

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Klemen ZUPANČIČ

**LASTNOSTI Z VOSKI IMPREGNIRANE TERMIČNO
MODIFICIRANE SMREKOVINE**

MAGISTRSKA NALOGA
Magistrski študij – 2. stopnja

**PROPERTIES OF WAX IMPREGNATED THERMALLY MODIFIED
SPRUCE**

M. Sc. THESIS
Master Study Programmes

Ljubljana, 2015

Magistrska naloga je zaključek Magistrskega študija lesarstva 2. stopnje. Raziskave so bile opravljene v Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja magistrske naloge imenoval prof. dr. Miho Humarja, za somentorja doc. dr. Boštjana Lesarja ter za recenzenta prof. dr. Franca Pohlevna.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Klemen Zupančič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	UDK 630*84
KG	vosek/smrekovina/impregnacija/lesne glive/termična modifikacija
AV	ZUPANČIČ, Klemen
SA	HUMAR, Miha (mentor)/LESAR, Boštjan (somentor)/POHLEVEN, Franc (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	LASTNOSTI Z VOSKI IMPREGNIRANE TERMIČNO MODIFICIRANE SMREKOVINE
TD	Magistrska naloga (Magistrski študij – 2. stopnja)
OP	IX, 51 str., 13 pregl., 22 sl., 35 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Les je naravni material, ki se dandanes vse bolj uporablja v gradbene namene. Ker vse vrste lesa niso dovolj odporne, jih je treba primerno zaščititi. V naši raziskavi smo uporabili manj odporno smrekovino in jo zaščitili z nebiocidnimi sredstvi. Les smrekovine smo impregnirali s suspenzijo naravnega voska in ga termično modificirali. Termična modifikacija je potekala pri temperaturah 100 °C, 185 °C, 200 °C, 215 °C in 230 °C. Sledila je impregnacija z naravnim voskom, ki je bila izvedena po 2 postopkih (potapljanje in vakuumsko tlačna impregnacija), pri 2 različnih koncentracijah (2,5 % in 5 %). Preučevali smo vpliv termične modifikacije, način impregnacije in koncentracijo suspenzije voska na navzem vodne pare, mehanske lastnosti in odpornost proti glivam. Izkazalo se je, da termična modifikacija v večji meri vpliva na izgubo mase vzorcev in s tem poslabšanje mehanskih lastnosti lesa, pozitivno pa vpliva na odpornost proti glivam. Pri določanju prodiranja vodne pare v les sta obe koncentraciji pokazali, da po obdelavi z voski ostaja površina difuzijsko odprta. Bolj kot sama koncentracija, pa je odločilen način impregnacije lesa, pri čemer se je v večji meri izkazala vakuumsko tlačna impregnacija.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Du2
 DC UDC 630*84
 CX wax/spruce/impregnation/wood decay fungi/thermal modification
 AU ZUPANČIČ, Klemen
 AA HUMAR, Miha (supervisor)/LESAR Boštjan (co-supervisor)/POHLEVEN, Franc (reviewer)
 PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
 PY 2015
 TI PROPERTIES OF WAX IMPREGNATED THERMALLY MODIFIED SPRUCE
 DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)
 NO IX, 51 p., 13 tab., 22 fig., 35 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB Wood is a natural material, which is now increasingly used for construction purposes. As all wood species are not sufficiently durable, they should be adequately protected. In our study, we used non-durable Norway spruce, and protected it with non-biocidal products. Spruce was impregnated with a suspension of natural wax, and then thermally modified. The thermal modification was carried out at different temperatures 100 °C, 185 °C, 200 °C, 215 °C and 230 °C. This was followed by the impregnation with the natural wax, which was carried out by 2 methods (immersion and vacuum pressure impregnation), at 2 different concentrations (2.5 % and 5 %). We studied how the thermal modification, the manner of impregnation and the concentration of wax affect the uptake of water vapour, the mechanical properties and resistance to fungi. It has been shown that the thermal modification has a greater impact on the mass loss of the samples, and thus the deterioration of the mechanical properties of wood, but has a positive influence on the resistance to fungi. On the uptake of water vapour, both of the concentrations could be slowed down with proper wax treatment, but for better protection it would be preferred to use the 5 % concentration. More important than the use of concentration is the use of impregnation of wood, in which the vacuum pressure proved to be better.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Okrajšave in simboli	IX
1 UVOD	1
1.1 CILJI.....	2
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 NAVADNA SMREKA (<i>Picea abies</i>).....	3
2.2 NARAVNA ODPORNOST	3
2.3 TERMIČNA MODIFIKACIJA.....	4
2.3.1 Dimenzijska stabilnost	5
2.3.2 Odpornost na glive in insekte	6
2.4 VOSKI.....	6
2.4.1 Splošno o voskih.....	6
2.4.2 Montanski vosek	7
2.5 DEJAVNIKI RAZKROJA	8
2.5.1 Glive	8
2.5.1.1 Pisana ploskocevkica (<i>Trametes versicolor</i>).....	9
2.5.1.2 Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i>).....	10
2.5.1.3 Bela hišna goba (<i>Antrodia vaillantii</i>).....	10
2.6 TEORETIČNE OSNOVE UPORABLJENIH METOD	11
2.6.1 Določanje kontaktnega kota	11
3 MATERIAL IN METODE	13
3.1 MATERIALI.....	13
3.1.1 Smreka.....	13
3.1.2 Montanski vosek	13
3.1.3 Glive	14
3.2 METODE	14

3.2.1	Priprava voska	14
3.2.2	Postopki impregnacije lesa z voski.....	14
3.2.2.1	Potapljanje.....	14
3.2.2.2	Vakuumsko tlačna impregnacija	15
3.2.3	Termična modifikacija	16
3.2.4	Izpostavitev impregnirane smrekovine lesnim glivam.....	17
3.2.4.1	Priprava gojišča	17
3.2.4.2	Inokulacija gojišča z glivami	18
3.2.5	Vpliv interakcij med vodo in lesom	18
3.2.5.1	Dolgotrajni navzem vode v les.....	18
3.2.5.2	Kratkotrajni navzem vode (tenziometer).....	19
3.2.5.3	Določanje točke nasičenja celičnih sten.....	20
3.2.6	Upogibna trdnost.....	21
3.2.7	Kontaktni kot	21
4	REZULTATI Z RAZPRAVO	23
4.1	SUHI NAVZEM IN IZGUBA MASE VZORCEV	23
4.2	SPREMEMBA BARVE LESA ZARADI VPLIVA TERMIČNE MODIFIKACIJE	25
4.3	KRATKOTRAJNI NAVZEM KAPLJIČNE VODE	26
4.4	KONTAKTNI KOT	28
4.5	DOLGOTRAJNI NAVZEM KAPLJIČNE VODE.....	32
4.6	NAVZEM VODNE PARE.....	36
4.7	MEHANSKE LASTNOSTI.....	40
4.8	IZPOSTAVITEV GLIVAM.....	42
4.9	PREGLED OPTIMALNIH POSTOPKOV.....	45
5	SKLEPI	46
6	POVZETEK.....	47
7	VIRI	48
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

str.

Preglednica 1: Razvrstitev drevesnih vrst v 5 odpornostnih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v 5. razred odpornosti.....	4
Preglednica 2: Priprava suspenzije voska za impregnacijo	13
Preglednica 3: Imena in oznake gliv.....	14
Preglednica 4: Povprečni suhi navzem suspenzij voska in izguba mase vzorcev po termični modifikaciji. V oklepajih so podani standardni odkloni.	24
Preglednica 5: Povprečni kratkotrajni navzem vode določen s tenziometrom. V oklepajih so podani standardni odkloni.....	27
Preglednica 6: Povprečni kontaktni kot v različnih časovnih obdobjih	30
Preglednica 7: Povprečni navzem kapljične vode glede na čas potopitve. V oklepajih so podani standardni odkloni.	33
Preglednica 8: Povprečna adsorpcija in desorpcija vodne pare po 24 urah, ravnovesna vlažnost in vlažnost po 24 urah sušenja nad silikagelom. V oklepajih so podani standardni odkloni.	38
Preglednica 9: Vpliv temperature modifikacije in impregnacije z naravnim voskom na elastični modul	40
Preglednica 10: Vpliv temperature modifikacije in impregnacije z naravnim voskom na upogibno trdnost.....	41
Preglednica 11: Povprečna izguba mase vzorcev po termični modifikaciji.....	41
Preglednica 12: Povprečna izguba mase lesa zaradi delovanja gliv. V oklepajih so podani standardni odkloni.	43
Preglednica 13: Optimalna rešitev za posamezen laboratorijski preizkus	45

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Delitev voskov (Lesar, 2011: 19).....	7
Slika 2: Pisana ploskocevka (foto: G. Callow, 2015).....	9
Slika 3: Navadna tramovka (foto: M. Humar, 2008).....	10
Slika 4: Bela hišna goba (<i>Antrodia</i> ... 2015)	11
Slika 5: Prikaz kontaktnega kota (Ramé-hart, 2015).....	12
Slika 6: Vzorci (levo), tehtnica (desno) (foto: K. Zupančič).....	13
Slika 7: Potapljanje vzorcev v emulzijo voska (foto: K. Zupančič).....	15
Slika 8: Komora za vakuumsko tlačno impregnacijo Kambič (foto: K. Zupančič)	15
Slika 9: Komora za termično modifikacijo Kambič (foto: K. Zupančič).....	17
Slika 10: Gojišče (levo), Avtoklav (desno) (foto: K. Zupančič)	17
Slika 11: Vzorec na miceliju na začetku 16 tedenske izpostavitve glivam (foto: K. Zupančič).....	18
Slika 12: Namakanje vzorcev v destilirano vodo (foto: K. Zupančič)	19
Slika 13: Tenziometer (levo), potopitev vzorca (desno) (foto: K. Zupančič)	20
Slika 14: Komora z 90 % vlago (levo), komora s silikagelom (desno) (foto: K. Zupančič).....	20
Slika 15: Univerzalni testirni stroj Zwick/Roell Z005 (foto: K. Zupančič)	21
Slika 16: Tenziometer (levo), kapljica (desno) (foto: K. Zupančič)	22
Slika 17: Sprememba barve vzorcev po termični modifikaciji (foto: K. Zupančič)	25
Slika 18: Povprečni navzem vode po 200 s stika čelnih površin z vodo.....	28
Slika 19: Prikaz relativne zračne vlažnosti in temperature v komori v času uravnovešanja.....	36
Slika 20: Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i>) (foto: K. Zupančič).....	44
Slika 21: Bela hišna goba (<i>Antrodia vaillantii</i>) (foto: K. Zupančič).....	44
Slika 22: Pisana ploskocevka (<i>Trametes versicolor</i>) (foto: K. Zupančič).....	44

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Tv6 – Pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*)

Gt2 – Navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*)

Pv2 – Bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*)

TNCS – Točka nasičenja celičnih sten

1 UVOD

Les je naravni material, ki ga je človek uporabljal že v prazgodovini. Iz njega je izdeloval različne predmete, ter ga izkoriščal za gradnjo plovil in hiš. Je eden izmed najpogostejše uporabljenih naravnih gradbenih materialov, ki je dandanes vedno bolj zaželen in iskan. V gradnji se uporabljajo različne vrste lesa. Zaradi dostopnosti, primerne razmerja med gostoto in mehanskimi lastnostmi, se les zelo pogosto uporablja v gradbene namene. Žal smrekovina ni odporna na lesne škodljivce, zato je brez zaščite v izpostavljenih pogojih ne moremo uporabljati. Zaradi ugodne cene, razširjenosti, dobre obdelavnosti ter slabe impregnabilnosti je bila primerna za našo raziskavo.

Les je izpostavljen različnim dejavnikom razkroja, zato ga je potrebno primerno zaščititi, tako da je njegova trajnost čim daljša. Glavni dejavniki razkroja so glive in insekti. Med najpomembnejše abiotične dejavnike sodi voda, sonce, UV sevanje in veter (Kervina – Hamović, 1989). Zaščita lesa nam omogoča, da les slabše kakovosti zaščitimo in mu s tem izboljšamo odpornost ter podaljšamo trajnost. Hkrati pa se tako izognemo poseku redkih tropskih, naravno bolj odpornih lesnih vrst. Tropske vrste je potrebno zavarovati zaradi ogrožanja ekosistemov, visokih transportnih stroškov in negativnega ogljičnega odtisa teh materialov (Humar, 2014).

Med postopke ne-biocidne zaščite sodi tudi termična modifikacija lesa. S tem postopkom vplivamo na polimere in kemično strukturo celične stene ter tako posledično dosežemo nižjo ravnovesno vlažnost, boljšo dimenzijsko stabilnost, daljšo trajnost in boljšo odpornost na glive. Negativne posledice so poslabšanje mehanskih lastnosti in sprememba barve lesa (v nekaterih primerih je sprememba barve zaželen). S spreminjanjem parametrov (temperatura in čas modifikacije), lahko optimiziramo različne lastnosti modificiranega lesa (Veg, 2009).

Les lahko zaščitimo tudi z biocidnimi pripravki. Le ti so še vedno najboljša rešitev za najzahtevnejše aplikacije. Zaradi vedno večjega ozaveščanja o varstvu okolja, pa se v zaščiti lesa za nezahtevne aplikacije vse bolj uporabljajo naravni nebiocidni zaščitni pripravki. Med slednje sodijo tudi voski in olja. Voski so hidrofobne snovi, ki se v praksi pogosto uporabljajo za zaščito pred tekočo vodo ter preprečevanje razvoja in rasti gliv. Delijo se na dve glavni skupini in sicer na sintetične ter naravne. Med slednje sodi tudi naš vosek, ki smo ga uporabili v raziskavi (Humar, 2014).

Pri raziskavi smo za zaščito uporabili termično modificiran les ter zaščito z naravnim voskom. Z združitvijo obeh postopkov smo raziskovali vpliv temperature, koncentracije emulzije voska in postopka impregnacije na les. Naš cilj je bil doseči optimalno zaščito lesa za uporabo v tretjem razredu izpostavitve. Tako voski, kot tudi termična modifikacija, se že uporabljata v zaščiti lesa, vendar ju do sedaj nikoli nismo uporabljali v kombinaciji.

1.1 CILJI

- Določiti izgubo mase z voski modificiranega lesa po termični modifikaciji.
- Določiti mehanske lastnosti termično modificiranega z voski impregniranega lesa.
- Določiti kratkotrajni in dolgotrajni navzem vode z voski modificiranega lesa po termični modifikaciji.
- Določiti odpornost z voski modificiranega in termično modificiranega lesa na lesne glive.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

- Predobdelava lesa z voski zniža izgubo mase med termično modifikacijo.
- Predobdelava lesa z voski se odraža v boljših mehanskih lastnostih termično modificiranega lesa.
- Predobdelava lesa z voski se odraža v nižjem navzemu vode v termično modificiran les.
- Predobdelava lesa z voski in termična modifikacija delujeta sinergistično na odpornost na lesne glive.

2 PREGLED OBJAV

2.1 NAVADNA SMREKA (*Picea abies*)

Smreka je razširjena po evropskih gorstvih od Skandinavije do Balkanskega polotoka in Alp. Raste od 1000 m do 2000 m visoko in spada med iglavce v družino borovk. Les je prožen, trpežen in mehek, gostota je nizka do srednja, potek vlaken pa je raven. Barva lesa je rumenkasto bela do rumenkasto rjava, jedrovina pa je neobarvana. Skobljan les ima svilen sijaj, svež pa diši po smoli. Pogosto se pojavljajo smolni žepki. Ni odporen proti glivam in insektom. Zmerno je odporen na vremenske vplive, če ni v stiku z zemljo.

Glavna prednost smreke so ravna, polna lesena debla ob nizki gostoti ima les razmeroma visoko trdnost in je relativno poceni. Les smreke je relativno pogost in dostopen v ekonomsko zanimivih količinah. Smrekovina se dobro in lahko suši in je le malo nagnjena k veženju in pokanju. Zelo dobro se mehansko obdeluje, cepi in lušči tako, da pri obdelavi dobimo zelo gladke površine. Slabost smrekovega lesa je težka impregnabilnost in pojav smolnih žepkov (Mizarstvo Hrovat, 2015).

Les je široko uporaben v gradbeništvu, tesarstvu, mizarstvu, pohištveni in papirni industriji. Les z enakomernimi in ozkimi branikami je primeren za izdelavo glasbil. Predvsem v gradbeništvu se uporablja za konstrukcije, fasade, okna, vrata in talne obloge. Prav zaradi tega pa je potrebna ustrezna zaščita lesa (Wood Solutions, 2015).

2.2 NARAVNA ODPORNOST

Naravna odpornost je lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in označuje odpornost na škodljivce. Odvisna je od anatomske zgradbe in kemijske sestave lesa. Trajnost lesa pa je čas v katerem les ohrani svoje naravne lastnosti in je odvisna od:

- naravne odpornosti
- načina in mesta uporabe (Humar, 2014)

Odpornost lesa je predvsem odvisna od ojedritve, saj je beljava manj odporna kot jedrovina. Kemijska sestava v veliki meri določa naravno odpornost lesa. Esencialne snovi kot so voski, tanini, smole, proteini in škrob, zelo vplivajo na naravno odpornost lesa, zato jih s primernimi topili lahko izperemo. Predvsem škrob in proteini poslabšajo njegovo odpornost. Nekatere izmed naštetih snovi, imenovane jedrovinske snovi, pa so znane kot naravna zaščitna sredstva in delno ščitijo les pred raznimi škodljivci. Nastajajo v parenhimskih celicah in kasneje difundirajo tudi v druge celice. Drevo jih proizvaja v procesu ojedritve, saj tako zaščiti svoje mehanske lastnosti (Fabčič, 2008). Žal smrekovina ne sodi med lesne vrste z visokim deležem ekstraktivov. Kljub temu se na prostem,

predvsem v višjih razredih izpostavitve obnese bolje, kot kot beljava borovine ali jelovina. Razlog za boljšo odpornost smrekovine se skriva v dejstvu, da v procesu ojedritve pride do aspiracije pikenj, kar se odraža v slabši permeabilnosti. Zato je les smreke pri istih pogojih bolj suh kot primerljive lesne vrste. To se odraža v daljši življenjski dobi.

Glede na naravno odpornost razvrstimo lesne vrste v 5 razredov (SIST EN 350-2, 1995) (preglednica 1). V zadnjem obdobju na področju razvrščanja lesnih vrst v odpornostne razred prihaja do sprememb. Nov predlog standarda SIST EN 350 poleg odpornosti in prisotnosti biološko aktivnih ekstraktivov upošteva še vodoodbojnost oziroma sposobnost lesa da ostane suh. Tako da je razvrstitev v preglednici 1 začasna in bo v kratkem po vsej verjetnosti prišlo do sprememb. Novejši predlog bo bolj temeljil na terenskih testiranjih in bo ločil trajnost za aplikacije nad in pod zemljo (Kržišnik in sod., 2015).

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

RAZRED ODPORNOSTI	TRAJNOST LESA (LETA) *	IZGUBA MASE (%) **	DREVESNA VRSTA
Zelo odporne 1	20 +	<1	robinija (1-2), iroko, tik
Odporne 2	15-20	1-5	kostanj, dob, tisa
Zmerno odporne 3	10-15	5-10	oreh, macesen, bor (3-4)
Neodporne 4	5-10	10-30	smreka, jelka, brest
Zelo občutljive 5	<5	>30	javor, breza, bukev, topol

* Trajnost lesa velja za les v stiku z zemljo.

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

2.3 TERMIČNA MODIFIKACIJA

Od vseh vrst modifikacij je termična modifikacija najbolj komercialno napredna. Eden izmed prvih industrijskih postopkov, s katerim so zmanjšali dimenzijsko obstojnost lesa je termična modifikacija lesa. Termična modifikacija je postopek zaščite lesa, s katerim les zaščitimo brez uporabe kemičnih sredstev in mu s tem povečamo odpornost na lesne glive. Posledično lahko zmanjšamo posek redkih tropskih vrst in povečamo uporabo manj odpornih evropskih lesnih vrst. S tem postopkom spremenimo strukturo celične stene. Posledice pa so nižja ravnovesna vlažnost lesa, temna barva, dimenzijska stabilnost, razgradnja hemiceluloz in ekstraktivov, dodatno premreženje OH skupin ter boljša odpornost na glive (Pohelven in Rep 2004). Bistvo termične modifikacije je segrevanje lesa na določeno temperaturo (150 °C do 240 °C) za določen čas v odsotnosti kisika, katero lahko dosežemo na različne načine:

- z vpihovanjem inertnih plinov (dušik)
- kombinacijo vode in visokega tlaka
- z vodno paro
- v inertnem vakuumu (izsesan zrak)
- z oljno kopeljo
- ...

(Thaler, 2014)

V samem procesu lahko prihaja do razlik glede na čas in temperaturo, okolje v katerem je postopek izveden, zaprti ali odprti sistem, vrsto lesa, mokri in suhi postopek, dimenzije vzorcev in uporabe katalizatorja. Večja kot je temperatura in daljši kot je čas, večja je sprememba barve lesa in degradacija hemiceluloze. S temperaturo pa se slabšajo mehanske lastnosti lesa, zlasti udarna žilavost. Do izrazite degradacije materiala pride nad 300 °C, zato so procesi termične modifikacije omejeni na temperaturo, ki ni višja od 260 °C. Večina procesov pa poteka pri temperaturah med 190 °C in 240 °C. Izvedba postopka lahko poteka v zraku, intaktnem vakuumu ali pa v inertni atmosferi. V zaprtem sistemu prihaja do visokotlačne pare, medtem ko pri odprtem voda izhaja iz sistema. Različne vrste lesa se različno odzovejo na termično modifikacijo. Razlike se predvsem pokažejo v izgubi mase, ki je večja pri listavcih. Zaradi različnih dimenzij vzorcev mora biti prenos toplote v notranjost lesa postopen s konstantno temperaturo skozi celoten presek vzorca. S katalizatorji, ki proizvajajo kisline, pa lahko pospešimo degradacijo procesa (Hill, 2006).

2.3.1 Dimenzijska stabilnost

Na kemijskem nivoju pri termični modifikaciji pride do cepitev vezi v molekulah hemiceluloze in delno lignina. Zaradi tega pride do delnega razkroja in nastanejo stranski produkti in sicer očetna kislina, voda, metanol, furfural in ogljikov dioksid, zaradi česar pride do zmanjšanja števila hidroksilnih skupin, delne cepitve polimernih verig in do nastanka novih vezi. Redukcija števila prostih hidroksilnih skupin privede do zmanjšanja medsebojnih vplivov z vodo. S tem les postane manj higroskopen in tako dimenzijsko stabilnejši. Poveča se mu tudi biološka odpornost proti glivam in insektom (Lesar, 2005).

Hidroksilne skupine v lesnem tkivu vežejo oz. tvorijo vodikove vezi z molekulami vode, zato je les higroskopen material. Visoka vsebnost vlage v lesu ali neposreden stik z vodo povzroči nabrekanje, v nasprotju s sušenjem, ki povzroči krčenje celične stene. Razpoke lesnega tkiva, ki jih povzročijo takšne spremembe dimenzij lesa so nezaželjene, saj predstavljajo idealno mesto vdora škodljivcev in vode. Les vsebuje prosto in vezano vodo. Prosta voda lahko vpliva samo na maso in ne na lastnosti lesa. Del vezane vode je omejen s številom sorpcijskih mest, ki vežejo vodne molekule. Posledica adsorpcije je nabrek celičnih sten oz. vezava plinastega adsorbenta iz vlažnega zraka na lesne polimere (Lesar, 2005).

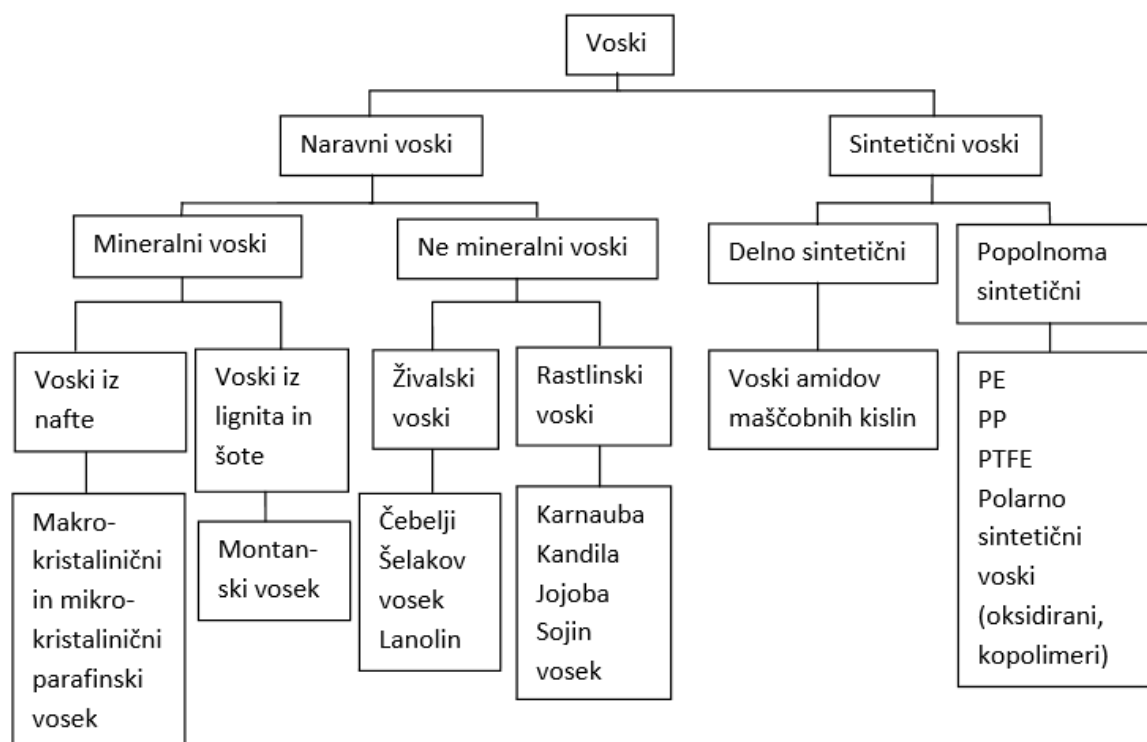
2.3.2 Odpornost na glive in insekte

Spremenjena kemična zgradba povzroči, da ima les boljšo odpornost. Drug vpliv pa je tudi znižana ravnovesna vlaga termično modificiranega lesa, saj le ta močno spremeni življenske pogoje za glive in insekte. S termično modifikacijo pridobimo les z visoko odpornostjo proti glivam in insektom, vendar z dokaj oslabljenimi mehanskimi lastnostmi. Z zmanjšanjem možnosti navzemanja vode, se zmanjša tudi možnost razpok lesa ter s tem tudi vdor gliv in insektov v les. Poveča se odpornost na glive, ki povzročajo belo, mehko ter še posebej rjavo trohnobo. Pogoji modifikacije vplivajo na stopnjo odpornosti in imajo večji vpliv na odpornost proti mehki trohnobi in glivam rjave trohnobe. Razlog za to je zmanjšanje higroskopičnosti materiala. Hemiceluloza je verjetno glavni razlog za povečanje odpornosti na glive bele trohnobe, saj je njihov metabolizem odvisen od pretvorbe le te (Lesar, 2005).

2.4 VOSKI

2.4.1 Splošno o voskih

Voski so spojine sestavljene iz različnih sestavin, kemijsko gledano so to estri višjih karboksilnih kislin z višjimi alkoholi. So vodoodbojni, netoksični, talijo se pri temperaturah nad 40 °C, gorijo s sajastim plamenom, so slab prevodnik toplote in elektrike in imajo gostoto ter topnost močno odvisno od temperature. To je splošna definicija voskov, kljub temu med voski pogosto prihaja do razlik, ki določajo uporabnost. Nekateri voski se tako talijo pri 40 °C drugi pa pri 95 °C, sintetični celo pri 140 °C. Najbolj poznan med voski je čebelji vosek, ki ga izločajo medonosne čebele delavke iz voskovnih žlez. Voski se v vsakdanjem življenju uporabljajo za izdelavo sveč, loščil, tiskarske barve, za mažo smučk, za izolacijo kablov ter v kozmetiki. V lesarstvu se največ uporabljajo naravni voski, počasi pa prihajajo v uporabo tudi sintetični voski. Voske delimo v dve glavni skupini, in sicer na naravne in sintetične. Slika 1 prikazuje bolj podrobno delitev voskov.



Slika 1: Delitev voskov (Lesar, 2011: 19)

V lesarstvu se voski uporabljajo kot vodoodbojni material, za obdelavo lesa in površinsko zaščito lesa pred razvojem in rastjo gliv ter kot dodatek premazom in lepilom. Zelo pogosto se v lesarstvu uporabljajo parafini, ki kemijsko niso voski a imajo podobne lastnosti kot voski. Vodoodbojnost je odvisna od vrste, sestave in koncentracije uporabljenega sredstva. Višja kot je koncentracija, večji je hidrofojni učinek in boljša je zaščita pred glivami in plesnimi. Tanka plast voska, ki jo nanesemo na površino lesa zapolni pore in tako prepreči dostop vode v notranjost. Plast voska se lahko na lesu hitro poškoduje, zato je pomembno redno čiščenje, vzdrževanje in obnavljanje (Lesar, 2011; Lesar, Zupančič, Humar, 2008). Dosedanje raziskave so pokazale, da so emulzije in suspenzije voskov ekonomsko zelo ugodne za zaščito lesa. Hidrofobno delovanje lahko močno izboljšamo, če vosek segrejemo nad tališče. V tem primeru vosek tvori uniformen film na površini lesa in deluje bistveno bolj hidrofojno, kot vosek ki ni bil segret (Lesar in sod., 2011).

2.4.2 Montanski vosek

Montanski vosek spada med fosilizirane voske in sicer v skupino naravnih rastlinskih voskov. Ekstrahiran je iz lignita in je mešanica voskov smol in asfaltnih snovi. Glavno nahajališče montanskega voska je v centralni Nemčiji, pridobivajo pa ga iz rjavega premoga. Sestava surovega montanskega voska so estri višjih karboksilnih kislin z višjimi alkoholi in proste višje kisline. Po izgledu je rafiniran montanski vosek blede rumene barve, je zelo trd, izjemno odporen na oksidacijo, se zelo dobro polira ter ni toksičen za

sesalce. Med njegove najbolj pomembne lastnosti spada sposobnost tvorjenja tankega odpornega filma. Topen je v številnih organskih topilih, zlasti v aromatskih in kloriranih ogljikovodikih. Njegovo tališče je pri temperaturi med 82 °C in 95 °C. Uporablja se kot polirno sredstvo za paste za avtomobile in čevlje, za električne izolacije in maziva v proizvodnji plastike ter v papirni industriji in lesarstvu (Lesar, 2011).

2.5 DEJAVNIKI RAZKROJA

Na les vplivajo abiotični in biotični dejavniki. Med prve dejavnike razkroja spadajo vlaga, dež, veter, sneg, zrak, ogenj, sonce, kemikalije, temperatura. Najpomembnejši biotični pa so glive, bakterije, insekti in razni škodljivci. Oboji povzročajo mehanske in fizikalne poškodbe lesa (Kervina – Hamović, 1989).

2.5.1 Glive

Glive so heterotrofni organizmi brez klorofila in spadajo v samostojno kraljestvo živih bitij. Njihova sestava je iz 90 % vode in 10 % suhe mase. Zgrajene so iz dveh delov: podzemnega dela podgobja oz. micelija, ki ji omogoča črpanje hrane in vode ter zunanega – gobe. Preživljajo se na več načinov: kot razkrojevalke, zajedavke in kot simbionti. Glive se razmnožujejo na dva načina in sicer spolno ter nespolno ali vegetativno. Trosnjak je del glive, ki je namenjen razmnoževanju in v katerem nastajajo trosi s katerimi se glive razmnožujejo.

Lesne glive povzročajo obarvanje in razkrajanje lesa. Značilne za obarvanje lesa so plesni in modrivke, pri razkroju pa jih ločimo na glive ki povzročajo rjavo trohnobo in na glive, ki povzročajo belo trohnobo. Možen je tudi encimski razkroj lesa, kadar glive izločajo ekstracelularne encime v les.

Najpomembnejši dejavniki, ki vplivajo na razvoj in obstoj gliv so: hrana, vlaga, temperatura, zrak, svetloba ter pH. Najpogostejša hrana za lesne glive sta celuloza in lignin, ki sta tudi glavni snovi zgradbe lesa. Poleg hrane je izjemno pomembna tudi vlaga, saj vpliva na razmnoževanje in razvoj gliv, optimalna temperatura, količina zraka, svetloba za oblikovanje reproduktivnih struktur ter metabolizma gliv in optimalna vrednost pH (Kermina-Hamović, 1987; Podobnik in Devetak, 1997).

Eden najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na kalitev trosov in razvoj gliv je količina vlage v lesu. Če je ta prenizka ali previsoka lahko popolnoma onemogoči njihov razvoj. Za razmnoževanje in razvoj gliv mora les vsebovati več kot 20 % vlage glede na suho težo lesne snovi, optimalna količina pa je med 35 % in 55 %. Pod mejo 20 % se pojavi plazmoliza, ki povzroči odmiranje gliv. Pri preveliki količini vlage je razvoj prav tako

onemogočen, zato je eden izmed preventivnih ukrepov zaščite lesa tudi potapljanje lesa v bazene oz. stalno vlaženje lesa. Pri relativni zračni vlagi pa je spodnja meja za razvoj gliv od 65 % do 70 % optimalna meja pa je 90 %. Nekatere glive pa lahko kljub nizki vlažnosti preidejo v latentno stanje in v ugodnih pogojih pričnejo znova rasti (Benko in sod., 1987).

Glive, ki smo jih uporabili v naši nalogi so natančneje opisane v nadaljevanju.

2.5.1.1 Pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*)

Gliva spada med najbolj razširjene vrste na svetu in je zelo pogosta po celi Evropi. Največkrat jo najdemo na lesu listavcev, redko iglavcev ter na poškodovanih drevesih in izdelkih iz lesa, ki so v stiku z zemljo. Trosnjaki, ki so enoletni imajo najpogosteje konzolasto obliko, so tanki, kožasti, trdi ter različnih barv. V širino lahko merijo od 5 cm do 9 cm bele, rumene, rjave, rdečkaste ali sivkaste barve redkeje tudi črne barve ter izraščajo v skupinah eden v drugega. Na zgornji strani so dlakavi, himenij je bel ali rumenkast z drobnimi porami. Na spodnji strani klobuka imajo belo trosovnico, ki je sestavljena iz kratkih cev. Je zelo odporna proti dolgotrajni suši in visokim temperaturam. Povzroča belo trohnobo, ter razgrajuje lignin in celulozo. Če je les okužen z več vrstami lesnih gliv pa se mora borovati za substrat, kar se odraža v neenakomernem razkroju in temnih črtah. Ta pojav imenujemo piravost. Glivo uporabljajo pri kuhanju čaja, pripisujejo pa ji tudi mnoge zdravilne učinke. Pomaga pri prehladu, virozah najbolj znan pa je njen učinek proti raku (Benko, 1987; Pohleven, 2008).



Slika 2: Pisana ploskocevka (foto: G. Callow, 2015)

2.5.1.2 Navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*)

Nahaja se v Evropi, Afriki, S. Ameriki, Avstraliji ter na Novi Zelandiji. Je ena najpomembnejših razkrojevalk lesa na skladiščih, vrtnem pohištvu, ograjah, ostrešjih in mostovih. Trohnoba je skrita pod navidez lepim površjem. Zato pogosto pride do porušitve v primeru nenadne obremenitve. S tega pogleda je ta tip trohnobe zelo nevaren, saj ga hitro spregledamo. Okužuje tako listavce kot iglavce ter povzroča rjavo trohnobo prizmatične oblike za katero je značilen sladek vonj podoben katranu. Trosnjaki so enoletni, različnih oblik, temno rumene barve. Navadno jih najdemo v skupinah. Ima brezbarvne in cilindrične trose ter žilav klobuk, ki je prožen in ponavadi zraste iz razpok. Na začetku je temno rumen in s starostjo potemni, občasno tudi zbledi. Trosišče je v obliki lamel, ki so razvrščene v vzdolžni smeri. Je zelo odporna na vročino in sušne razmere. Gliva je razvila prilagoditev na visoke temperature, do katerih pogoste pride v ostrešju, na tramovih izpostavljenih soncu... V primerjavi z drugimi lesnimi gobami, tramovkam ustrezajo višje temperature med 26 °C in 35 °C, raste pa lahko tudi pri 40 °C. Optimalna vlažnost za njeno rast pa je med 40 % in 60 %. Pri neugodnih pogojih lahko preide v latentno stanje ter ob le 12 % vlažnosti preživi kar 10 let v lesu (Benko, 1987; Humar, 2008). Na srečo glivo lahko kontroliramo z biocidi na osnovi bakra oziroma modifikacijo lesa.



Slika 3: Navadna tramovka (foto: M. Humar, 2008)

2.5.1.3 Bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*)

Je dokaj razširjena v Evropi, Aziji, Avstraliji in Afriki. Gliva je tipičen predstavnik rjave trohnobe. Razkraja tako les v stavbah, kot tudi les na prostem. Razkraja celulozo in les kockasto razpade. Najpogosteje jo najdemo v kletih, rudnikih in na vlažnem lesu iglavcev. Na terenskem testu v Ljubljani jo najpogosteje zabeležimo na lesu impregniranem z bakrovimi pripravki, kjer jo spoznamo po značilnem miceliju. Za micelij je značilno, da se na lesu razširja kot pozimi ledene rože na okenskih steklih. Ima kožaste in blazinaste trosnjake, ki so sprva beli kasneje pa rumenkaste ali rdečkaste barve in so obrnjeni navzgor. V trosnjaku so trosi, ki so različnih oblik glede na vrsto. Trosovnica vsebuje cevčice, ki so velike od 1 mm do 4 mm. Med samim razkrojem močno zakisa les, saj izloča

oksalno kislino. Oksalna kislina reagira z bakrovimi učinkovinami v lesu in jih a ta način napravi nestrupene. Za razvoj glive sta pomembna optimalna pogoja temperatura od 26 °C do 27 °C in vlaga lesa med 35 % in 45 %. Zelo dobro prenesejo sušno obdobje, ki lahko traja tudi do 5 let, saj lahko ponovno oživijo ter pričnejo razkrajati les pod pogojem, da ta vsebuje 40 % vlažnost. Glivo pogosto vključujemo med testne glive, saj navadno bolj razkroji odporne in z bakrovimi biocidi zaščitene vzorce, kot kontrolne vzorce. Če so pogoji optimalni, lahko dnevno zraste tudi do 12,5 cm (Benko, 1987; Humar, 2008).



Slika 4: Bela hišna goba (*Antrodia* ... 2015)

2.6 TEORETIČNE OSNOVE UPORABLJENIH METOD

2.6.1 Določanje kontaktnega kota

Kontaktni kot je eden od pogostih načinov za merjenje omočljivosti površine ali materiala. Omočljivost nam pove, kako se tekočina obnaša, kadar jo nanesemo na trden ali tekoč substrat oz. zmožnost tekočine, da tvori robne površine s trdnimi stanji. Omočenje, je določeno z merjenjem kontaktnega kota, ki ga tekočina tvori v stiku s trdno snovjo ali tekočino. Manjši kot je kontaktni kot ali površinska napetost, večje je omočenje površine. Hidrofobne površine so tiste, ki imajo kontaktni kot večji od 90 ° in vse tja do 180 °. Takšnim površinam, ki so hidrofobne pravimo tudi, da imajo efekt lotusovega lista. Hidrofilne površine pa imajo kontaktni kot pod 90 ° (Chemwiki, 2015).

V skladu z Youngovo enačbo obstaja razmerje med kontaktnim kotom, površinsko napetostjo tekočine, medfazno napetostjo med tekočo in trdno snovjo in brez površinsko energijo trdne snovi (Krüss, 2015).

Izračun kontaktnega kota po formuli (1) ...(1)

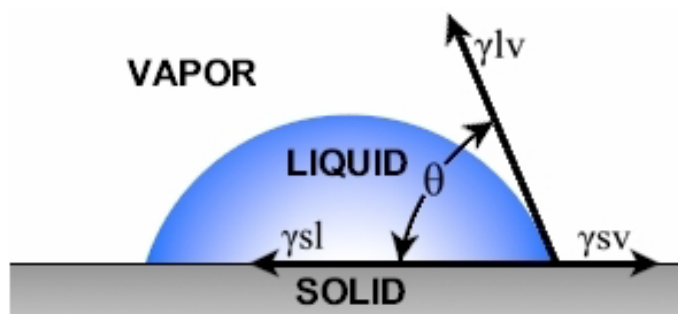
$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \times \cos \theta$$

γ_{sv} – površinska napetost na mejo trdna snov – zrak

γ_{sl} – površinska napetost na meji trdna snov – kapljevina

γ_{lv} – površinska napetost na meji kapljevina – zrak

θ – kontaktni kot



Slika 5: Prikaz kontaktnega kota (Ramé-hart, 2015)

Poznamo različne načine meritve kontaktnega kota:

- Z analizo oblike kapljice (DSA) – kontaktni kot se meri s pomočjo slike padca kapljice na sečišče (tri fazne kontaktne točke) med obrisom padca kapljice in projekcijo površino.
- Wilhelmy metoda s ploščico – meri se sila v natezni smeri, medtem, ko premikamo ploščo vertikalno iz vode. ta sila pa je odvisna od kontaktnega kota, površinske napetosti in omočene dolžine ploščice.
- Washburn metoda – meri se povečanje mase prašno napolnjene cevi glede na čas. Hitrost dviga tekočine v cevi je med drugim odvisna od kontaktnega kota.
- Metoda zgornjega pogleda – je optična metoda za merjenje kontaktnega kota. Ukrivljenost površine kapljice, ki je povezana s kontaktnim kotom, se določi z razdaljo odbite svetlobe na video sliki. V ta namen morajo biti določene le spremenljivke, ki jih določa aparatura. To so delovna razdalja, medsebojna oddaljenost LED diod, povečava in volumen kapljice (Krüss, 2015).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Smreka

Uporabili smo navadno smreko (*Picea abies*), znano tudi pod imeni Norway spruce, German spruce, European spruce ... Les je rumenkasto bel in ima smolne kanale, ki so vidni predvsem na prečnem prerezu. Trakovi so ozki in jih ne vidimo s prostim očesom, grče pa so praviloma ovalne oblike. Gostota absolutno suhega lesa variira med 300 - 430 - 640 kg/m³. Z naš poizkus smo potrebovali 500 vzorcev smreke dimenzij 50 × 25 × 15 mm za določitev fungicidnih, termičnih in absorpcijskih lastnosti ter 175 vzorcev smreke dimenzij 100 × 20 × 5 mm za določanje mehanskih lastnosti. Vzorce smo oštevilčili in posušili do absolutno suhega stanja (103 ± 2 °C za 24 ur) ter jim na elektronski tehtnici znamke Sartorius določili maso na 4 decimalke natančno (slika 6).



Slika 6: Vzorci (levo), tehtnica (desno) (foto: K. Zupančič)

3.1.2 Montanski vosek

Pripravili smo dve koncentraciji naravnega voska 2,5 % in 5 % raztopino. Zatehtali smo določeno količino voska in dolili destilirano vodo. Izmed vsake od raztopin smo naredili po 4 litre. Za raziskavo smo uporabili komercialne suspenzije voska proizvajalca Romonta (Nemčija). Suspenzija voska je svetlo rjava gosta raztopina, ki vsebuje okoli 50 % suhe snovi. Suspenzija se komercialno uporablja kot dodatek betonu in hidrofojni dodatek pri izdelavi ivernih plošč (preglednica 2).

Preglednica 2: Priprava suspenzije voska za impregnacijo

	masa (g) pri koncentraciji 2,5 %	masa (g) pri koncentraciji 5 %
Vosek	100	200
Destilirana voda	do 4000 mL	

3.1.3 Glive

Za inokulacijo smo uporabili micelije gliv, ki so bili vzeti iz Zbirke industrijskih organizmov (ZIM) navedene v preglednici 3.

Preglednica 3: Imena in oznake gliv

Ime glive	Oznaka	ZIM klasifikacija (Raspor in sod., 1995)
Pisana ploskocevka (<i>Trametes versicolor</i>)	Tv6	ZIM L057
Navadna tramovka (<i>Gloeophyllum trabeum</i>)	Gt2	ZIM L018
Bela hišna goba (<i>Antrodia vaillantii</i>)	Pv2	ZIM L037

3.2 METODE

3.2.1 Priprava voska

Zaščitna priprava nižje in višje koncentracije, katerih sestava je opisana v poglavju 3.1.2, smo zmešali z magnetnim mešalom pri sobni temperaturi za cca. 10 min in ju takoj uporabili za nadaljnji eksperiment.

3.2.2 Postopki impregnacije lesa z voski

3.2.2.1 Potapljanje

Vzorci smreke smo potopili v 2,5 % koncentracijo voska za 30 min. Po končanem postopku smo vzorce vzeli iz raztopine in jih pustili sušiti na zraku za 24 ur. Po pretečenem času smo jih nato dali še v sušilnik na 103 ± 2 °C ponovno za 24 ur in jim stehali maso na 0,0001 g natančno za določitev suhega navzema. Enak postopek smo uporabili tudi za 5 % koncentracijo voska (slika 7).



Slika 7: Potapljanje vzorcev v emulzijo voska (foto: K. Zupančič)

3.2.2.2 Vakuumsko tlačna impregnacija

Vzorci smreke smo najprej potopili v obe koncentraciji voska (2,5 % in 5 %) in jih postavili v komoro za vakuumsko tlačno impregnacijo Kambič (slika 8). Postopek vakuumiranja je potekal sledeče: 30 min podtlaka (100 mbar), 40 min nadtlaka pri 10 bar in 10 min podtlaka (150 mbar). Po končanem postopku smo vzorce sušili na zraku za 24 ur, nato pa jih zložili še v sušilnik na 103 ± 2 °C za en dan. Določili smo jim še maso za izračun suhega navzema. Na ta način smo lahko izračunali koliko voska so dejansko vpili vzorci tekom impregnacije.



Slika 8: Komora za vakuumsko tlačno impregnacijo Kambič (foto: K. Zupančič)

3.2.3 Termična modifikacija

Vzorci, ki so bili predhodno impregnirani z obema koncentracijama voskov, smo termično modificirali v komori znake Kambič, ki deluje na principu vakuumu (slika 9). Termična modifikacija je sestavljena iz treh faz: segrevanja, modifikacije in ohlajanja. Hitrost segrevanja je različna in je odvisna od temperature pri kateri modificiramo les. Uporabili smo štiri različne temperature: 185 °C, 200 °C, 215 °C in 230 °C. Kontrolni vzorci si bili predhodno sušeni na 100 °C v sušilniku, in jih nismo dodatno modificirali (Pohleven in Rep, 2004).

Modifikacija je potekala tako, da smo v več fazah segrevali komoro do želene temperature. Ko smo dosegli ciljno temperaturo, je pričela potekati sama modifikacija lesa, ki traja približno 3 ure. Vseskozi je potrebno spremljati temperaturo in tlak v komori, ter ju po potrebi uravnavati. Po končani fazi modifikacije, je sledilo ohlajanje z lastnimi toplotnimi izgubami komore na sobno temperaturo. Celoten postopek od segrevanja, modifikacije in ohlajanja je trajal približno en dan in je bil krmiljen preko krmilnega sistema. Podoben proces poteka tudi v industrijske namene (Pohleven in Rep, 2004).

Ohlajene vzorce smo nato dali v sušilnik na 103 ± 2 °C za 24 ur in jim določili izgubo mase, katero smo izračunali iz razlike mase vzorcev pred in po modifikaciji. Izguba mase po modifikaciji je eden od osnovnih kazalnikov stopnje modifikacije. Višja ko je izguba mase, bolj je les modificiran.

Izračun izgube mase po formuli (2).

$$m_{izgube} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 [\%] \quad \dots(2)$$

m izguba mase vzorcev

m₁ masa vzorcev pred modifikacijo

m₂ masa vzorcev po modifikaciji



Slika 9: Komora za termično modifikacijo Kambič (foto: K. Zupančič)

3.2.4 Izpostavitvev impregnirane smrekovine lesnim glivam

3.2.4.1 Priprava gojišča

Pripravili smo 255 kozarcev, ki so bili predhodno razkuženi v etanolu (96 %). Pokrove kozarcev smo tudi razkužili, jim zvrtali luknje v sredino in v njih vstavili vato. Vata je omogočala pretok zraka v kozarec in hkrati onemogočala kontaminacijo s sporami. Vzoredno smo izrezali enako število PVC mrežic in jih potopili v etanol.

Po končani pripravi kozarcev smo pripravili gojišče za glive. Hranilno gojišče je narejeno iz krompirjevega dekstroznega agarja. V 1 liter destilirane vode smo zatehtali 39 g suhega gojišča v prahu. Vodo smo segrevali nad grelno ploščo dokler ni zavrela in nato dodali suh medij. S stekleno palčko smo mešali toliko časa, da se je mešanica zgostila. Nato smo v vsak kozarec vtili približno 50 mL agarja in ga zaprli s pokrovom. Ko so se kozarci ohladili smo vse skupaj zložili, v avtoklav in 45 minut sterilizirali pri 121 °C oz. 1,2 bar (slika 10). S tem smo preprečili nezaželene kontaminacije.



Slika 10: Gojišče (levo), Avtoklav (desno) (foto: K. Zupančič)

3.2.4.2 Inokulacija gojišča z glivami

Cepljenje gliv je potekalo v brezprašnem sterilnem prostoru (laminarij). Sterilne kozarce smo v laminariju odprli in na sredino gojišča vstavili vcepek z glivo. Uporabili smo micelij treh vrst gliv (Gt2, Pv2 in Tv6) (preglednica 3). Špatulo s katero smo inokulirali sterilno gojišče smo predhodno vedno ožgali s plamenom in s tem dodatno preprečili okužbo gojišča z bakterijami in plesnimi. Na gojišče in glivo smo postavili še PVC mrežico, ožgali rob kozarca in pokrovčka ter z njim zaprli kozarec. Inokulirane glive smo nato inkubirali v rastni komori pri 25 °C in 85 % RH, dokler micelij ni prerasel gojišča. Okužene kozarce smo izločili, sterilne pa uporabili za nadaljevanje.

V vsak kozarec smo nato ponovno v laminariju vstavili po dva vzorca smrekovine (slika 11). Vzorci, ki so bili predhodno 45 min sterilizirani v avtoklavu na 121 °C in 1,2 bar. Givam so bili izpostavljeni naključno, zaradi lažje primerjave rezultatov glede priraščanja glive. Kozarce smo nato ponovno inkubirali v rastni komori pri 85 % RH in 25 °C za 16 tednov ter sproti opazovali priraščanje gliv. Po 16 tednih smo vzorce vzeli iz kozarcev, jih očistili in jim določili maso. Za tem smo jim določili maso v absolutno suhem stanju. Iz primerjave mase pred in po izpostavitvi glivam, smo iz razlike izračunali izgubo mase, zaradi delovanja gliv. Višja izguba mase je nakazovala manj odporen material. Izgube mase pod 3 % standard SIST EN 113 uvršča med zanemarljive.



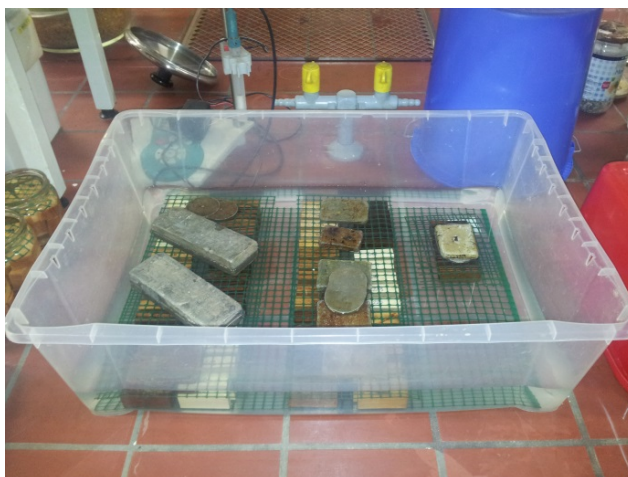
Slika 11: Vzorec na miceliju na začetku 16 tedenske izpostavitve glivam (foto: K. Zupančič)

3.2.5 Vpliv interakcij med vodo in lesom

3.2.5.1 Dolgotrajni navzem vode v les

Dolgotrajni navzem vode smo izvedli v skladu s termini določenimi v standardu SIST ENV 1250-2. Standard je v prvi vrsti namenjen izpiranju, mi pa smo ga prilagodili določanju navzema vode v les. Smrekove vzorce, ki so bili uravnovešeni na sobno vlažnost (23 °C, 65 %), smo stehali na elektronski tehtnici na štiri decimalke natančno. Nato smo

jih za različno dolga obdobja potopili v destilirano vodo (slika 12). Prvi dan smo jih namakali v destilirano vodo za 1 uro, 2 uri, 4 ure in 16 ur. Drugi dan smo jih ponovno namočili za 8 ur in 16 ur. Tretji dan, pa smo jih namočili za 48 ur. Po vsakem pretečenem času smo vzorce obrisali s papirnato brisačko in jim določili maso. Po končanem postopku namakanja smo jih pustili da se zračno posušijo, zatem pa jih 24 ur sušili pri 103 ± 2 °C in jim določili maso v absolutno suhem stanju.



Slika 12: Namakanje vzorcev v destilirano vodo (foto: K. Zupančič)

3.2.5.2 Kratkotrajni navzem vode (tenziometer)

Kratko časovni navzem vode smo izvedli po standardu EN 1609 (CEN, 1997). Uporabili smo tenziometer znamke KRÜSS (Processor Tensiometer K100) (slika 13). Uravnovešenim vzorcem smo izmerili čelno površino jih vstavili v stroj in čelno stran potopili v destilirano vodo. Globina potopitve je bila 0,5 mm, čas meritev vzorca pa 200 s. Po vsakih desetih izmerjenih vzorcih smo zamenjali destilirano vodo, zaradi izpranih ekstraktivov, ki bi lahko vplivali na meritve. Računalniški program je vsaki dve sekundi zabeležil navzem vode v gramih in izrisoval krivulje.



Slika 13: Tenziometer (levo), potopitev vzorca (desno) (foto: K. Zupančič)

3.2.5.3 Določanje točke nasičenja celičnih sten

Postopek smo izvedli po postopku opisanem v članku Meyer in sodelavci (2015). Vzorce smo zložili v sušilnik na 103 ± 2 °C za 24 ur in jim določili maso v absolutno suhem stanju. Po tehtanju smo jih postavili v komoro nad destilirano vodo (slika 14 (levo)). Na dnu je bila destilirana voda, ob strani pa je ventilator skrbel za kroženje vlage po celotni komori. Za spremljanje temperature in vlage v komori smo vstavili v njo še senzor, ki nam je beležil stanje vsake tri minute. Vzorcem smo nato izmerili maso po 24 urah in po treh tednih izpostavljenosti.

Po maksimalni doseženi vlagi vzorcev (točki nasičenja), smo jih vstavili v zaprto komoro, v kateri je bil silikagel za 24 ur (slika 14 (desno)). Slednji veže vlogo iz prostora na sebe, s tem pa smo ponazorili za koliko so se vzorci posušili v enem dnevu. Na ta način smo simulirali hitrost sušenja (Brischke in sod., 2014)



Slika 14: Komora z 90 % vlago (levo), komora s silikagelom (desno) (foto: K. Zupančič)

3.2.6 Upogibna trdnost

Upogibno trdnost smo izvedli po standardu DIN EN 310. Uporabili smo smrekove vzorce dimenzij $100 \times 20 \times 5$ mm. Vzorce smo pred testiranje posušili do absolutno suhega stanja in s tem zagotovili enake parametre za vse preskušance. Pred vsako meritvijo smo vsakemu izmerili debelino in širino ter dimenzije vpisali v računalnik. Meritve smo izvedli na stroju za upogibno trdnost Zwick/Roell Z005 (slika 15), podatki o elastičnem modulu in upogibni trdnosti pa so se nam izpisovali na računalniškem programu testXpert II. Razdalja med podporama je bila $15 \times$ debelina vzorca (7,5 cm), hitrost pomika 1,5 mm/min, do loma pa je moralo priti v 1 do 2 minutah.

Zavestno smo se odločili, da izvedemo test pri absolutno suhih vzorcih. Ta odločitev nam je zagotovila primerljive rezultate. Ravnovesna vlažnost termično modificiranega lesa je močno odvisna od temperature modifikacije. Če bi testirali uravnovešene vzorce, bi mehanske lastnosti vzorcev modificiranih pri višjih temperaturah precenili saj bi bila njihova ravnovesna vlažnost nižja od kontrolnih vzorcev.



Slika 15: Univerzalni testirni stroj Zwick/Roell Z005 (foto: K. Zupančič)

3.2.7 Kontaktni kot

Kontaktni kot smo posneli s tenziometrom znamke Theta, Optical Tensiometer (slika 16 (levo)). Tretirane vzorce smreke smo postavili na mizico in jo približali kameri. Kamera je snemala s hitrostjo 15 sličic/s, povezana pa je bila z računalnikom, na kateremu se je prikazoval posnetek kapljice. Pomembno je, da smo slike čim bolj izostrili, saj smo s tem zagotovili bolj natančno meritev. Uporabljeni parametri so bili tri kapljice destilirane vode na vzorec velikosti $4 \mu\text{L}$, razdalja med posameznimi kapljicami ja bila v x-osi 10 mm in y-osi 10 mm. Kontaktni kot smo beležili 60 s za vsako kapljico. Ko smo pritisnili start se je avtomatska pipeta približala vzorcu in kapljico pritisknila na tangencialno površino

preskušanca. V trenutku, ko se je kapljica ločila od tipsa pipete, je kamera pričela s snemanjem kontaktnega kota (slika 16 (desno)). Merili smo levi ter desni kot kapljice in na koncu izračunali povprečje obeh kotov.



Slika 16: Tenziometer (levo), kapljica (desno) (foto: K. Zupančič)

4 REZULTATI Z RAZPRAVO

4.1 SUHI NAVZEM IN IZGUBA MASE VZORCEV

Suhi navzem voska smo določali z namenom da ugotovimo vpliv koncentracije emulzije voska in načina impregnacije na navzem. V nadaljevanju podajamo še podatke o vplivu voskov na termično modifikacijo lesa in povezano izgubo mase. Iz preglednice 4 je razvidno, da je naravni vosek prodril v les in iz njega ni izhlapel.

Rezultati kažejo na to, da koncentracija voska vpliva na suhi navzem. Večja kot je koncentracija večji je delež suhe snovi v lesu. V kontrolnih vzorcih, ki jih nismo modificirali smo tako po vakuumsko-tlačni impregnaciji z voski nizke koncentracije zaznali $6,77 \text{ kg/m}^3$ pri vzporednih vzorcih prepojenih z visoko koncentracijo pa kar $8,28 \text{ kg/m}^3$ voska. Poleg koncentracije na navzem vpliva tudi postopek impregnacije. Vpliv impregnacije se jasno odraža v suhem navzemu. Med kotelskim postopkom impregnacije je v les prodrlo več voska kot med potapljanjem. Ta podatek je relativno pomemben. Kaže da z uporabo tlačne razlike lahko v les spravimo več voska kot le s potapljanjem. To pomeni, da so delci voska dovolj veliki da prodrejo globlje v les in ne ostanejo le na površini. Omeniti pa velja, da je pri vakuumsko tlačni impregnaciji prišlo do kromatografskega učinka. Večji delci so ostali na površini, v sredino pa je prodrla predvsem voda.

Največji suhi navzem smo dosegli pri postopku kotelske impregnacije z voskom višje koncentracije in sicer $9,26 \text{ kg/m}^3$ najnižji navzem pa pri potapljanju v nižji koncentraciji ($0,76 \text{ kg/m}^3$). Dober navzem smo dosegli tudi pri nižji koncentraciji v postopku vakuumsko-tlačne impregnacije ($7,42 \text{ kg/m}^3$). Razlog v večjem navzemu suhe snovi v procesu kotelske impregnacije, je v tem, da iz lesa s podtlakom izsesamo kisik, ki se nahaja v praznih prostorih, nato pa z nadtlakom nadomestimo te prostore z našo suspenzijo voska. V procesu potapljanja, pa zaradi velike viskoznosti suspenzije, slabe impregnabilnosti smrekovine ne moramo doseči velikih navzemov. Negativne vrednosti navzemov pri kontrolnih vzorcih nakazujejo na spremembo mase do katere je prišlo zaradi sušenja lesa. Iz lesa so med sušenjem izhlaple lahko hlapne spojine, kar se odraža v negativnih vrednostih.

Preglednica 4: Povprečni suhi navzem suspenzij voska in izguba mase vzorcev po termični modifikaciji. V oklepajih so podani standardni odkloni.

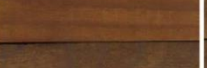
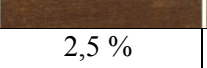
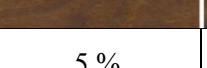
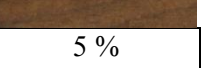
Koncentracija suspenzije	Postopek impregnacije	Temperatura modifikacije (°C)	Povprečni suhi navzem (kg/m ³)		Povprečna izguba mase po mod. (%)	
0 %	/	100	-0,61	(0,41)	0	(0)
		185	-0,33	(0,16)	2,11	(0,24)
		200	-0,23	(0,17)	5,34	(0,38)
		215	-0,17	(0,15)	5,78	(0,84)
		230	-0,15	(0,17)	10,01	(1,62)
2,5 %	potapljanje	100	0,90	(0,24)	0	(0)
		185	0,81	(0,31)	1,91	(0,19)
		200	0,81	(0,28)	4,61	(0,55)
		215	0,88	(0,17)	6,76	(0,79)
		230	0,76	(0,21)	12,4	(1,98)
	vakuum	100	6,77	(0,45)	0	(0)
		185	6,59	(0,33)	2,61	(0,32)
		200	7,09	(0,55)	5,16	(0,45)
		215	7,42	(0,38)	6,78	(0,66)
		230	7,34	(0,31)	9,8	(1,57)
5 %	potapljanje	100	1,58	(0,38)	0	(0)
		185	1,90	(0,54)	2,29	(0,39)
		200	1,46	(0,46)	4,37	(0,64)
		215	1,35	(0,50)	6,97	(1,01)
		230	1,4	(0,54)	13,46	(2,54)
	vakuum	100	8,28	(1,58)	0	(0)
		185	7,73	(1,14)	2,86	(0,29)
		200	8,61	(0,82)	5,26	(0,49)
		215	8,76	(1,71)	7,36	(0,43)
		230	9,26	(1,13)	11	(2,61)

Izguba mase je odvisna od časa in trajanja termične modifikacije. Povprečna izguba mase vzorcev zaradi vpliva termične modifikacije narašča s temperaturo. Pri temperaturi 230 °C smo v vseh primerih zabeležili največjo izgubo mase, najmanjšo pa pri 100 °C, kjer ne prihaja do očitne razgradnje lesnih komponent. Tako smo pri kontrolnih, neimpregniranih vzorcih po 3 urah modifikacije pri 185 °C zaznali 2,11 % izgubo mase, pri 200 °C 5,34 % pri vzorcih, ki smo jih segrevali na 230 °C pa kar 10,01 % (preglednica 4). Impregnacija z voskom se odraža v nekoliko višji izgubi mase med postopkom modifikacije. Razlogov za višjo izgubo med modifikacijo je več. Verjetno med modifikacijo prihaja do izparevanja in razgradnje suspenzije voskov. Upoštevati je treba, da je uporabljena suspenzija izdelana iz

nerafiniranih voskov, ki poleg montanskega voska vsebuje še druge nečistoče, za katere ne vemo ali prihaja do razgradnje ali ne. DSC analiza kaže, da je uporabljena emulzija stabilna in se bistveno ne razgrajuje. Druga možnost je, da suspenzija voska in nečistoče, ki se nahajajo v suspenziji katalizirajo termično razgradnjo, kar morda lahko vpliva na izgubo mase. Razloge za razliko bi bilo moč osvetliti z natančno DSC ali TGA analizo.

4.2 SPREMEMBA BARVE LESA ZARADI VPLIVA TERMIČNE MODIFIKACIJE

Termična modifikacija s časom in temperaturo vpliva na barvo lesa. Opazili smo da se je barva vzorcev spreminjala zaradi visoke temperature. Tako smo pri 230 °C dosegli skoraj črno barvo lesa, med tem ko pri nižjih temperaturah temno do svetlo rjavo barvo. Barva ima velik vpliv na estetske lastnosti, saj nam zaradi temnenja lesa ni potrebno nadaljnjo barvanje oz. luženje lesa. Na sliki 17 je prikazana postopna sprememba barve lesa glede na višino temperature termične modifikacije. Rjava barva je pogosto zaželena za uporabo v notranjih prostorih, kjer termično modificiran les nadomešča temnejše tropske lesne vrste. Barva lesa na prostem se ne glede na stopnjo modifikacije hitro spremeni v sivo (ThermoWood, 2015).

100 °C					
185 °C					
200 °C					
215 °C					
230 °C					
	kontrola	2,5 % potapljanje	2,5 % vakuumska impregnacija	5 % potapljanje	5 % vakuumska impregnacija

Slika 17: Sprememba barve vzorcev po termični modifikaciji (foto: K. Zupančič)

4.3 KRATKOTRAJNI NAVZEM KAPLJIČNE VODE

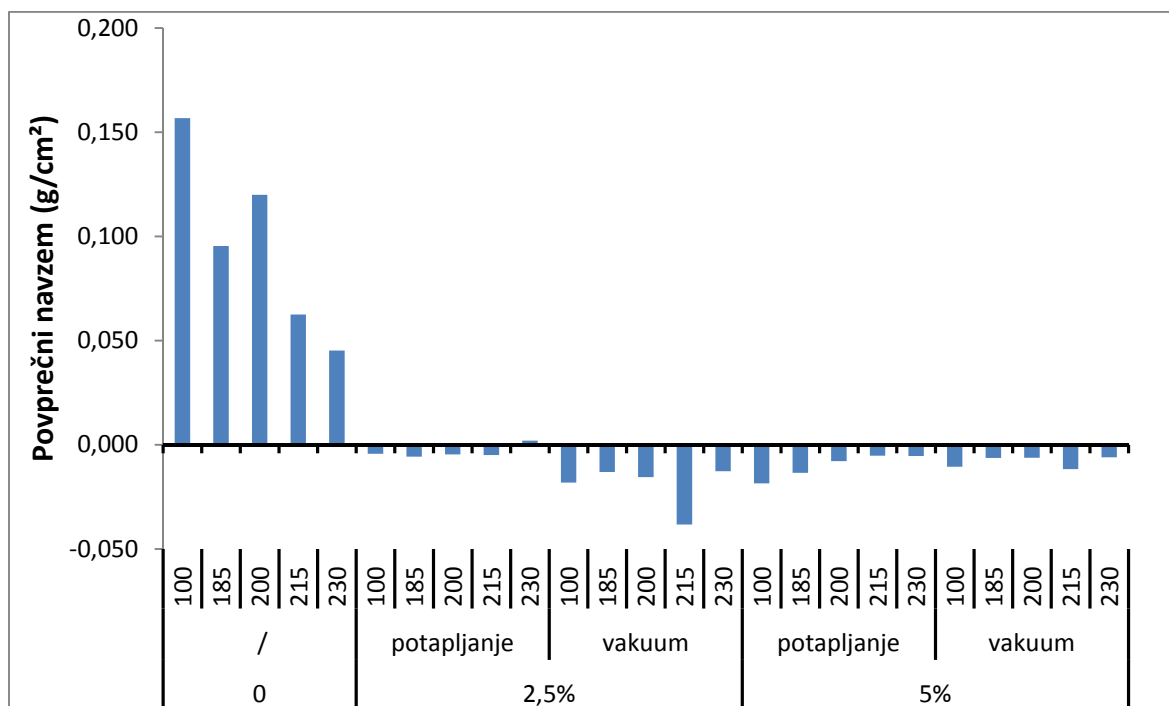
Kratkotrajni navzem vode nam pove, koliko vode les vpije v kratkem času, ob enem izrazitem padavinskem dogodku. V našem primeru smo test izvajali na čelih, ki so na nek način najbolj izpostavljena in predstavljajo kritično mesto za vstop gliv in vode v les. Iz preglednice 5 lahko razberemo, da je bil povprečni kratkotrajni navzem vode največji pri kontrolnih neimpregniranih vzorcih ($0,157 \text{ g/cm}^2$). Opazimo, da temperatura vpliva na navzem saj pri višji temperaturi termične modifikacije dosežemo manjši navzem. Tako lahko potrdimo, da že s samo modifikacijo napravimo les delno hidrofoben. Najmanjši navzem smo tako pri kontrolnih vzorcih dosegli s temperaturo 230 °C ($0,045 \text{ g/cm}^2$).

Če kontrolo primerjamo z vzorci, ki so bili impregnirani z voskom, vidimo da le ta močno vpliva na navzem. V vseh primerih smo dosegli negativni rezultat. Vrednosti segajo v negativne vrednosti, zaradi tega, ker se je na površini lesa zaradi voska ustvarila površinska napetost, ki je povzročila odboj vode in s tem negativne vrednosti. S to metodo med posameznimi postopki nismo potrdili nobene razlike med postopki impregnacije oziroma modifikacije. Z voskom zapremo aksialne površine in na ta način preprečimo prodiranje kapljične vode v aksialni smeri. Razlike so manjše ravno zato, ker smo z vsemi postopki in koncentracijami uspešno zaprli aksialne površine, zato ni prišlo do razlik. Pri dolgotrajnejših testih pa je vodi izpostavljen cel vzorec zato se ustvarijo še druge poti za prodiranje vode v les (slika 18).

Preglednica 5: Povprečni kratkotrajni navzem vode določen s tenziometrom. V oklepajih so podani standardni odkloni.

Koncentracija suspenzije	Postopek impregnacije	Temperatura modifikacije (°C)	Povprečni navzem vode g/cm ²
0	/	100	0,157 (0,07)
		185	0,095 (0,05)
		200	0,120 (0,05)
		215	0,062 (0,05)
		230	0,045 (0,02)
2,5 %	potapljanje	100	-0,004 (0)
		185	-0,006 (0)
		200	-0,005 (0,01)
		215	-0,005 (0)
		230	0,002 (0,01)
	vakuum	100	-0,018 (0,02)
		185	-0,013 (0,01)
		200	-0,016 (0,01)
		215	-0,038 (0,01)
		230	-0,013 (0)
5 %	potapljanje	100	-0,019 (0,01)
		185	-0,013 (0,01)
		200	-0,008 (0,01)
		215	-0,005 (0)
		230	-0,005 (0)
	vakuum	100	-0,011 (0)
		185	-0,006 (0)
		200	-0,006 (0)
		215	-0,012 (0,01)
		230	-0,006 (0)

Temperatura vpliva na večjo hidrofobnost lesa in negativno na navzem vode zaradi impregnacije lesa z voskom, kar nakazuje da voski vplivajo na večjo hidrofobnost lesa kot sama termična modifikacija (slika 18).



Slika 18: Povprečni navzem vode po 200 s stika čelnih površin z vodo.

4.4 KONTAKTNI KOT

Merjenje kontaktnega kota je potekalo v različnih časovnih obdobjih prikazanih v preglednici 6. Zanimalo nas je kakšen je kontaktni kot vode na lesu, in kako se ta spreminja s časom. Ta podatek pove ali se kapljica v les vpije ali ostane na lesu. Vzorci so bili predhodno že uporabljeni za določena testiranja (kratkotrajni navzem kapljične vode, dolgotrajni navzem kapljične vode in navzem vodne pare), zato so imeli rahlo kosmato površino, ki je delno vplivala na kontaktni kot. Vsi vzorci so bili obdelani na isti način, zato med njimi ni prišlo do večjih razlik. Na kot je vplivala tudi naša presoja glede približevanja avtomatske pipete in s tem tudi kapljice do površine vzorca in hitrost odmika pipete po tem, ko je bila kapljica že na površini lesa. Problem je nastal, ko se kapljica ni prijel na samo površino, ampak se je zaradi velike hidrofobnosti površine odbila. Vzrok je bila površinska napetost destilirane vode, zato smo v takšnem primeru kapljico bolj pritiskali na površino, kar pa je povzročilo, da je bil kontaktni kot nekoliko manjši.

Pri kontrolnih vzorcih, ki niso bili obdelani z voski, smo po pričakovanju dosegli najnižje kontaktne kote. Največji kot med z voski nezaščitenimi vzorci smo določili pri tistih vzorcih, ki so bili segreti na 100 °C po 1 sekundi opazovanja (123,6°). Z daljšim časom pa kontaktni kot v vseh primerih pada. V tem primeru je v 55 sekundah z 123° padel na 116°. Z večjo temperaturo termične modifikacije se kontaktni kot niža, saj se zaradi visoke temperature površina delno degradira, nastanejo pa tudi mikro razpoke, ki vplivajo na

hidrofobnost lesa. Najnižji kontaktni kot med kontrolnimi vzorci smo določili pri vzorcih modificiranih pri 200 °C (preglednica 6).

V kolikor primerjamo med seboj višjo in nižjo koncentracijo suspenzije voska, vidimo, da višja koncentracija dosega višje kontaktne kote. Pri nemodificiranih vzorcih smo tako pri višji koncentraciji in potapljanju določili kontaktni kot 132,4° pri nižji pa 127,2°. V primerjavi uporabe različnih postopkov impregnacije lesa, pa se je za boljši postopek izkazala vakuumška impregnacija (preglednica 6). Ta dva podatka nakazujeta, da na kontaktni kot vpliva tudi količina nanešenega voska. Z vakuumsko tlačno impregnacijo in z suspenzijo višje koncentracije ga vnesemo več, kar se odraža v večjem kontaktnem kotu. Tako pri višji in nižji koncentraciji smo z njo v povprečju dosegli najvišje kontaktne kote. Zelo dobre rezultate smo dosegli tudi s potapljanjem v 5 % koncentraciji in temperaturi 100 °C ter 185 °C. Tu smo zabeležili celo najvišji kot in sicer 132,4°. Tudi pri vzorcih, ki so bili z voskom tretirani in modificirani pri višjih temperaturah z daljšim časom merjenja kapljice kontaktni kot nekoliko pada.

Za najbolj optimalen postopek, se je glede na rezultate izkazala vakuumška impregnacija z 2,5 % koncentracijo emulzije voska in termično modifikacijo pri temperaturi 185 °C ali 200 °C (preglednica 6).

Preglednica 6: Povprečni kontaktni kot v različnih časovnih obdobjih

Koncentracija suspenzije	Postopek impregnacije	Temperatura modifikacije (°C)	Povprečni kontaktni kot (°)							
			po 1 s	po 5 s	po 10 s	po 15 s	po 20 s	po 30 s	po 45 s	po 55 s
0	/	100	123,6	121,1	119,9	119,3	118,5	115,8	114,8	116,1
		185	118,9	117,6	118,6	116,8	110,0	110,9	114,0	113,8
		200	107,3	105,6	104,8	104,4	104,3	103,2	102,4	102,0
		215	112,4	111,1	109,5	109,1	109,3	108,9	108,4	108,2
		230	114,8	113,9	113,1	112,6	112,0	111,4	111,0	110,7
2,5 %	potapljanje	100	127,2	127,3	127,2	127,2	127,2	127,2	127,0	126,9
		185	125,9	125,8	125,8	126,4	125,7	125,6	125,5	125,3
		200	121,5	120,9	121,6	121,4	112,7	121,0	111,6	112,4
		215	121,2	121,1	121,5	121,1	121,0	120,8	120,5	120,3
		230	112,8	112,4	112,3	112,0	111,8	111,6	111,1	110,7
	vakuum	100	130,4	130,1	130,1	130,1	129,7	130,0	129,8	129,8
		185	132,1	131,8	131,8	131,8	131,4	131,6	131,3	131,4
		200	131,5	131,6	131,6	131,6	131,5	131,4	131,3	131,2
		215	122,7	122,8	122,7	122,6	122,7	122,5	122,3	122,2
		230	123,5	123,5	123,4	123,4	123,3	123,2	123,0	122,9

Se nadaljuje

Nadaljevanje preglednice 6: Povprečni kontaktni kot v različnih časovnih obdobjih

Koncentracija suspenzije	Postopek impregnacije	Temperatura modifikacije (°C)	Povprečni kontaktni kot (°)							
			po 1 s	po 5 s	po 10 s	po 15 s	po 20 s	po 30 s	po 45 s	po 55 s
5 %	potapljanje	100	132,4	132,0	132,0	131,9	131,9	131,8	131,6	131,5
		185	132,1	131,5	132,1	131,8	132,0	131,6	132,1	131,5
		200	122,0	122,5	118,7	118,5	118,4	118,3	118,2	118,1
		215	125,5	125,2	125,1	125,0	125,0	124,9	124,8	124,7
		230	105,9	105,7	105,6	105,5	105,3	104,7	104,5	104,4
	vakuum	100	130,9	130,7	130,7	130,9	130,9	130,8	130,4	130,6
		185	131,2	131,1	131,0	131,0	130,9	130,8	130,7	130,6
		200	129,7	129,7	129,6	129,6	129,6	129,5	129,4	129,3
		215	122,7	122,4	122,3	122,2	122,1	122,0	121,8	121,5
		230	123,5	123,5	123,4	123,4	123,3	123,2	123,1	123,0

4.5 DOLGOTRAJNI NAVZEM KAPLJIČNE VODE

Dolgotrajni navzem kapljične vode smo ugotavljali po postopku, ki ga predpisuje standard SIST ENV 1250-2 (1994). Ta standard je v osnovi namenjen izpiranju aktivnih učinkovin iz lesa, mi pa smo ta postopek uporabili za definiranje režimov namakanja lesa v vodo. Koncentracija emulzije voska v lesu vpliva na navzem kapljične vode. Podatki v preglednici so izraženi kot vlažnost lesa po namakanju. Lahko pa bi jih izrazili tudi v gramih vode, ki jih je vpil posamezen vzorec. Menimo, da je izbrana oblika preglednejša, še posebej zato ker imajo vzorci primerljivo gostoto.

Maso smo vzorcem določali po več obdobjih (po 1, 3, 7, 23, 31, 47 in 95 urah potopitve). Najbolj so zanimiva prva obdobja, ko se med vzorci pojavljajo največje razlike. Kontrolni vzorci so tako po 1 uri dosegli vlažnost 28,5 % po dveh ura 37,1 %, po enem dnevu 55,1 % po 4 dneh pa 75,6 % (preglednica 7).

Podatki jasno kažejo, da z večjo koncentracijo voska, navzem kapljične vode pada. Postopek impregnacije smrekovine z voski vpliva na količino navzema vode v les. Opazimo, da proces impregnacije v vakuumu zmanjša količino navzema kapljične vode, saj pri vakuumski impregnaciji dosežemo boljši navzem voska, predvidevamo da tudi globljo penetracijo, kar pomeni, da je površina lahko bolj hidrofobna. Poleg tega se voda ne mora v velikih količinah absorbirati v les, ker so prazni prostori v lumnih že zasedeni z emulzijo voska.

Povprečni navzem kapljične vode z naraščajočo temperaturo modifikacije pada. Večja temperatura modifikacije vpliva na manjše prodiranje kapljične vode v les. Predvidevamo, da se je pri višji temperaturi modifikacije viskoznost voska zmanjšala, zato se je lahko vosek enakomerneje razporedil po lesu kar se odraža v manjšem navzemu kapljične vode. Tako so vzorci, ki so bili impregnirani z 2,5 % koncentracijo suspenzije voska po 1 uri namakanja, ki jih nismo segrevali, dosegli 9,9 % vlažnost, tiste ki pa smo jih modificirali pri 215 °C pa le 7,2 % (preglednica 7). Najnižje vlažnosti po namakanju smo dosegli pri nižji koncentraciji voska v suspenziji, ki smo jo nanegli v les s postopkom kotelske impregnacije in ga modificirali pri temperaturi 200 °C (3,5 %, po eni uri namakanja). Zelo podobne vlažnosti smo zabeležili tudi pri višji koncentraciji voska v suspenziji in enakem postopku impregnacije ter temperature modifikacije 230 °C (5 % po eni uri namakanja). Najslabši rezultat pa kažejo kontrolni vzorci, ki jih nismo impregnirali z voskom, temveč le modificirali. Pri kontrolnih nemodificiranih vzorcih smo po eni uri dosegli 28,5 % vlažnost, pri vzorcih, ki so bili modificirani pri 230 °C a niso bili obdelani z voski pa 7,4 %. Najboljša kombinacija bi bil postopek zaščite lesa z 2,5 % koncentracijo, s postopkom impregnacije v vakuumu in temperaturi 230 °C ali 200 °C, le ta pa je odvisna od željenih lastnosti lesa.

Preglednica 7: Povprečni navzem kapljične vode glede na čas potopitve. V oklepajih so podani standardni odkloni.

Koncentracija suspenzije	Postopek impregnacije	Temperatura modifikacije (°C)	u1 (%) (1 h)	u2 (%) (3 h)	u3 (%) (7 h)	u4 (%) (23 h)	u5 (%) (31 h)	u6 (%) (47 h)	u7 (%) (95 h)
0	/	100	28,5 (0,1)	37,1 (0,12)	44,4 (0,13)	55,1 (0,13)	58,2 (0,13)	62,7 (0,12)	75,6 (0,17)
		185	13,5 (0,06)	21,6 (0,08)	31,0 (0,11)	47,6 (0,11)	52,4 (0,11)	59,0 (0,1)	72,6 (0,11)
		200	10,3 (0,03)	19,6 (0,07)	31,9 (0,12)	51,9 (0,16)	57,2 (0,16)	64,7 (0,17)	79,4 (0,18)
		215	8,4 (0,02)	14,1 (0,04)	22,9 (0,07)	42,7 (0,13)	47,9 (0,14)	55,6 (0,15)	71,9 (0,16)
		230	7,4 (0)	11,3 (0,01)	18,7 (0,04)	39,8 (0,08)	46,1 (0,09)	55,1 (0,1)	72,9 (0,1)

Se nadaljuje

Nadaljevanje preglednice 7: Povprečni navzem kapljične vode glede na čas potopitve. V oklepajih so podani standardni odkloni.

Koncentracija suspenzije	Postopek impregnacije	Temperatura modifikacije (°C)	u1 (%) (1 h)	u2 (%) (3 h)	u3 (%) (7 h)	u4 (%) (23 h)	u5 (%) (31 h)	u6 (%) (47 h)	u7 (%) (95 h)
2,5 %	potapljanje	100	9,9 (0)	13,5 (0,01)	17,9 (0,01)	27,1 (0,02)	29,3 (0,02)	32,7 (0,03)	41,3 (0,06)
		185	7,8 (0)	10,8 (0)	14,6 (0)	23,3 (0,01)	26,5 (0,01)	31,9 (0,01)	46,7 (0,01)
		200	7,9 (0)	11,1 (0)	15,1 (0,01)	24,2 (0,01)	27,4 (0,01)	33,5 (0,01)	50,2 (0,02)
		215	7,2 (0,01)	9,9 (0,01)	13,3 (0,01)	21,6 (0,02)	24,6 (0,02)	30,5 (0,03)	46,9 (0,04)
		230	6,2 (0)	8,3 (0,01)	11,1 (0,01)	18,7 (0,01)	21,8 (0,01)	27,8 (0,01)	45,0 (0,02)
	vakuum	100	14,7 (0,26)	17,5 (0,27)	21,1 (0,27)	29,5 (0,29)	32,3 (0,30)	36,4 (0,31)	46,0 (0,35)
		185	8,3 (0,14)	10,5 (0,14)	13,4 (0,14)	20,2 (0,14)	22,7 (0,14)	27,2 (0,14)	39,9 (0,16)
		200	3,5 (0,16)	5,8 (0,16)	8,6 (0,17)	15,5 (0,17)	17,8 (0,18)	21,9 (0,18)	33,6 (0,20)
		215	5,2 (0)	7,3 (0,01)	9,9 (0,01)	16,5 (0,02)	17,9 (0,02)	21,4 (0,02)	31,4 (0,02)
		230	5,0 (0)	7,0 (0,01)	9,3 (0,01)	15,3 (0,01)	16,7 (0,02)	20,0 (0,02)	30,0 (0,03)

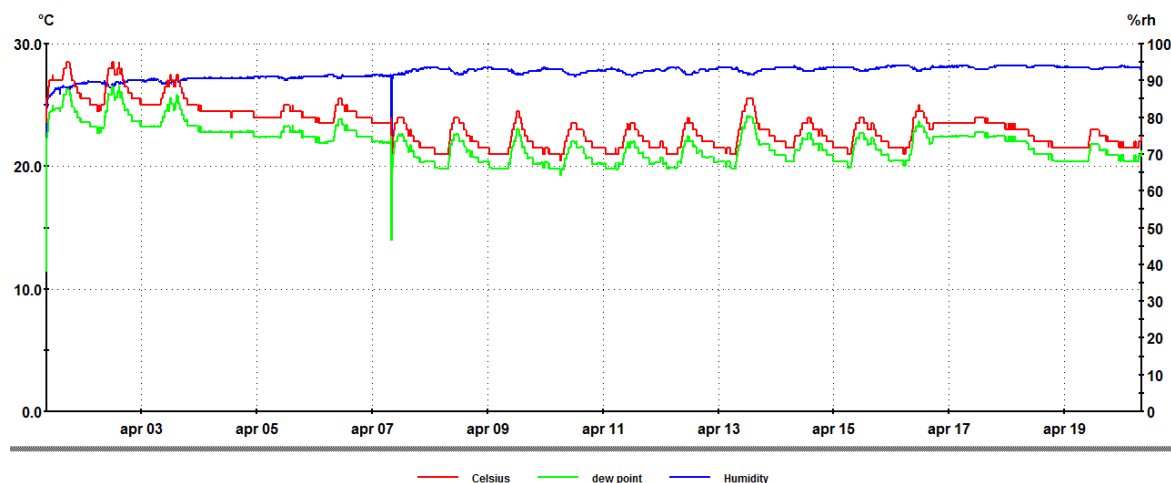
Se nadaljuje

Nadaljevanje preglednice 7: Povprečni navzem kapljичne vode glede na čas potopitve. V oklepajih so podani standardni odkloni.

Koncentracija suspenzije	Postopek impregnacije	Temperatura modifikacije (°C)	u1 (%) (1 h)	u2 (%) (3 h)	u3 (%) (7 h)	u4 (%) (23 h)	u5 (%) (31 h)	u6 (%) (47 h)	u7 (%) (95 h)
5 %	potapljanje	100	8,8 (0)	12,0 (0,01)	16,1 (0,01)	24,8 (0,02)	26,6 (0,02)	29,7 (0,02)	36,9 (0,02)
		185	7,3 (0)	10,4 (0)	13,9 (0,01)	23,3 (0,01)	25,6 (0,01)	30,1 (0,02)	42,5 (0,03)
		200	6,5 (0)	9,2 (0)	12,3 (0)	21,2 (0,01)	23,7 (0,01)	28,2 (0,02)	40,1 (0,02)
		215	5,9 (0)	8,4 (0,01)	11,3 (0,01)	19,4 (0,01)	21,7 (0,01)	26,4 (0,02)	39,9 (0,03)
		230	6,0 (0)	8,3 (0)	11,0 (0)	20,1 (0,01)	22,4 (0,01)	27,4 (0,02)	42,7 (0,03)
	vakuum	100	8,7 (0,01)	11,2 (0,01)	14,7 (0,01)	23,8 (0,03)	26,9 (0,04)	32,3 (0,06)	44,3 (0,10)
		185	6,5 (0)	9,0 (0)	12,2 (0)	20,1 (0)	22,6 (0,01)	27,4 (0,01)	38,7 (0,02)
		200	6,0 (0)	8,4 (0)	11,4 (0,01)	19,3 (0,01)	21,5 (0,01)	25,9 (0,01)	37,7 (0,02)
		215	5,6 (0)	7,8 (0)	10,6 (0)	17,9 (0)	20,0 (0)	23,8 (0)	34,4 (0,01)
		230	5,0 (0)	7,1 (0)	9,5 (0,01)	15,6 (0,01)	17,4 (0,01)	20,7 (0,02)	31,1 (0,02)

4.6 NAVZEM VODNE PARE

Postopek navzema vodne pare smo izvedli v zaprti komori, v kateri je bila povprečna vlažnost med 90 % in 98 % in temperatura 23 °C skozi obdobje treh tednov (slika 19). Na začetku je bila relativna vlažnost zraka nižja, kasneje, ko so se vzorci delno uravnovesili, pa je narasla. Na ta način smo prišli do vrednosti, ki bi jo lahko v splošnem interpretirali tudi kot približek točke nasičenja celičnih sten.



Slika 19: Prikaz relativne zračne vlažnosti in temperature v komori v času uravnovešanja

Vzorcem smo določali vlažnost po 24 urah in po treh tednih. Podatek po treh tednih nakazuje na točko nasičenja celičnih sten, podatek po 24 urah pa nakazuje na hitrost uravnovešanja. Ta podatek je pomemben s praktičnega vidika. Les, ki se počasneje uravnovesi, se bo v časovno omejenih obdobjih visoke vlažnosti manj navlažil in s tem zmanjšal verjetnost okužbe z glivami. Kontrolni vzorci imajo največjo povprečno vlažnost po 24 urah. Najmanjšo vlažnost, pa smo dosegli pri nemodificiranih vzorcih, ki smo jih z vakuumsko tlačnim postopkom impregnirali s supenzijo višje oziroma nižje koncentracije voska. Vlažnost kontrolnih vzorcev po enem dnevu uravnovešanja je bila 14,61 %, vlažnost nemodificiranih a impregniranih vzorcev pa je bila 7,91 %. Če primerjamo vpliv temperature modifikacije, glede na oba postopka impregnacije in obe koncentraciji emulzije voska, vidimo da pri potapljanju v nižji in višji koncentraciji vlažnost lesa s temperaturo modifikacije pada (preglednica 8). V primeru vakuumsko impregniranih vzorcev pa vlažnost lesa po 24 urah uravnovešanja s temperaturo narašča. Razlogov zato ne znamo v celoti pojasniti. Morda so povezani z dejstvom, da smo med kotelsko impregnacijo v les vnesli več voska, s tem smo bolj razprli celulozno rešetko, zato so molekule vodne pare lažje prodrle v les. Opozoriti pa velja, da so vrednosti še vedno nižje kot pri potapljanju v obeh koncentracijah. Najnižjo vrednost vodne pare po 24 urah smo tako dosegli pri vzorcih, ki smo jim impregnirali z emulzijo višje koncentracije in jih segreli pri temperaturi 100 °C (7,91 %) (preglednica 8).

Rezultati, ki smo jih opazili po 24 urah uravnovešanja niso vedno skladni s podatki po treh tednih uravnovešanja. Povprečna točka nasičenja celičnih sten po treh tednih je ponovno najvišja pri kontrolnih vzorcih in znaša 27,29 %. Pri vzorcih, ki smo jih impregnirali z voskom, a jih nismo modificirali, smo zaznali nekoliko nižje vrednosti (med 25,29 % in 26,36 %). Po drugi strani pa je iz predstavljenih podatkov jasno razvidno, da ima na ravnovesno vlažnost največji vpliv temperatura modifikacije. Ne glede na postopek in način impregnacije z voski, smo najnižjo vrednost zabeležili pri vzorcih, ki smo jih modificirali pri temperaturi 230 °C. Dodatek voska je za nekaj odstotnih točk znižal točko nasičenja celičnih sten. Tako smo pri vzorcih, ki smo jih pred modifikacijo pri najvišji temperaturi potapljali pri višji koncentraciji, zabeležili TNCS 15,20 %. Pri vzorcih, ki smo jih kotelsko impregnirali z istim pripravkom pa 15,95 % (preglednica 8). V vseh primerih se ravnovesne vlažnosti po 24 urah navlaževanja med seboj zelo malo razlikujejo glede na koncentracijo in postopek impregnacije. Jasno pa je opazen trend nižanja vodne pare z naraščajočo temperaturo modifikacije lesa. Ta podatek je povsem skladen z literaturnimi podatki (Jenko, 2010; ThermoWood, 2015).

Drugo pomembno vprašanje povezano s hitrostjo sušenja. Če se je les sposoben hitreje posušiti, je visoka vlažnost manj problematična z vidika zagotavljanja ustrezne življenjske dobe. Povprečna vlažnost lesa, ki jo je dosegel les 24 ur po sušenju iz točke nasičenja celičnih sten, je bila najvišja pri kontrolnih vzorcih. Vlažnost lesa je v vseh primerih s temperaturo modifikacije padala. Najnižje vrednosti smo dosegli pri lesu, ki smo ga potapljali v suspenzijo visoke koncentracije in modificirali pri temperaturi 230 °C (5,31 %). Dokazali smo tudi, da vosek v lesu ne vpliva na sušenje lesa in s tem ne zadržuje prehoda vode iz notranjosti na površino. Vosek na nek način deluje kot Gore tex membrana, ki zadržuje kapljično vodo a prepušča vodno paro. Ta podatek je pomemben s praktičnega vidika, saj omogoča, da se vlažen les hitro posuši. Za najbolj optimalen postopek bi tako izbrali impregnacijo z višjo koncentracijo suspenzije in naknadno termično modifikacijo pri temperaturi 230 °C.

Preglednica 8: Povprečna adsorpcija in desorpcija vodne pare po 24 urah, ravnovesna vlažnost in vlažnost po 24 urah sušenja nad silikagelom. V oklepajih so podani standardni odkloni.

Koncentracija suspenzije	Postopek impregnacije	Temperatura modifikacije (°C)	Povprečna vlažnost po 24 h (%)		Povprečje TNCS (%)		Povprečna vlažnost po 24 h sušenja (po TNCS) (%)	
0	/	100	14,61	(0,01)	27,29	(0)	14,06	(0)
		185	13,13	(0,01)	22,59	(0)	11,08	(0,01)
		200	11,66	(0)	18,62	(0)	9,07	(0)
		215	11,70	(0)	18,83	(0)	9,84	(0,01)
		230	11,22	(0)	17,37	(0,01)	10,10	(0,01)
2,5 %	potapljanje	100	14,03	(0,01)	26,22	(0)	13,53	(0,01)
		185	12,44	(0)	21,43	(0)	9,68	(0)
		200	12,38	(0)	19,30	(0)	9,14	(0,01)
		215	11,35	(0,01)	17,92	(0,01)	9,64	(0)
		230	10,63	(0)	15,82	(0)	9,03	(0)
	vakuum	100	8,81	(0)	25,40	(0)	13,75	(0,01)
		185	8,99	(0,01)	21,48	(0)	11,17	(0,01)
		200	9,54	(0)	18,70	(0)	10,30	(0)
		215	8,65	(0,01)	18,45	(0)	9,48	(0,01)
		230	9,21	(0)	16,22	(0)	6,93	(0,01)

Se nadaljuje

Nadaljevanje preglednice 8: Povprečna adsorpcija in desorpcija vodne pare po 24 urah, ravnovesna vlažnost in vlažnost po 24 urah sušenja nad silikagelom. V oklepajih so podani standardni odkloni.

Koncentracija suspenzije	Postopek impregnacije	Temperatura modifikacije (°C)	Povprečna vlažnost po 24 h (%)	Povprečje TNCS (%)	Povprečna vlažnost po 24 h sušenja (po TNCS) (%)
5 %	potapljanje	100	11,64 (0,01)	26,36 (0,01)	9,81 (0,01)
		185	11,48 (0)	21,81 (0)	8,96 (0,01)
		200	10,49 (0,01)	20,35 (0,01)	9,27 (0)
		215	10,20 (0)	17,73 (0)	7,19 (0,01)
		230	9,68 (0)	15,20 (0)	5,31 (0)
	vakuum	100	7,91 (0,01)	25,29 (0,01)	12,38 (0,01)
		185	8,39 (0)	22,80 (0,01)	11,11 (0,01)
		200	9,33 (0,01)	20,74 (0)	8,65 (0,01)
		215	9,61 (0,01)	18,48 (0)	6,33 (0)
		230	9,90 (0)	15,95 (0)	6,33 (0)

4.7 MEHANSKE LASTNOSTI

Eden izmed ključnih rezultatov, ki vpliva na uporabnost modificiranega lesa, je podatek o mehanskih lastnostih. Če mehanske lastnosti lesu upadejo preveč, je material kljub odličnim lastnostim le delno uporaben. Zato smo vzorcem impregniranimi z voski določili modul elastičnosti in upogibno trdnost. Kontrolni vzorci, kateri so bili netretirani ampak samo termično modificirani, nam kažejo, da z višanjem temperature termične modifikacije elastični modul pada. Postopek modifikacije slabša mehanske lastnosti, saj les postane krhek, zniža pa se mu tudi upogibna trdnost (Veg, 2009). Pri vzorcih, ki so bili tretirani opazimo, da se elastični modul ne zmanjšuje s temperaturo. Če primerjamo postopka impregnacije lesa vidimo, da smo dobili boljše rezultate pri kotelskem postopku, kjer so vrednosti elastičnega modula višje pri nižjih temperaturah modifikacije (100 °C, 185 °C in 200 °C) glede na vzorce, ki so bili potopljeni in modificirani pri enakih temperaturah. Pri višjih temperaturah modifikacije (215 °C in 230 °C) pa podatki o E-modulu nekoliko variirajo zato tu ne moramo trditi, kateri postopek je boljši (preglednica 9).

Primerjava višje in nižje suspenzije voska na vpliv E-modula, nam kaže, da ne moramo opredeliti katera izbira je boljša. Največji E-modul smo dosegli pri temperaturi 100 °C z nižjo suspenzijo in kotelsko impregnacijo (11420 N/mm²). Visoke E-module smo tudi dosegli pri temperaturah 185 °C in 200 °C v višji suspenziji s kotelsko impregnacijo (11382 in 11204 N/mm²) (preglednica 9).

Razlog za takšno variacijo rezultatov je variabilnost smrekovine. Na nekaterih vzorcih vlakna niso potekala vzdolžno ampak nekoliko pod kotom. Že manjši odmik vlaken od osi, pa vpliva na nižji elastični modul (Leban, 2015). Prav tako so se pojavljali smolni žepki na določenih vzorcih, ki so vplivali na E-modul. Ugotovili smo tudi, da je bil elastični modul pri tretiranih vzorcih v nekaterih primerih višji od vzorcev, ki so bili netretirani. To nam nakazuje, da dodatek voska v določenih primerih izboljša E-modul.

Preglednica 9: Vpliv temperature modifikacije in impregnacije z naravnim voskom na elastični modul

T (°C)	Em (N/mm ²)				
	/	potapljanje		vakuum	
	0 %	2,5 %	5 %	2,5 %	5 %
100	11384	9585	8024	11420	9990
185	10289	8969	9186	10287	11382
200	9750	9123	9508	10001	11204
215	9852	8741	11186	8975	9997
230	8058	10339	8943	9787	8721

Pridobljeni podatki o upogibni trdnosti iz preglednice 10 nam nakazujejo, da upogibna trdnost s temperaturo v vseh primerih pada. S termično modifikacijo, spremenimo strukturo lesa na molekularnem nivoju, ki posledično vpliva na slabšo upogibno trdnost. Dodatek voska prav tako vpliva na upogibno trdnost. V povprečju smo boljše rezultate dobili pri vakuumski tlačni impregnaciji v višji koncentraciji. Tudi tu vrednosti manj intenzivno padajo, kot v ostalih primerih. Kotelski postopek omogoča, da se večji delež suhe snovi voska usidra v prazne prostore celic in s tem utrdi samo strukturo.

Preglednica 10: Vpliv temperature modifikacije in impregnacije z naravnim voskom na upogibno trdnost

T (°C)	f_m (N/mm ²)				
	/	potapljanje		vakuum	
	0	2,5 %	5 %	2,5 %	5 %
100	129	99	91	122	115
185	97	79	87	95	106
200	76	70	80	81	100
215	80	64	82	69	79
230	52	71	62	67	65

Tako pri tretiranih kakor tudi netretiranih vzorcih je izguba mase večja z višjo temperaturo. Povprečna izguba mase je večja pri vzorcih, ki so bili impregnirani z vakuumskim tlačnim postopkom. Vzrok je v večji impregnaciji lesa, saj je delež vode suspenzije voska ostal v praznih prostorih celic, ki se je lahko izločil le z višjo temperaturo. Podobno opazimo tudi pri postopku potapljanja, vendar je ta delež manjši (preglednica 11).

Preglednica 11: Povprečna izguba mase vzorcev po termični modifikaciji

T (°C)	Povprečna izguba mase (%)				
	/	potapljanje		vakuum	
	0	2,5 %	5 %	2,5 %	5 %
100	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3
185	2,2	2,7	2,4	3,4	3,7
200	5,0	5,2	4,7	5,7	5,4
215	5,9	6,3	6,0	7,3	8,4
230	11,4	7,5	9,9	9,4	11,2

4.8 IZPOSTAVITEV GLIVAM

Vzorcem, izpostavljenim trem različnimi glivam v določenem časovnem obdobju je bila gravimetrično izračunana povprečna izguba mase (preglednica 12).

Izguba mase v vseh primerih pada z višjo temperaturo termične modifikacije, predvsem zaradi odstranjene vode in spremenjene strukture lesa, kar pa vpliva na rast gliv in jo s tem zavira. Primerjava uporabljenih koncentracij in postopkov impregnacije vzorcev, nam pokaže da delež suspenzije voska vpliva na rast gliv, prav tako pa tudi sam postopek impregnacije. Izguba mase je manjša tako pri višji kot nižji koncentraciji, razlike med njima pa so majhne saj podatki nekoliko variirajo. Večja razlika se pokaže v postopku uporabljene impregnacije lesa. Z vakuumskim tlačnim postopkom smo dosegli manjše izgube mase, zaradi večjega deleža voska v lesu, ki z večjo hidrofobnostjo še dodatno zavira rast gliv. Najmanjšo izgubo mase smo dosegli v primeru najvišje temperature modifikacije, v višji koncentraciji, z vakuumskim tlačnim postopkom impregnacije lesa (preglednica 12).

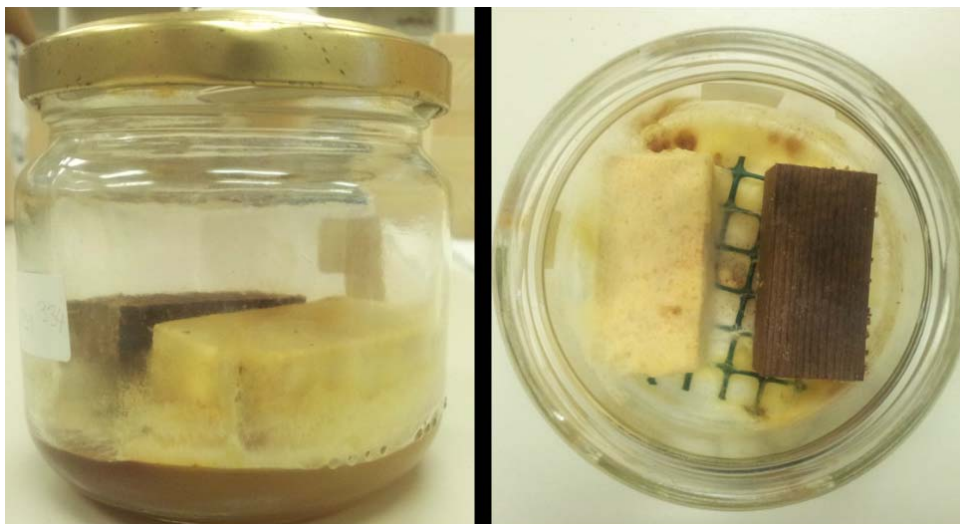
Če primerjamo uporabo različnih vrst gliv na razkroj lesa, opazimo da je navadna tramovka v večini primerov povzročila največje izgube mase. Najmanjše izgube pa je povzročila pisana ploskocevka (preglednica 12).

Dokazali smo, da dodatek voska v lesu vpliva na manjšo izgubo mase. Vosek ne prepreči rast gliv na lesu, temveč s svojo hidrofobnostjo podaljša čas navlaževanja lesa in s tem zavira rast gliv. V večji meri pa vpliva temperatura termične modifikacije. Že pri kontrolnih vzorcih se je pokazalo, da smo pri temperaturah 215 °C in 230 °C dosegli najnižje izgube mase. V nekaterih primerih smo z najvišjo temperaturo modifikacije dosegli, da do izgube mase sploh ni prišlo. Dodatek voska je tako vplival le pri nižjih temperaturah modifikacije. Pri sami izbiri uporabljenega postopka zaščite bi tako imeli zadnjo odločitev mi, saj če bi želeli imeti les, ki bo temnejše barve potem bi izbirali zaščito lesa le s termično modifikacijo pri temperaturi 230 °C, če pa bi želeli imeti les, ki bo bolj svetle barve, potem pa bi se odločili za zaščito z dodatkom voska višje koncentracije, v vakuumskem tlačnem postopku impregnacije ter pri nižjih temperaturah.

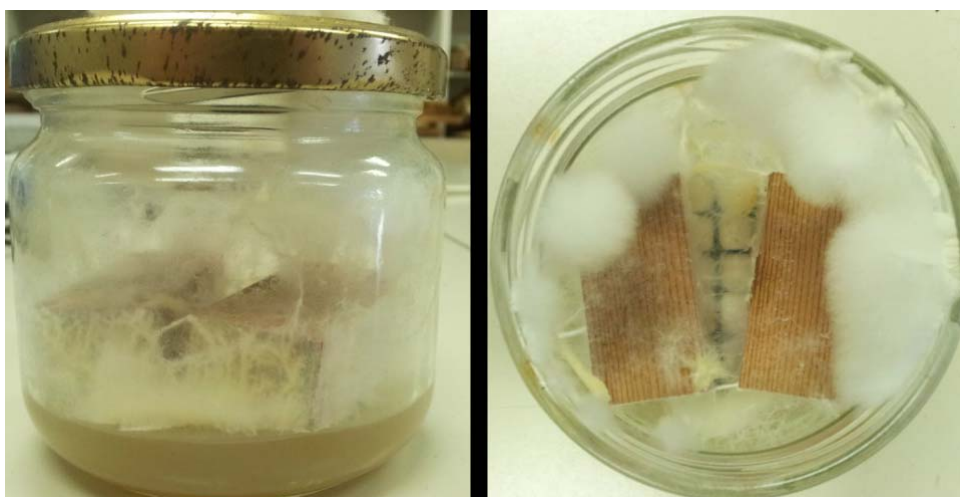
Preglednica 12: Povprečna izguba mase lesa zaradi delovanja gliv. V oklepajih so podani standardni odkloni.

Koncentracija suspenzije	Postopek impregnacije	Temperatura modifikacije (°C)	Povprečna izguba mase (%)		
			Gt2	Pv2	Tv6
0	/	100	44 (0,03)	18 (0,05)	29 (0,08)
		185	33 (0,03)	17 (0,03)	18 (0,05)
		200	8 (0,06)	13 (0,03)	11 (0,06)
		215	13 (0,06)	9 (0,01)	9 (0,03)
		230	0 (0)	2 (0,01)	1 (0,01)
2,5 %	potapljanje	100	16 (0,04)	44 (0,04)	22 (0,05)
		185	37 (0,04)	19 (0,06)	21 (0,04)
		200	18 (0,03)	16 (0,03)	10 (0,04)
		215	4 (0,03)	10 (0,02)	5 (0,02)
		230	0 (0)	2 (0,01)	0 (0)
	vakuum	100	36 (0,04)	18 (0,04)	7 (0,07)
		185	22 (0,08)	14 (0,03)	2 (0,02)
		200	13 (0,05)	10 (0,02)	2 (0,01)
		215	3 (0,04)	8 (0,03)	1 (0,01)
		230	0 (0)	3 (0,01)	1 (0,01)
5 %	potapljanje	100	40 (0,04)	24 (0,03)	23 (0,05)
		185	36 (0,05)	20 (0,05)	17 (0,07)
		200	22 (0,07)	15 (0,03)	6 (0,02)
		215	1 (0)	14 (0,05)	8 (0,04)
		230	0 (0)	4 (0,02)	1 (0)
	vakuum	100	29 (0,09)	19 (0,05)	9 (0,07)
		185	24 (0,12)	16 (0,03)	2 (0,02)
		200	3 (0,02)	15 (0,05)	2 (0,02)
		215	3 (0,03)	11 (0,03)	1 (0)
		230	-1 (0)	5 (0,01)	0 (0,06)

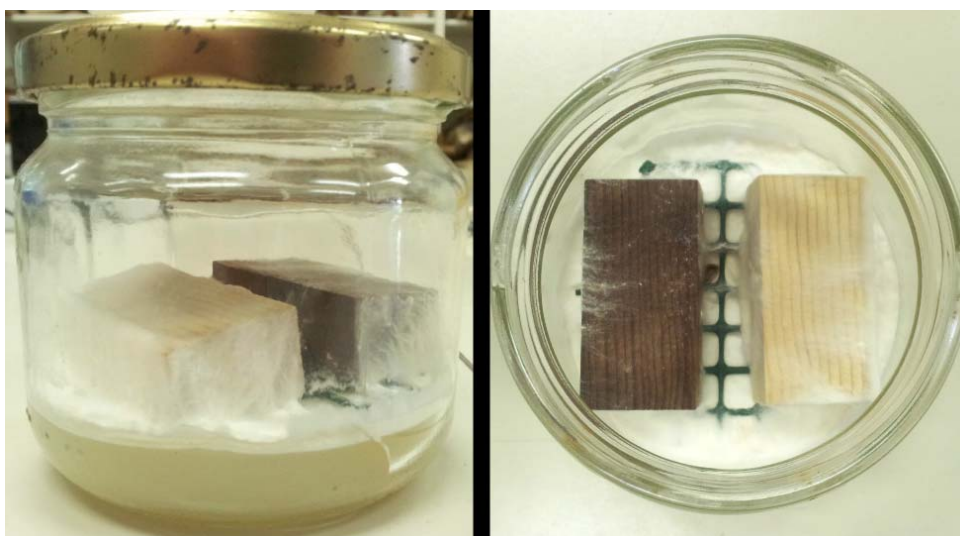
Na slikah 20, 21 in 22, je prikazana prirast različnih vrst gliv. V kozarcu so različno tretirani vzorci, na katerih vidimo, da gliva termično modificirane vzorce manj prirašča kot kontrolne.



Slika 20: Navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*) (foto: K. Zupančič)



Slika 21: Bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*) (foto: K. Zupančič)



Slika 22: Pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*) (foto: K. Zupančič)

4.9 PREGLED OPTIMALNIH POSTOPKOV

Preglednica 13: Optimalna rešitev za posamezen laboratorijski preizkus

Laboratorijski preizkus	1. Optimalna rešitev	2. Optimalna rešitev	3. Optimalna rešitev
SUHI NAVZEM IN IZGUBA MASE VZORCEV	- 5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 230 °C termična modifikacija	- 5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 215 °C termična modifikacija	- 5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 200 °C termična modifikacija
KRATKOTRAJNI NAVZEM KAPLJIČNE VODE	Vsi tretirani vzorci v višji in nižji koncentraciji	/	/
KONTAKTNI KOT	- 2,5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 185 °C termična modifikacija	- 2,5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 200 °C termična modifikacija	- 5 % koncentracija - Potapljanje - 100 ali 185 °C termična modifikacija
DOLGOTRAJNI NAVZEM KAPLJIČNE VODE	- 2,5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 230 °C termična modifikacija	- 2,5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 200 °C termična modifikacija	- 5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 230 °C termična modifikacija
NAVZEM VODNE PARE	- 5 % koncentracija - Potapljanje - 230 °C termična modifikacija	- 5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 230 °C termična modifikacija	- 5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 215 °C termična modifikacija
MEHANSKE LASTNOSTI	- 2,5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 100 °C termična modifikacija	- 5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 185 °C termična modifikacija	- 5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 200 °C termična modifikacija
IZPOSTAVITEV GLIVAM	Termična modifikacija pri 230 °C, brez ali z dodatkom voska	- 2,5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 215 °C termična modifikacija	- 5 % koncentracija - Vakuumska tlačna impregnacija - 215 °C termična modifikacija

5 SKLEPI

Z raziskavo smo na osnovi raziskovalnega dela prišli do naslednjih sklepov:

- Prodiranje naravnega voska v les je bilo uspešno. Večji suhi navzem smo dosegli pri 5 % koncentraciji in vakuumski tlačni impregnaciji.
- Izguba mase vzorcev je naraščala z višjo temperaturo termične modifikacije. Manjši vpliv na večjo izgubo mase pa je imel tudi dodatek naravnega voska.
- Z višjo temperaturo termične modifikacije barva lesa postane temnejša. Dodatek voska ne vpliva bistveno na barvo.
- Na kratkotrajni navzem kapljične vode vpliva le dodatek voska. Termična modifikacija, način impregnacije in koncentracija voska pa nimajo vpliva.
- Najvišje kontaktne kote smo dosegli pri vzorcih tretiranih v 2,5 % suspenziji voska, impregniranih v kotelskem postopku pri temperaturah termične modifikacije 185 °C in 200 °C.
- Za optimalno rešitev pri dolgotrajnem navzemu kapljične vode se je izkazal postopek zaščite lesa v 2,5 % koncentraciji voska, z vakuumsko impregnacijo in termično modifikacijo pri visokih temperaturah.
- Najnižji navzem vodne pare smo dosegli s 5 % koncentracijo voska in termično modifikacijo 230 °C. Postopek impregnacije lesa pa je le delno vplival, zato je izbira odvisna od cene in težavnosti postopka.
- Dodatek voska v lesu ne vpliva na sušenje lesa oz. ne zadržuje prehoda vode iz notranjosti na površino.
- Mehanske lastnosti se slabšajo s temperaturo termične modifikacije, dodatek voska pa jih delno izboljša.
- Z višjo temperaturo termične modifikacije, odpornost vzorcev izpostavljenim glivam raste. Največjo odpornost smo dosegli pri temperaturah 230 °C in 215 °C. Dodatek voska ne prepreči razkroja lesa, ampak s svojo hidrofobnostjo podaljša čas navlaževanja lesa in s tem zavira rast gliv.

6 POVZETEK

Trend zaščite lesa je vedno bolj naravnan proti uporabi biocidov. Zato se v tej smeri iščejo nove rešitve, ki bi bile enakovredne biocidni zaščiti. V raziskavi smo iskali optimalno rešitev zaščite lesa, ki temelji na naravnih pripravkih.

V raziskavi smo uporabili vzorce smrekovine (*Picea abies*), ki smo jih termično modificirali pri temperaturah 100 °C, 185 °C, 200 °C, 215 °C, 230 °C in impregnirali z montanskim voskom. Uporabili smo dve koncentraciji (2,5 % in 5 %) ter dva načina impregnacije (potapljanje in vakuumsko tlačna impregnacija).

Cilj raziskave je bil določiti izgubo mase z voski modificiranega lesa po termični modifikaciji ter njegove mehanske lastnosti. Zanimalo nas je tudi, kakšen je kratkotrajni in dolgotrajni navzem vode tako obdelanega lesa in njegova odpornost na lesne glive.

Večina naših hipotez se je potrdila. Les, ki je bil termično modificiran in impregniran z voski, se odraža v nižjem navzemu vode. Izkazalo se je, da je boljši postopek impregnacije vakuumski tlačni, višja temperatura termične modifikacije pa se tudi odraža v manjšem navzemu vode.

Mehanske lastnosti lesa so se z dodatkom voska v lesu v nekaterih primerih izboljšale, hkrati pa so se slabšale z višjo temperaturo termične modifikacije. Vzrok temu je v manjši vsebnosti vode v lesu, ki povzroči, da les postane krhek.

Odpornost proti glivam smo določili po 16 tednih izpostavitve vzorcem, ki so bili izpostavljeni trem različnim glivam navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*), bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*) in pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*). Manjšo izgubo mase smo ugotovili pri višjih temperaturah termične modifikacije, dodatek voska pa v manjši meri vpliva, saj podaljša čas navlaževanja lesa in s tem zavira rast gliv.

Do odstopanja od naših predvidevanj je prišlo le v primeru izgube mase z voski impregniranega in termično modificiranega lesa. Ugotovili smo, da ja masa tako obdelanega lesa naraščala in ne padala kot predvideno. Vzrok je lahko v izparevanju in razgradnji suspenzije voskov med samo modifikacijo ter v razgradnji nečistoč, ki jo ta vsebuje.

7 VIRI

- Benko R., Kervina – Hamović L., Gruden M. 1987. Patologija lesa: lesna fitopatologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 122 str.
- Brischke C., Thelandersson S. 2014. Modelling the outdoor performance of wood products – a review on existing approaches. *Construction and Building Materials* 66: 384-397
- Callow G. Nature Spot: Recording the Wildlife of Leicestershire and Rutland. 2007
<http://www.naturespot.org.uk/species/turkeytail> (5. jun. 2015)
- EN 113. Determination of toxic values of wood preservatives against wood destroying Basidiomycetes cultured on an agar medium. 1995: 25 str.
- Fabčič B. 2008. Vpliv širine branik hrastovine na naravno odpornost proti glivam razkrojevalkam. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 77 str.
- Hill C.A.S. 2006. Wood modification. Chemical, Thermal and Other Processes. Chichester, John Wiley & Sons: 239 str.
- Humar M. 2008. Bela hišna goba; gliva, ki razkraja tudi zaščiten les. *Les*, 60, 2: 77
- Humar M. 2008. Tramovka; najbolj kozmopolitanska lesna gliva. *Les*, 60, 4: 159
- Humar M. 2014. Življenska doba. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. http://les.bf.uni-lj.si/e-pouk/pluginfile.php/7484/mod_resource/content/1/3n%20%C5%BEivljenjska%20doba.pdf (6. jun. 2015)
- Humar M. 2014. Hidrofobni pripravki. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. http://les.bf.uni-lj.si/e-pouk/pluginfile.php/7538/mod_resource/content/1/9n%20hidrofobni%20pripravki.pdf (22. jul. 2015)
- Jenko F. 2010. Možnost uporabe termično modificiranega lesa za kuhinjsko pohištvo. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 49 str

Zupančič K. Lastnosti z voski impregnirane termično modificirane smrekovine.

Mag. naloga. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 2015

Kervina – Hamović L. 1989. Patologija lesa: lesna entomologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 173 str.

Kruss. 2005. Advancing your Surface Science: Contact angle.

<http://www.kruss.de/services/education-theory/glossary/contact-angle/> (30. jul. 2015)

Kržišnik D., Lesar B., Thaler N., Žlahtič M., Humar M. 2015. Monitoring biotskih in abiotskih procesov razgradnje lesa na prostem. Monitoring v gozdarstvu, lesarstvu in papirništvu: zbornik prispevkov znanstvenega srečanja Gozd in les, 142: 62-67

Leban I. Les lastnosti. 2008. Škofja Loka, Srednja lesarska šola: 42 str.

http://www.cpi.si/files/cpi/userfiles/lesarstvo_tapetnistvo/4-les_lastnosti.pdf

Lesar B. 2005. Analiza termično modificiranega lesa z infrardečo spektroskopijo in termično analizo. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 61 str.

Lesar B. 2011. Interakcije borovih spojin in emulzij voskov z lesom in lesnimi glivami. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 198 str.

Lesar B., Pavlič M., Petrič M., Sever Škapin A., Humar M. 2011. Wax treatment of wood slows photodegradation. Polymer degradation and stability, 96, 7: 1271-1278

Lesar B., Zupančič M., Humar M., 2008. Mikroskopska analiza lesa, impregniranega z vodno emulzijo montana voska. Les, 60, 9: 320-326

Meyer L., Brischke C., Treu A., Larsson-Brelid P. 2015. Critical moisture conditions for fungal decay of modified wood by basidiomycetes as detected by pile tests.

Holzforschung, v tisku DOI: 10.1515/hf-2015-0046, Maj 2015

Mizarstvo Hrovat. O lesu. Drevesne vrste. Evropske vrste lesa. Smreka.

<http://www.hrovat.net/o-lesu/drevesne-vrste/evropske-vrste/smreka/> (22. jul. 2015)

Podobnik A., Devetak D. 1997. Biologija 4 in 5: raznolikost živih bitij 1 in 2. Ljubljana, DZS: 256 str.

Pohleven F. 2008. Pisana ploskocevka: najbolj pogosta lesna goba. Les, 60, 3: 115

Pohleven F., Rep G. 2004. Postopek termične modifikacije lesa v vakuumu : številka patentne prijave P-200400064. Ljubljana: Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino: 6 str.

Ramé-hart. 2015. Information on Contact Angle.

<http://www.ramehart.com/contactangle.htm> (30. jul. 2015)

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

SIST EN 310. Lesne plošče - Ugotavljanje upogibne trdnosti in modula elastičnosti. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium. 1996

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. Toplotnoizolacijski proizvodi za uporabo v gradbeništvu - Določanje vpojnosti vode z metodo delne kratkotrajne potopitve. CEN (European Committee for Standardisation), Brussels, Belgium. 1997

SIST ENV 1250-2. Sredstva za zaščito lesa – Metode za merjenje konzervansov iz obdelanega lesa 2. del: Laboratorijske metode za merjenje izgub, spiranja z vodo ali sintetično morsko vodo. 1994: 10 str.

Thaler N. 2014. Termična modifikacija lesa. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. http://les.bf.uni-lj.si/e-pouk/pluginfile.php/7411/mod_resource/content/1/Vaja%20%20modifikacijalesa.pdf (5. jun. 2015)

ThermoWood: Brochures / Texts. 2003. ThermoWood handbook http://files.kotisivukone.com/en.thermowood.kotisivukone.com/tiedostot/tw_handbook_080813.pdf (22. jul. 2015)

Van Lierop. 2015. Conserveert & Herstelt Hout | Verdrijft Vocht <http://www.vanlierop.nl/Schadelijke-schimmels/Porienzammen-Antrodia-xantha-Antrodia-vaillantii-en-Tyromyces-placenta-46> (5. jun. 2015)

Veg T. 2009. Termična modifikacija različnih vrst lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 32 str.

Zupančič K. Lastnosti z voski impregnirane termično modificirane smrekovine.

Mag. naloga. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 2015

Wood Solutions design and building, 2013. Spruce, Norway | *Picea abies*, syn. P. Excelsa.

<http://www.woodsolutions.com.au/Wood-Species/norway-spruce> (5. jun. 2015)

ZAHVALA

Rad bi se zahvalil mentorju prof. dr. Mihi Humarju za pomoč pri svetovanju, koristnih napotkih ter vodenju pri izdelavi magistrske naloge.

Zahvala gre tudi somentorju doc. dr. Boštjanu Lesarju za pomoč pri delu in recenzentu prof. dr. Francu Pohlevnu za recenzijo magistrske naloge.

Hvala tudi mladima raziskovalcema Davorju Kržišniku in Mojci Žlahtič ter asistentu Nejcu Thalerju za pomoč pri opravljanju eksperimentalnega dela in strokovne nasvete.

Nenazadnje hvala tudi mojim bližnjim, ki so mi stali ob strani v času študija ter za pomoč in spodbujanje pri nastajanju magistrske naloge.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Klemen ZUPANČIČ

**LASTNOSTI Z VOSKI IMPREGNIRANE TERMIČNO
MODIFICIRANE SMREKOVINE**

MAGISTRSKA NALOGA

Magistrski študij – 2. stopnja

Ljubljana, 2015