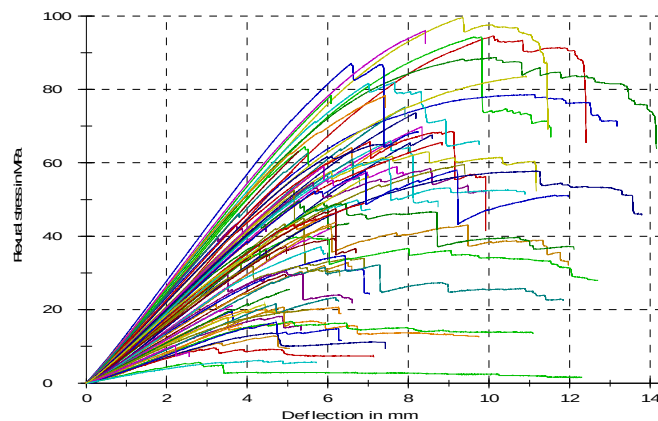
Preizkus tlačne trdnosti smo opravili na stroju za preizkušanje mehanske trdnosti ZWICK Z100. Vzorce smo obremenjevali do porušitve materiala (slika 19). Vsi dobljeni podatki so se zapisovali z računalniškim programom.



Slika 19: Vzorci po testu tlačne trdnosti

3.2.2.3 Preizkus upogibne trdnosti

Poskus smo izvedli po pravilih tri točkovnega DIN standarda, z obremenitvijo na sredini. S pomočjo istega stroja za preizkušanje mehanske trdnosti smo opravili meritve, ki so se s pomočjo programa zapisovale v računalnik (slika 20).



Slika 20: Graf upogibne porušilne napetosti

4 REZULTI IN RAZPRAVA

4.1 ODPORNOST LESNIH UTRJEVALCEV NA GLIVE RJAVE TROHNOBE

4.1.1 Odpornost vzorcev na belo hišno gobo (*Porio vaillantii*)

Razlike v izgubah mas testnih vzorcev med utrjevalci so bile velike, tako med starim in novim lesom, kot tudi med vzorci izpostavljenimi posamezni glivi. Pri obeh testiranih gobah so največjo izgubo mase imeli vzorci starega nezaščitenega lesa. Nezaščiteni stari kontrolni vzorci, ki so bili testirani na belo hišno gobo, so imeli povprečno izgubo teže 22%, medtem ko so imeli nezaščiteni novi kontrolni vzorci povprečno izgubo teže 11%. Izguba mas kontrolnih vzorcev je največja, kar kaže na vitalnost gobe (preglednica 2 in 3).

Preglednica 2: Povprečna izguba mase nezaščitenih novih testnih vzorcev pri beli hišni gobi

nezaščiteni novi vzorci	izguba mase
nn (B)	7,90%
nn (E)	8,10%
nn (PA)	8,30%
nn (P)	18,80%
nn (N)	11,90%
povprečna izguba mase nn	11,00%

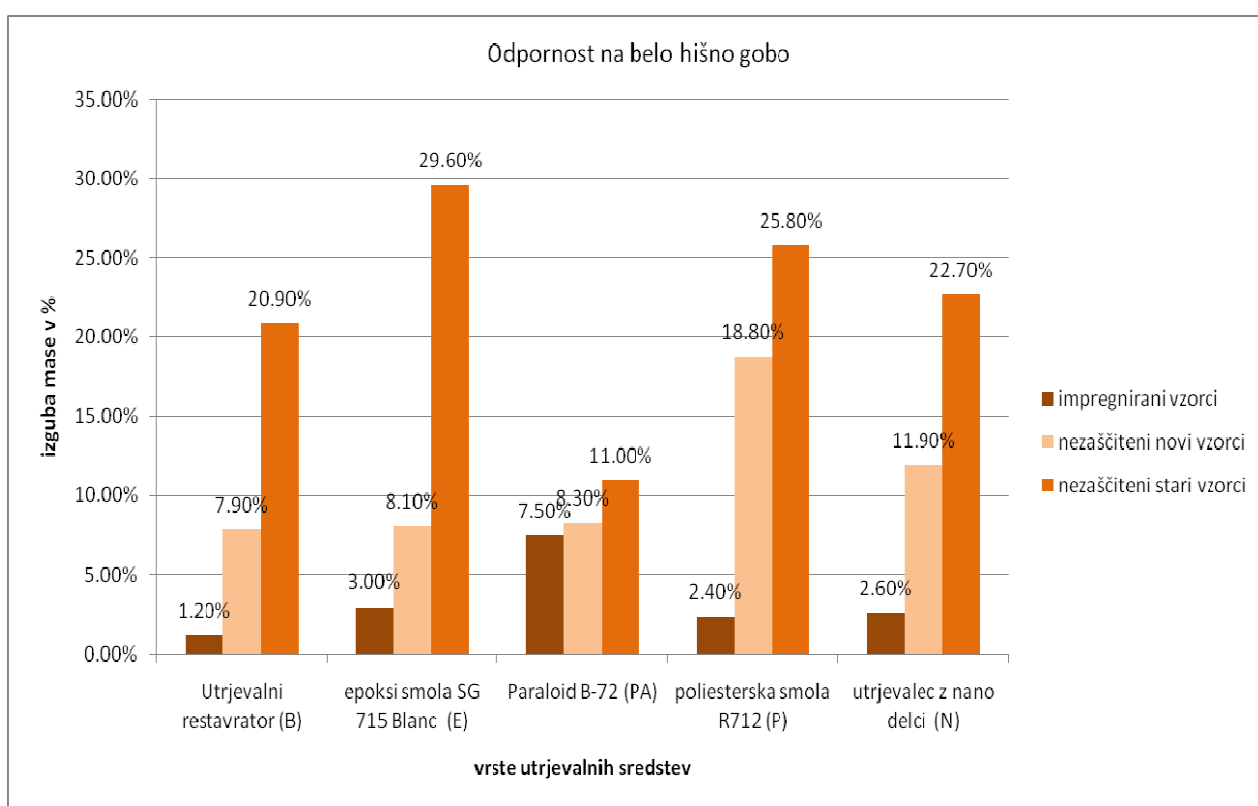
Preglednica 3: Povprečna izguba mase nezaščitenih starih testnih vzorcev pri beli hišni gobi

nezaščiteni stari vzorci	izguba mase
ns (B)	20,90%
ns (E)	29,60%
ns (PA)	11,00%
ns (P)	25,80%
ns (N)	22,70%
povprečna izguba mase ns	22,00%

Vzorci, zaščitenih s petimi različnimi utrjevalci z biocidnimi lastnostmi so pokazali boljšo odpornost na testirane gobe od kontrolnih vzorcev. Najbolje se je odrezal Utrjevalni restavrator (izguba mase 1,20%), sledita mu poliesterska smola R712 (izguba mase 2,40%) in utrjevalec z nano delci (izguba mase 2,60%). Najslabše se je odrezal Paraloid B-72 (izguba mase 7,50%) (preglednica 4 in slika 21).

Preglednica 4: Povprečne izgube mase impregniranih vzorcev pri beli hišni gobi

zaščitno sredstvo	izguba mase
Utrjevalni restavrator (B)	1,20%
epoksi smola SG 715 Blanc (E)	3,00%
Paraloid B-72 (PA)	7,50%
poliesterska smola R712 (P)	2,40%
utrjevalec z nano delci (N)	2,60%
povprečna izguba mase	3,34%



Slika 21: Povprečna izguba mase vzorcev glede na zaščitno sredstvo pri beli hišni gobi

4.1.2 Odpornost vzorcev na navadno tramovko (*Gloeophyllum trabeum*)

Tudi pri navadni tramovki so kontrolni vzorci imeli najvišjo povprečno izgubo mase in sicer; 38,8% za vzorce starega, nezaščitenega lesa in 29,64% za vzorce novega nezaščitenega lesa. Iz teh rezultatov lahko sklepamo, da je navadna tramovka intenzivnejše razkrajala les kot bela hišna goba (preglednici 5 in 6).

Preglednica 5: Povprečna izguba mase nezaščitenih novih testnih vzorcev pri navadni tramovki

nezaščiteni novi vzorci	izguba mase
nn (B)	33,50%
nn (E)	29,60%
nn (PA)	26,20%
nn (P)	32,00%
nn (N)	26,90%
povprečna izguba mase	29,64%

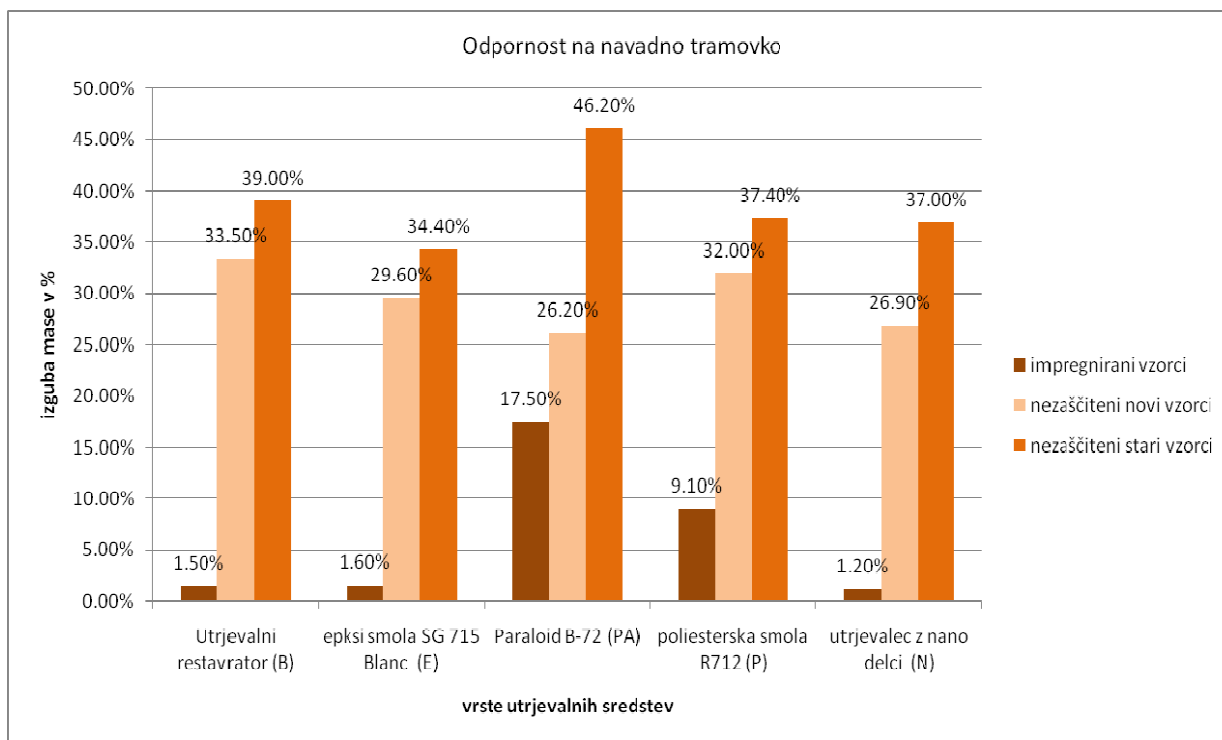
Preglednica 6: Povprečna izguba mase nezaščitenih starih testnih vzorcev pri navadni tramovki

nezaščiteni stari vzorci	izguba mase²
ns (B)	39,00%
ns (E)	34,40%
ns (PA)	46,20%
ns (P)	37,40%
ns (N)	37,00%
povprečna izguba mase ns	38,80%

Pri testiranih utrjevalcih na navadno tramovko, so bile izgube mas nekoliko večje kot pri beli hišni gobi. Kot zaščitno sredstvo se je najbolje izkazalo sredstvo z nano delci (izguba mase 1,20%). Sledita mu Belinkin Utrjevalni restavrator (1,50%) in epoksi smola SG 715 Blanc (izguba mase 1,60%). Daleč najslabše se je odrezal Paraloid B-72 (izguba mase 17,59%) (preglednica 7 in slika 22).

Preglednica 7: Povprečne izgube mase impregniranih vzorcev pri navadni tramovki

zaščitno sredstvo	izguba mase
Utrjevalni restavrator (B)	1,50%
epoksi smola SG 715 Blanc (E)	1,60%
Paraloid B-72 (PA)	17,50%
poliesterska smola R712 (P)	9,10%
utrjevalec z nano delci (N)	1,20%
povprečna izguba mase	6,18%



Slika 22: Povprečna izguba mas glede na zaščitno sredstvo pri navadni tramovki

Glede na razlike v povprečni izgubi mase med nezaščitenimi starimi vzorci in impregniranimi vzorci, so bile največje razlike pri testiranju odpornosti na navadno tramovko.

Pregled povprečnih izgub mas za vsa zaščitna sredstva in kontrolne vzorce je prikazan v preglednici 8.

Preglednica 8: Pregled povprečnih izgub mas

Zaščitno sredstvo	Bela hišna goba	Izguba mase v %	Navadna tramovka	Izguba mase v %
Utrjevalni restavrator	B	1,2	nn	33,5
	nn	7,9	ns	39,0
	ns	20,9	B	1,5
Epoksi smola	nn	8,1	nn	29,6
	ns	29,6	ns	34,4
	E	3,0	E	1,6
Paraloid B-72	nn	8,3	nn	26,2
	ns	11,0	ns	46,2
	PA	7,5	PA	17,3
Poliesterska smola	nn	13,8	nn	32,0
	ns	25,8	ns	37,4
	P	2,4	P	9,1
Utrjevalec z nano delci	nn	11,9	nn	26,9
	ns	22,7	ns	37,0
	N	2,6	N	1,2

Oznake zaščitnih sredstev

Nn...Nezaščiteni novi vzorci

Ns...Nezaščiteni stari vzorci

B...Utrjevalni restavrator

E...Epoksi smola SG 715 Blanc

PA...Paraloid B-72

P...Poliesterska smola R712

N...Utrjevalec z nano delci

4.2 MEHANSKE LASTNOSTI

4.2.1 Tlačni test

Kontrolni novi vzorci so se glede tlačne trdnosti po pričakovanju odrezali najboljše. Za porušitev je bila največja uporabljena sila 17,68kN, najmanjša pa 5,02kN. Največja uporabljena sila pri impregniranih vzorcih je bila 16,54kN in tlačna napetost 42,8Mpa (utrjevalec z nano delci). Sledijo poliesterska smola, epoksi smola in Paraloid, ter na zadnjem mestu Utrjevalni restavrator (maksimalna sila 11,63kN in tlačna napetost 29,1Mpa) (preglednica 9 in slika 23).

Preglednica 9: Povprečje rezultatov maksimalne sile in tlačne napetosti na vzorcih impregniranih z utrjevalnimi sredstvi

	F_{max}	σ_n
vzorec	[kN]	[N/mm ²]
kn	17.68	45,6
ks	5.02	12,7
P	15.31	37,7
E	12.85	31,6
Pa	12.66	29,4
N	16.54	42,8
B	11.63	29,1

Oznake zaščitnih sredstev:

Kn...kontrola novi

Ks...kontrola stari

B...Utrjevalni restavrator

E...Epoksi smola SG 715 Blanc

Pa...Paraloid B-72

P...Poliesterska smola R712

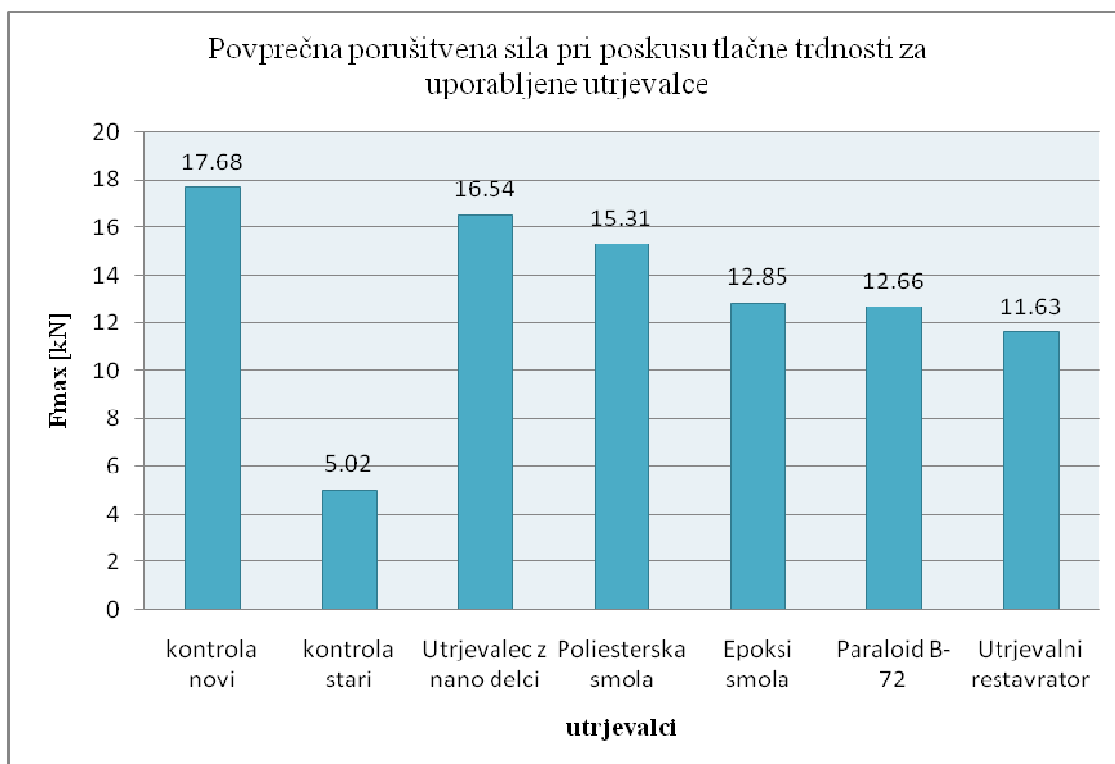
N...Utrjevalec z nano delci

F_{max} ...maksimalna sila

σ_n ...tlačna napetost

β_m ...upogibna trdnost

E_m ...konstanta elastičnosti



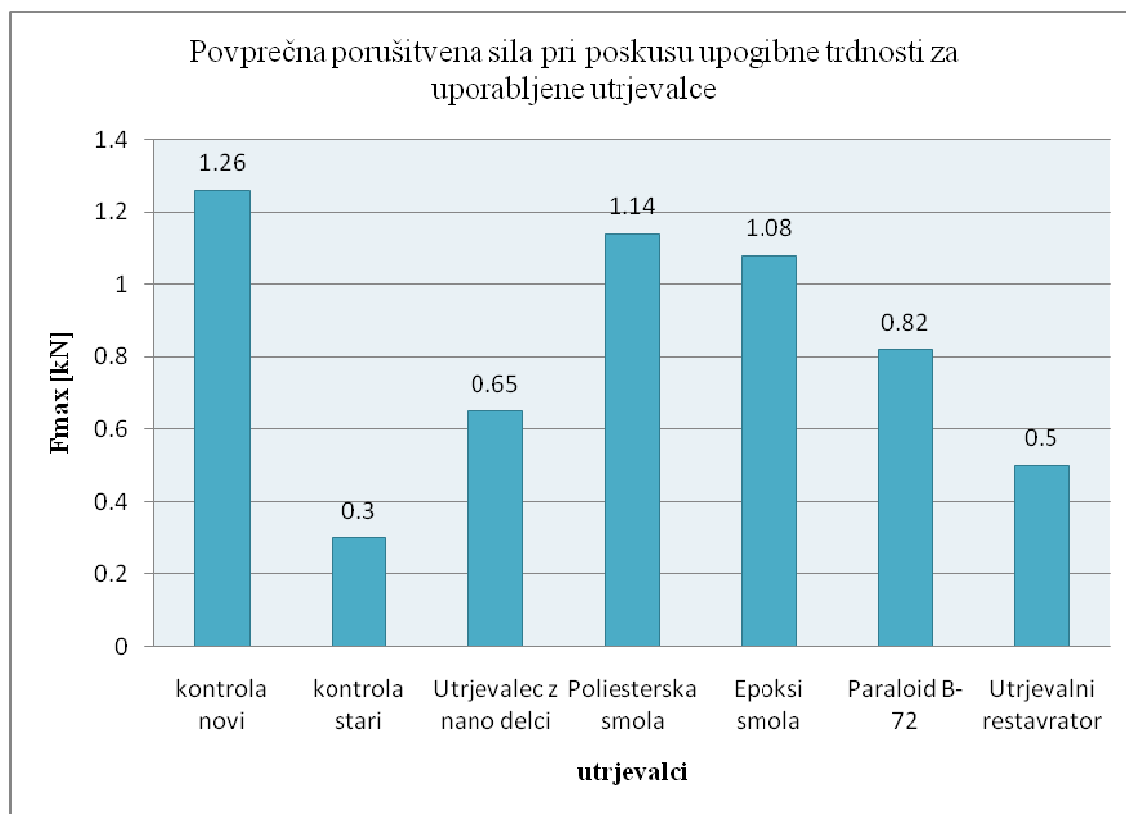
Slika 23: Povprečna porušitvena sila pri poskusu tlačne trdnosti za uporabljene utrjevalce

4.2.2 Upogibni test

Iz preglednice 10 lahko vidimo, da imajo najboljši rezultate vzorci zdravega kontrolnega lesa, kar je bilo pričakovano. Njihova povprečna upogibna trdnost znaša 75,5Mpa. Sledijo vzorci, impregnirani z poliestersko smolo s povprečno upogibno trdnostjo 63,2Mpa, epoksi smola s povprečno upogibno trdnostjo 57,5Mpa, Paraloid s 46,3Mpa, utrjevalec z nano delci z 39,7Mpa in nazadnje Utrjevalni restavrator s povprečno upogibno trdnostjo 31Mpa. Kontrolni vzorci starega lesa so imeli upogibno trdnost le 17,6Mpa (slika 24).

Preglednica 10: Povprečje rezultatov maksimalne sile in upogibne trdnosti na različna utrjevalna sredstva

	Em	F _{max}	βm
vzorec	[MPa]	[kN]	[MPa]
kn	8305,5	1,26	75,5
ks	3512,7	0,30	17,6
P	7989,2	1,14	63,2
E	7782,7	1,08	57,5
Pa	6668	0,82	46,3
N	6303	0,65	39,7
B	4745,5	0,5	31,0



Slika 24: Povprečna porušitvena sila pri poskusu upogibne trdnosti za uporabljene utrjevalce

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Najboljše utrjevalno sredstvo z biocidnim učinkom na gobo *Gleophyllum trabeum* je izkazal utrjevalec na osnovi nano delcev, z izgubo mase 1,2%, to je za 25,7% manj izgube mase od povprečja izgube mase novega kontrolnega lesa in 37,6% manj izgube mase od kontrolnega starega lesa. Dokaj dobro se je odrezal tudi utrjevalni restavrator, katerega vzorci so imeli v povprečju 1,5% izgube mase in epoksi smola z 1,6% izgubo mase. Najslabšo odpornost na navadno tramovko je pokazal Paraloid B-72 z povprečno izgubo mase 17,3%. Nezaščiteni novi kontrolni vzorci so v poprečju izgubili 29,64% mase, medtem ko so kontrolni stari vzorci izgubili skoraj 40% mase. Povprečna izguba mase vseh zaščitnih sredstev je 6,18%. Paraloid se je najslabše odrezal tudi pri testu odpornosti na *Porio vaillantii* s povprečno izgubo mase 7,5%. Tri utrjevalna sredstva so pokazala dokaj dobro odpornost na *Porio vaillantii* in sicer; Utrjevalni restavrator z 1,2% izgubo mase, poliesterska smola z 2,4% izgubo mase in sredstvo z nano delci z 1,6% izgube mase. Glede na razliko v izgubi mase med kontrolnimi vzorci in utrjevalnim sredstvom so se najboljše odrezali vzorci impregnirani z epoksi smolo. Kontrolni vzorci so pri testu na belo hišno gobo izgubili precej manj mase kot pri testu na navadno tramovko, pri kateri so nezaščiteni novi vzorci povprečno izgubili skoraj 30% mase, medtem ko so nezaščiteni stari vzorci izgubili že 38,80% mase. Iz tega lahko sklepamo, da je bilo vseh pet zaščitnih sredstev bolj odporno na navadno tramovko kot na belo hišno gobo.

Najboljše rezultate na testu tlačne trdnosti so dosegli vzorci utrjeni z utrjevalcem z nano delci. Za porušitev je bila potrebna maskimalna sila 16,54kN (tlačna napetost 42,8 N/mm²) v primerjavi z zdravimi kontrolnimi vzorci, ki so v povprečju potrebovali 17,68 kN veliko silo (tlačna napetost 45,6N/mm²). Najslabši so bili vzorci impregnirani z utrjevalnim restavratorjem. Maksimalna sila je znašala 11,63kN, tlačna napetost pa 29,1N/mm².

Pri testu upogibne trdnosti so bili v ospredju vzorci, impregnirani s poliestersko smolo (maksimalna sila 1,14MPa, upogibna trdnost 63,2MPa), najslabše pa vzorci, impregnirani z Utrjevalnim restavratorjem (maksimalna sila 0,5kN, upogibna trdnost 31MPa). Za primerjavo; kontrolni vzorci zdravega lesa so imeli v povprečju upogibno trdnost 75,5kN in maksimalno silo 1,26kN. Pričakovano so v vseh testih imeli najslabše rezultate vzorci starega, neimpregniranega lesa.

Če primerjamo rezultate vseh opisanih testov, lahko vidimo, da je najboljše utrjevalno sredstvo s fungicidnimi lastnostmi, sredstvo z nano delci.

5.2 SKLEPI

Ugotovili smo:

- Najboljše fungicidne lastnosti sta imela Utrjevalni restavrator in utrjevalec z nano delci.
- Najslabše fungicidne lastnosti sta imela Paraloid B-72 in poliesterska smola.
- Najboljše utrjevalno sredstvo pri poskusu tlačne trdnosti je bil utrjevalec z nano delci.
- Najboljše utrjevalno sredstvo pri testu upogibne trdnosti je bila poliesterska smola.
- Najslabše utrjevalno sredstvo pri poskusu tlačne in upogibne trdnosti je bil Utrjevalni restavrator.
- Najboljše utrjevalno sredstvo pri poskusu odpornosti na glive in mehanskih lastnosti je bilo utrjevalno sredstvo z nano delci.

6 POVZETEK

Les je naravni material in s tem precej ranljiv na biološke in nebiološke vplive iz okolja. Poznamo različne postopke in sredstva, da se primerno zaščitimo. Ko je uporaben les že v fazi degradacije, so na vrsti kurativne metode za ohranitev strukture in lastnosti lesa. V diplomskem delu smo ugotovili, katera utrjevalno-zaščitna sredstva so bila najboljša za učvrstitev lesne strukture, odpornosti proti okužbi z glivami rjave trohnobe in izboljšanje mehanskih lastnosti strohnjenega lesa.

Izvedli smo dva testa. Prvi je bil usmerjen na odpornost zaščitnih sredstev pred okužbo dveh lesnih gliv (navadne tramovke in bele hišne gobe), z drugim pa smo hoteli ugotoviti mehanske lastnosti strohnelega lesa, utrjenega z različnimi utrjevalci (test na upogib in tlak). Naših pet uporabljenih utrjevalcev je bilo: Utrjevalni restavrator, epoksi smola SG 715 Blanc, Paraloid B-27, poliesterska smola R712 in utrjevalec z nano delci.

Za test odpornosti na glive rjave trohnobe smo uporabili impregnirane smrekove vzorce lesa dimenzij 15 x 25 x 50 mm. Preden smo vzorce izpostavili delovanju gliv, smo jih kondicionirali, posušili do absolutno suhega stanja in stehtali. V kozarce smo dali pripravljeno gojišče z micelijem gliv, zaščitno mrežico in lesene vzorčke. V vsakem kozarcu smo imeli po tri vzorce (dva kontrolna in enega impregniranega z izbranim utrjevalcem). Vseh 50 kozarcev (25 za vsako glivo) smo za 16 tednov postavili v rastno komoro. Po končanem poskusu smo kozarce vzeli iz rastne komore, vzorcem odstranili micelij, jih posušili in ponovno stehtali. Iz začetne in končne mase smo lahko izračunali izgube mas vzorcev.

Za mehanska testa smo ravno tako uporabili smrekove impregnirane vzorce lesa, dimenzij 20 x 20 x 45 mm za tlačno trdnost in 20 x 20 x 300 mm za upogibno trdnost. Oba poskusa smo izvedli na stroju za preizkušanje mehanske trdnosti ZWICK Z100. Pri poskusu tlačne trdnosti smo vzorce obremenjevali (stiskali) s konstantno silo do porušitve materiala. Pri poskusu upogibne trdnosti smo vzorce obremenjevali na sredini s konstantno silo do zloma materiala. Vse meritve so se zapisovale neposredno v računalnik s pomočjo ustreznega programa.

Testi so pokazali, da je najboljšo odpornost na lesni glivi imel utrjevalec z nano delci in Utrjevalni restavrator, medtem ko sta Paraloid B-27 in poliesterska smola pokazala najslabšo odpornost. Tlačni test so najboljše prestali vzorci impregnirani z utrjevalcem z nano delci, upogibni test pa vzorci impregnirani s poliestersko smolo. V obeh poskusih mehanske trdnosti je imel najslabši rezultat Utrjevalni restavrator.

VIRI

- Achyuthan, 2010. Glycoscience in Health, Energy, and Materials
<http://www.nap.edu/read/13446/chapter/5#38> (20.7.2016)
- Blanchette R.A., Haight J.E., Koestler R.J., Hatchfield P.B., Arnold D. 1994. Assessment of deterioration in archeological wood from ancient Egypt. *Journal of the American Institute for Conservation*, 33, 1: 55-70
- Blanchette R. A., Biggs A. R. 2015. Defense mechanisms of woody plants against fungi. Berlin, New York, Springer-Verlag, University of Minnesota. 458 str.
<http://forestpathology.cfans.umn.edu/microbes.htm> (1.7.2016)
- Chapman S. 2015. Is there a Fungus among us?
<http://slideplayer.com/slide/6842454/> (2.7.2016)
- Chen P. 2010. Biology 1151: Principles of Biological Science. Bio1151.
<http://bio1151.nicerweb.com/Locked/media/ch05/cellulose.html> (2.7.2016)
- Čufar K. 2002. Anatomija lesa. Zapiski s predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa-predavanja. Študijska skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Glojek A. 2008. Polimerni materiali. Zapiski s predavanj. Slovenj Gradec, Šolski center Ravne na Koroškem, Višja strokovna šola za strojništvo.
- Gorišek Ž. 2007. Zgradba in lastnosti lesa. Interno gradivo za predmet Tehnologija lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Gorišek Ž., Geršak M., Čop T., Velušček V., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. Zapiski s predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Hassan H. 2016. Physical properties of wood.
<https://www.tes.com/lessons/aqDzOaOKszE2oQ/physical-properties-of-wood> (5.7.2016)
- Humar M., Pohleven F. 2000. Značilnosti razkroja lesa z rjavo trohnobo. *Les*, 52, 7-8: 229-234
- Humar M., Pohleven F. 2005. Bakrovi pripravki in zaščita lesa = Copper based formulations and wood preservation. *Les*, 57, 3: 57-62
- Humar M. 2008. Bela hišna goba: Gliva, ki razkroja tudi zaščiten les. *Les*, 60, 2: 77

- Jeffree C. 2008. The Microbial World: Basidiomycota: activities and lifestyle. Collage of Science and Engineering, The University of Edinburgh
<http://archive.bio.ed.ac.uk/jdeacon/microbes/basidio.htm> (31.6.2016)
- Kawamura F., Mahamud A., Sulaiman O., Rashim R. 2010. Antifungal activities of extracts from heartwood, sapwood and bark of 11 malasyan timbers against *Gloeophyllum trabeum* and *Pycnoporus sanguineus*. Journal of tropical forest science, 22, 2: 170-174
- Lindsey J. K. 2007. The Ecology of Commanster
<http://www.commanster.eu/commanster/Mushrooms/Basidio/SpBasidio/Gloeophyllum.trabeum.html> (1.7.2016)
- Noyau. 2016. Explorons les cellules. Universite de Trou-les-pommes.
<http://www.professeur-noyau.net/micro/cellule2/cellule2.html> (3.7.2016)
- Piškur B., Pohleven F. 2008. Les kot hrana = Wood as food. Les, 60, 3: 92-97
- Pohleven F. 2006. Patologija lesa. Zapiski s predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Pohleven F. 2007. Zaščita lesa. Zapiski s predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- Polanc J., Leban I. 2004. Les – zgradba in lastnosti. Ljubljana. Lesarska založba: 176 str.
- Raspor P., Smole Možina S., Podjavoršek J., Pohleven F., Gogala N., Nekrep F.V., Rogelj I., Hacin F. 1995: ZIM – Zbirka industrijskih mikroorganizmov, Katalog biokultur. Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
- SIST EN 113. Izguba mase vzorcev lesa zaradi delovanja gliv razkrojevalk. 1996: 32 str.
- Spirydowicz K.E., Simpson E., Blanchette R.A., Schniewind A.P., Toutloff M.K., Murray A. 2001. Alvar and buvar: The use of polyvinyl acetat resins for the treatment of the wooden artifacts from Gordion, Turkey. Journal of the American Institute for Conservation, 40, 1: 43-57
<http://cool.conservation-us.org/jaic/articles/jaic40-01-004.html> (5.4.2016)
- Unger A., Schniewind A.P., Unger W. 2001. Conservation of wood artifacts. Berlin Heidenberg, Springer Verlag,: 578 str.
- Unger A., Unger W. 1994. Conservation of woden cultural property. The international research group on wood preservation, 25th annual meeting, Bali, 29.maj-3.junij 1994. IRFsecretarial. Stockholm, Sweden
- Wang Y., Schniewind A. P. 1985. Consolidation of deteriorated wood with soluble resins. Journal of American institute for conservation, 24, 2: 77-91

Wilcox W. W. 1973. Degradation in relation to wood structure. In Nicholas, D.D., ed.
Wood deterioration and its prevention by preservative treatment. 1, 3: 107-148

Zayed, A. H.. 1956. Deux statues describe accroupi en bois dans les Magasins de Saggara.
Trois etudes D'Egyptologie. Le Cave: Imprimerie Dar el-Hana: 14–21

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Francu Pohlevnu za vso pomoč, čas in informacije pri pisanju diplomskega dela.

Hvala recenzentu prof.dr. Milanu Šerneku za recenzijo diplomskega dela.

Hvala tudi g. Stanku Vitezu za ideje in pomoč pri pripravi vzorcev.

Na koncu pa bi se rada zahvalila še vsem tistim, ki so mi kakorkoli pomagali v času študija in pri nastajanju diplomske naloge.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Anamarija Valantič

**MEHANSKE LASTNOSTI UTRJENEGA
STROHNJENEGA LESA IN NJEGOVA
ODPORNOST PROTI LESNIM GLIVAM**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2016

