

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Boris HAFNER

**VPLIV KLIMATSKIH POGOJEV NA
VLAŽNOST LESA IMPREGNIRANEGA Z
VODNIMI EMULZIJAMI POLIETILENSKIH
IN MONTANSKIH VOSKOV**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Boris HAFNER

**VPLIV KLIMATSKIH POGOJEV NA VLAŽNOST LESA
IMPREGNIRANEGA Z VODNIMI EMULZIJAMI POLIETILENSKIH
IN MONTANSKIH VOSKOV**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**INFLUENCE OF CLIMATE CONDITIONS ON MOISTURE
CONTENT OF WOOD IMPREGNATED WITH MONTAN AND
POLYETHYLENE WAX WATER EMULSIONS**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa, Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo BF je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Miha Humarja in za recenzenta prof. dr. Željka Goriška.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Boris Hafner

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*841
KG	les/zaščita/vodne emulzije voskov/montanski vosek/polietilenski vosek/sorpcija
AV	HAFNER, Boris
SA	HUMAR, Miha (mentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2009
IN	VPLIV KLIMATSKIH POGOJEV NA VLAŽNOST LESA IMPREGNIRANEGA Z VODNIMI EMULZIJAMI POLIETILENSKIH IN MONTANSKIH VOSKOV
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	IX, 59 str., 8 pregl., 25 sl., 35 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Da bi podaljšali trajnost lesa, ga poskušamo zaščititi na čim več možnih načinov. V sedanjem času vse bolj pridobivajo na pomenu naravne vrste zaščite. Ker je zaščita z biocidnimi pripravki vedno manj zaželena, strokovnjaki razvijajo nebiocidne pripravke, ki naj bi v zadostni meri preprečevale delovanje lesnih škodljivcev. Večina škodljivcev ne razkraja lesa, če je le-ta suh, zato smo se odločili, da preizkusimo, kako se impregnacija smrekovine in bukovine z vodnimi emulzijami montanskega, polietilenskega ali oksidirane polietilenskega voska odlikuje v uravnavanju vlažnosti lesa na prostem. Glavni namen našega dela je bil analizirati vpliv klimatskih pogojev na vlažnost impregniranega lesa. Pol leta smo tedensko spremljali maso vzorcev impregniranega lesa, temperaturo okolja ter vlažnost zraka. Ugotovili smo, da so vsi voski zmanjšali higroskopsnost bukovine, za smrekovino pa te teze nismo mogli potrditi.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Vs
DC	UDC 630*841
CX	wood/preservation/water wax emulsions/montan wax/polyethylene wax/sorption
AU	HAFNER, Boris
AA	HUMAR, Miha (supervisor)/GORIŠEK, Željko (co-advisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2009
TI	INFLUENCE OF CLIMATE CONDITIONS ON MOISTURE CONTENT OF WOOD IMPREGNATED WITH MONTAN AND POLYETHYLENE WAX WATER EMULSIONS
DT	Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO	IX, 59 p., 8 tab., 25 fig., 35 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	To improve durability of wood we protect it with different solutions. Nowadays, the importance of natural solutions is increasing. As biocidal treatment is less and less desired, there are newer, non-biocidal treatments developed that will limit the development of wood pests. In general, wood decay fungi do not degrade dry wood. To determine sorption properties, spruce and beech wood specimens were treated with montan, polyethylene, oxidized polyethylene wax emulsions. We studied how wax treated wood responds to the changes in moisture content and temperature. Therefore, the mass of the control and treated specimens were monitored weekly for 6 months. The results show that all the waxes have positive effects on sorption properties of beech wood, but we could not assure it for spruce wood.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO SLIK.....	VII
KAZALO PREGLEDNIC.....	VIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI.....	IX
1 UVOD	1
1.1 UVODNA PREDSTAVITEV	1
1.2 OPREDELITEV PROBLEMA	2
1.3 CILJI DIPLOMSKE NALOGE.....	2
1.4 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 SPLOŠNI DEL	3
2.1 KRATEK ZGODOVINSKI PREGLED ZAŠČITE LESA	3
2.2 DEJAVNIKI KI POVZROČAJO RAZKROJ LESA	4
2.3 NARAVNA ODPORNOST LESA IN NJEGOVA TRAJNOST.....	5
2.3.1 Naravna odpornost.....	6
2.3.2 Trajnost lesa	7
2.4 LESNE GLIVE	8
2.4.1 Širjenje gliv	9
2.4.2 Razvrščanje gliv	9
2.5 POGOJI ZA RAST GLIV	10
2.5.1 Vlažnost lesa	12
2.6 STOPNJE RAZKROJA LESA	12
2.7 VPLIV GLIVNEGA RAZKROJA LESA	13
2.8 ZAŠČITA LESA	14
2.8.1 Postopki zaščite	14
2.8.2 Kemična zaščita	15
2.8.2.1 Anorganske kemične učinkovine	17
2.8.2.1.1 Uporaba borovih spojin v zaščiti lesa	17
2.8.2.2 Organska kemična sredstva.....	18
2.9 TRENDI ZAŠČITE LESA	19
2.10 KONSTRUKCIJSKA ZAŠČITA LESA	20

2.11 NARAVNE SNOVI ZA ZAŠČITO LESA	21
2.11.1 Voski	21
2.11.1.1 Čebelji vosek	23
2.11.1.2 Karnauba vosek	23
2.11.1.3 Montanski vosek	23
2.11.1.4 Šelakov vosek.....	24
2.11.1.5 Parafinski vosek	24
2.11.1.6 Sintetični voski.....	24
2.11.2 Vodoodbojna učinkovitost voskov in njihova uporaba	25
2.12 VLAŽNOST LESA SORPCIJA IN RESORPCIJA	26
2.12.1 Higroskopnost, sorpcija, ravnovesna vlažnost	27
3 MATERIALI IN METODE	29
3.1 MATERIALI	29
3.1.1 Priprava vzorcev	29
3.1.2 Priprava raztopin	30
3.2 METODE.....	32
3.2.1 Označevanje vzorcev	32
3.2.2 Priprava in impregnacija vzorcev	34
3.2.3 Spremljanje vlažnosti	36
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	38
4.1 NAVZEM ZAŠČITNIH PRIPRAVKOV	38
4.2 RELATIVNA ZRAČNA VLAŽNOST IN TEMPERATURA	40
4.3 VLAŽNOST NEIMPREGNIRANIH SMREKOVIH IN BUKOVIH VZORCEV. 41	
4.4 VPLIV IMPREGNACIJE LESA Z VODNO RAZTOPINO BOROVE KISLINE IN KOMERCIALNIM PRIPRAVKOM SILVANOLIN NA VLAŽNOST LESA.....	43
4.5 VPLIV IMPREGNACIJE LESA Z VODNIMI EMULZIJAMI MONTANSKEGA VOSKA NA VLAŽNOST LESA.....	46
4.6 VPLIV IMPREGNACIJE LESA Z VODNIMI EMULZIJAMI POLIETILENSKIH VOSKOV NA VLAŽNOST LESA.....	48
4.7 VPLIV IMPREGNACIJE LESA Z VODNIMI EMULZIJAMI OKSIDIRANIH POLIETILENSKIH VOSKOV NA VLAŽNOST LESA.....	50
5 SKLEPI	53
6 POVZETEK	55
7 VIRI	57

KAZALO SLIK

Slika 1: Biotični in abiotični razkrojevalci lesa (Kervina-Hamović, 1990)	5
Slika 2: Najpomembnejši postopki zaščite lesa.....	15
Slika 3: Razvrstitev voskov (Wolfmeier, 2003; SpecialChem, 2008).....	22
Slika 4: Relativni energijski nivo za vodno paro, aktivirane molekule ter tekočo in vezano vodo (Skaar in Christen, 1988)	27
Slika 5: Sorpcijske izoterme za primarno desorpcijo, adsorpcijo in sekundarno desorpcijo	28
Slika 6: Izdelan vzorec iz smrekovine (<i>Picea abies</i>).....	29
Slika 7: Izdelan vzorec iz bukovine (<i>Fagus sylvatica</i>).....	29
Slika 8: Sušilnik proizvajalca Kambič	30
Slika 9: Tehtanje preizkušancev	30
Slika 10: Impregniranje vzorcev.....	34
Slika 11: Vakuumsko-tlačna komora Kambič.....	34
Slika 12: Uravnovešanje vzorcev	36
Slika 13: EasyLog USB ključ za spremljanje relativne zračne vlažnosti in temperature....	36
Slika 14: Določanje mase vzorcev.....	37
Slika 15: Mokri navzem zaščitnih pripravkov pri bukovih in smrekovih vzorcih	38
Slika 16: Relativna zračna vlažnost in temperatura v času poteka eksperimenta	41
Slika 17: Vlažnost neimpregniranih smrekovih in bukovih vzorcev	42
Slika 18: Vpliv impregnacije z zaščitnim pripravkom na osnovi borove kisline oziroma Silvanolinom na vlažnost bukovine	44
Slika 19: Vpliv impregnacije z zaščitnim pripravkom na osnovi borove kisline oziroma Silvanolinom na vlažnost smrekovine	45
Slika 20: Vpliv impregnacije s pripravki na osnovi emulzije LGE na vlažnost bukovine..	46
Slika 21: Vpliv impregnacije s pripravki na osnovi emulzije LGE na vlažnost smrekovine	47
Slika 22: Vpliv impregnacije z emulzijami polietilenskih voskov na vlažnost bukovine...	48
Slika 23: Vpliv impregnacije z emulzijami polietilenskih voskov na vlažnost smrekovine.....	49
Slika 24: Vpliv impregnacije z oksidiranimi polietilenskimi voski na vlažnost bukovine .	50
Slika 25: Vpliv impregnacije z oksidiranimi polietilenskimi voski na vlažnost smrekovine	51

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razvrstitev lesnih vrst v 5 odpornostih razredov (SIST EN 350-2, 1994). J označuje jedrovino posamezne lesne vrste	6
Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na mesto uporabe (SIST EN 335-1/2, 1992)	7
Preglednica 3: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na povzročitelje (SIST EN 335 – 1/2, 1992).....	8
Preglednica 4: Vpliv lesne vlažnosti na delovanje micelija lesnih gliv	12
Preglednica 5: Uporabnost posameznih biocidov v različnih razredih izpostavitve in kombinacije biocidov, ki se uporabljajo v komercialnih pripravkih za zaščito lesa.....	18
Preglednica 6: Relevantne lastnosti uporabljenih emulzij.....	31
Preglednica 7: Označevanje bukovih vzorcev	33
Preglednica 8: Označevanje smrekovih vzorcev.	33

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

str.	stran
DDT	diklorodifenil trikloroetan
TBTO	tributil kositrov oksid
CCA	zaščitni pripravek na osnovi bakrovih, kromovih in arzenovih spojin
PCP	pentaklorofenol
A / a	adsorpcija
D / d	desorpcija
TNCS	točka nasičenja celičnih sten
Ba / B	borova kislina
LGE	emulzija montanskega voska
We1	emulzija polietilenskega voska
We6	emulzija oksidirane polietilenskega voska
c _B [%]	koncentracija bora v odstotkih

1 UVOD

1.1 UVODNA PREDSTAVITEV

Les je bil med prvimi materiali, ki so se začeli uporabljati kot material za konstrukcijske namene. V številnih predelih sveta se še danes uporablja v gradbene namene, uporabljamo ga tudi za notranje in stavbno pohištvo. Prednost lesa pred drugimi materiali se kaže v njegovi obnovljivosti, biološki razgradljivosti, možnostih reciklaže ter blaženju učinka tople grede zaradi vezave in skladiščenja ogljika. Poleg tega je les tudi z vidika predelave in obdelave energijsko manj potraten material. Pomembna hiba lesa je omejena trajnost, ki se pri nekaterih lesovih in mestih uporabe odraža bolj, spet pri drugih pa manj izrazito.

S kemično zaščito lahko trajnost neodpornega lesa učinkovito podaljšamo. Dejstvo pa je, da zaradi zmanjševanja onesnaževanja okolja, kemične rešitve vedno bolj nadomeščajo nekemični ukrepi. Kemična sredstva oziroma biocide uporabimo le kadar nekemična sredstva ne dosežajo želenih rezultatov.

Ena od alternativ kemični zaščiti je modifikacija lesa. S temi postopki želimo brez uporabe biocidov, s pomočjo okolju prijaznih metod zaščititi odpornost in s tem posledično izboljšati trajnost lesa. Modifikacija poteka lahko na več načinov z encimi, kemično, fizikalno ali termično. Z modifikacijo lesa spremenimo lesu nekaj bistvenih lastnosti. Najpogostejši cilj modifikacije je izboljšati sorpcijske lastnosti lesa, izboljšati dimenzijsko stabilnost in posledično znižati verjetnost okužbe z lesnimi glivami.

Okolju nevarnim biocidom se lahko izognemo tudi z uporabo okoljsko neoporečnih voskov (montanski, karnauba, čebelji...), oziroma emulzij voskov. Voski se že od nekdaj uporabljajo za: površinsko obdelavo, kot dodatek v površinskih premazih, sveče, kot vodoodbojno sredstvo v ivernih ploščah, kozmetiko, polirne paste, itd. Voski so se v lesarstvu večinoma uporabljali le za izboljšanje estetskih lastnosti obdelanih površin, med

tem ko v literaturi ni na voljo veliko podatkov o tem kako vpliva obdelava lesa z vodnimi emulzijami na sorpcijske lastnosti masivnega lesa.

1.2 OPREDELITEV PROBLEMA

Po uveljavitvi Direktive o biocidnih proizvodih, je bila iz uporabe umaknjena večina biocidnih aktivnih učinkovin. Poleg tega se dviguje tudi okoljska zavest kupcev, ki se vedno bolj izogibajo strupenim biocidom. To sta glavna vzroka, da trenutno zelo pridobivajo na pomenu nebiocidne rešitve za zaščito lesa, kot je na primer modifikacija lesa. V Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa, trenutno raziskujejo možnosti uporabe vodnih emulzij montanskega voska. V laboratorijskih pogojih se je izkazalo, da imajo z voski impregnirani vzorci nižjo ravnovesno vlažnost kot vzporedni neimpregnirani kontrolni vzorci. V svojem diplomskem delu želimo osvetliti, ali se podoben vpliv voskov odraža tudi v realnih pogojih.

1.3 CILJI DIPLOMSKE NALOGE

Cilj diplomske naloge je določiti vpliv impregnacije z vodnimi emulzijami voskov na vlažnost smrekovega in bukovega lesa na odprtem pokritem mestu, oziroma kako vplivajo klimatski pogoji na vlažnost lesa impregniranega s polietilenskimi ter montanskimi voski.

1.4 DELOVNE HIPOTEZE

Pričakujemo, da bo impregnacija z vodnimi emulzijami voskov upočasnila navlaževanje in sušenje lesa. Vpliv emulzij voskov na sorpcijske lastnosti bo izrazitejši pri bukovih vzorcih.

2 SPLOŠNI DEL

2.1 KRATEK ZGODOVINSKI PREGLED ZAŠČITE LESA

Z zaščito lesa se je človek začel ukvarjati že pred davnimi časi. Kitajci so po potapljanju lesa v morsko vodo ugotovili, da na tak način lahko izboljšajo trajnost lesa. Stari Grki in Stari Rimljani so se zanašali bolj na zaščito lesa z raznimi olji. Uporabljali so tudi najstarejše organsko zaščitno sredstvo katran.

O pravi kemični zaščiti lesa lahko govorimo mnogo kasneje in sicer šele v 19. stoletju, ko so se začele uporabljati anorganske soli. Leta 1838 je med prvimi Boucherie patentiral zaščito sveže posekanega lesa, kjer je z vodno raztopino bakrovega(II) sulfata impregniral beljavo hloda. Istega leta je tudi Bethell z impregnacijo železniških pragov s kreozotnim oljem naredil velik korak v zaščiti lesa, saj so se ravno v tistem času skozi Evropo gradile železniške proge. Kreozotno olje so pridobivali kot stranski produkt med suho destilacijo premoga pri proizvodnji koksa. Za zaščito železniških pragov se uporablja še dandanes, zaradi prepovedi nekaterih strupenih snovi pa so njegovo uporabo v nekaterih državah že omejili.

Naslednjo prelomnico impregnacije predstavlja Bruningovo odkritje leta 1913. Ugotovil je, da se normalno topne bakrove spojine z dodajanjem kromovih spojin vežejo v les in se iz njega ne izpirajo. Vendar kljub obetavnemu odkritju omenjeni zaščitni pripravek še vedno ni nudil popolne zaščite lesu. Zaščiten les je bil še vedno dovzeten na napade termitov. Problem je rešil indijski raziskovalec Sonti Kamesam, ki je odkril, da kromovi ioni ne izboljšajo samo fiksacije bakrovih spojin, temveč tudi arzenove. Zaščitno sredstvo je poimenoval Ascu po glavnih sestavinah, bakrovem sulfatu in arzenovem oksidu (Humar, 2003). Pripravek so kasneje poimenovali CCA, toda uporabo pripravka so po skoraj stotih letih najprej omejili, nato pa dokončno prepovedali, zaradi škodljivosti arzena. Insekticidni arzen so nadomestile borove spojine. Tako kot arzenove spojine, so tudi kromove spojine v zadnjem času pod drobnogledom okoljevarstvenikov, zato se je tudi njihova uporaba že

omejila. Kromove spojine lahko nadomestimo z amoniakom, toda nastane problem pri delu, saj ima slednji zelo dražee vonj. Zelo primeren nadomestek so tudi amini oziroma etanolamini, saj se zelo dobro vežejo v les. Ker se v Evropi pojavljajo izolati gliv, ki so tolerantni na bakrove učinkovine, baker-etanolaminskim pripravkom dodajamo kvartarne amonijeve spojine ali triazole za izboljšanje fungicidnih lastnosti. Odpornost zaščitenega lesa proti insektom pa lahko zagotovimo z dodatkom borovih spojin. Baker-etanolaminski pripravki so, kot ugotavlja Humar (2008) najprimernejša rešitev za zaščito lesa na prostem.

Poleg ostalih aktivnih učinkovin so se po drugi svetovni vojni pojavila tudi klasična organska zaščitna sredstva kot je pentaklorofenol bolj znan kot PCP, Lindan, TBTO, DDT..., itd., ki pa so jih v devetdesetih letih dvajsetega stoletja zaradi okoljskih in zdravstvenih kriterijev umaknili iz uporabe.

Novejša organska sredstva kot so piretroidi, triazoli, karbamati, izotiazoloni, alkilamonijeve spojine so praviloma okoljsko primernejše učinkovine kot klasični zaščitni pripravki z bistveno manj nezaželenih vplivov na okolje in uporabnike.

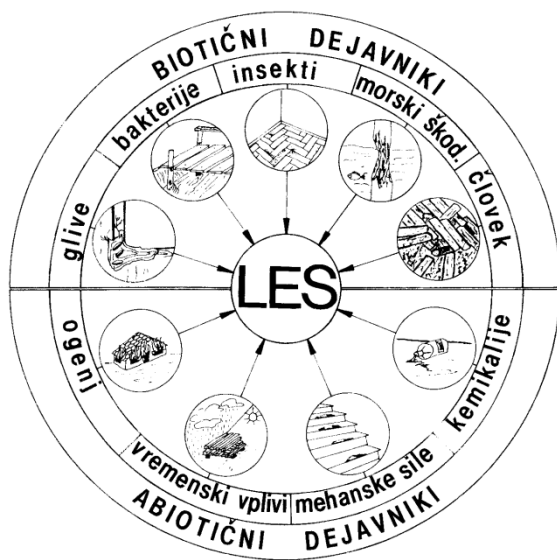
V zadnjem času pa raziskovalci skušajo razviti rešitve za zaščito lesa, ki ne bodo temeljile na biocidih, temveč na snoveh, ki niso okoljsko sporne.

2.2 DEJAVNIKI KI POVZROČAJO RAZKROJ LESA

Les je kot naravna organska snov podvržen razkroju, ki ga povzročajo različni dejavniki, tako biotični kot tudi abiotični (slika 1). Med biotične dejavnike žive narave prištevamo glive, insekte in bakterije. Med abiotične dejavnike nežive narave pa uvrščamo vremenske vplive (visoke in nizke temperature, vlaga, veter, žarki UV, ogenj, kemični vplivi ipd.) Najhujši abiotični destruktor je ogenj, saj v požarih uniči ogromne količine lesa. Najpomembnejši biotični razkrojevalec pa so glive. Le te delimo na glive povzročiteljice rjave in bele trohnobe. Jedrovine nekaterih lesnih vrst (robinje, kostanja...), ki ima veliko naravno odpornost, pa glive in insekti že samega po sebi ne morejo razkrajati.

Posledice razkroja lesa zaradi delovanja gliv so po mnenju strokovnjakov naslednje (Benko in sod., 1987):

- zaradi encimske razgradnje lesa pride do razkroja olesenele celične stene
- masa lesa se manjša, les postaja lažji
- trdota, trdnost in kalorična vrednost lesa se zmanjšujejo
- barva in vonj lesa se spremenita



Slika 1: Biotični in abiotični razkrojevalci lesa (Kervina-Hamović, 1990)

2.3 NARAVNA ODPORNOST LESA IN NJEGOVA TRAJNOST

Med okolje prijazne materiale lahko štejemo tudi les. Z biocidno zaščito mu lahko povečamo njegovo odpornost in s tem povezano trajnost lesa.

2.3.1 Naravna odpornost

Naravna odpornost je v najširšem pomenu definirana kot odpornost lesa proti delovanju fizikalnih, kemijskih ali bioloških dejavnikov (Dinwoodie, 2000). Naravna odpornost je lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in pomeni dovzetnost na škodljivce (Kervina-Hamović, 1990). Odvisna je predvsem od kemijske sestave lesa in od anatomske zgradbe lesa (zgradba celične stene). Med kemične sestavine lesa štejemo: ekstraktivne (beljakovine, škrob, sladkorji, tanini, smole, barve, alkaloidi, fenoli) in akcesorne sestavine. Jedrovina, ki vsebuje večje količine smole, fenolnih spojin, alkaloidov je veliko bolj naravno odporna kot pa beljava, ki vsebuje škrob, sladkorje in beljakovine. Vendar pa samo z ekstraktivi ne moremo vedno v zadostni meri pojasniti naravne odpornosti lesa. Hidrofobnost lesa ima tudi zelo pomemben učinek na naravno odpornost (Gerardin in sod., 2004; Humar, 2008). Na naravno odpornost pozitivno vplivajo tudi razne organske kisline (Kervina-Hamović, 1990) (preglednica 1).

Tudi gostota lesa vpliva na naravno odpornost lesa, vendar pa gost les sam po sebi ne pomeni nujno dobre naravne odpornosti. Tako je bukovina veliko manj odporna od jedrovine bora ali rdeče cedre (Panshin in de Zeeuw, 1980; SIST EN 350-2, 1994; Lesar, 2008). Pri hrastu pa na gostoto vpliva širina branik - širše so, višja je gostota (Čufar, 2006; Lesar, 2008). Humar in sodelavci (2008) so ugotovili, da širina branik pomembno vpliva na naravno odpornost jedrovine hrasta; širše kot so branike, bolj odporen je les, kar je ravno obratno kot pri lesu iglavcih.

Preglednica 1: Razvrstitev lesnih vrst v 5 odpornostih razredov (SIST EN 350-2, 1994). J označuje jedrovino posamezne lesne vrste

	Razred odpornosti	Trajnost (leta)	Izguba mase po 4 mesecih	Drevesna vrsta
(I)	Zelo odporne vrste	nad 20	0%	tisa-J, akacija-J, hrast-J, iroko, tik-J
(II)	Odporne	15-20	5%	kostanj-J, macesen-J, dob-J
(III)	Zmerno odporne	10-15	10%	brest-J, oreh-J, duglazija-J, bor-J (3-4)
(IV)	Neodporne vrste	5-10	10-30%	smreka-J, jelka, jesen
(V)	Zelo občutljive	pod 5	Nad 30%	bukev, javor, gaber, breza, lipa, topol

2.3.2 Trajnost lesa

Trajnost lesa je čas v katerem les ohrani večino svojih naravnih lastnosti. Odvisna je od njegove naravne odpornosti, kraja uporabe, mesta uporabe, načina uporabe, časa sečnje idr. Za nekatere drevesne vrste je pri nas predpisana sečnja v zimskem času. S primerno izbiro lesne vrste lahko zagotovimo trajnost lesa, ki kljubuje zahtevam mesta uporabe. Za lažjo vgraditev primerne vrste lesa oziroma primerne postopka zaščite so evropski strokovnjaki lesene izdelke razdelili v pet različnih razredov izpostavitve glede na njihovo ogroženost oziroma mesto vgradnje (Preglednica 2), v preglednici 3 pa so podani povzročitelji ogroženosti za posamezen razred izpostavitve.

Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na mesto uporabe (SIST EN 335-1/2, 1992)

Razred izpostavitve	Mesto uporabe	Vlaženje	Vlažnost lesa
I.	nad tlemi, pokrito, suho	Stalno suho	pod 20 %
II.	pokrito, nad tlemi, nevarnost močenja	Občasno vlaženje	občasno 20 %
III.	nad tlemi, nepokrito, pogosto močenje	Pogosto vlaženje nad tlemi	pogosto 20 %
IV.	v tleh ali vodi, stalno vlažno	Stalno vlaženje na/v zemlji	stalno nad 20 %
V.	v morski vodi	Stalno izpostavljen močenju morske vode	stalno nad 20 %

Preglednica 3: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na povzročitelje (SIST EN 335 – 1/2, 1992)

Razred izpostavitve	Mesto uporabe	Povzročitelji ogroženosti			
		Insekti	Glive	Izpiranje	Modrivke
I.	nad tlemi, pokrito	+	-	-	-
II.	nad tlemi, pokrito, nevarnost močenja	+	+	-	-
III.	nad tlemi, nepokrito	+	+	+	+ / -
IV.	v tleh ali vodi	+	+	+	+
V.	v morski vodi	+	-	+	-

2.4 LESNE GLIVE

Sprememba barve lesa je pogosto najpomembnejši pokazatelj, da je les okužen z lesnimi glivami. Bistveno kasneje se opazi okužba ob izgubi teže ter nato še zmanjšanje mehanskih lastnosti. Po spremembi barve lesa lahko razvrstimo glive v različne skupine:

1. glive povzročiteljice rjave ali prizmatične trohnobe
 - siva hišna goba (*Serpula lacrymans*)
 - bela hišna goba (*Antrodia vaillantii*)
 - kletna goba (*Coniophora puteana*)
 - navadna tramovka (*Gloeophyllum trabeum*)
2. glive povzročiteljice bele ali korozivne trohnobe
 - štorovka (*Armilariella mellea*)
 - kresilna goba (*Fomes fomentarius*)
 - jelov koreničnik (*Heterobasidion annosum*)
 - pahljačica (*Shizophyllum commune*)
 - pisana ploskocevkica (*Trametes versicolor*)

3. glive modrivke
4. plesni
5. soft rot (mehka trohnoba)

2.4.1 Širjenje gliv

Širjenje gliv v lesu lahko poteka na več načinov v vseh anatomskih smereh, odvisno je od same zgradbe lesa, lesne vrste... V rastočih drevesih glive okužijo predvsem jedrovino, na podrtih drevesih pa lesne glive najprej kolonizirajo beljavo. Pojavljajo se tako na listavcih kot na iglavcih le, da se nekatere glive specializirajo le v eno drevesno vrsto ali le v določen del drevesa.

Širjenje gliv lahko poteka:

- preko pikenj v radialni smeri
- mehansko in kemično s pomočjo encimov
- skozi vrzeli v celični steni
- preko lumnov vzdolž po celicah

2.4.2 Razvrščanje gliv

Glive lahko razvrščamo v različne skupine in sicer glede na njihovo zgradbo, značilnosti, zahteve po vlažnosti, vrsto trohnobe in še kako drugače.

Glive se lahko pojavljajo na:

- glive na lesnih skladiščih
- glive, ki okužijo les v stiku z zemljo
- glive razkrojevalke gradbenega in stavbnega lesa
- hišne gobe

S komercialnega vidika so najpomembnejše hišne glive in glive razkrojevlke gradbenega in stavbnega lesa. Razvoj teh gliv lahko v veliki meri preprečimo, če les ohranimo suh, oziroma če je vlažnost lesa pod mejo, potrebno za glivni razkroj (18 % - 20 %).

2.5 POGOJI ZA RAST GLIV

Glive so eno ali več celični evkarionti, ki so sestavljeni iz prehranjevalnega (podgobje) in razmnoževalnega (goba - trosovnica) dela. Od leta 1969 jih uvrščamo v samostojno kraljestvo gliv. Od rastlin se razlikujejo v tem, da so brez klorofila (zelene barve). Prehranjujejo se kot gniloživke najprej v beljavi (lahko tudi v jedrovini), nato pa kot saprofiti ali simbionti.

Dejavniki, ki vplivajo na razkroj lesa in rast gliv so:

1. temperatura

- direkten vpliv na encimatsko aktivnost
- od 3 °C – 40 °C, opt. 23 °C – 30 °C
- opt. bliže maximumu, temperaturne amplitude
- mejne vrednosti - latentno stanje
- bolj občutljive na visoke temperature - parjenje

2. vlažnost lesa

- vodni potencial (plazmoliza)
- razmerje voda : zrak v odvisnosti od gostote
- min. 20 %
- optimalno 30 - 60%
- max. nad 90 %- 170% (odvisno od gostote lesa in vrste glive)
- poleg hrane je vlažnost najpomembnejši dejavnik

3. zračna vlaga

- pomembna za kalitev spor (infekcija)

- pomembna za površinsko rast micelija (hišne gobe)
- optimalno 90 %, za spore 92 % - 95 %
- posredno povezana z vlažnostjo lesa

4. zrak

- dihanje (oksidacija glukoze) in razgradnja lignina
- minimalno 15 % na volumen por
- c_{CO_2} nad 18 % ustavitev rasti gliv in deformacija klobukov, c_{CO_2} nad 25 % - letalna vrednost za micelij

5. svetloba

- difuzna (stimulativno) - kalitev spor, tvorba klobukov
- direktna (zaviralno) - propad spor, propad micelija
- UV - sterilizacija (spore + bakterije + micelij)

6. vrednost pH

- vrednost pH povezana z encimatsko aktivnostjo
- optimalno 4 - 6 pH
- glive same ustvarjajo organske kisline - kislo okolje

7. hrana

- najpomembnejša za razvoj
- celuloza
- lignin
- hemiceluloze
- aromatske snovi

Z uravnavanjem dejavnikov, ki vplivajo na rast gliv lahko na okolju prijazen način preprečimo ali vsaj omejimo okužbo lesa z glivami.

2.5.1 Vlažnost lesa

Lesna vlažnost je eden od najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na rast gliv. Poleg tega je vlažnost dejavnik, ki ga najlažje kontroliramo in s tem učinkovito preprečujemo razkrojne procese. Pod 20 % vlažnosti lesa se pojavi plazmoliza, torej voda prične prehajati iz hif v okolico, kar na koncu pomeni odmrtnje glivnega micelija. Iz preglednice 4 je razvidno, da je optimalna lesna vlažnost za razvoj gliv med 30 % in 60 % vlažnosti.

Preglednica 4: Vpliv lesne vlažnosti na delovanje micelija lesnih gliv

Vrsta	Lesna vlažnost (%)		
	Min.	Optimalno	Maks.
Rjava trohnoba	20	35 - 60	>70
Kletna goba	20	50 - 60	
Siva hišna goba	12*	30 - 40	40 - 60
Bela hišna goba	20	35 - 45	
Plesni	20	30 - 70	
Hojeva tramovka	20	38 - 60	

* Siva hišna goba si po okužbi lahko sama ustvarja ustrezno vlažnost za rast

2.6 STOPNJE RAZKROJA LESA

Stanje lesa v neki določeni fazi razkroja lahko razvrstimo v štiri skupine:

I. PRIKRITA ALI NEVIDNA FAZA

- hife so večinoma le v parenhimskih celicah in trahejah listavcev
- vidno po 1 - 2 mesecih

II. ZAČETNA FAZA

- barvne spremembe, razgradnja celičnih sten
- po 3 mesecih (omejena uporaba lesa, ne sme se uporabljati v konstrukcijske namene)

III. KASNEJŠA FAZA

- močno se spremeni barva in struktura lesa
- po 4 - 6 mesecih (les je primeren le še za nekatere oblike kemične predelave in energetske namene)

IV. KONČNA FAZA

- popoln razpad lesa, (neuporaben les)

Glivni razkroj je nujno potrebno ustaviti v čim zgodnejši fazi. Prepozno ukrepanje je pogosto celo brez pomena, saj je les popolnoma propadel.

2.7 VPLIV GLIVNEGA RAZKROJA LESA

1. SPREMEMBE MEHANSKIH LASTNOSTI

- rjava in bela trohnoba
- zniža se:
 - tlačna trdnost
 - natezna trdnost
 - upogibna trdnost
 - trdota
 - udarna žilavost

2. SPREMEMBE FIZIKALNIH LASTNOSTI

- zmanjšanje mase (za 10 % do 90 %)
- poslabšajo se sorpcijske lastnosti in poveča se vpijanje vode

3. SPREMEMBE KEMIJSKIH LASTNOSTI

- razgradi se celuloza, hemiceluloza, lignin
- kot razgradnji produkti nastajajo monosaharidi, organske kisline (vrednost pH upade), vlažnost lesa se poveča, koncentracija mineralov naraste

4. PREVAJANJE TOPLOTE (vlažen razkrojen les bolje prevaja toploto, suh les pa slabše)

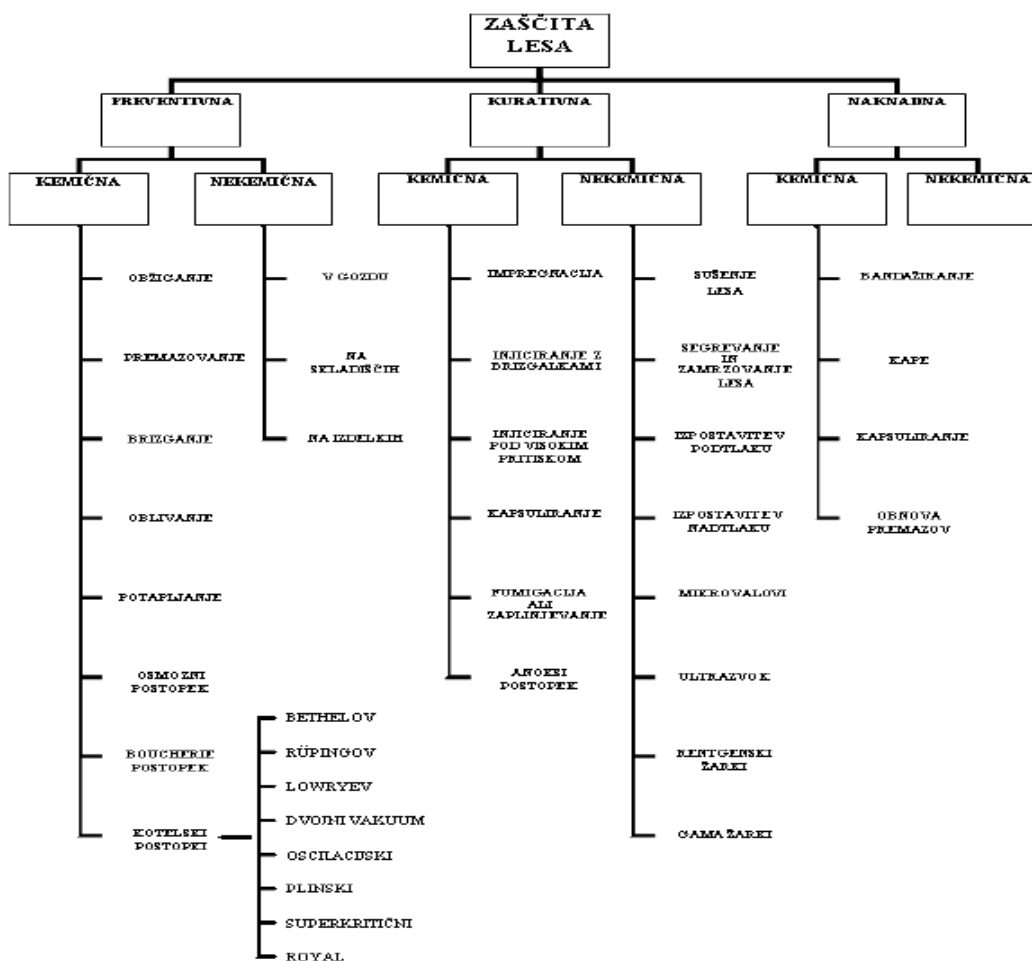
5. VNETLJIVOST (večja vnetljivost a manjša kurilna vrednost)

2.8 ZAŠČITA LESA

2.8.1 Postopki zaščite

Zaščita lesa je lesarska znanstveno praktična veda, ki preučuje povzročitelje destrukcije lesa, jih klasificira in določa njihov ekonomski pomen; preučuje učinkovite in racionalne ukrepe za povečanje trajnosti lesa povsod tam, kjer se les nahaja, predeluje in uporablja (Kervina-Hamović, 1990). Je tipična interdisciplinarna biotehniška veda, kjer je potrebno poznati les, lesne škodljivce ter druge škodljive dejavnike, poznati pa je potrebno tudi kemične in nekemične postopke in sredstva, ki omogočajo te postopke za zaščito lesa.

Z biocidnimi sredstvi želimo doseči čim bolj prepojiti les in s tem učinkovito zaščititi les. Impregnacija je postopek, s katerim na tak ali drugačen način vnesemo v les impregnacijsko sredstvo, ki ga ščiti pred lesnimi škodljivci. S premazovanjem lahko zagotovimo le zaščito površine lesa saj bo sredstvo prodrlo le kakšen milimeter ali dva globoko v les, kar pa za učinkovito zaščito ni dovolj. S potapljanjem lesa v zaščitni pripravek (približno 30 min) lahko dosežemo bistveno boljšo penetracijo, toda najučinkovitejšo globino prodora lahko dosežemo le z vakuumsko-tlačnimi kotelskimi postopki, ki pa so zaradi stroškov opreme za marsikoga nesprejemljiva rešitev za impregnacijo lesa (Slika 2).



Slika 2: Najpomembnejši postopki zaščite lesa

2.8.2 Kemična zaščita

Kemični ukrepi za zaščito lesa, so ukrepi umetnega konzerviranja lesa, s katerimi v les pred njegovo uporabo vnesemo potrebno količino kemičnih snovi, ki varujejo les pred škodljivimi dejavniki. Ker je les za številne lesne škodljivce bivališče in hrana, ga s kemično zaščito zastupimo, da postane za škodljivce strupen ali vsaj odbijajoč (Kervina-Hamović, 1990).

Sestava kemičnih sredstev se sestoji iz aktivnih komponent ter topila, ki je lahko organsko topilo ali voda. Zaradi vedno ostrejših okoljskih zahtev, voda postaja vse bolj zaželeno

topilo v kemičnih pripravkih. Poleg osnovnih komponent pa zaščitni pripravki lahko vsebuje tudi dodatke za zmanjšanje površinske napetosti, veziva (umetne smole), pigmente, UV absorberje, itd. Zaščitne pripravke lahko uporabimo za preventivno, kurativno ali naknadno zaščito. V zadnjih letih se vse bolj prizadevamo, da se kemična zaščita uporablja le tam, kjer je to res nujno potrebno in kjer ne moremo zaščititi lesa na drug okolju bolj prijazen način.

Dober zaščitni pripravek za zaščito lesa naj bi imel naslednje lastnosti (Kervina – Hamović, 1990; Humar, 2006):

- že v majhnih količinah toksično delovanje na lesne škodljivce, ne pa na ljudi, živali in okolje
- je brez močnega vonja
- globoko penetrira v les in se iz njega ne izpira
- v les prodira v zadostnih količinah
- se enakomerno porazdeli po lesu
- prenese nadaljnjo površinsko obdelavo
- ne poškoduje ali obarva kovin, stekla, keramike
- ne zvišuje vnetljivosti lesa
- ne razpada na škodljive pline
- ima preprosto uporabo
- se suši brez ostankov na površini
- ima dolgotrajno delovanje
- dostopen je po taki ceni, da ekonomsko utemeljuje zaščito lesa

Trajnost neodpornih vrst lesa lahko najbolj učinkovito podaljšamo s kemično zaščito. Toda škodljivost biocidov je vedno bolj pod drobnogledom, saj smo ljudje vedno bolj okoljsko ozaveščeni o škodljivosti teh učinkovin. Biocide na splošno lahko delimo na anorganske in organske učinkovine.

2.8.2.1 Anorganske kemične učinkovine

Prve vodotopne anorganske soli so že v 19. stoletju komercialno uporabljali kot impregnacijsko sredstvo. Samih anorganskih učinkovin se samih po sebi ne uporablja, ampak se jih med seboj kombinira, saj vsako posamezno sredstvo nima vseh potrebnih toksičnih lastnosti (npr. insekticid, fungicid, vezivo). Novejših anorganskih sredstev se skoraj ne razvija več, saj je razvoj dolgotrajen in predvsem vedno dražji proces. Cena razvoja nove zaščitne učinkovine je okoli 4 milijonov evrov.

2.8.2.1.1 Uporaba borovih spojin v zaščiti lesa

Borove učinkovine so ene izmed najstarejših aktivnih spojin, ki se še vedno uporabljajo za zaščito lesa. Glavna lastnost borovih spojin je, poleg dobre difuzivnosti, ki omogoča dobro zaščito slabo permeabilnih lesnih vrst, še širok spekter delovanja proti insektom in glivam (Lesar in Humar, 2007). Ponaša pa se tudi z nizko toksičnostjo delovanja na ljudi, kar je v današnjih časih še kako pomemben dejavnik. Slaba plat dobre difuzivnosti pa se kaže v izperljivosti bora iz lesa, kar pomeni, da se slabo veže v les zato je njegova uporaba omejena na suhe prostore.

Borove spojine že pri nizkih koncentracijah delujejo kot učinkovit fungicid in insekticid. Poznano in dobro raziskano je delovanje bora proti glivam, insektom in tudi termitom. Po do sedaj znanih podatkih nobena gliva razkrojevalka ni tolerantna na borove spojine in ne more razkrajati z borovimi pripravki zaščenega lesa (Findlay, 1956; Jonge, 1987; Dickinson in Murphy, 1989). Delovanje borovih spojin se uspešno kaže tudi v delovanju proti glivam modrivkam in plesnim.

Glavni problem povezan z uporabo borovih spojin v zaščiti lesa je izpiranje borovih spojin iz lesa, zato v svetu in pri nas potekajo raziskave kako bi preprečili izpiranje bora iz zaščenega lesa. Dokazano je bilo, da s pomočjo voskov in naravnih smol lahko omejimo izpiranje te aktivne učinkovine iz lesa.

2.8.2.2 Organska kemična sredstva

Kot najstarejše organsko zaščitno sredstvo uvrščamo katran, ki je produkt suhe destilacije lesa. Prav tako kot starejši katran tudi novejše kreozotno olje spada med najstarejša sredstva organske sestave. Kreozotno olje se uporablja še danes za impregnacijo železniških pragov vendar bo zelo verjetno prišel pod drobnogled kot prepovedano zaščitno sredstvo.

V preteklosti so se za zaščito lesa uporabljale številne spojine, ki so bile bolj ali manj nevarne okolju. Številne med njimi so danes prepovedane. Aktivne komponente na trgu so prestale številna testiranja, tako da so okoljsko sprejemljivejše od klasičnih alternativ.

Novejša organska zaščitna sredstva za les so sestavljena iz aktivnih učinkovin, ki so vse bolj usmerjena v ciljno rabo (Preglednica 5) in se uporabljajo v točno določene namene.

Preglednica 5: Uporabnost posameznih biocidov v različnih razredih izpostavitve in kombinacije biocidov, ki se uporabljajo v komercialnih pripravkih za zaščito lesa

Biocid	Delovanje *	Razredi izpostavitve - uporaba	Kombinacije v komercialnih pripravkih
AAC	F, M, (I)	I-III (IV)**	samostojno, Cu, B
Juvenilni-rastni hormoni	I	I-III	Piretroidi
triazoli	F	II-III (IV)**	Cu, IPBC
izotiazoloni	F, M	II-IV	triazoli, piretroidi
piretroidi	I	I-III	triazoli, IPBC, juvenilni hormoni
IPBC	M (F)	II-III	triazoli, piretroidi
Sulfamidi	M	II-III	triazoli, piretroidi
Borove učinkovine	I, F	I-III (IV)**	samostojno. AAC, Cu
Bakrove učinkovine	F	II-V	B, triazoli, AAC
* F – fungicidno delovanje proti glivam razkrojevalkam, I – insekticid, M – fungicidno delovanje proti glivam modrivkam ** Izjemoma v kombinaciji z bakrovimi učinkovinami			

2.9 TRENDI ZAŠČITE LESA

Vedenje ljudi o poznavanju lesa kot snovi, ki je zmožna shranjevati ogljikov dioksid ter zmanjša fenomen tople grede, se vedno bolj kaže v povečevanju porabe lesa kot naravnega materiala, ki ga lahko uporabimo za vrsto elementov, ki bodo služila v takšne ali drugačne namene. Obnovljivost lesa je glavna prednost za katerega menimo, da je primeren material, ki ga lahko vedno znova uporabimo, s povečevanjem rabe lesa se povečuje tudi potreba po zaščiti lesa.

Klasične pripravke zaščite lesa so nadomestili novi, ciljni biocidi, ki pa so pogosto manj učinkoviti. Trenutno zelo pridobivajo na pomenu biocidni pripravki s ciljnim delovanjem in nebiocidne rešitve za zaščito lesa. Biocidna zaščita se uporablja le še v namene, ko delovanja biotskih dejavnikov razkroja nismo uspeli preprečiti na drug, okolju prijaznejši način (Humar, 2008). Najpogostejša klasična biocidna sredstva pri nas so mešanica bakrovih in borovih soli, toda sama po sebi se ne vežejo dobro v les zato jim dodajamo še vezivo (etanolamin). Uporaba bakrovih in borovih soli bo še v prihodnosti zelo v porastu kajti primerne nadomestka še niso odkrili.

Na področju uporabe kemikalij je EU uvedla Direktivo o biocidih (BPD), Direktivo o hlapnih organskih spojinah in REACH, ki omejujejo uporabo okoljsko in zdravstveno neprimernih biocidov za zaščito lesa. Zato so septembra 2006 vse zaščitne pripravke, ki so vsebovali biocide in jih BPD ni odobraval, umaknili s trga.

Za zaščito lesa se bodo v prihodnosti uporabljala okoljsko primernejša zaščitna sredstva kot danes. Modifikacija lesa na več načinov: z encimi, kemično ali termično je še posebej obetajoca v prihodnosti, saj brez vse kakršnih biocidov zaščitimo les in mu podaljšamo odpornost ter s tem njegovo trajnost. Z modifikacijo lahko spremenimo strukturo lesa, da glive in insekti ne prepoznajo lesa kot vira hrane, z modifikacijo pa postane tudi les stabilnejši.

2.10 KONSTRUKCIJSKA ZAŠČITA LESA

Prva bivališča, ki jih je človek gradil za zavarovanje pred neugodnimi vremenskimi razmerami (mraz, vročina, padavine) in pred sovražnikom, so bila lesena. Tehnologija gradnje se je razvijala od preprostih konstrukcij do današnjih dni, ko se iz lesa gradijo zelo kompleksni in obsežni gradbeni objekti. Vzporedno s tehniko gradnje se je na izkustvih razvijalo in izpopolnjevalo tudi vedenje o konstrukcijski zaščiti, ki zagotavlja čim daljšo trajnost lesnih izdelkov (Pohleven, 2008).

Konstrukcijske rešitve predstavljajo najbolj naravni način zaščite lesa. Izdelki narejeni iz jedrovine odpornejših lesnih vrst, so pred večino škodljivcev do določene mere varni, ne da bi jih zaščitili z biocidi. Pomembno je, da izdelke vzdržujemo, ter da je les, ki je namenjen za izdelavo izdelka posekan v času mirovanja vegetacije (zimski čas), ko se v lesu izrabijo rezervne hranljive snovi.

Kakorkoli, ena izmed lastnosti lesa je tudi njegova trajnost, ki je odvisna od naravne odpornosti lesa in načina vgradnje oziroma konstrukcije ter mesta vgradnje. Les, ki vsebuje inhibitorne snovi (tanine, smole, alkaloidi...) ima največjo naravno odpornost in z njo povezano trajnost. Na trajnost iglavcev vpliva tudi gostota. Gostejši ko je les, bolj je les trajen.

S pravilno konstrukcijo lahko dosežemo naravno zaščito lesa, ki zagotavlja trajnost izdelkov nekaj stoletij ali celo tisočletij. Zračno suh les je popolnoma varen pred okužbo z lesnimi glivami in napadom insektov vlažnega lesa. Če pa so objekti in izdelki narejeni iz jedrovine odpornejših drevesnih vrst, bodo varni tudi pred večino lesnih insektov, ki napadajo suh les (Pohleven, Petrič, 1992).

Z gradbeno tehničnimi rešitvami lahko izdelkom zelo izboljšamo pogoje. Tehnične rešitve kot so: naklon strehe, večji napušč, pomik stavbnega pohištva pod napušč, zračni kanali, pokritost balkonov in teras, orientacija opaža, dvignjen okvir okna, odkapalni nosovi lahko bistveno prispevajo k trajnosti izdelka (Gockel, 1996; Schober s sod., 2006). S spremenjeno konstrukcijsko zasnovo lahko izdelke iz bolj ogroženega razreda pomaknemo

v nižji manj ogroženi razred, kot so na primer električni drogovi ali razni stebri in jih postavimo na podstavke ter jih tako iz tretjega četrtega razreda prestavimo v tretji razred izpostavitve.

Toda vedno ne moremo zagotoviti pogojev, da bi bil les ves čas suh, zato je v takšnih primerih potrebno lesene izdelke pred vgraditvijo preventivno zaščititi s kemičnimi sredstvi, ki vsebujejo biocide, zato je pomembno, da globoko prodrejo v les in se v njem dobro fiksirajo (impregnacija).

2.11 NARAVNE SNOVI ZA ZAŠČITO LESA

V zadnjem času vedno bolj pridobiva na pomenu tudi konstrukcijska in nebiocidna zaščita lesa. Z različnimi ukrepi želimo les napraviti bolj vodo-odbojen, manj higroskopen oziroma želimo spremeniti njegovo kemijsko strukturo tako, da ga insekti in glive ne bodo več prepoznali kot možen vir hrane. Vodo-odbojnost najlažje dosežemo z impregnacijo z vodnimi emulzijami voskov (montanski, karnauba, čebelji...) ali olji (laneno, tungovo...) (Humar, 2008).

2.11.1 Voski

Voski so naravno ali sintetično pridobljene snovi. So estri višje maščobnih kislin in nasičenih alkaloidov, poleg estrov vsebujejo še nekatere proste višje kisline in alkohole ter višje ogljikovodike. Voski se v vodi ne raztapljajo, topijo se v organskih topilih, terpentinu in bencinu. Lahko so živalskega ali rastlinskega izvora, kar pomeni, da so v kemijskem smislu pravi voski, poznamo pa še mineralne in sintetične voske, ki po kemijski sestavi niso estri.

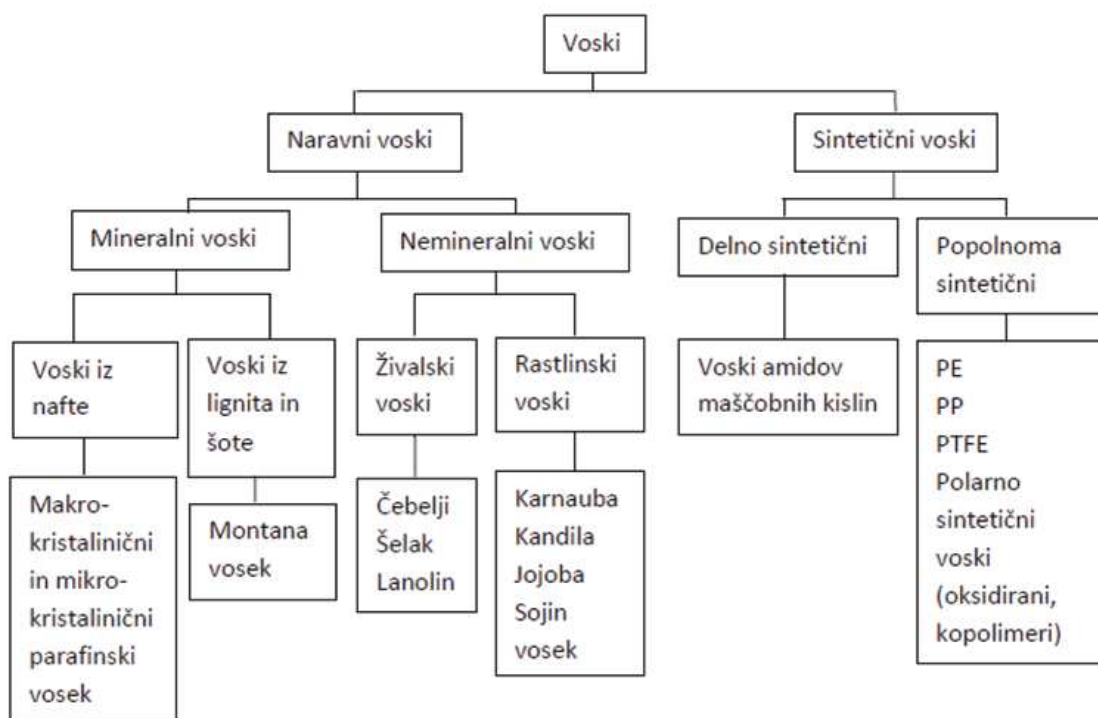
Najpomembnejše lastnosti voskov:

- pri 20 °C so gnetljiva do lomljiva trda snov
- nad 40 °C se talijo, ne da bi se pri tem razgradili
- nad tališčem imajo sorazmerno visoko viskoznost

- se dajo polirati pod rahlim pritiskom
- gostota in topnost odvisni od temperature
- gorijo s sajastim plamenom
- so toplotni in električni izolatorji

Voski so v naravi izredno razširjeni, saj jih izloča skoraj vsaka rastlina in žival, z namenom, da zaščiti svoj organizem pred soncem in vlago. Naravne voske, ki so nastali v zgodnjih geoloških periodah so nam znani kot fosilni voski petrolejni, lignitni (montanski voski). Poznamo pa tudi naravne nefosilne voske, ki jih izločajo rastline (carnauba palme) in živali (čebele, ovce).

Sintetične voske so iznašli šele v 20. stol., njihove glavne surovine so nizko molarne spojine pridobljene iz naftnih derivatov ali zemeljskega plina. Ker so cenejši in imajo lastnosti, ki so prilagojene specifičnim uporabam, zelo hitro prodirajo na trg. Drugo ime, ki ga zasledimo v literaturi za sintetične oziroma parafinske voske je tudi Fischer-Tropsch.



Slika 3: Razvrstitev voskov (Wolfmeier, 2003; SpecialChem, 2008)

2.11.1.1 Čebelji vosek

Med naravnimi voski spada med najpomembnejše voske. Je svetlo-rumen do rdečerjav, saj je barva odvisna od čebelje paše. Za površinsko uporabo je največkrat uporabljen naravni vosek. Pri 32 °C do 35 °C je čebelji vosek plastičen in upogljiv ter se z lahkoto gnete, pri malo nižjih temperaturah (od 25 °C do 30 °C) pa je trši in se ga težje preoblikuje, pri 62 °C do 64 °C pa se stopi (Lesar in sod., 2009). Voskane površine so zelo mehke zato se mu dodajajo smole, topila in olja pri čemer postane trši in bolj obstojen.

2.11.1.2 Karnauba vosek

Je rastlinskega izvora, pridobivajo ga z listov palm, ki rastejo v Braziliji, kjer listom služi kot zaščita pred ekstremnimi vremenskimi pogoji. Barva je odvisna od kvalitete voska ter starosti listov. Je najtrši vosek s tem pa ima tudi povezano visoko tališče pri 80 °C do 86 °C med naravnimi voski, daje pri poliranju gladko, sijajno in trdo površino. Velikokrat se ga dodaja drugim voskom kot dodatek za izboljšanje trdote, zvišanje točke tališča, povečanje sijaja ali zmanjšanje lepljivosti. Topljiv je v nepolarnih topilih, kjer se ga uporablja kot samostojnega v trdi obliki, v obliki past ali emulzij.

2.11.1.3 Montanski vosek

Montanski vosek je fosiliziran rastlinski vosek, ekstrahiran iz lignita (Lesar, 2008). Pridobiva se jih z ekstrahiranjem rjavega premoga, ki ga v največji meri najdemo v centralni Nemčiji, vzhodno od reke Elbe, nahajališča pa so tudi drugje po svetu. Uporabljamo ga že več kot 100 let, prvi pa so ga komercialno pričeli uporabljati Nemci. Montanski vosek je mešanica voskov, smol in asfaltnih snovi. Kot ostali rastlinski voski je surov montanski vosek sestavljen iz estrov višjih karboksilnih kislin z višjimi alkoholi in prostih višjih kislin. Druge sestavine, kot so prosti alkoholi ali ketoni, parafini in terpeni, so prisotne le v manjših količinah (Matthies, 2001).

Je izjemno trd, zelo dobro se polira in ne deluje toksično na sesalce. Ena od najbolj pomembnih lastnosti tega voska je tudi sposobnost tvorjenja tankega odpornega filma (Warth, 1959). Vosek je topen v številnih organskih topilih, še posebno v aromatskih in kloriranih ogljikovodikih, celo pri nizkih temperaturah (Heinrichs, 2003). Tališče voska je pri temperaturi med 82 °C in 95 °C. Uporablja se kot polnovreden nadomestek za karnauba vosek. Njegova glavna funkcija je vodoodbojnost površine.

2.11.1.4 Šelakov vosek

Šelak vsebuje le okrog 5 % voska. Šelakov vosek pridobivamo z raztapljanjem šelaka v vodni raztopini sode ter iz izločka insektov. Vosek je trd, rumene do rjave barve. Glavna sestavina voska so estri maščobnih kislin (Cyberlipid, 2008). Topen je v alkoholu in vsebuje 72 % do 83 % snovi, ki se ne dajo umiliti (Lesar in sod., 2009). Uporablja se v proizvodnji lakov in politur in kot zamenjava za karnauba vosek (Cyberlipid, 2008).

2.11.1.5 Parafinski vosek

Kot že omenjeno, parafinski vosek kemijsko ne sodi med voske, vendar ga v to skupino snovi uvrščamo zaradi njegovih fizikalnih lastnosti (Lesar in sod., 2009). Tališče ima pri 48 °C do 66 °C, je brezbarven ter brez vonja. Nerazvejane alkanske verige so glavne sestavine parafinskega voska. Uporablja se kot dodatek lepilu pri proizvodnji vodoodpornih ivernih plošč, kot dodatek v mešanicah z drugimi voski, smolami, pri proizvodnji barv in premazov za izboljšanje hidrofobnosti. Uporabljajo ga v trdnem stanju in v obliki emulzij.

2.11.1.6 Sintetični voski

Glavna sestavina sintetičnih voskov je najpogostejše etilen. Med sintetične voske prištevamo polietilenske (PE), polietilenske voske visoke gostote (HDPE), polipropilenske (PP), kopolimerne etilenske in politetrafluoroetilenske (PTFE) voske. V primerjavi z naravnimi voski imajo sintetični voski večjo uporabnost ter konstantno kakovost kot velika

prednost pred naravnimi pa je tudi nižja cena. Zaradi naštetih lastnosti sintetični voski velikokrat zamenjujejo naravne, na primer karnauba in montana vosek. Sintetični voski so brezbarvni, beli do prozorni in tvorijo čisto talino. Kot drugi voski so pri segrevanju topni v nepolarnih topilih (alifatskih, aromatskih in kloriranih ogljikovodikih), pri ohlajanju pa jih večina kristalizira v zelo fine delce. Točka tališča sintetičnih voskov je odvisna od vrste voska, lahko pa doseže tudi 130 °C ali več (Lesar in sod., 2009).

Nekateri sintetični voski, predvsem polietilenski, do določene stopnje zavirajo tudi razkrojne procese impregniranega lesa. Les, impregniran z vodno emulzijo polietilenskega voska, je bil dobro zaščiten pred delovanjem tramovke, sive hišne gobe, pisane ploskocevke in ostrigarja. Nekoliko manj učinkovito pa je ščitil les pred ogljeno kroglico. Ti podatki nakazujejo možnost uporabe teh spojin tudi v zaščiti lesa (Lesar in sod., 2009).

2.11.2 Vodoodbojna učinkovitost voskov in njihova uporaba

Voski se že od nekdaj uporabljajo za najrazličnejše namene, tako jih lahko uporabimo kot samostojne ali kot dodatke pripravkom (laki, lazure) ali kot dodatek lepilom za povečanje vodoodpornosti, predvsem v obliki vodne emulzije. Poleg lesarstva se voski uporabljajo še v kemični, kozmetični, prehrambeni, elektro, gumarski, letalski, farmacevtski industriji, v medicini, gradbeništvu in pri proizvodnji plastike (Wolfmeier, 2003; SpecialChem, 2008; ChemCor, 2008).

Na učinkovitost vodoodbojnosti vplivajo vrsta, sestava in koncentracija uporabljenega sredstva. Višja kot je, večji je vodoodbojni učinek (Rice in Wang, 2002; Garai in sod, 2005; Zhang in sod., 2007) in boljša je zaščita pred modrivkami in plesnimi (Schultz in sod., 2007; Ghosh, 2008). Z vodoodbojnimi sredstvi na lesu lahko preprečimo ali zmanjšamo kapilarni tok tekoče vode, medtem ko vodoodbojni pripravki ne preprečujejo parne difuzije ali difuzije vezane vode, razen če med impregnacijo ne pride do visoke stopnje zapolnitve por ali tvorjenja filma na celičnih stenah (Lesar in sod., 2009). Po daljšem namakanju lesa, zaščenega s parafinskim voskom v vodi, se pojavi kapilarni tok, ki lahko povzroči navlaževanje lesa tudi nad točko nasičenja celičnih sten (Banks 1973).

Lesene površine, obdelane z voskom, so zmerno odporne na različne tekočine ali reagente (voda, etanol, olivno olje, kava) in toploto (Lesar in sod., 2009). Voskano plast je treba redno vzdrževati in obnavljati. Zelo pomembno je redno čiščenje. Prah in različne smeti namreč lahko hitro poškodujejo plast voska in poslabšajo videz voskanih površin (Petrič, 2002).

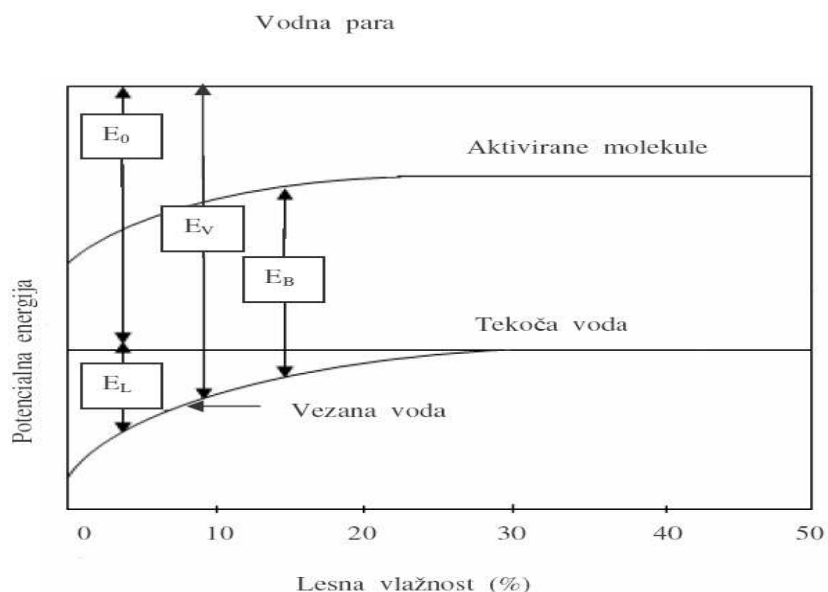
2.12 VLAŽNOST LESA SORPCIJA IN RESORPCIJA

Les je kot naravni material zaradi specifične kemične zgradbe anizotropen, nehomogen material, ki mu v njihajočih klimatskih razmerah niha vlažnost. Prilagajanje lesne vlažnosti spreminjajoči se relativni zračni vlažnosti se odraža v njegovi higroskopnosti kar pomeni posledično sprememba dimenzij (krčenje in nabrekanje). Volumensko krčenje in nabrekanje lesa je enako količini sprejete oziroma oddane vode, ob upoštevanju zgostitve vode v celični steni.

Voda je v svežem lesu kot:

- vezana ali higroskopna voda v celičnih stenah
- prosta ali kapilarna voda v celičnih lumnih
- para v celičnih lumnih (zaradi majhnih količin zanemarljiva)

Higroskopnost je odvisna od števila sorpcijskih mest, oziroma prostih polarnih hidroksilnih skupin, ki so sposobne vezati molekule vode. Ker les ni homogen, niti strukturno niti glede sorpcijske energije, tudi vsa sorpcijska mesta nimajo enake možnosti vezanja vodnih molekul, zato lahko eno sorpcijsko mesto sprejme tudi dve vodni molekuli, medtem ko je sosednje še prazno (Gorišek in sod., 1994). »Sekundarne« molekule imajo manjšo vezalno energijo in se na »primarne« molekule lahko vežejo v več plasteh. Od stenskih sestavin je najbolj higroskopna hemiceluloza, sledijo jim celuloza in lignin, ter nekateri ekstraktivi. Energijske nivoje vezane vode v celični steni v primerjavi z nivojem tekoče vode in vodne pare ponazarja slika 4.



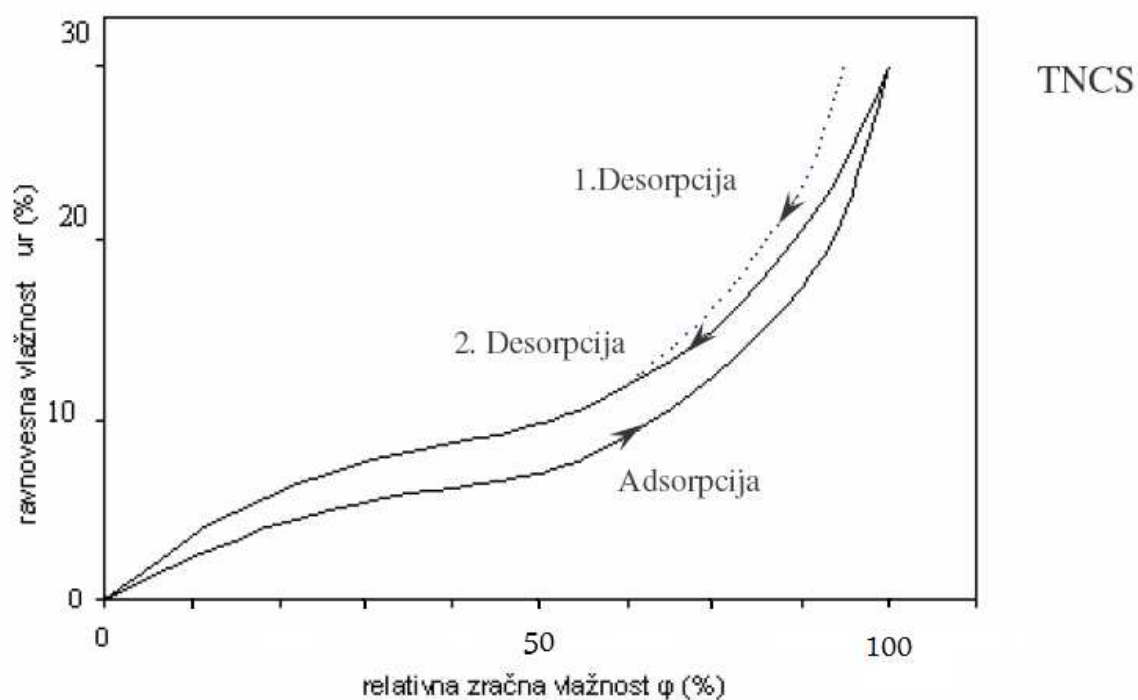
Slika 4: Relativni energijski nivo za vodno paro, aktivirane molekule ter tekočo in vezano vodo (Skaar in Christen, 1988)

2.12.1 Higroskopnost, sorpcija, ravnovesna vlažnost

Les je higroskopen material, ki je vselej bolj ali manj vlažen. Ravnovesna vlažnost lesa je v tesni zvezi povezana s temperaturo in relativno zračno vlažnostjo okolja, v katerem je obdelovanec. Poleg relativne zračne vlažnosti in temperature vplivajo na ravnovesno vlažnost še sorpcijski potek, sorpcijska histereza, kemične lastnosti (ekstraktivi), morebitni predhodni hidrotermični postopki in napetostna stanja (Gorišek in sod., 1994). Odvisnost ravnovesne vlažnosti od relativne zračne vlažnosti izražamo s sorpcijskimi krivuljami, ki jih dobimo s postopnim uravnovešanjem v padajočih (sušenje – desorpcija) oziroma naraščajočih (navlaževanje – adsorpcija) relativnih zračnih vlažnostih. Pri konstantni temperaturi, so sigmoidne in tvorijo zaključeno histerezo zanko.

Zaradi neskladja je ravnovesna vlažnost v procesu adsorpcije vselej nižja od tiste v desorpciji (Slika 5). To velja za sorpcijo pri nižjih temperaturah, medtem ko pri višjih ($T > 70\text{ }^{\circ}\text{C}$), vezi med sosednjimi celuloznimi molekulami začnejo slabiti, zato se razlike v vezavi med adsorpcijo in desorpcijo zmanjšujejo. Neskladje v med ravnovesno vlažnostjo, dobljeno v procesu adsorpcije in desorpcije (razmerje A/D), je praviloma največje v

območju relativne zračne vlažnosti $\Phi = 60\%$ do 80% . V kolikor ravnovesno lesno vlažnost pri postopku adsorpcije delimo z ravnovesno vlažnostjo lesa pri procesu desorpcije, dobimo koeficient, ki označuje razmerje med adsorpcijo in desorpcijo (A/D). Najnižje vrednosti tega koeficienta se gibljejo okoli 0,80.



Slika 5: Sorpcijske izoterme za primarno desorpcijo, adsorpcijo in sekundarno desorpcijo

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Priprava vzorcev

Za eksperimentalni del naloge smo uporabili dve vrsti lesa in sicer smrekovino (*Picea abies* Karst.) in bukovino (*Fagus sylvatica* L.). Vzorci so bili čisti, brez znakov trohnenja ali modrenja, bukovina brez rdečega srca oziroma piravosti. Smrekovina je bila brez kompresijskega lesa ali stržena ter brez smolnih kanalov ali velikih grč, premer posameznih grč je bil manjši od 0,5 cm. Vzorci so bili izdelani iz polradialnih desk dimenzije : 25 × 50 × 500 mm (sliki 6 in 7).



Slika 6: Izdelan vzorec iz smrekovine (*Picea abies*)



Slika 7: Izdelan vzorec iz bukovine (*Fagus sylvatica*)

Pripravili smo 60 vzorcev iz smrekovine in 60 vzorcev iz bukovine. Izdelane vzorce smo oštevilčili s številkami od 1 do 60 ter jih v laboratorijskem sušilniku (Kambič) 24 h sušili ($103 \pm 2^\circ \text{C}$) do absolutno suhega stanja (slika 8).



Slika 8: Sušilnik proizvajalca Kambič

Po sušenju vzorcev smo preizkušance stehali ter podatke beležili v tabelo. Pri tehtanju je bilo pomembno, da je bila tehtnica postavljena na ravna-vodoravna trdna tla (slika 9).



Slika 9: Tehtanje preizkušancev

3.1.2 Priprava raztopin

V potrebe eksperimenta smo pripravili 10 raztopin in sicer: vodno raztopino borove kisline (H_3BO_3) z oznako (Ba), vodno emulzijo polietilenskega voska (We1), emulzijo oksidirane polietilenskega voska ter emulzijo montanskega voska (LGE) z dodano

borovo kislino. Montanski vosek LGE smo dobili pri podjetju SAMSON Kamnik, med tem ko so ostale emulzije proizvajalca podjetja BASF iz Nemčije. Poleg omenjenih emulzij smo v preizkusu uporabili še komercialni pripravek Silvanolin podjetja Silvaproduct ter destilirano vodo, ki smo jo uporabili za mešanje emulzij, da smo dobili različne koncentracije. Relevantne lastnosti uporabljenih emulzij so razvidne iz preglednice 6.

Preglednica 6: Relevantne lastnosti uporabljenih emulzij

Okrajšava	WE 1	WE 6	LGE
Tip voska	polietilenski vosek	oksidiran polietilenski vosek	montanski vosek
Suha snov [%]	34 – 36	33 – 36	11–12
Vrednost pH, 23°C	9 – 10	7.5 – 9.5	4 – 6
Viskoznost (ISO 2431 4 mm) [s]	20 – 36	20 – 60	približno 25
Postopek emulgiranja	neionski	neionski	neionski
Barva	rumenkasta	rumenkasta	mlečna
Povprečna velikost delcev [nm]	100	100	/
Gostota [g/cm³]	~ 1.0	~1.0	~1.0

Uporabljene kombinacije zaščitnih pripravkov:

- vodna emulzija montanskega voska (LGE) (c = 50 % in 100 %) (Samson; Kamnik)
- vodna emulzija polietilenskega voska (We1) (c = 25 % in 50 %) (BASF)
- vodna emulzija oksidiranega polietilenskega voska (We6) (c = 25 % in 50 %) (BASF)
- mešanico emulzije montanskega voska (c = 50 % in 100 %) in borove kisline ($c_B = 0,50$ %)
- vodno raztopino borove kisline (Ba) ($c_B = 0,50$ %)
- mešanico vodne emulzije polietilenskega voska (c = 25 % in 50 %) in borove kisline ($c_B = 0,50$ %)
- mešanico vodne emulzije oksidiranega polietilenskega voska (c = 25 % in 50 %) in borove kisline ($c_B = 0,50$ %)
- Silvanolin (CuEQB) (Silvaprodukt)

3.2 METODE

3.2.1 Označevanje vzorcev

Zaradi velikega števila vzorcev, različnih kombinacij in zaščitnih pripravkov je bilo potrebno zagotoviti preglednost in sledljivost podatkov. Odločili smo se za sistem označevanja, ki je prikazan v preglednicah 7 in 8.

Preglednica 7: Označevanje bukovih vzorcev

SREDSTVO	Koncentracija emulzije	Koncentracija borove kisline	Oznaka vzorcev	Lesna vrsta	Okrajšava
LGE	100 %	/	1 - 5	BUKEV	LGE 100
LGE	50 %	/	6 - 10		LGE 50
We1	50 %	/	11 - 15		We1 50
We1	25 %	/	16 - 20		We1 25
We6	50 %	/	21 - 25		We6 50
We6	25 %	/	26 - 30		We6 25
/	/	0,5 %	31 - 35		Ba 0,5
LGE	100 %	0,5 %	36 - 40		LGE 100 Ba 0,5
We1	50 %	0,5 %	41 - 45		We1 50 Ba 0,5
We6	50 %	0,5 %	46 - 50		We6 50 Ba 0,5
Silvanolin	/	/	51 - 55		CuEQB
voda	/	/	56 - 60		kontrola

Preglednica 8: Označevanje smrekovih vzorcev

SREDSTVO	Koncentracija emulzije	Koncentracija borove kisline	Oznaka vzorcev	Lesna vrsta	Okrajšava
LGE	100 %	/	1 - 5	SMREKA	LGE 100
LGE	50 %	/	6 - 10		LGE 50
We1	50 %	/	11 - 15		We1 50
We1	25 %	/	16 - 20		We1 25
We6	50 %	/	21 - 25		We6 50
We6	25 %	/	26 - 30		We6 25
LGE	100 %	0,5 %	31 - 35		LGE 100 Ba 0,5
/	/	0,5 %	36 - 40		Ba 0,5
We1	50 %	0,5 %	41 - 45		We1 50 Ba 0,5
We6	50 %	0,5 %	46 - 50		We6 50 Ba 0,5
Silvanolin	/	/	51 - 55		CuEQB
voda	/	/	56 - 60		kontrola

3.2.2 Priprava in impregnacija vzorcev

Po pet zaporedno oštevilčenih vzorcev smo položili v kovinsko posodo ter med plasti vstavili plastične mrežice, ki so preprečevale stik vzorcev. Nato smo vzorce obtežili z utežjo ter jih prelili z izbranim zaščitnim pripravkom, kot je razvidno iz slike 10.



Slika 10: Impregniranje vzorcev

Tako pripravljene vzorce smo položili v hermetično zaprto vakuumsko-tlačno komoro KAMBIČ. Po 30 min vakuumiranja (prb. 94 % vakuum), smo vzorce za 2 uri in 45 minut izpostavili nadtlaku 10 bar. Po preteklem času smo vzorce ponovno izpostavili 15 minutnemu vakuumu, kjer se izenači tlak v lesu ter zaradi izcejanja impregnacijskega sredstva iz preizkušancev. Slika 11 predstavlja vakuumsko-tlačno komoro Kambič v kateri smo impregnirali vzorce.



Slika 11: Vakuumsko-tlačna komora Kambič

Nato smo emulzijo odlili, vzorce pobrali iz posod, jih zložili na papirnato brisačo ter ponovno stehali in iz razlike mas pred in po impregnaciji izračunali mokri navzem. Maso absolutno suhega lesa smo odšteli od mase vzorcev po impregnaciji ter tako dobili mokri navzem, ki ga je vpil posamezni vzorec. Zadnjih pet vzorcev nismo impregnirali, saj bodo služili le kot kontrola impregniranih vzorcev.

$$r^{(V)} = \frac{m_2 - m_1}{V_1} [\text{kg} / \text{m}^3] \quad \dots(1)$$

m_1 ... masa preizkušanca pred impregnacijo (kg)

m_2 ... masa preizkušanca po impregnaciji (kg)

r^v ... mokri navzem zaščitnega sredstva (kg/m^3)

V_1 ... volumen preizkušanca (m^3)

Formula za izračun teoretične vlažnosti lesa:

$$\text{MC} = (5\text{RH}^3 - (589,1 - 0,76t)\text{RH}^2 + 100(370,1 - 0,7t)\text{RH} - 100(564,9 - 6,8t))10^{-5} \dots(2)$$

MC ... teoretična vlažnost (%)

RH ... relativna zračna vlažnost (%)

t ... temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Za izračun teoretične vlažnosti lesa smo uporabili zgornjo formulo ... (2) (Timber bridges in Norway, 2004), lahko pa si pomagamo tudi z nomogramom, kjer odčitavamo rezultate iz grafa.

Tako impregnirane vzorce smo zložili v zložaj in jih tri do štiri tedne sušili na zraku. Zatem smo jih ponovno postavili v laboratorijski sušilnik (Kambič) ter jih 24 ur sušili ($103 \pm 2^{\circ}\text{C}$) do absolutno suhega stanja in ponovno zabeležili maso in iz razlik ATRO mas pred in po impregnaciji izračunali suhi navzem. S tem procesom se je preizkus v laboratoriju zaključil.

3.2.3 Spremljanje vlažnosti

Po osušitvi so bili vzorci pripravljeni za izpostavitve na pokritem odprtem mestu. Tako smo v določenih intervalih spremljali maso, relativno zračno vlažnost in temperaturo okolja. Tehtanje vzorcev je potekalo približno enkrat tedensko. V primeru spremembe vremena pa smo tehtanje prilagodili dogajanjem v naravi. Na začetku smo meritve opravljali pogosteje, zaradi hitrejšega navlaževanja, nato smo meritve opravljali enkrat tedensko. Za spremljanje relativne zračne vlažnosti in temperature smo uporabljali 30 minutni spremljevalec (EasyLog USB) (slika 13), ki je redno spremljal podatke ter jih zapisoval v bazo podatkov. Na sliki 12 so predstavljeni vzorci med uravnovešanjem.



Slika 12: Uravnovešanje vzorcev



Slika 13: EasyLog USB ključ za spremljanje relativne zračne vlažnosti in temperature

Vse raziskave so potekale v prvi polovici leta 2009. S tehtanjem vzorcev smo pričeli v začetku februarja 2009 (slika 14), ko smo zabeležili maso vzorcev v naslednjih časovnih obdobjih:

- 3.2. ; 9.2. ; 11.2. ; 13.2. ; 16.2. ; 20.2. ; 25.2.

V marcu smo maso določali:

- 3.3. ; 6.3. ; 11.3. ; 18.3. ; 23.3. ; 30.3.

V aprilu smo maso določali:

- 3.4. ; 9.4. ; 15.4 ; 25.4.

V maju smo maso določali:

- 2.5. ; 9.5. ; 16.5. ; 23.5. ; 29.5.

V juniju smo maso določali:

- 6.6. ; 12.6. ; 20.6. ; 23.5.

V juliju smo opravili še zadnje tehtanje in zaključili z eksperimentom:

- 1.7.



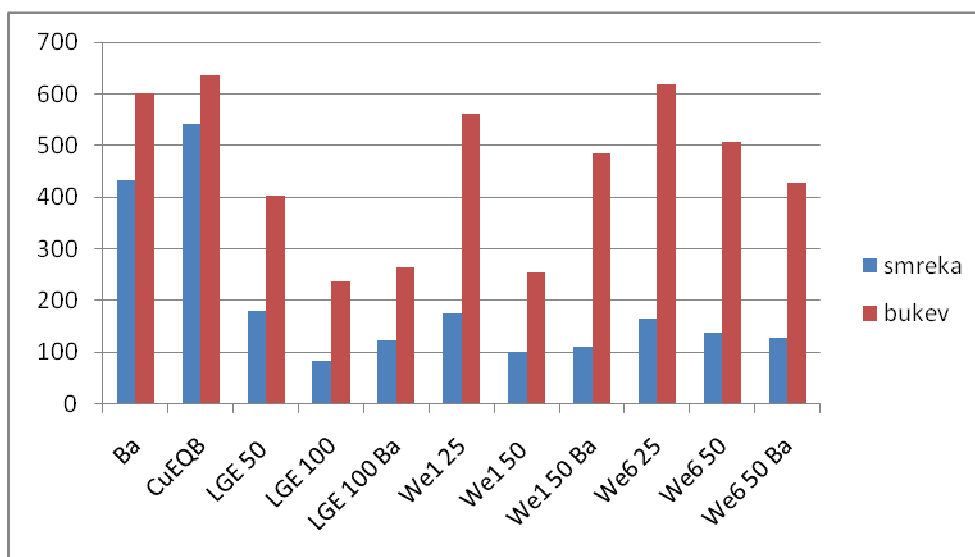
Slika 14: Določanje mase vzorcev

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Les je vedno bolj ali manj vlažen material, ki spreminja vlažnost v odvisnosti od zunanjih vplivov. Njegova vlažnost je v največji meri funkcija temperature in relativne zračne vlažnosti. Visoka vlažnost je potrebna za glivni razkroj. Eden od zaščitnih ukrepov je tako vzdrževanje lesne vlažnosti pod mejo potrebno za biološki razkroj. Zato želimo les zaščititi pred zunanjimi vplivi v današnjih časih s čim bolj naravno in učinkovito zaščito. Še posebej obetajoči so naravni in sintetični voski, ki lesu dajejo vodoodbojno zaščito pred zunanjimi vplivi. Zato smo želeli v pričujoči raziskavi proučiti, kako je od relativne zračne vlažnosti in temperature odvisna vlažnost lesa impregniranega z emulzijo polietilenskega, oksidiranega polietilenskega ter montanskega voska.

4.1 NAVZEM ZAŠČITNIH PRIPRAVKOV

Navzem zaščitnih sredstev, oziroma predvsem mokri navzem je podatek, ki nam pove, koliko zaščitnega sredstva je prodrlo v les med impregnacijo. Rezultati so podani v kg zaščitnega sredstva / m³ lesa.



Slika 15: Mokri navzem zaščitnih pripravkov pri bukovih in smrekovih vzorcih

Iz slike 15 je razvidno, da je bukovina v vseh primerih vpila več zaščitni pripravkov kot smrekovina. Ta razlika je nekoliko manj opazna pri zaščitnih sredstvih brez dodane emulzije, veliko bolje pa pride do izraza v primerih, ko so uporabljeni pripravki vsebovali emulzijo enega izmed uporabljenih voskov. Rezultat je pričakovan, saj smrekovino razvrščamo med težko impregnabilne lesne vrste. Po drugi strani pa je bukovina zaradi večjih prevodnih elementov neotiljenih trahej, bistveno bolj impregnabilna kot smrekovina.

Najbolj hitro in globoko penetracijo dosežemo s sredstvom, ki ima majhno viskoznost, majhen kontaktni kot ter visoko površinsko napetost (Richardson, 1993). Tudi ta literaturna navedba sovpada z našimi podatki, saj se zelo nazorno vidi, da so emulzije z večjim deležem suhe snovi slabše prodrle v les kot pa emulzije, ki so imele manjši delež suhe snovi. S Silvanolinom (CuEQB) smo dosegli največji navzem tako pri bukovini (635 kg/m^3), kot pri smrekovini (541 kg/m^3). Tudi impregnacija na osnovi borove kisline je zelo globoko prodrla v les pri obeh vrstah. Še posebej zadovoljiva je mokri navzem pri smrekovini, saj je navzem vodne raztopine borove kisline (433 kg/m^3) v primerjavi z ostalimi emulzijami veliko večji (1,5 do 4 krat večji).

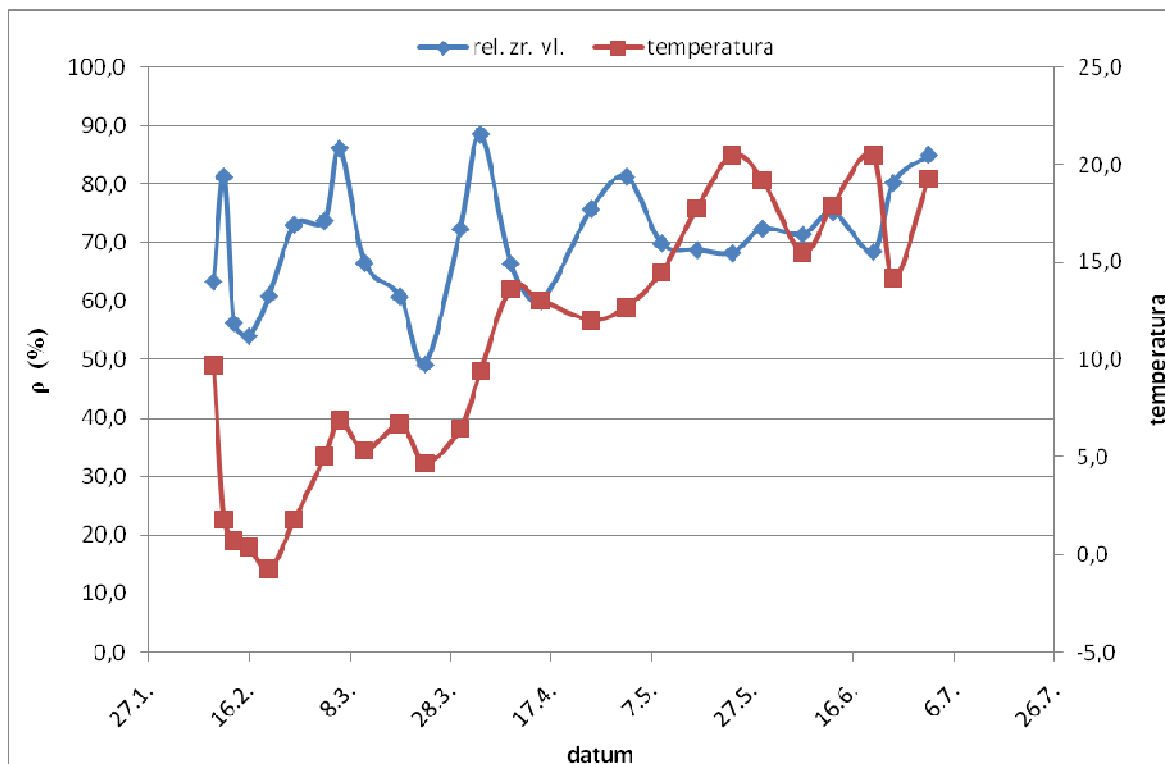
Vodna emulzija montanskega voska (LGE) je najboljše prodrla v les pri 50 % koncentraciji in to tako pri bukovini (403 kg/m^3) kot pri smrekovini (179 kg/m^3). Bistveno slabše prodiranje smo dosegli pri 100 % koncentraciji LGE, saj je mokri navzem znašal pri smrekovini le 84 kg/m^3 , pri bukovini pa 236 kg/m^3 (Slika 15). To je še ena potrditev domneve, da ima suha snov (koncentracija) velik vpliv na prodiranje zaščitnih pripravkov v les.

Tako kot montanski vosek sta se tudi polietilenski (We1) s 619 kg/m^3 , ter oksidiran polietilenski vosek (We6) s 562 kg/m^3 za bukovino ter We1 s 176 kg/m^3 in We6 s 166 kg/m^3 za smrekovino, najboljše prodrli v les pri nižji koncentraciji (manjšim deležem suhe snovi). Primerjava med polietilenskim ter oksidiranim polietilenskim vosku pokaže, da smo najmanjši navzem dosegli pri polietilenskem vosku (We1) 50 % koncentracije in sicer mokri navzem pri bukovini je znašal 253 kg/m^3 pri smrekovini pa 99 kg/m^3 .

Tlak med impregnacijo ima izrazit vpliv na globino penetracije pri lahko impregnabilnih lesnih vrstah, medtem ko ima tlak majhen vpliv na globino penetracije pri težko impregnabilnih lesnih vrstah (Richardson, 1993). Čas impregnacije ima primerljiv vpliv kot tlak, daljši kot je, bolj globoko prodre zaščitni pripravek v les, vendar je vpliv časa večji pri lahko impregnabilnih vrstah (Richardson, 1993). Očitno je, da v našem premeru tlak v komori ni bil zadosten da bi zagotovil boljšo prepojitev smrekovine z vodnimi emulzijami voskov. Pri tem velja omeniti, da je impregnacija potekala pri 10 bar to je maksimalnem tlaku, ki ga komora omogoča. Večina industrijskih procesov ravno tako poteka pri tlakih med 8 in 10 bar (Richardson, 1993).

4.2 RELATIVNA ZRAČNA VLAŽNOST IN TEMPERATURA

Relativna zračna vlažnost in temperatura sta ključna dejavnika, ki predstavljata klimo od katere je odvisna ravnovesna vlažnost vzorcev. Les se s sprejemanjem in oddajanjem vode prilagaja klimi v kateri se nahaja. Relativna zračna vlažnost predstavlja stopnjo nasičenosti zraka z vodno paro oziroma vlago. Z višanjem temperature narašča vlažnost nasičenja, to pa je tudi vzrok, da se relativna zračna vlažnost pri segrevanju zraka zmanjšuje.

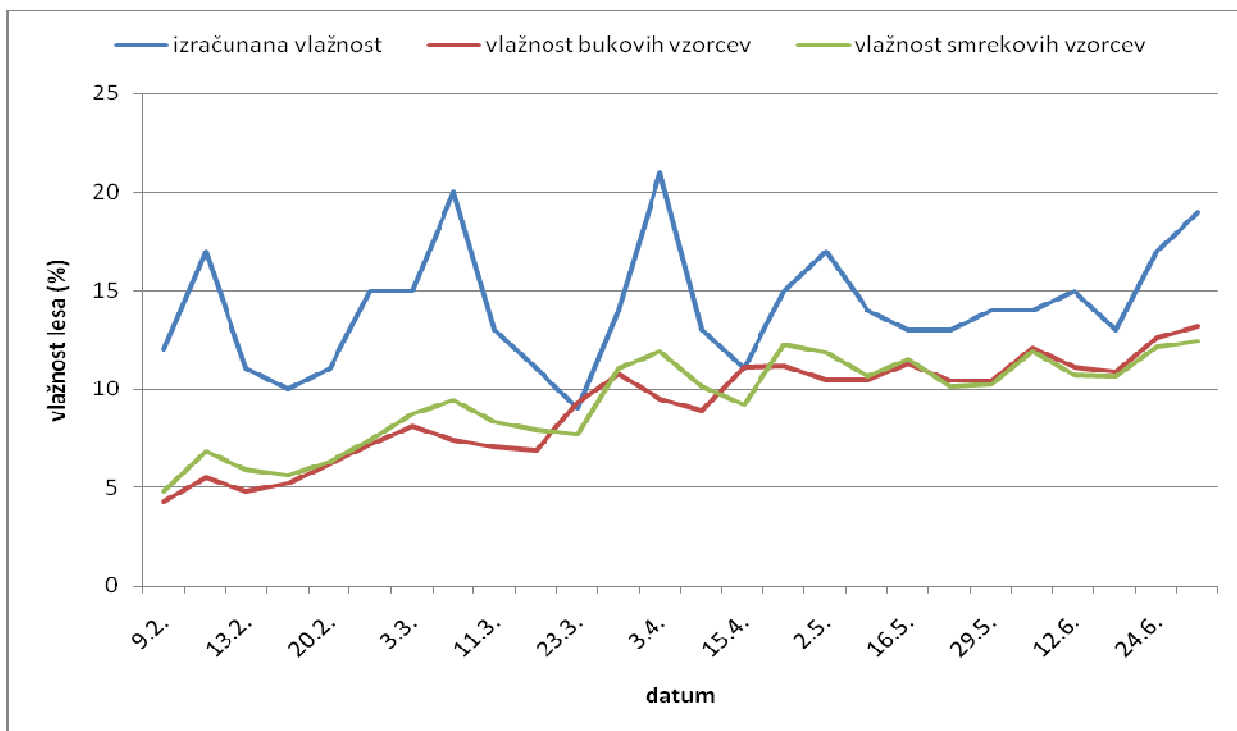


Slika 16: Relativna zračna vlažnost in temperatura v času poteka eksperimenta

Iz slike 16 je razvidno, da je bila najvišja povprečna relativna zračna vlažnost na začetku aprila (88,6 %), najnižja pa okrog 20. marca (49,2 %). Iz slike 16 se ravno tako lepo vidi trend naraščanja povprečne temperature. Najnižja povprečna temperatura (-0,7 °C) se je gibala okrog 20. februarja, najvišja pa okrog 20. maja ter okrog 20. junija, ko je znašala 20,5 °C. V januarju, februarju ter marcu so bila nihanja zračne vlažnosti zelo velika, nato so se v začetku maja nekoliko umirila in postala bolj stanovitna. Temperatura in zračna vlažnost sovpadata s povprečnimi temperaturami najbližje meteorološke postaje, Letališče Ljubljana (Agencija RS za okolje, 2009).

4.3 VLAŽNOST NEIMPREGNIRANIH SMREKOVIH IN BUKOVIH VZORCEV

S kontrolnimi vzorci ugotavljamo, kako in za koliko se dejansko spremeni vlažnost vzorcev med spreminjajočo se klimo, brez kakršnegakoli vpliva kemikalij. Dejansko vlažnost lesa smo primerjali s teoretično vlažnostjo, ki smo jo izračunali na podlagi relativne zračne vlažnosti in temperature.



Slika 17: Vlažnost neimpregniranih smrekovih in bukovih vzorcev

Iz slike 17 je lepo razvidno, da dejanska vlažnost neimpregniranih vzorcev lepo sovпада z naraščanjem oziroma upadanjem z izračunano vlažnostjo. V začetnem obdobju je bila vlažnost lesa bistveno nižja od izračunane, saj smo na prostem uravnovešali suhe vzorce, ki so se šele morali navlažiti. Ta proces je zaradi relativno velikih vzorcev relativno dolgotrajen.

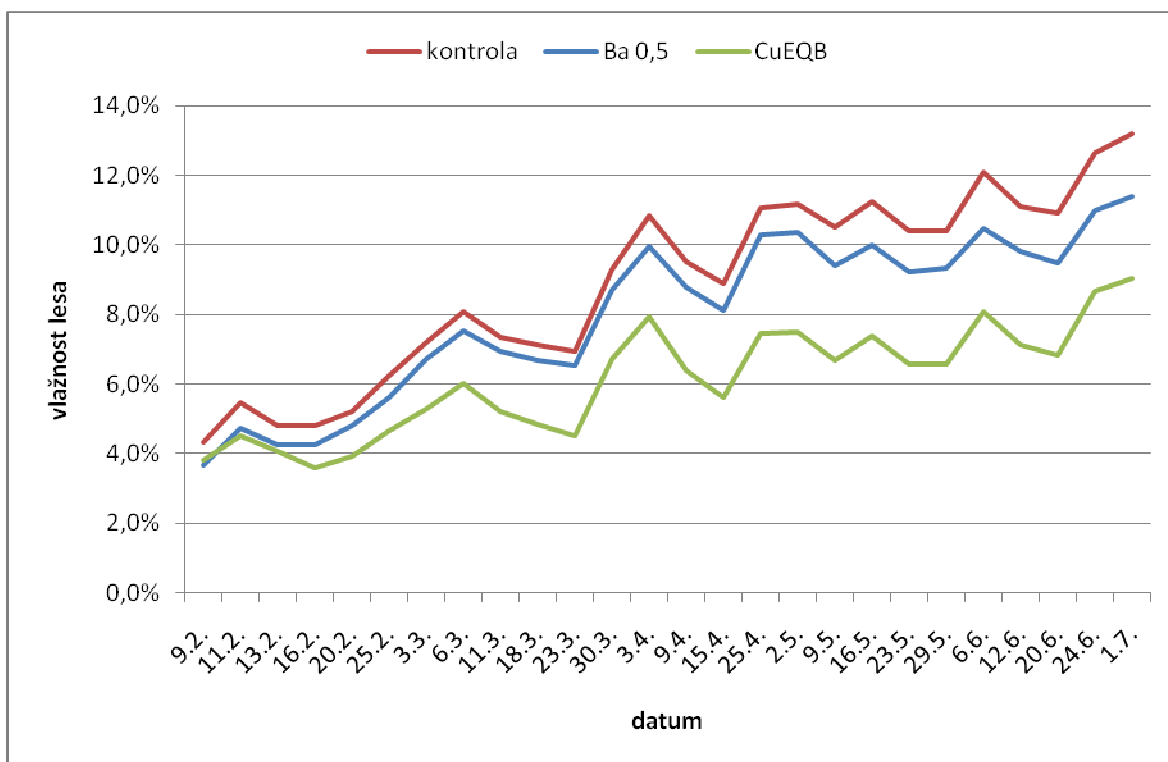
Vlažnost smrekovine je v večini primerov nekoliko višja od vlažnosti bukovine. Za tolikšno nihanje vlažnosti smrekovine je po vsej verjetnosti kriva anatomska zgradba. Že v prvih dneh izpostavitve vzorcev se vidi, da se smrekovina hitreje navlažuje kot bukovina. Nato pa se prične tudi bukovina izraziteje odzivati na spremembe. Nekje v začetku aprila po dveh mesecih izpostavitve vzorcev zunanjim vplivom je odziv smrekovine in bukovine največji, saj izračunana vlažnost krepko preseže 20 %, kar bi lahko pomenilo, če bi bila dejanska vlažnost že blizu izračunane, okužba z glivami. Tolikšno spremembo vlažnosti najverjetneje nakazuje daljše obdobje deževnega vremena, ki vpliva na ravnovesno vlažnost vzorcev. V tem obdobju je vlažnost vzorcev že presegla mejo 10 %.

Po deževnem obdobju ter visoki navlažitvi sledijo manj vlažni in toplejši dnevi, ki vplivajo na to, da se vlažnost vzorcev spet spusti pod 10 %. Nekje v sredini aprila postane vreme ponovno nestanovitno, zato v tem obdobju vzorci ponovno presežejo vlažnost 10 odstotkov, njihova vlažnost pa počasi narašča do naslednje meje pri 15 %.

Vlažnost kontrolnih vzorcev je vedno nekoliko nižja od izračunanih vrednosti. Za to je več razlogov. Zavedati se moramo, da so bili vzorci pred uravnovešanjem posušeni pri 103 °C. Pri tej temperaturi pride že do delne razgradnje hemiceluloz, ki so najbolj higroskopen gradnik celične stene, kar se odraža v nižji ravnovesni vlažnosti (Gorišek, 1994). Po drugi strani pa se moramo zavedati, da je dimenzija vzorcev relativno velika, zato se počasneje odzivajo na spremembe vlažnostim, kot teoretični model.

4.4 VPLIV IMPREGNACIJE LESA Z VODNO RAZTOPINO BOROVE KISLINE IN KOMERCIALNIM PRIPRAVKOM SILVANOLIN NA VLAŽNOST LESA

V praksi se poleg nezaščitenega lesa uporablja veliko lesa impregniranega z različnimi zaščitnimi pripravki. Za zaščito konstrukcijskega lesa, se najpogosteje uporabljajo pripravki na osnovi borovih spojin in baker-etanolaminski pripravki. Zato smo za primerjavo vključili tudi ta dva pripravka. Vlažnost impregniranega lesa smo primerjali z vlažnostjo kontrolnih vzorcev.

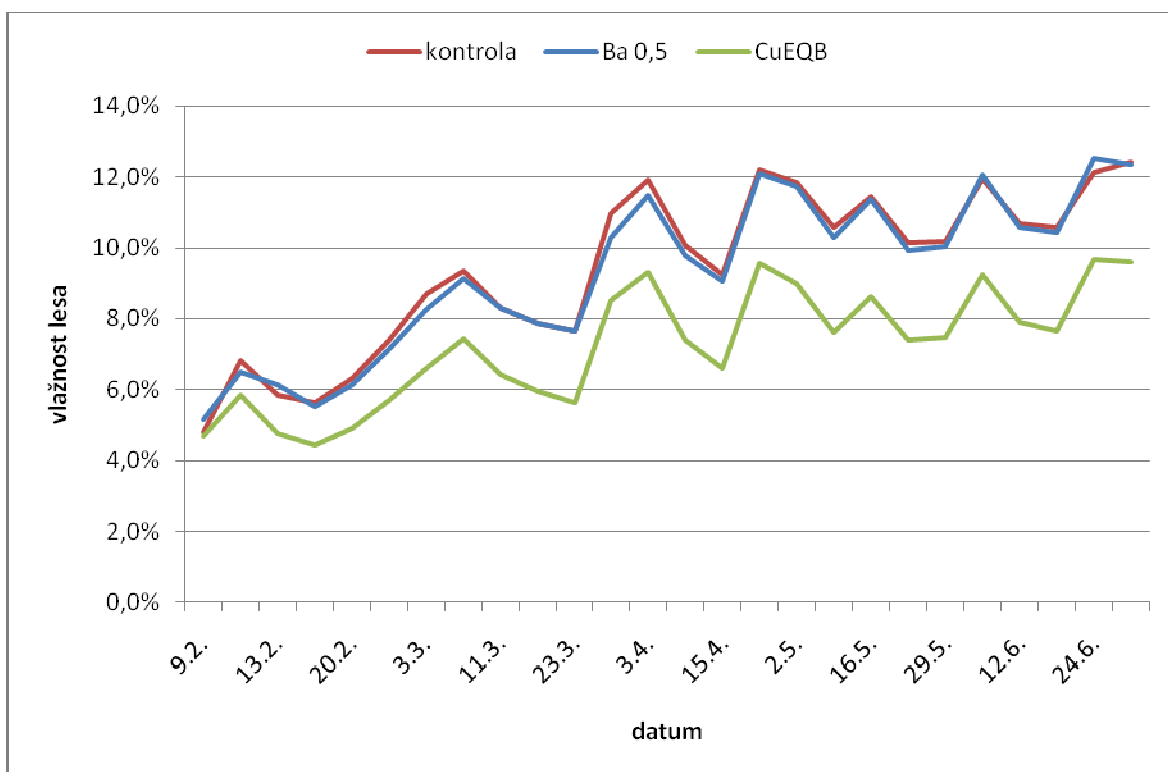


Slika 18: Vpliv impregnacije z zaščitnim pripravkom na osnovi borove kisline oziroma Silvanolinom na vlažnost bukovine

Kot kaže slika 18, je imela impregnacija z vodno raztopino borove kisline ter Silvanolinom pozitiven vpliv na sorpcijske lastnosti lesa. Vlažnost impregniranega lesa je bila vedno nižja od neimpregniranih, kontrolnih vzorcev. Še posebej dobro se je izkazal Silvanolin, saj se vlažnost vzorcev impregniranih s Silvanolinom po petih mesecih ni nikoli dvignila nad mejo 10 % in na ta način še dodatno izboljšala raven zaščite. Nekoliko slabše so se izkazali vzorci impregnirani z borom. Kljub vsemu pa je bila vlažnost z borovo kislino impregniranega lesa nižja od vlažnosti kontrolni vzorcev.

Ta rezultat nas je nekoliko presenetil. Pričakovali smo, da bo vlažnost z anorganskimi pripravki impregniranega lesa višja, kajti borove spojine so znane po svoji higroskopnosti. Temu so vzrok kristalčki, ki se izločajo iz raztopine borove kisline, ter se odložijo v celičnih stenah. Pri tem nastanejo nova mesta za kapilarno kondenzacijo, kar se posledično odraža v višji vlažnosti lesa. Vendar pa velja opomniti, da so ti pojavi značilni za višje relativne zračne vlažnosti nad 90 % (Lesar in sod., 2009).

Poleg tega se moramo zavedati, da je pri sušenju impregniranega lesa zagotovo prišlo do razgradnje hemiceluloz. Borova kislina je, kot že ime pove kislina in pri višjih temperaturah pospeši razgradnjo hemiceluloz. Podoben proces povzroči tudi etanolamin (Kirar, 2007).



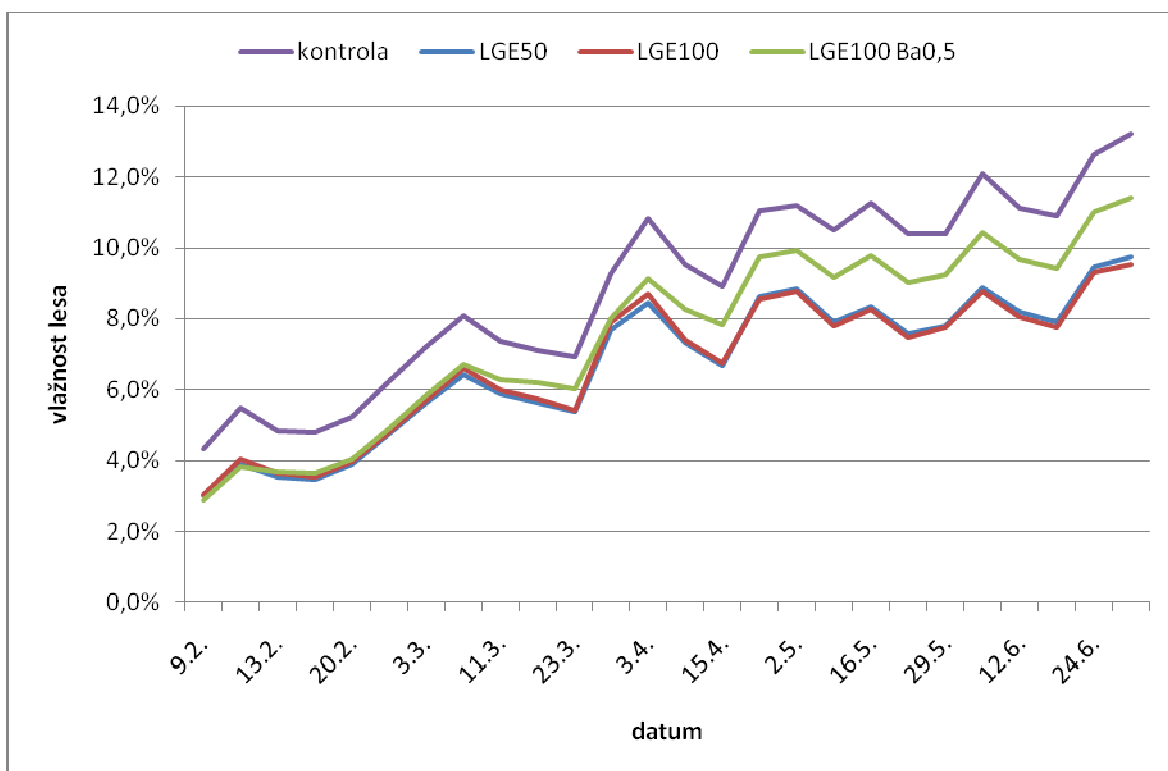
Slika 19: Vpliv impregnacije z zaščitnim pripravkom na osnovi borove kisline oziroma Silvanolinom na vlažnost smrekovine

Pri smrekovini pa je slika nekoliko drugačna kot pri bukovini, namreč vzorci impregnirani z borovo kislino so imeli primerljivo vlažnost kot neimpregnirani vzorci ves čas izpostavitve. Vzorci impregnirani z borovo kislino so vlažnost 10 % presegli že po dveh mesecih. V naslednjih mesecih jim vlažnost ni narasla na več kot 13 %.

Na vzorce impregnirane s Silvanolinom klimatski vplivi niso tako očitno delovali saj se jim vlažnost po petih mesecih izpostavitve ni zvišala nad 10 % vlažnosti. Vzorci impregnirani s Silvanolinom so vlažnost 8 % presegli po dveh mesecih, in v nadaljnjih mesecih izpostavitve ohranjali primerljiv nivo vlažnosti. Vlažnost vzorcev impregniranih s

Silvanolinom, je bila ves čas poteka eksperimenta vsaj za 2 odstotni točki nižja od neimpregniranih vzorcev.

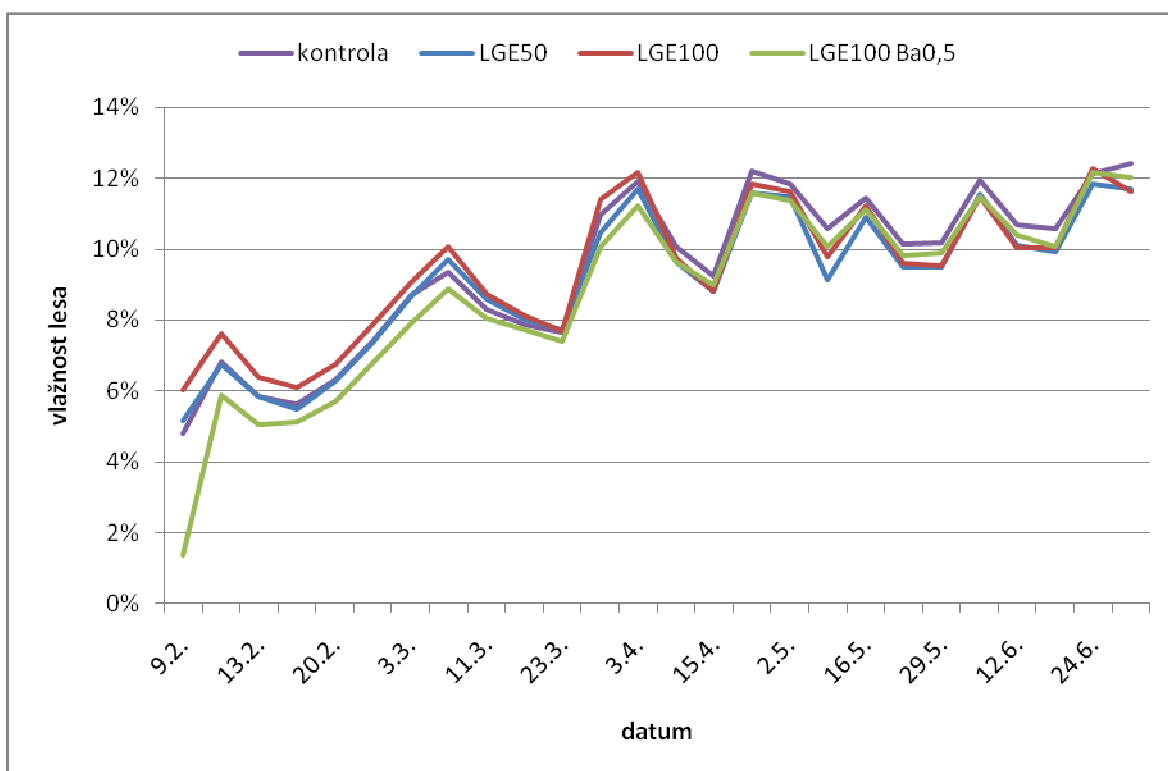
4.5 VPLIV IMPREGNACIJE LESA Z VODNIMI EMULZIJAMI MONTANSKEGA VOSKA NA VLAŽNOST LESA



Slika 20: Vpliv impregnacije s pripravki na osnovi emulzije LGE na vlažnost bukove

Tudi na sliki 20 je lepo razvidno, da so emulzije montanskega voska pozitivno vplivale na sorpcijske lastnosti bukovega lesa. Vzorci impregnirani s pripravki na osnovi emulzije LGE so imeli vedno nižjo vlažnost od neimpregniranega bukovega lesa. Še posebej učinkovita je bila impregnacija z montanskim voskom brez dodatka bora, kajti zaščita pred navlaževanjem je bila primerljiva zaščiti s Silvanolinom. Vlažnost teh vzorcev se v petih mesecih izpostavitve ni nikoli zvišala nad 10 % vlažnost. Ti podatki nakazujejo, da so v impregniranem lesu nastale bariere, ki so preprečevale prodiranje vlage v les. Montanski vosek je vsaj na površini nekaterih celic tvoril film, ki je močno upočasnil predvsem navlaževanje, v nekoliko manjši meri pa tudi sušenje lesa.

Nekoliko slabše se je obnesla impregnacija montanskega voska z dodatkom bora, namreč v prvem mesecu se vzorcem s to impregnacijo vlažnost ni bistveno spreminjala glede na preostale vzorce impregnirane samo z montanskim voskom. V nadaljnjih mesecih (marec, april, maj, junij) pa se je vlažnost tem vzorcem močno začela poviševati ter je v juniju vlažnost že presegla 10 %. Glavni razlog za povišano vlažnost je že omenjena higroskopnost borovih spojin.



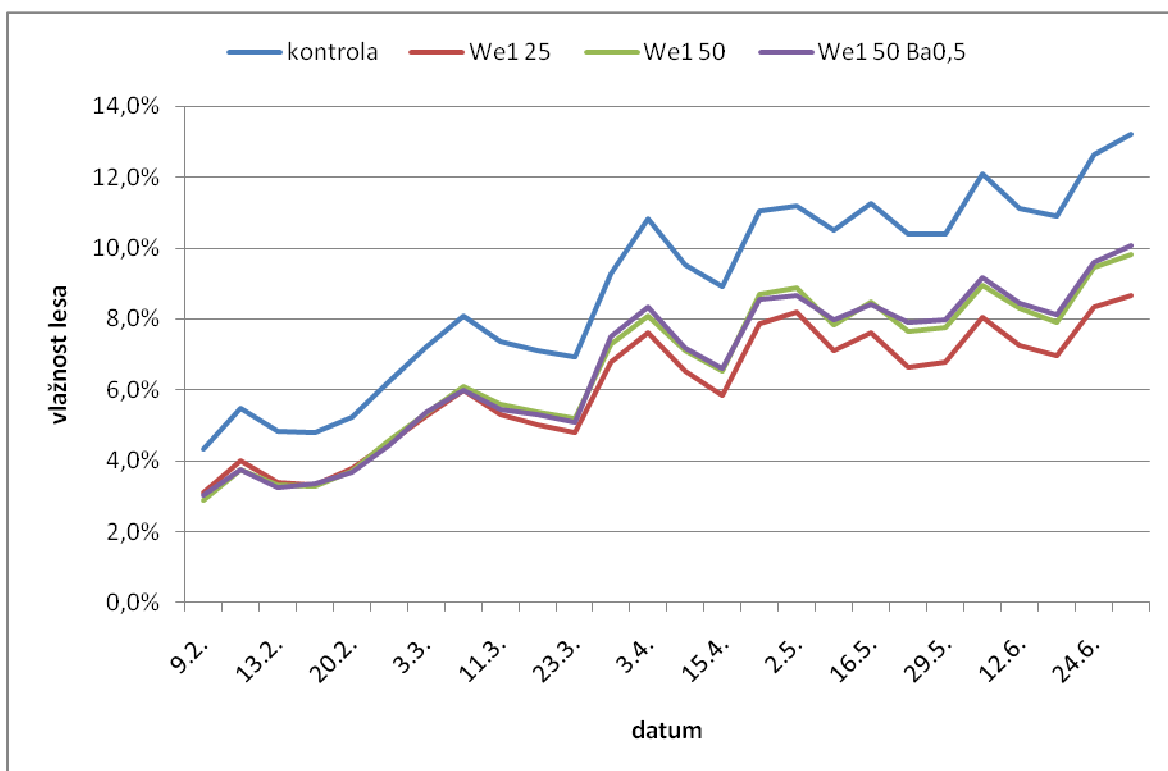
Slika 21: Vpliv impregnacije s pripravki na osnovi emulzije LGE na vlažnost smrekovine

Na smrekovino pa emulzije montanskega voska niso delovale tako pozitivno kot pri bukovini. Ravno obratno, v prvih dveh mesecih izpostavitve je emulzija montanskega voska brez dodatka borove kisline (LGE 100) celo negativno vplivala na vlažnost impregniranih vzorcev. Vlažnost neimpregniranih vzorcev je bila tako v prvih mesecih celo za nekaj odstotkov nižja od vlažnosti impregniranih vzorcev brez dodatka borovih biocidov.

V začetku aprila pa so se vzorci impregnirani z različnimi emulzijami LGE, tako z dodanim borom, kot brez bora, izenačili z vlažnostjo neimpregniranega lesa. Vsi vzorci

tako impregnirani kot neimpregnirani so vlažnost 10 % presegli ob koncu marca. Vlažnost impregniranega in neimpregniranega lesa je zatem nihala med 10 % in 12 % do konca junija.

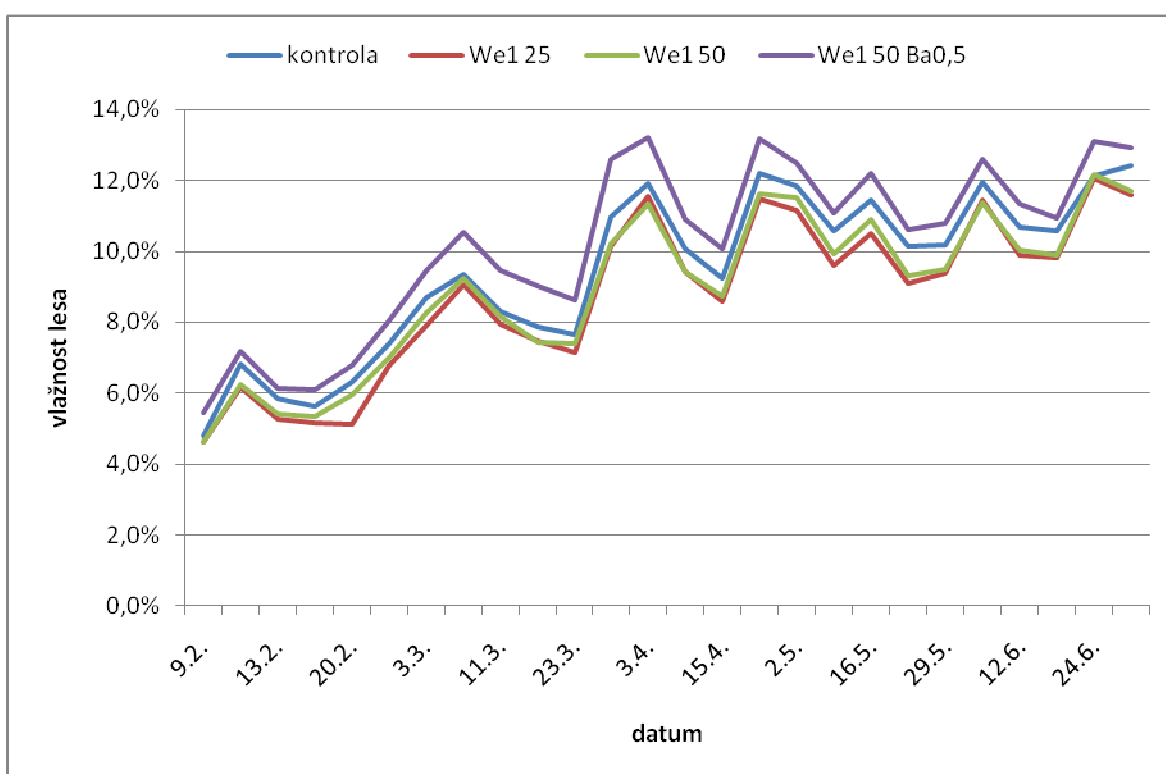
4.6 VPLIV IMPREGNACIJE LESA Z VODNIMI EMULZIJAMI POLIETILENSKIH VOSKOV NA VLAŽNOST LESA



Slika 22: Vpliv impregnacije z emulzijami polietilenskih voskov na vlažnost bukovine

Podobno, kot pri ostalih impregniranih bukovih vzorcih so tudi polietilenski voski pozitivno učinkovali na sorpcijske lastnosti impregnirane bukovine. Najbolje med polietilenskimi voski se je obnesla emulzija We1 s 25 % koncentracijo. Razlog je najverjetneje v globini prodora oziroma velikem mokrem navzemu saj so vzorci impregnirani s to emulzijo vpili največjo količino pripravka med vsemi testiranimi emulzijami. Ta podatek nakazuje, da na sorpcijske lastnosti poleg deleža suhe snovi in suhega navzema, močno vpliva tudi globina prodora zaščitnih sredstev.

Bukovi vzorci impregnirani s polietilenskim voskom 25 % koncentracije so vlažnost 8 % presegli v začetku maja, medtem ko so vzorci impregnirani s polietilenskim voskom 50 % koncentracije ter dodatkom bora, to vlažnost presegli že mesec prej. Bukovina prepojena z emulzijo 25 % koncentracije je ob koncu izpostavitve, oziroma konec junija, dosegla vlažnost le okrog 7 %, po drugi strani pa je vlažnost vzorcev zaščiteneh z emulzijo We1 50 % koncentracije v istem obdobju že dosegla ali celo presegla 10 %. Kontrolni neimpregnirani vzorci so do konca poizkusa že za skoraj 4 odstotne točke presegli vlažnost impregniranih vzorcev.

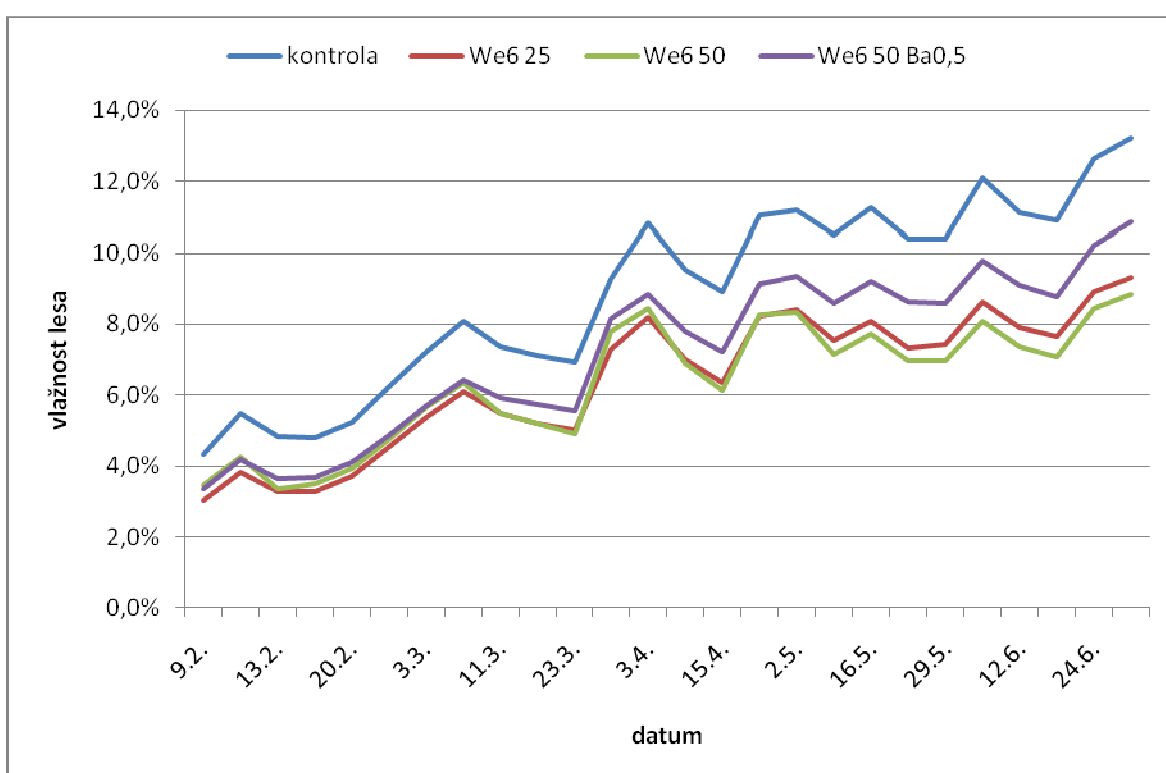


Slika 23: Vpliv impregnacije z emulzijami polietilenskih voskov na vlažnost smrekovine

Tudi na sliki 23 je dobro razvidno, da impregnacija z emulzijami polietilenskih voskov We1, ni bistveno vplivala na sorpcijske lastnosti smrekovine. Ponovno so se najbolj navlaževali vzorci impregnirani z emulzijo We1 ter dodatkom borove kisline. Vlažnost teh vzorcev je bila vselej višja od neimpregniranih ter tudi vzorcev prepojenih z emulzijami We1 brez dodanih borovih biocidov. Vlažnost 10 % so vzorci impregnirani z emulzijo We1 in borovo kislino, presegli že v začetku marca, do konca junija pa so ti vzorci že dosegli vlažnost 13 %.

Vlažnost preostalih impregniranih vzorcev pa je ves čas za kakšno odstotno točko zaostajala za vlažnostjo neimpregniranih vzorcev. Vlažnost 10 % so vzorci prepojeni z emulzijo We1 brez dodanega bora, presegli nekje ob koncu marca, do konca junija oziroma do konca izpostavitve klimi pa so vzorci dosegli vlažnost okoli 12 %.

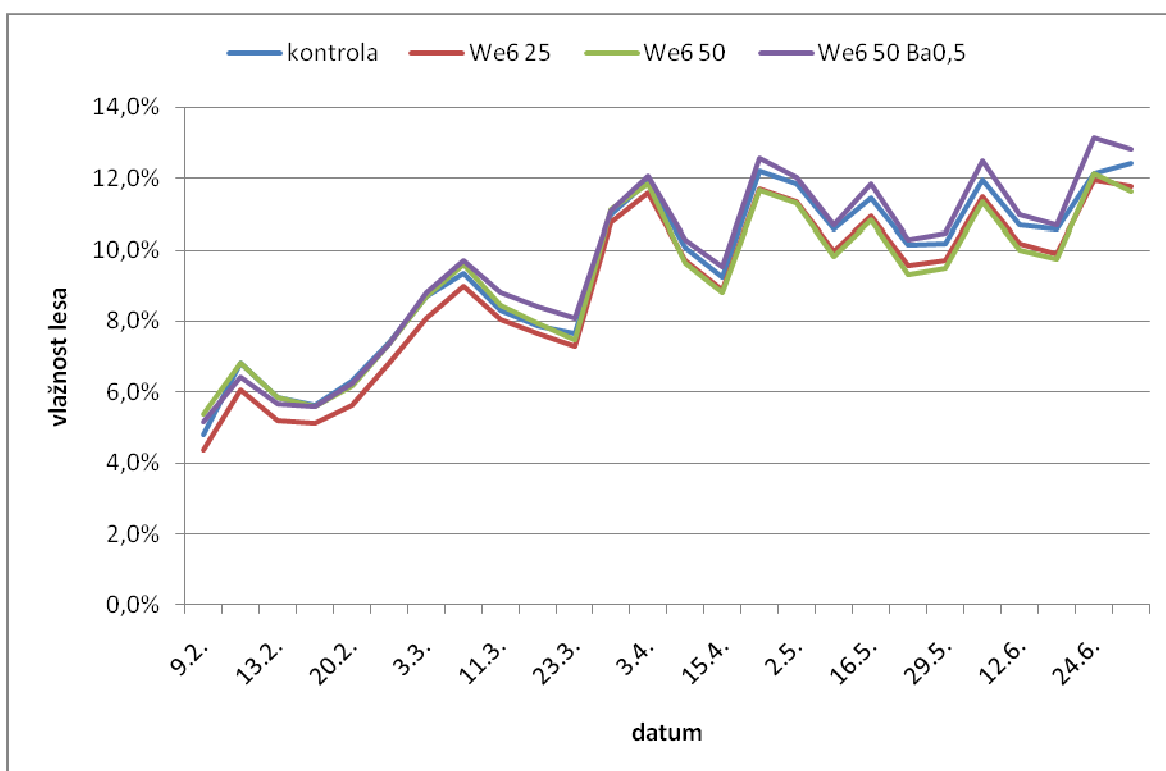
4.7 VPLIV IMPREGNACIJE LESA Z VODNIMI EMULZIJAMI OKSIDIRANIH POLIETILENSKIH VOSKOV NA VLAŽNOST LESA



Slika 24: Vpliv impregnacije z oksidiranimi polietilenskimi voski na vlažnost bukovine

Slika 24 ponovno prikazuje dobro impregnabilno bukovino ter z njo povezane boljše sorpcijske lastnosti z oksidiranimi polietilenskimi voski impregniranega lesa. Impregnacija bukovine z emulzijami oksidiranega polietilenskega voska se je ponovno odlično obnesla, saj je bila vlažnost impregniranega lesa vedno nižja od vlažnosti neimpregniranih vzorcev. Toda primerjava polietilenskega (We1) ter oksidiranega polietilenskega (We6) voska, je pokazala, da se je polietilenski vosek bolje odrezal. Bukovina prepojena z emulzijami We1 je imela vselej nižjo vlažnost kot bukovina prepojena z emulzijami We6 (sliki 22 in 24).

Podobno kot pri bukovini prepojeni z emulzijama LGE in We1, so tudi pri bukovih vzorcih zaščitnih s pripravki na osnovi emulzij We6, imeli nekoliko višjo vlažnost vzorci, kjer smo v zaščitni pripravek dodali borove spojine. Pri teh vzorcih je vlažnost lesa ob koncu junija nekoliko presegla 10 %. Ostali vzorci impregnirani z oksidiranim polietilenskim voskom so se do začetka aprila navlažili do vlažnosti okrog 8 %, nato jim je vlažnost nekoliko nihala in ob koncu junija dosegla vrednosti okoli 9 %.



Slika 25: Vpliv impregnacije z oksidiranimi polietilenskimi voski na vlažnost smrekovine

Prav tako kot smo že poročali, pri vzorcih smrekovine impregniranih z emulzijami polietilenskih ter montanskih voskov, so se tudi vzorci impregnirani z oksidiranim polietilenskim voskom navlaževali primerljivo kot neimpregnirani vzorci. Vlažnost vseh vzorcev se ves čas izpostavitve ni razlikovala za več kot 1 odstotno točko. Vsi vzorci tako impregnirani kot neimpregnirani so vlažnost 10 % dosegli in presegli že konec marca, do konca junija pa je njihova vlažnost narasla že na 12 %.

Med vsemi vzorci tako impregniranimi kot neimpregniranimi, so se najslabše izkazali vzorci impregnirani z oksidiranim polietilenskim voskom z dodatkom bora, njihova vlažnost je konec junija presegla 13 % vlažnost. Med oksidiranimi polietilenskimi voski so ti vzorci navzeli tudi najmanj zaščitnega pripravka, v povprečju le okrog 127 kg/m³.

5 SKLEPI

- Bukovina je med postopkom impregnacije vpila mnogo več zaščitnih pripravkov na osnovi različnih emulzij voskov, kot pa smrekovina. Najpomembnejši razlog za opisano razliko je v anatomski zgradbi, ki se odraža v zelo slabo impregnabilni smrekovini.
- Med vsemi testiranimi pripravki, sta v les najboljše prodrli vodotopna priprava brez dodanih emulzij voskov in sicer Silvanolin in vodna raztopina borove kisline.
- Vlažnost neimpregniranih bukovih ter smrekovih vzorcev, je za kakšno odstotno točko ali dve zaostajala za teoretično vlažnostjo lesa, ki smo jo izračunali na osnovi klimatskih podatkov.
- Najnižje vlažnosti so med testiranjem dosegli bukov in smrekovi vzorci prepojeni s komercialnim pripravkom Silvanolin. Razlog za to je dejstvo, da je med impregnacijo, fiksacijo in sušenjem prišlo do delne razgradnje najbolj higroskopnega dela celične stene, hemiceloze.
- Impregnacija z borovo kislino ni imela vpliva na vlažnost smrekovine med izpostavitvijo. Po drugi strani pa so imeli bukov vzorci, prepojeni z vodno raztopino borove kisline za odstotno točko nižje vlažnosti, kot kontrolni neimpregnirani vzorci.
- Impregnacija z vodno emulzijo montanskega (LGE), polietilenskega (We1) oziroma oksidirane polietilenskega voska (We6) voska se je odražala v nižjih vlažnostih impregniranega lesa bukovine, po drugi strani pa ni imela vpliva na vlažnost smrekovega lesa. Ocenjujemo, da tiči glavni vzrok za razliko v dejstvu, da so bili bukov vzorci zaradi boljše impregnabilnosti bolj prepojeni, kot smrekovi vzorci. Med vsemi testiranimi vzorci so se najboljše obnesli pripravki na osnovi polietilenske emulzije.
- Dodatek borove kisline v vodne emulzije voskov je imel negativen vliv na vlažnost lesa. Vlažnost lesa impregnirana z emulzijami z dodanimi borovimi spojinami je bila v večini primerov višja od vlažnosti lesa ki so bili impregnirani z primerljivo emulzijo brez dodanega bora.

- Vodne emulzije voskov so učinkovito znižale ravnovesno vlažnost bukovega lesa, saj so ga med postopkom impregnacije dobro prepojile. V kolikor bi želeli znižati tudi ravnovesno vlažnost smrekovega lesa, bi morali zagotoviti boljše prodiranje vodnih emulzij voskov. To pa je lahko predmet ene izmed naslednjih raziskav.

6 POVZETEK

Okoljska zavest kupcev o škodljivosti biocidnih zaščitnih pripravkov je vzrok za raziskovanje oziroma razvoj novih neškodljivih oziroma manj škodljivih rešitev za zaščito lesa. Kot ena od možnih rešitev, v zadnjem času proučujemo tudi uporabo naravnih voskov, s katerimi znižati vlažnost lesa in ga tako zaščititi pred glivnim razkrojem.

V tem raziskovalnem delu smo si zastavili vprašanje, kako učinkovito bodo montanski, polietilenski ter oksidirani polietilenski voski zaščitili les pri izpostavitvi lesa realnim klimatskim pogojem. Za preizkus smo uporabili voske v različnih razmerjih, nekatere mešanice tudi z dodatkom borove kisline. Za realno sliko smo pustili nekaj vzorcev neimpregniranih. Poleg neimpregniranih vzorcev smo za preizkus uporabili tudi vzorce impregnirane s klasičnim pripravkom Silvanolin ter nekaj vzorcev impregniranih z borovo kislino. Za testne vzorce smo uporabili dve najbolj pogosti slovenski vrsti in sicer les bukve ter smreke.

Ugotovili smo, da je mnogo bolj impregnabila bukovina vpila več emulzije kot smrekovina s tem smo dosegli tudi večji mokri navzem bukovine. Zato je bila vlažnost bukovine impregnirane z različnimi emulzijami voskov v vseh primerih manj vlažna od kontrolnih neimpregniranih vzorcev bukovine. Najbolje, tako na bukovini kot na smrekovini se je izkazal klasičen biocidni pripravek Silvanolin, kajti vzorci s tem pripravkom niso nikoli presegli vlažnosti 8 %. Ugotovljeno je bilo, da nobeden od voskov smrekovine ni zaščitil v zadostni meri. Celo obratno, emulzije z dodatkom borove kisline so negativno vplivale na sorpcijske lastnosti smrekovine.

Poleg tega je bilo ugotovljeno, da so se vzorci najhitreje navlaževali v deževnem vremenu, kjer je bila ugotovljena tudi najvišja zračna vlažnost in obratno ob sušnih toplih dnevih najhitrejša osušitev vzorcev.

S tem preizkusom lahko sklepamo, da so naravni montanski, polietilenski ter oksidirani polietilenski voski v zadostni meri zaščitili les bukovine in s tem preprečili hitrejšo

navlažitev teh vzorcev. Zapišemo lahko tudi, da voski niso pozitivno vplivali na smrekovino, kar se je izkazalo v višjih vlažnostih impregniranih vzorcev.

7 VIRI

- Agencija republike Slovenije za okolje.
www.arso.gov.si
- Banks W. B. 1973. Water uptake by Scots Pine Sapwood, and its Restriction by the Use of Water Repellents. *Wood Science and Technology*, 7: 271-284
- Benko R., Kervina H. L., Gruden M. 1987. Patologija lesa. Lesna fitopatologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 122 str.
- Cyberlipid. 2008. Waxes.
<http://www.cyberlipid.org/wax/wax0001.htm#top> (19. 8. 2008).
- ChemCor. 2008. About wax.
<http://www.chemcor.net/wax%20types,vegtetable%20wax.htm> (29. 8. 2008).
- Dinwoodie J. M. 2000. Timber : its nature and behaviour. London, E & FN Spon: 257 str.
- Dickinson D. J., Murphy R. J. 1989. British Wood Preservers Association Annual Convention, Paper 6.
- Evans F.G. 2004. Timber bridges in Norway.
- Gorišek Ž. 2004. Zgradba in lastnosti njegova variabilnost in heterogenost. Interno gradivo za predmet Tehnologija lesa.
- Gorišek Ž., Geršak M., Čop T., Velušček V., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. 1. natis. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije, Lesarska založba: 235 str.
- Heinrichs F.L. 2003. Montan wax. V: *Ullman's encyclopedia of industrial chemistry*, Vol. 39, 3. izdaja (Ur.), Bhonet M. Wiley-VCH, Weinheim: 154-159
- Kirar S. 2007. Mehanske lastnosti lesa impregniranega s pripravki na osnovi bakra in etanolamina. Diplomsko delo. Visokošolski strokovni študij. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 47 str.
- Humar M. 2004a. Zaščita lesa s kemičnimi sredstvi. *Kemija v šoli*, 16, 3: 21-26
- Humar M. 2004. Zaščita lesa danes-jutri. *Les*, 56, 6: 184-185

- Humar M. 2006. Zaščita lesa. Zapiski iz predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Humar M. 2008. Zaščita lesa - Kam gremo? V: Gradnja z lesom - izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 102-107
- Jonge I. J. 1987. The efficiency of wood preservative preparations. International Research Group for Wood Preservation. IRG/WP 3400: 7 str.
- Kervina – Hamović L. 1990. Zaščita lesa. Ljubljana, BF – Oddelek za lesarstvo: 126 str.
- Lesar B., Humar M. 2007a. Borove spojine za zaščito lesa. I Del: Zgodovina in toksične lastnosti. Les, 59, 177-180
- Lesar B., Humar M. 2007b. Borove spojine za zaščito lesa. II. Del: Vezava v les ter fungicidne in insekticidne lastnosti. Les, 59, 9-10: 216-222
- Lesar B., Humar M., Zupančič M. 2008. Mikroskopska analiza lesa, impregniranega z vodno emulzijo montana voska. Les, 60, 9: 320-326
- Lesar B., Petrič M., Kričej B., Humar M. 2009. Voski in njihova uporaba v lesarstvu. Les, 61, 5: 188-193
- Lesar B., Gorišek Ž., Humar M. 2009. Sorption Properties of Wood Impregnated with Boron Compounds, Sodium Chloride and Glucose. Drying Technology, 27: 1, 94 -102
- Matthies L. 2001. Natural montan wax and its raffinates. European Journal of Lipid Science and Technology, 103: 239-248
- Petrič M. 2007. Površinska obdelava lesa. Zapiski iz predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Pohleven F. 2008. Konstrukcijska zaščita lesa pred škodljivci. V: Gradnja z lesom - izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 96-100
- Rice R.W., Wang C. 2002. Assessing the effect of swelling pressures in particleboard and MDF acoustic emission technology. Wood and Fiber Science, 34, 4: 577-586
- Richardson B.A. 1993. Wood preservation. 2.izd. London, E & FN Spon: 226 str.

- Skaar C. 1988. Wood Water relations. Berlin, Heilderberg, New Yort, Tokyo, Springer – Verlag: 283 str.
- SpecialChem (2008) Wax Emulsions Center.
<http://www.specialchem4coatings.com/tc/wax/index.aspx?id=waxes> (27. 8. 2008).
- Schultz T.P., Darrel D. N., Ingram L. L. 2007. Laboratory and outdoor water repellency and dimensional stability of southern pine sapwood treated with waterborne water repellent made from resin acids. *Holzforschung*, 61: 317-322
- Tavzes Č. 2003. Proučevanje encimskih in neencimskih procesov razgradnje lesa. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 138 str.
- Tišler V. 1989. Bio-površinski premazi. Poročilo o delu za leto 1989. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, VDO Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 103 str.
- Warth A.H. 1959. He chemistry and Technology of Waxes. New York, Reinhold Publishing cooperation: 2 str.
- Wolfmeier U. 2003. Waxes. V: Ullman's encyclopedia of industrial chemistry, Vol. 39, 3. izdaja (Ur.), Bhonet M. Wiley-VCH, Weinheim: 136-141

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Mihi Humarju za pomoč in usmerjanje pri pisanju diplomske naloge, ter mlademu raziskovalcu Boštjanu Lesarju za pomoč pri eksperimentalnem delu diplomske naloge.

Hvala tudi prof. dr. Željku Gorišku za strokovno recenzijo diplomskega dela in za vse nasvete, ki sem jih pridom uporabil pri pisanju naloge.

V veliki meri pa se zahvaljujem svoji puncici Kristini, ki me je ves čas študija bodrila ter bratu Roku.