

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Darja MATKO

**HIDROFOBNOŠT LESA IMPREGNIRANEGA S PRIPRAVKI NA
OSNOVI LANENEGA, TUNGOVEGA IN RUSTIKAL OLJA TER
PARAFINSKIH EMULZIJ**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**HYDROPHOBICITY OF WOOD IMPREGNATED WITH SOLUTIONS BASED
ON LINSEED, TUNG AND RUSTIKAL OILS AND PARAFFIN EMULSIONS**

GRADUATION THEISIS
University studies

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo v Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa na Oddelku za lesarstvo, Biotehniške fakultete na Univerzi v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Miho Humarja, za somentorja dr. Boštjana Lesarja in za recenzenta prof. dr. Marka Petriča.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Darja Matko

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn
DK UDK 630*841
KG zaščita lesa/tungovo olje/parafinska emulzija
AV MATKO, Darja
SA HUMAR, Miha (mentor)/LESAR, Boštjan (somentor)/PETRIČ, Marko (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2012
IN HIDROFOBNOŠT LESA IMPREGNIRANEGA S PRIPRAVKI NA OSNOVI
LANENEGA, TUNGOVEGA IN RUSTIKAL OLJA
TER PARAFINSKIH EMULZIJ
TD Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP IX, 67 str., 6 pregl., 42 sl, 57 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Les, proizvod narave, material preteklosti, se je izkazal za nenadomestljivega. Njegova uporaba se iz dneva v dan povečuje. Sam les pa na žalost ni dovolj odporen, zato ga je treba predhodno zaščititi. Uporaba nebiocidnih pripravkov, kot so olja in voski z drugimi učinkovinami, je vse bolj pogosta. Da bi ugotovili, kakšna je njihova samostojna funkcija, smo na bukovini in smrekovini uporabili različna hidrofobna sredstva: laneno, tungovo in rustikal olje ter parafin in protektin. Polovico vzorcev smo izpostavili visoki relativni zračni vlažnosti, druge pa potopili v vodo. S spremljanjem mas in dimenzij smo dobili navzeme hidrofobnih pripravkov. Bukovina je bolj impregnabilna kot smrekovina, kar se odraža v večjem navzemu. V danih pogojih se je protektin kljub največjemu navzemu izkazal za najmanj učinkovitega. Med preizkušanjem, potapljanjem in kondicioniranjem v komori z visoko vlažnostjo, smo najnižje vlažnosti in s tem najboljše rezultate dosegli z vzorci, zaščitnimi s tungovim oljem pri obeh lesnih vrstah. Zaščita s tungovim, rustikal in lanenim oljem bolj učinkovito ščiti les pred navlaževanjem kot parafinska emulzija in protektin.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 630*841
CX wood protection/tung oil/paraffin emulsion
AU MATKO, Darja
AA HUMAR, Miha (supervisor)/LESAR, Boštjan (co-supervisor)/PETRIČ, Marko (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
PY 2012
TI HYDROPHOBICITY OF WOOD IMPREGNATED WITH SOLUTIONS BASED ON LINSEED, TUNG AND RUSTIKAL OILS AND PARAFFIN EMULSIONS
DT Graduation Thesis (University studies)
NO IX, 67 p., 6 tab., 42 fig., 57 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Wood, as product of nature and so much used in the past, still proves to be irreplaceable. Its usage increases constantly from day to day. Unfortunately, it is not resistant enough. Therefore, it has to be protected, especially when used in outdoor conditions. The use of non-biocidal solutions, such as oils and waxes, is increasing. To research non-biocidal solutions used to protect wood without biocidal ingredients, beech and spruce wood specimens were protected with different hydrophobic preparations: linseed, tung, rustikal oils, paraffin and protektin wax emulsions. Some samples were exposed to very high relative humidity, others just immersed in water. During the experiment, the weight and dimensions were monitored. Beech wood was more impregnable than spruce wood, reflected in higher retention values. The highest retention was obtained with protektin. Nevertheless; this solution exhibited the worst hydrophobicity. In both wood species, the tung oil proved to be the best. The results show that tung oil treated wood has the lowest humidity, regardless the method used. Tung, rustikal and linseed oil have better hydrophobic properties than paraffin emulsion and protektin.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	2
1.2 CILJI NALOGE	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 LES	3
2.2 BUKEV	4
2.3 SMREKA	5
2.4 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA	6
2.5 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA	10
2.5.1 Glive	10
2.6 ZAŠČITA LESA	11
2.7 NARAVNA ZAŠČITNA SREDSTVA	12
2.8 NARAVNA OLJA	13
2.9 VOSKI	14
2.10 UPORABLJENA HIDROFOBNA SREDSTVA	16
2.10.1 Laneno olje	16
2.10.2 Tungovo olje	17
2.10.3 Rustikal olje	19
2.10.4 Parafinska emulzija	19
2.10.5 Protektin	20
3 MATERIALI IN METODE	21
3.1 MATERIALI	21
3.1.1 Uporabljen les	21
3.1.2 Uporabljena impregnacijska sredstva	21
3.2 METODE	22
3.2.1 Priprava vzorcev	22
3.2.2 Impregnacija vzorcev	23
3.2.3 Določevanje hitrosti navlaževanja	26
3.2.3.1 Navlaževanje vzorcev na zraku	27
3.2.3.2 Navlaževanje vzorcev v vodi	30
3.2.4 Določanje vlažnosti in spremembe mase	32
4 REZULTATI	33
4.1 NAVZEM IMPREGNACIJSKIH SREDSTEV	33
4.2 NAVLAŽEVANJE VZORCEV NA ZRAKU	35
4.2.1 Navlaževanje vzorcev, impregniranih z lanenim oljem in protektinom v komori z RH = 87 %	37

4.2.2	Navlaževanje vzorcev, impregniranih s parafinsko emulzijo v komori z RH = 87 %	39
4.2.3	Navlaževanje vzorcev, impregniranih z rustikal oljem v komori z RH = 87 %	41
4.2.4	Navlaževanje vzorcev, impregniranih s tungovim oljem v komori z RH = 87 %	43
4.3	NAVLAŽEVANJE VZORCEV V VODI	45
4.3.1	Navlaževanje vzorcev, impregniranih z lanenim oljem in protektinom v vodi.....	47
4.3.2	Navlaževanje vzorcev, impregniranih s parafinsko emulzijo v vodi	49
4.3.3	Navlaževanje vzorcev, impregniranih z rustikal oljem v vodi	51
4.3.4	Navlaževanje vzorcev, impregniranih s tungovim oljem v vodi.....	53
4.4	SPREMEMBA DIMENZIJ	55
5	SKLEPI	59
6	POVZETEK.....	61
7	VIRI	63
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

str.

Preglednica 1: Razvrstitev jedrovine lesnih vrst v razrede naravne odpornosti po standardu SIST EN 350-2 (1995).....	7
Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesa glede na povzročitelje ogroženosti (SIST EN 335-1/2, 2006)	9
Preglednica 3: Shema oštevilčenja vzorcev.....	24
Preglednica 4: Pregled merjenj uravnovešanja.....	28
Preglednica 5: Pregled vzorcev in impregnacije s hidrofobnimi pripravki, ki so se uravnovešali v zračni komori	29
Preglednica 6: Pregled vzorcev in impregnacije s hidrofobnimi pripravki, ki so bili potopljeni v vodi.....	31

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Laboratorijski sušilnik Kambič	22
Slika 2: Obtežitev v plastični posodi	
Slika 3: Dodajanje hidrofobnega sredstva	23
Slika 4 in 5: Obteženi in prelitni vzorci s parafinsko emulzijo (levo) in tungovim oljem (desno)	23
Slika 6: Vakuumsko tlačna komora za impregnacijo	24
Slika 7: Vzorci, impregnirani s parafinsko emulzijo	25
Slika 8: Vzorci, impregnirani z oljem rustikal	25
Slika 9: Vzorci, impregnirani s tungovim oljem	25
Slika 10: Tehnica Sartorius	
Slika 11: Eksikator	
Slika 12: Merilnik dimenzij in računalnik	26
Slika 13: Zračna komora	
Slika 14: Vzorci na pladnjih	
Slika 15: Log USB ključek	27
Slika 16: Potopljene vzorce	30
Slika 17: Vzorci vzeti iz vode med potapljanjem	31
Slika 18: Navzem hidrofobnih sredstev v les bukovine in smrekovine	33
Slika 19: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje impregniranih bukovih vzorcev v komori z vlažnostjo RH = 87 %	35
Slika 20: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje impregniranih smrekovih vzorcev v komori z vlažnostjo RH = 87 %	35
Slika 21: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih z lanenim oljem in protektinom, v komori z vlažnostjo RH = 87 %	37
Slika 22: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih z lanenim oljem in protektinom, v komori z vlažnostjo RH = 87 %	38
Slika 23: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih s parafinsko emulzijo, v komori z vlažnostjo RH = 87%	39
Slika 24: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih s parafinsko emulzijo, v komori z vlažnostjo RH = 87%	40
Slika 25: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih z rustikal oljem, v komori z vlažnostjo RH = 87%	41
Slika 26: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih z rustikal oljem, v komori z vlažnostjo RH = 87%	42
Slika 27: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih s tungovim oljem, v komori z vlažnostjo RH = 87%	43
Slika 28: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih s tungovim oljem, v komori z vlažnostjo RH = 87%	44
Slika 29: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje impregniranih bukovih vzorcev, potopljenih v vodi	45
Slika 30: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje impregniranih smrekovih vzorcev, potopljenih v vodi	45
Slika 31: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih z lanenim oljem in protektinom, potopljenih v vodi	47

Slika 32: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih z lanenim oljem in protektinom, potopljenih v vodi	48
Slika 33: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih s parafinsko emulzijo, potopljenih v vodi	49
Slika 34: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih s parafinsko emulzijo, potopljenih v vodi	50
Slika 35: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih z rustikal oljem, potopljenih v vodi	51
Slika 36: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih z rustikal oljem, potopljenih v vodi	52
Slika 37: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih s tungovim oljem, potopljenih v vodi	53
Slika 38: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih s tungovim oljem, potopljenih v vodi	54
Slika 39: Spremembe dimenzij impregniranih vzorcev bukovine po kondicioniranju v komori z relativno zračno vlažnostjo 87 %	55
Slika 40: Spremembe dimenzij impregniranih vzorcev smrekovine po kondicioniranju v komori z relativno zračno vlažnostjo 87%	56
Slika 41: Spremembe dimenzij impregniranih vzorcev bukovine, potopljenih v vodi	57
Slika 42: Spremembe dimenzij impregniranih vzorcev smrekovine, potopljenih v vodi ...	57

1 UVOD

Čas novih tehnologij, izumov, neprevidnosti in poseganj v naravo, nas je pripeljal do tega, da se zaradi podnebnih sprememb in okoljevarstva vračamo k naravi. Nekatere novodobne alternative so nam čez čas pokazale, da je njihova pretirana uporaba lahko škodljiva, saj se narave ne da pretentati in je potrebno biti v sožitju z njo in ne proti njej.

Les, produkt narave, material preteklosti, se je izkazal za nenadomestljivega. Njegova uporaba se bo verjetno povečevala tudi v prihodnosti. To nakazujejo številni dokumenti.

Slovenija je gozdnata dežela, nudi nam veliko naravnega bogastva, ki mu ne dajemo veliko veljave. Sam gozd ne nudi zgolj življenjskega prostora in hrane živim bitjem, ampak je tudi nepogrešljiv pri proizvodnji kisika, skladiščenju ogljikovega dioksida in seveda pridelavi lesa.

Les, ki ga premorejo naši gozdovi, ni tako naravno odporen kot tropski les, toda s pravilno zaščito lesa, dosežemo povsem zadovoljivo trajnost. Les na prostem je izpostavljen biotskim in abiotskim dejavnikom razgradnje, zato moramo neodporen les predhodno zaščititi, da upočasnimo dejavnike razkroja. S tem dosežemo to, da je življenjska doba lesa čim daljša.

Kot je bilo že omenjeno, se vračamo k naravnemu, zato v sodobnem času prihajajo v veljavo alternativne, predvsem nebiocidne rešitve zaščite lesa.

K alternativni zaščiti spadajo konstrukcijska zaščita lesa, nebiocidna zaščitna sredstva, sredstva, ki so okolju bolj prijazna in dosežejo, da je les bolj vodoodbojen, manj higroskopen in spremeni svojo kemijsko strukturo tako, da ga škodljivci ne prepoznajo kot vir hrane.

Obdelava lesa z vodoodbojnimi sredstvi se uporablja predvsem za zaščito pred navzemom tekoče/kapilarne vode. Zaradi tega naj bi bila vlažnost lesa nižja. Suh les pa je zaščiten

pred delovanjem lesnih gliv. Med hidrofobnimi pripravki se ravno tako vedno bolj uveljavljajo naravna vodoodbojna sredstva.

V diplomski nalogi želimo osvetliti učinkovitost zaščite lesa s hidrofobnimi olji in voski. Vsi ti sistemi so v uporabi že dolgo, toda večkrat služijo kot dodatki drugim biocidnim proizvodom. V okviru te naloge pa nas zanima njihovo samostojno delovanje.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Les, izpostavljen nihajoči vlažnosti je podvržen nezaželenemu spreminjanju dimenzij, oblike, barve ... Poleg tega, je visoka vlažnost nezaželeno tudi z vidika zaščite lesa. Glive suhega lesa ne morejo razkrajati. Ena od možnosti zmanjševanja vlažnosti lesa je obdelava s hidrofobnimi pripravki. Pri tem vse bolj prihajajo v veljavo naravni proizvodi, ki nimajo izrazitih biocidnih lastnosti. Zanima nas, ali je možno s hidrofobnimi sredstvi, kot so laneno olje, tungovo olje, rustikal olje, protektin in parafinska emulzija, upočasniti navlaževanje in spreminjanje dimenzij impregniranega lesa.

1.2 CILJI NALOGE

Določiti spremembe dimenzije lesa pred impregnacijo in po njej z različnimi hidrofobnimi pripravki.

Določiti spremembe dimenzije pri navlaževanju vzorcev v vodi in pri visoki relativni zračni vlažnosti.

Določiti vlažnost lesa tekom navlaževanja vzorcev v vodi in pri visoki relativni vlažnosti.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Pričakujemo, da bodo impregnirani vzorci imeli nižjo vlažnost kot neimpregnirani.

Dimenzije in masa vzorcev, impregniranih s hidrofobnimi pripravki se bodo manj spreminjale kot pri neimpregniranih vzorcih.

2 PREGLED OBJAV

2.1 LES

Les je olesenelo vlaknasto, bolj ali manj trajno, tkivo rastlin, dreves in grmov, ki nastaja v času sekundarne rasti z delitvijo celic v kambiju. Kambij je sloj aktivno delečih se celic. Lesno tkivo sestavljajo različne vrste celic, ki imajo v živem drevesu prevajalno, mehansko in skladiščno funkcijo, razlikujejo pa se tudi po obliki in velikosti.

Lesno tkivo se je evolucijsko razvijalo, zato nastajajo razlike med primitivnimi iglavci in naprednejšimi listavci (Koch, 1985; Zobel in van Buijtenen, 1989; Čufar, 2006; Gorišek, 2009).

Je sekundarni ksilem, ki ga lahko tehnično definiramo kot trdo, vlakneno snov pod skorjo. Večina celic je v lesu mrtvih, razen parenhimskih (te so žive le v živih drevesih). Prevajanje vode in mehansko funkcijo opravljajo mrtve celice, prevajanje in skladiščenje hrane pa žive celice.

Njegova zgradba je zelo pestra, zaradi več funkcij, ki jih opravlja. Sestavljajo ga različna tkiva in celice, to so razni tipi vlaken, trahejni členi, aksialni in trakovni parenhim ... Kemično gledano pa ga tvorijo celuloza, hemiceluloza, lignin, ekstraktivi in neorganske mineralne snovi. Ker ga tvori več različnih specializiranih tkiv in zaradi razlik med ranim in kasnim lesom, mladostnim in zrelim lesom, beljavo in jedrovino, lahko rečemo da je les zelo nehomogen material. Zaradi različne usmerjenosti tkiv je anizotropen (Čufar, 2006).

Les ima vrsto prednosti pred drugimi inženirskimi materiali, le te ga uvrščajo med najperspektivnejše materiale prihodnosti. Je obnovljiv naraven biološki material in nastaja ob blagodejnih učinkih na okolje, v postopkih predelave in obdelave lesa so energijske zahteve mnogo manjše, kot pri uporabi nekaterih drugih materialov: kovin, plastičnih mas, cementa ... Proizvodnja je okolju prijazna tako z vidika energijske porabe kot onesnaževanja. Les je biološko razgradljiv material, saj ga je mogoče reciklirati. Gozdovi zmanjšujejo tudi učinek »tople grede« (vežejo ogljikov dioksid). Uporabnost lesa se kaže tudi v zelo ugodnem razmerju med mehanskimi lastnostmi in gostoto, zaradi prijetnega videza in »topline« pa ga uvrščamo med sodobne in aktualne materiale (Gorišek, 2009).

Les je naravno obnovljiv ter ustreza načelom sonaravnosti. Nastaja v procesu fotosinteze s pomočjo sonca in vezave CO₂ (Pohleven, 2010).

2.2 BUKEV

Je difuzno porozen listavec, kar pomeni, da ima les difuzno (razpršeno) razporejene traheje, s širokimi trakovi, ki v vseh prerezi vplivajo na videz lesa.

Bukev (*Fagus sylvatica* L.) je najbolj razširjen listavec v Sloveniji in tudi naša najpomembnejša lesna vrsta, saj je razširjena po dolinah in sredogorjih. Tvori velike sestoje v gozdu. Njena uporaba lesa sega že v preteklost. Večinoma so les uporabljali za kurjavo in pridobivanje oglja.

Bukev dosega višino od 30 m do 40 m, premeri pa se gibljejo pri odraslih drevesih od 100 cm do 150 cm. Skorja je gladka, s starostjo postane srebrno siva. Na deblu so vidne brazgotine odpadlih vej, imenovane kitajski brki.

Les bukovine je rdečkasto bel, brez obarvane jedrovine, kar pomeni, da se beljava in jedrovina barvno ne ločita. Pri starejših drevesih se na prečnem prerezu pojavlja rdečerjav diskoloriran les, ki mu pravimo rdeče srce. To je rdeče obarvan les v notranjosti debla, ki nastane zaradi poškodb drevesa. To, otežuje impregnacijo lesa. Bukovina nima specifičnega vonja.

Les ima visoko gostoto, je zelo trd, se zelo krči in nabreka. Dimenzijsko je zelo nestabilen, sama trdnost pa je glede na gostoto nadpovprečno visoka, saj ima les dobro upogibno trdnost, elastičnost pa je nižja. Les je žilav in zelo trden. Možen je pojav tenzijskega lesa, saj tudi same notranje napetosti lahko zelo vplivajo na zvijanje in pokanje lesa. Srednja gostota absolutno suhega lesa je 680 kg/m³.

Po parjenju se les dobro upogiba. Bukovino parijo zaradi zmanjšanja notranjih napetosti in izenačevanja barve. Les, razen rdečega srca, se zelo dobro impregnira. Je zelo neodporen proti glivam in insektom, zato ga je potrebno po poseku ustrezno zaščititi.

Ročno in strojno ga je mogoče lepo obdelovati, toda zaradi visoke gostote je krhanje orodij večje in tudi poraba energije je nekoliko večja. Les se lepo lušči in reže v furnirje, struži in polira, lahko se žeblija, vijači in lepi. Bukovino se lahko zelo dobro krivi.

Poleg hlodovine, žaganega lesa, vezanega lesa, med polizdelki najdemo na trgu tudi parjeno in neparjeno bukovino. Les se uporablja v mizarstvu, za stopnice, opaže, parket, pohištvo ...

Krivljen les in vezan les se uporablja za šolsko in pisarniško pohištvo.

Bukovina je odlična tudi za izdelavo železniških pragov, kot gradben in konstrukcijski les, za iverne plošče, delavniške mize, nepogrešljiva je za izdelavo ročajev orodij in aparatur, gospodinjske pripomočke, igrače, embalažo, za izdelavo palet in zabojev... Uporabljajo jo tudi za pridobivanje celuloze (Čufar, 2006).

2.3 SMREKA

Smreka (*Picea abies* Karst.) je razširjena po vsem svetu. Doseže višine od 30 m do 50 m, premere pa od 120 cm do 200 cm.

Ima neobarvano jedrovino, zato se suha beljava in jedrovina barvno ne ločita. Les je obarvan rumenobelo, v starosti rumenkasto-rjavo. Viden je postopen prehod iz svetlega, belkastega ranega lesa do rdečkasto-rumenkastega kasnega lesa. Svež les lepo diši po smoli. Pogost je pojav smolnih žepov.

Gostota lesa je nizka do srednja (od 300 kg/m³ do 640 kg/m³), krčenje lesa je zmerno. Je elastičen in trden, suši se brez težav, lahko se cepi in lušči. Les ni nagnjen k zvijanju in pokanju in se z lahkoto obdeluje. Ne vsebuje veliko ekstraktivov, zato je kemično malo aktiven. Ob stiku z vodo, kislinami, bazami, alkoholom, maščobami, olji, bakrom ali medenino ne pride do obarvanja. Nezaščiten les je zmerno odporen proti atmosferilijam, insektom in glivam. Pri vgradnji na prostem mora biti pravilno vgrajen in zaščiten. Se težko impregnira. Beljava svežega lesa se lahko v kotlih pod pritiskom zadovoljivo

impregnira z vodotopnimi, suha beljava pa z oljnimi sredstvi, zato je mogoče tudi ob neugodnih pogojih doseči večjo trajnost.

Na trgu je dosegljiv v obliki hlodovine, žaganega lesa, furnirja. Je zelo razširjena, poseben pomen ima kot gradben in konstrukcijski les, za notranjo opremo ... Uporablja se za ostrešja in konstrukcije stavb, mostove, rudniške in ogrodne konstrukcije, skeletne konstrukcije, stene, strope, stopnice, okna, fasade, tla, vrata, pergole, vhodna vrata, drogove, palete, leseno volno, igrače ... Primeren je tudi za izdelavo lesnih tvoriv (luščen furnir za vezane plošče, iverne in vlaknena plošče), za proizvodnjo papirja in celuloze. Na trgu pa je tudi uveljavljen resonančni les smreke, iz katerega izdelujejo glasbene inštrumente (Čufar, 2006).

2.4 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA

Naravna odpornost lesa je v zadnjem času najbolj cenjena lastnost lesa, saj je ključnega pomena za dolgo uporabo nezaščitenega lesa. Odvisna je od anatomske zgradbe lesa in kemijske sestave lesa (Lesar in sod. 2008).

Naravna odpornost je lastnost, ki jo ima les v naravnem in zdravem stanju, oz. v stanju, ko nanj še niso vplivali razni škodljivi dejavniki. To pomeni, da se ohranijo lastnosti, kot so barva, trdnost ... (Kervina Hamović, 1990).

Naravna odpornost je v najširšem smislu definirana kot odpornost lesa proti delovanju fizikalnih, kemijskih ali bioloških dejavnikov (Dinwoodie, 2000). Daleč najpomembnejši so biološki dejavniki razkroja, zato standard (SIST EN 350-1, 1995) definira naravno odpornost kot lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in označuje dovzetnost na škodljivce. Izraz naravna odpornost se uporablja zgolj za nezaščiten les, medtem ko se za zaščiten ali modificiran les uporablja izraz odpornost lesa (Lesar in Humar, 2010).

Les je bolj odporen proti razkroju z glivami ter bakterijami, kot lignocelulozni material večine drugih rastlin. Glavni razlog za naravno odpornost posamezne drevesne vrste so biološko aktivni ekstraktivi v jedrovini (Panshin in De Zeeuw, 1980; Viitanen in sod., 1997; Dinwoodie, 2000; Windesen in sod., 2002; Haupt in sod., 2003; Aloui in sod., 2004; Guilley in sod., 2004; Bhat in sod., 2005).

Vendar samo z ekstraktivi ne moremo v zadostni meri pojasniti naravne odpornosti lesa. Hidrofobnost lesa ima ravno tako zelo pomemben učinek na naravno odpornost (Gerardin in sod., 2004). Hidrofobnost povečujejo snovi odložene v lumnih celic, kot so tile, gumozni depoziti, smole ...

Beljava vseh drevesnih vrst, tudi tistih z zelo odporno jedrovino, ni odporna proti biološkim dejavnikom razkroja zaradi pomanjkanja biološko aktivnih ekstraktivov, ki bi zavirali rast gliv in mikroorganizmov. Poleg tega rezervna hrana v parenhimskih celicah povečuje dovzetnost za razkroj (Panshin in De Zeeuw, 1980). Zaradi tega je beljava vseh lesnih vrst po standardu SIST EN 350-2 (1995) razvrščena v najnižji odpornostni razred 5 (zelo občutljivo za razkroj) (Preglednica 1).

Preglednica 1: Razvrstitev jedrovine lesnih vrst v razrede naravne odpornosti po standardu SIST EN 350-2 (1995)

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

Odpornost jedrovine v primerjavi z beljavo iste drevesne vrste je boljša predvsem zaradi vsebnosti ekstraktivov, ki so v stenah ali lumnih celic in predstavljajo zelo širok spekter kemičnih spojin in imajo v drevesu fungistatičen in bakteristatičen učinek. Najvažnejši so polifenoli, ki vključujejo tanine, antocianine, flavone, katehine, lignane ... (Čufar, 2006).

Na odpornost lesa pa vplivajo tudi zgradba celične stene, gostota lesa, širina branik, čas sečnje (Čufar, 2006).

Humar in sodelavci (2008) so ugotovili, da širina branik pomembno vpliva na naravno odpornost jedrovine hrasta; širše kot so branike, bolj odporen je les.

Odpornost vzorcev jedrovine hrasta z zelo ozkimi branikami (0,7 mm) proti ogljeni kroglici (*Hypoxylon fragiforme*) je bila primerljiva z odpornostjo bukovine (Humar in sod.,

2008; Fabčič, 2008). A odpornosti ne moremo popolnoma pojasniti s širino branik, saj je količina ekstraktivov ravno tako pomemben dejavnik, ki vpliva na naravno odpornost (Aloui in sod., 2004). Po drugi strani pa pri lesu iglavcev velja ravno obratna povezava. Ožje kot so branike, kvalitetnejši je les.

Najbolj je odporen les, posekan pozimi, ko se v lesu izrabijo rezervne hranljive snovi. Zimski čas sečnje predstavlja tudi druge prednosti. Klimatski pogoji so na primer v hladnejših mesecih neugodni za delovanje gliv in insektov, s čimer se zmanjša verjetnost okužbe lesa v gozdu oziroma na skladišču. Les zimske in letne sečnje je enako (ne)odporen, če je med uporabo izpostavljen klimatskim pogojem, ki so ugodni za rast in razvoj gliv in insektov (Panshin in De Zeeuw, 1980).

Trajnost lesa je obdobje, v katerem les obdrži naravne lastnosti in je odvisna od naravne odpornosti ter mesta in načina vgradnje oziroma konstrukcije ter mesta uporabe (Pohleven, 2008).

Naravne lastnosti lesa so trdnost, odpornost, barva ... Odpornost lesa je posledica kemijske in fizikalne sestave nezaščitenega, modificiranega ali z biocidnimi proizvodi obdelanega lesa. Na življenjsko dobo lesa vplivajo tudi dejavniki okolja, klima ...

Sama umestitev lesa v prostor in način uporabe ima ključen pomen za trajnost lesa. Za lažje določitev prave vrste lesa in primeren postopek so evropski strokovnjaki razdelili izdelke v pet različnih razredov izpostavitve glede na njihovo ogroženost oz. mesto vgradnje (Preglednica 2).

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

Razred uporabe	Splošne razmere na mestu uporabe	Opis vlažnosti zaradi izpostavljenosti navlaževanju na mestu uporabe	Lesni škodljivci	Prisotnost termitov
1	Znotraj, pod streho	Suho	Lesni insekti	V primeru, da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 1T
2	Zunaj ali pod streho	Občasno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke	V primeru, da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 2T
3	3.1 Na prostem, nad zemljo z ustrezno konstrukcijsko zaščito	Občasno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke	V primeru, da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 3.1T oziroma 3.2T
	3.2 Na prostem, nad zemljo, brez konstrukcijske zaščite	Pogosto vlažen		
4	4.1 Na prostem, v stiku s tlemi in/ali sladko vodo	Pogosto ali stalno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke, glive mehke trohnobe	V primeru, da so na tem območju prisotni termiti, se ta razred označi z 4.1T oziroma 4.2T
	4.2 Na prostem, v stiku s tlemi (ostri pogoji) in/ali sladko vodo	Stalno vlažen		
5	V stalnem stiku z morsko vodo	Stalno vlažen	Glive razkrojevalke, glive mehke trohnobe, morski lesni škodljivci	A ladijske svedrovke, lesne mokrice
				B ladijske svedrovke, lesne mokrice, kreozotno olje, tolerantne lesne mokrice
				C ladijske svedrovke, lesne mokrice, kreozotno olje, tolerantne lesne mokrice, pholade

2.5 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA

Les kot organska snov razpade zaradi različnih dejavnikov v anorgansko. To ima seveda pozitivno stran, saj bi kopičenje organske snovi onemogočilo rast rastlin, ki za razvoj potrebujejo anorgansko snov.

Razkroj lesa povzročajo biotični in abiotični dejavniki. Biotični dejavniki so dejavniki žive narave (glive, insekti, bakterije, morski škodljivci, človek), abiotični pa nežive narave (vremenski vplivi, kemični vplivi, ogenj, mehanske sile, kemikalije).

Les propade zaradi gliv in insektov, ker je njihova hrana. Glive les uničujejo predvsem kemijsko, insekti pa mehansko.

2.5.1 Glive

Za razvoj in obstoj gliv so zelo pomembni nekateri fizikalni in kemični dejavniki: hrana, vlaga, temperatura, zrak, svetloba, vrednost pH.

Najpogostejši vir hrane večine lesnih gliv je celuloza. Glive, ki razkrajajo celulozo, povzročajo rjavo ali destruktivno trohnobo, saj po razkroju celuloze ostane lignin, ki je rjave barve, les pa poka v obliki pravilnih prizem. Poleg celuloze se lesne glive prehranjujejo tudi z ligninom. Les, v katerem glive razgradijo lignin, je zaradi preostale celuloze bel in se vlaknasto cepi. Takšno obliko razkroja imenujemo bela trohnoba.

Zadostna količina vlage v lesu in zraku je poleg hrane eden najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na kalitev trosov in razvoj gliv. Če je vlažnost lesa nižja od 20 %, se glive ne morejo razvijati in razmnoževati. Tudi prevelika količina vode v lesu preprečuje razvoj gliv. V kolikor je les skoraj prepojen z vodo, je zelo verjetno, da se glive ne bodo pojavile. Glive se lahko razvijajo v lesu, če ta vsebuje od 20 % do 160 % vode, optimalna vlažnost lesa za razvoj gliv je med 35 % in 55 %. Spodnja meja relativne zračne vlage za razvoj gliv je 70 %, za nekatere glive tudi do 65 %, optimalna relativna zračna vlažnost pa znaša 90 %.

Razvoj gliv je odvisen tudi od temperature. Glive se razvijajo v širokem temperaturnem območju (3 °C do 45 °C), optimalna temperatura pa je med 20 °C in 30 °C. Večina gliv bolje prenaša nižje temperature kot višje.

Količina zraka v lesu je v veliki meri odvisna od vlažnosti lesa. Les, ki vsebuje večjo količino vode, ima manj prostora za zrak in v takem lesu se glive ne morejo razvijati.

Čeprav glive ne potrebujejo veliko kisika, ne poznamo vrst, ki bi se lahko razvijale brez njega. Minimalna količina zraka v lesu, ki je še ugodna za razvoj gliv, je 15 % glede na prostornino por.

Na razvoj gliv vplivata tudi svetloba in pH. Lesne glive najbolj uspevajo pri šibki svetlobi, saj neposredna sončna svetloba škoduje njihovem razvoju in rasti. pH substrata v katerem se glive lahko razvijajo pa je v območju med 2 in 7,5, optimalna vrednost pa je med 4,5 in 5,5, kar ustreza tudi vrednosti pH večine vrst lesa (Kervina Hamović, 1990).

2.6 ZAŠČITA LESA

Zaščita lesa preučuje povzročitelje destrukcije lesa, jih klasificira in določa njihov ekonomski pomen, preučuje učinkovite in racionalne ukrepe za povečanje trajnosti povsod tam, kjer se nahaja in uporablja (Kervina Hamović, 1990).

Zaščita lesa je lahko naravna ali biocidna. Naravna zaščita poteka vse od gozda, skladišča in končnih izdelkov. V gozdu je potreben pregled dreves pred posekom in po njem, pravilna sečnja, lupljenje določenih vrst, ustrezno začasno skladiščenje hlodovine v gozdu, premazovanje čel, postavitev lovnih pastí s feromonsko vabo, takojšnje spravilo lesa iz gozda, sušenje ... Na skladiščih je pomembno pravilno sušenje, sprotne predelave lesa, izbor ustreznega mesta za sušenje, higiena na skladišču. Pri končnih izdelkih pa je pomembna pravilna izbira lesa glede na namen uporabe, preprečevanje navlaževanja, vzdrževanje strehe, pravilne konstrukcijske rešitve za objekte in predmete.

Biocidna zaščita je zaščita lesa z biocidnimi proizvodi, ki varujejo les pred škodljivimi dejavniki. V osnovi ločimo anorganske biocidne proizvode, organske biocidne proizvode in alternativne rešitve, kot so juvenilni in rastni hormoni, kelatorji ...

2.7 NARAVNA ZAŠČITNA SREDSTVA

Zaradi vse večjega varovanja okolja, skrbi za zdravje ljudi ter administrativnih prepovedi, se v zaščiti lesa vse bolj uporabljajo naravni in okoljsko neoporečni materiali. Mednje sodijo tudi voski. Voski se že od prazgodovinskih časov uporabljajo za najrazličnejše namene: barve, lake, lepila, polirne paste, sveče, kozmetiko itd. V lesarstvu čebelji vosek tradicionalno uporabljamo za površinsko obdelavo lesa. Voske delimo na naravne in sintetične. Naravni voski so lahko fosilini ali ne-fosilini. V skupino fosilnih voskov spadajo voski, pridobljeni iz nafte (parafinski vosek) in voski, pridobljeni iz lignita. Glavni predstavnik voskov, pridobljenih iz lignita, je montanski vosek (Wolfmeier, 2003).

Novejše tehnike zaščite lesa se osredotočajo predvsem na izdelke in procese, ki kemično, fizikalno ali biološko modificirajo celično strukturo lesa in tako preprečijo razkroj. Večina gliv, insektov in bakterij, ki razkrajajo les, potrebuje za rast in razvoj poleg lesa še kisik, idealno temperaturo in vodo. Razkroj lesa se prepreči, če manjka eden ali več teh dejavnikov. Ena od pogostih metod zaščite je uporaba vodoodbojnih sredstev, ki v določenem časovnem obdobju preprečujejo prekomerno navlaževanje celičnih sten. Najpogosteje se v ta namen uporabljajo voski, olja in alkidi (Svensson in sod., 1987), ki pa pogosto ne morejo prodreti v celično steno, ampak se odložijo na celično steno in na njej tvorijo bariero za vodo. Vendar se učinek odbojnega delovanja izgubi po ponavljajočem se navlaževanju, saj se odložene snovi počasi raztapljajo in z vodo izpirajo (Treu in sod., 2004). Učinkovita zaščita impregniranega lesa je funkcija mnogih dejavnikov, toda najpomembnejši so: učinkovitost zaščitnega sredstva, globina penetracije, navzem pripravka in enakomerna penetracija v različne celice in enakomerna mikro porazdelitev v celičnih lumnih in celičnih stenah (Morrell in Morris, 2002).

Pojma naravni in bio premaz sta žal velikokrat zlorabljeni. Premaze oziroma impregnacijska sredstva, ki vsebujejo kakšno naravno komponento, razglasijo za okolju prijazne, naravne. Da je zlorab vse manj, je skupina nemških proizvajalcev materialov za bio površinsko obdelavo izoblikovala nekaj kriterijev, ki določajo naravne premaze oziroma impregnacijska sredstva. Te pa so: vse surovine bi morale biti naravnega izvora, manjše kemijske spremembe le-teh pa so dovoljene, surovine za izdelavo morajo biti

pridobljene iz obnovljivih virov, produkti morajo biti biološko razgradljivi, izdelava in uporaba naravnih premazov, kakor tudi odlaganje na ta način površinsko obdelanega lesa ne smejo negativno vplivati na okolje, proizvajalce in potrošnike, uporabljati smemo le dobro poznane in preizkušene snovi, tako da izključimo možnost negativnih presenečenj po njihovi večletni uporabi (Petrič, 2002a).

Kriteriji so precej odprti in puščajo možnost, da med naravne oz. tako imenovane bio površinske premaze uvrstimo tudi kombinacije popolnoma naravnih in nespremenjenih olj z delno kemijsko modificiranimi naravnimi snovmi ter tudi s sintetičnimi vezivi. Prav zaradi tega je na mestu nekaj previdnosti pri izbiri bio premazov oziroma impregnacijskih sredstev. Zagotovo je zmotno prepričanje, da so snovi, samo zaradi tega, ker so naravne, tudi nestrupene in neškodljive. Primer je lesno katransko olje, ki ga pridobivajo s suho destilacijo lesa in bi ga lahko po zgoraj opisanih kriterijih uvrstili med naravne materiale. Olje namreč vsebuje veliko zdravju nevarnih policikličnih aromatskih ogljikovodikov in zato nemška zakonodaja uporabe lesa, impregniranega z lesnim katranskim oljem, v bivalnih prostorih ne dopušča (Petrič, 2002a).

2.8 NARAVNA OLJA

Naravna sušeka in polsušeka olja so tekočine rastlinskega ali živalskega izvora. Zanje je značilno, da v tanki plasti, ki jo naneseemo na podlago, poteče oksidativno premreženje, posledica pa je nastanek utrjenega filma. Pomembno je torej vedeti, da so procesi utrjevanja lakov, ki kot vezivo vsebujejo naravno olje, kemijski in ne fizikalni ter da oljni premazi, če koncentracija veziva ni prenizka, na lesu tvorijo sklenjen, utrjen film. Kemijsko gledano so naravna olja triestri glicerola in maščobnih kislin - trigliceridi. Pogoji, da oksidativno premreženje poteče, je prisotnost nenasičenih, dvojnih kemijskih vezi v kislinskem delu trigliceridov. Število in medsebojna razporeditev dvojnih vezi odločata o tem ali bo utrđitev potekla do konca (sušeka olja) ali bo na površini nastala lepljiva, viskozna plast, ki se nikoli ne more utrđiti (polsušeka olja) ali pa olje vedno ostane v tekoči obliki (nesušeka olje). Najbolj znana sušeka olja so laneno olje, tungovo olje, dehidrogenirano ricinovo olje, konoplino olje ter različna ribja olja. Zelo znani polsušeka olji pa sta sojino in sončnično olje.

Sodobni premazi za oljenje lesenih talnih oblog vsebujejo večinoma zmesi različnih olj, med katerimi srečamo tudi različne eksotične snovi kot npr. rožmarinovo olje, olja agrumov. Namen mešanja je seveda v pripravi takih kombinacij, ki dajo utrjene filme s kar najboljšimi lastnostmi. Prav zato so zelo pogosto ali celo praviloma v oljnih premazih tudi voski in naravne smole: olja prodrejo v les pod površino, voski pa zaprejo zgornjo plast in dajo izdelku končni, svetleč videz (Petrič, 2002b).

2.9 VOSKI

Voski so relativno stabilne nestrupene spojine, ki jih človek uporablja za najrazličnejše namene že vse od prazgodovinskih časov dalje. Danes se voski v glavnem uporabljajo kot aditivi in aktivne učinkovine. V prihodnosti bo uporaba voskov najverjetneje še naraščala zaradi njihovih ugodnih toksikoloških in okoljskih lastnosti (Lesar in sod., 2009).

Voski ne tvorijo kemijsko homogene skupine. So vodoodbojni materiali, sestavljeni iz različnih sestavin, in sicer: ogljikovodikov (nerazvejani ali razvejani alkani in alkeni), ketonov, diketonov, primarnih in sekundarnih alkoholov, aldehydov, estrov, sterolov, alkanokislinskih kislin in terpenov (Wolfmeier, 2003).

Najstarejši in zgodovinski prototip je čebelji vosek (Matthies, 2001; Wolfmeier, 2003). Glede na njegovo sestavo so znanstveno definirali voske. Voski so kemijsko gledano estri višjih karboksilnih kislin z višjimi alkoholi. Ta definicija je uporabna le za nekaj klasičnih voskov (npr. čebelji in karnauba vosek). Preostalih voskov, kot je na primer parafinski vosek, ta definicija zaradi drugačne kemijske sestave ne zajema (Wolfmeier, 2003). V zadnjem času se je bolj uveljavila definicija, ki določa voske na podlagi fizikalnih lastnosti. Wolfmeier (2003) navaja, da so voski snovi, ki se lahko polirajo pod majhnim tlakom in imajo gostoto in topnost močno odvisno od temperature, so pri 20 °C gnetljivi ali nedrobljivi, grobo do fino kristalni, transparentni do motni, toda neprozorni ali močno viskozni, se nad 40 °C talijo, ne da bi se pri tem razgradili, imajo viskoznost nad točko tališča v negativni odvisnosti od temperature, imajo v večini primerov točko tališča med 50 °C in 90 °C (v izjemnih primerih nad 200 °C), v splošnem gorijo s sajastim plamenom,

lahko tvorijo paste ali gele in so slabi prevodniki toplote in elektrike (toplotni in električni izolatorji).

Voske lahko razdelimo po različnih kriterijih glede na njihov izvor, kemične, fizikalne ali tehnične lastnosti ali glede na uporabo. Osnovna delitev voskov je glede na njihov izvor in sintezo. Tako voske delimo v dve glavni skupini, na naravne in sintetične, vendar pri delitvi ni jasne meje. Naravni voski kažejo svoje voskaste lastnosti brez kemične obdelave. Sintetični voski navadno pridobijo lastnosti voskov v postopku sinteze (Wolfmeier, 2003). Drugo ime za sintetične in parafinske voske, ki ga zasledimo v literaturi, je Fischer-Tropsch. Ime izvira iz postopka pridobivanja voskov iz surove nafte.

Voski se uporabljajo za najrazličnejše namene. Velikokrat uporaba voskov temelji na posnemanju njihove naravne funkcije. To še posebno izkoriščamo v lesarstvu, kjer voske uporabljamo predvsem kot sredstva za preprečevanje navlaževanja lesa oziroma za povečevanje vodoodbojnosti površine. Tako voske uporabljamo samostojno za površinsko zaščito lesa ali kot dodatek pripravkom (laki, lazure) za površinsko obdelavo lesa ali kot dodatek lepilom za povečanje vodoodpornosti lesnih kompozitov (Lesar in sod., 2009).

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). Glavne sestavine vodoodbojnih pripravkov so hidrofobne snovi, fungicidi in smole (Feist in Mraz, 1978; Svensson in sod., 1987; Passialis in Voulgaridis, 1999; Schultz in sod., 2007).

Vosek na površini lesa ne utrjuje kemijsko s premreženjem, temveč tvori tanko plast, ki dobro zapolni pore (Petrič, 2000).

Kemijsko gledano so naravni voski estri, tako kot tudi naravna olja. Vendar pa so voski estri nasičenih monohidroksi alkoholov in višjih nasičenih maščobnih kislin. Voski so v vodi netopni, raztapljajo pa se v različnih organskih topilih, npr. v terpentinu ali bencinu, nekateri tudi v alkoholih. Nekatere značilne fizikalne lastnosti voskov so njihova

gnetljivost pri sobni temperaturi, nizka tališča (tudi že nad 40 °C), nad tališčem sorazmerno nizka viskoznost, s poliranjem pa lahko dosežemo svetleč oz. svilnat videz tanke voščene plasti. Uporaba imena voski se je zaradi velike podobnosti v omenjenih fizikalnih lastnostih razširila tudi na sintetične snovi, ki niso pravi voski: najbolj značilen primer je parafin, ki je zmes različno dolgih nasičenih ogljikovodikov (Petrič, 2002b).

Lesene površine, obdelane z voskom, so zmerno odporne proti različnim tekočinam ali reagentom (voda, etanol, olivno olje, kava) in toploto. Učinkovitost je odvisna od vrste voska in dodatkov topila, olja (Mihevc in sod., 1994). 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, 2002b).

2.10 UPORABLJENA HIDROFOBNA SREDSTVA

2.10.1 Laneno olje

Laneno olje pridobimo s stiskanjem iz lanenih semen (*Linum usitatissimum* L.). Spada k sušečim oljem, kar pomeni, da se suši na podlagi sprejema kisika iz zraka, vendar se suši zelo počasi (Laneno olje, 2012).

Laneno olje je naravno olje, ki se za obdelavo lesa uporablja že tisočletja. Ko govorimo o zaščiti, je treba poudariti, da so v primerjavi s sintetični pripravki za površinsko obdelavo lesa (premazi, laki, lazure ...) zaščitne lastnosti olja dokaj slabe. Laneno olje naj bi delovalo vodoodbojno, ni pa odporno proti stoječi vodi na naoljeni površini, ne nudi zaščite pred sončnim sevanjem in svetlobi v notranjih prostorih, zato se barva oljenih površin s časom spreminja. Površine na dnevni svetlobi v notranjih prostorih rumenijo in temnijo, na soncu pa zbledijo. Okužba s plesnimi in algami na oljenem lesu ni običajna, vendar se lahko na prostem vseeno zgodi. Prav tako se, vsaj po današnjih standardih, ne utrdi do take stopnje, da bi bile oljene površine odporne proti razam in obrabi. To lastnost lahko izboljšamo z naknadnim voskanjem (Petrič, 2007).

Sušenje pri surovem lanenem olju traja 1-3 dni, pogosto kar cel teden, odvisno od vremenskih razmer (poleti hitreje, v vlažnem vremenu počasneje). Optimalna temperatura za nanašanje je med 15 °C in 25 °C. Nikakor se ne sme nanašati naslednje plasti, dokler spodnja ni povsem suha in je na otip še vedno lepljiva. Pred naslednjim nanosom utrjeno plast olja obrusimo, npr. z jekleno volno in odstranimo ves brusni prah. Sledi naslednji nanos. Nanesti moramo vsaj tri plasti, lahko tudi več, štiri ali pet in celo do dvajset, odvisno od želenega videza oljene površine.

Tako oljena površina potrebuje za dokončno utrditev izredno veliko časa, tudi več tednov. Zato raje uporabljamo »kuhano« laneno olje, ki utrjuje hitreje, v praksi pa vsebuje tudi nekaj topil, ki povzročijo hitrejše utrjevanje. Izdelek iz kuhanega olja pa je laneni firnež, ki poleg topil vsebuje še sikative oz. sušilna sredstva. Firnež se zaradi tega utrdi bistveno hitreje kot surovo laneno olje, v nekaj urah oz. čez noč, tako da naslednji dan lahko nadaljujemo z nanašanjem naslednje plasti (Petrič, 2007).

2.10.2 Tungovo olje

Tungovo olje ali kitajsko olje (china wood oil) je rastlinsko olje, ki so ga prvotno stoletja uporabljali Kitajci z namenom površinske obdelave lesa, pa tudi za poslikave na zidovih v kitajskih palačah (Ling s sod., 2007).

Olje pridobivajo s stiskanjem semen dreves tungovca (*Aleurites fordii* Hemsl.), katerega domovina je centralna in zahodna Kitajska. Tungovec je do 12 m visok listavec z gladko skorjo, s temno zelenimi listi, ki so srčaste oblike in so veliki do 15 cm. Plodovi drevesa vsebujejo semena, ki so bogata z oljem. Plodovi v povprečju vsebujejo od 14 % do 20 % olja, od tega 53 % do 60 % olja prispeva seme, preostali deli plodu pa prispevajo od 30 % do 40 % (Ciesla, 2002). Tungovo olje je naravno olje in spada med sušeča olja.

Tungovo olje je na voljo v čisti, polimerizirani ter modificirani obliki. Kadar tungovo olje hladno stiskajo v lesenih stiskalnicah, dobijo olje svetle barve (white tung oil), če pa uporabijo vroče stiskanje, pa je tungovo olje temno (black tung oil) (Gettens in Stout, 1966). Čisto tungovo olje je zdravju škodljivo (Nellis, 1997). Vendar je utrjeno in zamreženo čisto tungovo olje nestrupeno. Ameriška agencija za hrano in zdravila (FDA)

ga dovoljuje za uporabo pri izdelkih, ki prihajajo v stik s hrano. Zato ga še posebej priporočajo za zaščito kuhinjskih pultov, raznih desk, na katerih pripravljamo hrano, prav tako je zaradi netoksičnosti primeren tudi za obdelavo otroškega pohištva in lesenih otroških igrač (Fine woodworking, 1999).

Tungovo olje je enostavno za uporabo in zelo dobro penetrira v les. Najbolje je, da ga nanašamo na neobdelan les, če pa je že obdelan pa najprej poskrbimo, da odstranimo prejšnji namaz, da lahko tungovo olje penetrira v les. Olje lahko nanašamo večkrat, odvisno od tega čemu bo les služil. Za dekorativne namene sta dovolj 2 do 4 plasti, bolj obremenjeni izdelki potrebujejo 6 plasti tungovega olja, za močnejše obremenjene površine (npr. mizne plošče) pa se priporoča celo 10 nanosov ter končni čas sušenja od 7 dni do 21 dni (Gettens in Stout, 1966).

Tungovo olje zagotavlja trd, a žilav in fleksibilen premaz, ki je popolnoma vodotesen, utrjena plast olja je odlično odporna proti obrabi (Gettens in Stout, 1966; McElroy, 1987). Utrjen film ima dobro odpornost proti alkoholu, acetonu, ter proti alkalijam, prav tako tudi proti prahu in umazaniji (Guidice, 2001; McElroy, 1987). S staranjem ne potemni, tako kot laneno ali druga rastlinska olja (Jewitt, 1997). Če smo olje nanašali pravilno, ne prihaja do mehurjenja, luščenja in pokanja utrjene plasti. Ker je tungovo olje zelo fleksibilno, dobro prenaša raztezanje in krčenje lesa zaradi temperaturnih in vlažnostnih sprememb, ki jim je izpostavljen lesen izdelek. Če primerjamo lastnosti tungovega olja z lastnostmi drugih olj, kot so laneno, sojino ali parafinsko olje, lahko ugotovimo, da so površine, obdelane s temi olji, manj odporne in trajne od površin, premazanih s tungovim oljem (Jewitt, 1998). Omenjena olja so v nasprotju s tungovim oljem občutljiva na staranje, saj pri njih, med izpostavitvijo svetlobi in vremenskim vplivom, prihaja do barvnih sprememb in postopne degradacije. Čisto tungovo olje je odlično za zaščito lesa, ki ga uporabljamo tudi na prostem (Budija, 2008).

2.10.3 Rustikal olje

Rustikal je olje za les, izdelano na osnovi naravnih, rastlinskih obnovljivih surovin. Ne vsebuje biocidov. Sestavljajo ga laneno olje, estri kolofonije, palmin vosek, olja citrusov, sikativi in sljuda.

Uporablja se za premazovanje masivnega pohištva, ladijskega poda, lesenih oblog, parketov in ostalih lesnih površin.

Nanaša se s čopičem, gobo, s potapljanjem, oblivanjem. Obdelana površina ima svilnat sijaj. Proizvaja ga podjetje SAMSON Kamnik (Varnostni list, Rustikal olje, 2012).

2.10.4 Parafinska emulzija

Kot že omenjeno, parafin kemijsko ne spada med voske, vendar ga zaradi njegovih fizikalnih lastnosti tudi uvrščamo v to skupino snovi. Je brezbarven, brez vonja, topen je v bencinu, terpentinu in raznih drugih organskih topilih (Wolfmeier, 2003). Njegove lastnosti močno variirajo glede na stopnjo čistosti. Vodoodbojna učinkovitost parafinskih voskov je močno odvisna od stereokemične konfiguracije ogljikovodikov in njihove strukture. Glavna sestavina parafinskega voska so nerazvejane alkanske verige, ki dajejo vosku najboljšo vodoodbojnost. Daljše kot so verige ogljikovodikov, boljša je vodoodbojnost (Garai in sod., 2005).

Parafinski vosek uporabljajo v industriji na različnih področjih. V lesarstvu se uporablja kot dodatek pri proizvodnji vodoodpornih ivernih plošč in ostalih lesnih kompozitov. Poleg tega se v mešanicah z drugimi voski, smolami itd., uporablja še pri proizvodnji barv in premazov za izboljšanje hidrofobnosti. Uporabljajo ga v trdnem stanju in v obliki emulzij. Ena izmed novejših aplikacij voska je tudi uporaba v mavčno kartonskih ploščah, za uravnavanje klime v prostoru (BASF, 2009).

Voski so najpogostejša hidrofobna sredstva v lesni industriji. Za parafin je druga najpomembnejša aplikacija v lesni industriji takoj po industriji sveč. Uporabnost voskov v Evropi v zadnjem času zelo narašča, delno tudi zaradi okoljevarstvenega zavedanja in zamenjave biocidnih preparatov v industriji (Lesar in sod., 2011)

2.10.5 Protektin

Je brezbarvno impregnacijsko sredstvo in premaz na osnovi specialnih akrilatnih smol in organskih topil. Je vodna emulzija različnih smol, proizvaja jo SAMSON Kamnik. Ta kombinacija smol naj bi bila zelo odporna na vremenske pogoje in UV žarke. Ne vpliva na videz površine, niti na paroprepustnost materiala. Nanaša se prav tako s čopičem, valjčkom in brizganjem (Varnostni list, Protektin 2012).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Uporabljen les

Za poskus smo uporabili v naprej pripravljene vzorce lesa. Uporabili smo dve vrsti, in sicer smrekovino (*Picea abies* Karst.) in bukovino (*Fagus sylvatica* L.). Vsi vzorci so bili brez grč, brez vidnih napak in pravilno orientirani. Vsi vzorci so bili brez znakov trohnenja in modrenja, bukovina ni imela rdečega srca, smrekovina je bila brez smolnih kanalov. Dimenzije vzorcev so bile $(25 \times 25 \times 50) \text{ mm}^3$.

3.1.2 Uporabljena impregnacijska sredstva

Pri poskusu smo uporabili naslednja naravna impregnacijska sredstva:

- Laneno olje (SAMSON, Kamnik)
- Rustikal (50 % raztopina s heksanom; SAMSON, Kamnik)
- Rustikal (nerazredčena raztopina; SAMSON, Kamnik)
- Tungovo olje (50 % raztopina s heksanom; SAMSON, Kamnik)
- Tungovo olje (66 % raztopina s heksanom; SAMSON, Kamnik)
- Tungovo olje (nerazredčena raztopina; SAMSON, Kamnik)
- Parafinska emulzija (12,5 % vodna emulzija; Lesna TIP, Otiški vrh)
- Parafinska emulzija (25 % vodna emulzija; Lesna TIP, Otiški vrh)
- Protektin (SAMSON, Kamnik)

Z namenom doseči različne koncentracije impregnacijskih sredstev, smo rustikalu in tungovem olju dodajali heksan. Parafinski emulziji pa smo dodali destilirano vodo.

3.2 METODE

3.2.1 Priprava vzorcev

Za izveden poskus smo uporabili 220 vzorcev. Vzorce smo označili in jih predhodno zbrusili z brusnim papirjem. Bukovino (*Fagus sylvatica*) smo oštevilčili od 1 do 90, smrekovino (*Picea abies*) pa od 111 do 200. Preostalih 10 vzorcev smrekovine in bukovine smo pustili za kontrolo. Vse označene vzorce smo zložili v sušilnik Kambič na 60 °C in smo jih sušili šest dni (Slika 1).



Slika 1: Laboratorijski sušilnik Kambič

3.2.2 Impregnacija vzorcev

Impregnacijo smo izvedli z vakuumsko tlačno komoro. Suhe vzorce smo pred tehtanjem zložili v eksikator, da so se ohladili. Vzorce smo nato stehali na tehtnici SARTORIUS na 0,0001 g natančno.

Po tehtanju smo postavili vzorce v posode, jih obtežili (Slika 2) ter jih prelili z različnimi hidrofobnimi sredstvi (Preglednica 3, Slika 3). V vsako posodo smo zložili po 10 vzorcev smrekovine in po 10 vzorcev bukovine, med seboj smo jih ločili s plastično mrežico ter jih dodobra obtežili (Sliki 4 in 5). Predhodno vzorcem nismo zaščitili čel.

Posode z vzorci smo nato vstavili v komoro (Slika 6). Najprej smo vzorce za 20 min izpostavili podtlaku -0,9 bar, nato smo tlak dvignili na 10 bar. Po eni uri in pol smo vzorce še za 10 min izpostavili podtlaku.



Slika 2: Obtežitev v plastični posodi



Slika 3: Dodajanje hidrofobnega sredstva



Slika 4 in 5: Obteženi in preliti vzorci s parafinsko emulzijo (levo) in tungovim oljem (desno)



Slika 6: Vakuumsko tlačna komora za impregnacijo

Preglednica 3: Shema oštevilčenja vzorcev

bukovina			smrekovina		
št. vzorca	sredstvo	konc. (%)	št. vzorca	sredstvo	konc. (%)
1-10	Protektin	100	111-120	Protektin	100
11-20	Laneno olje	100	121-130	Laneno olje	100
21-30	Parafinska emulzija	25	131-140	Parafinska emulzija	25
31-40	Parafinska emulzija	12,50	141-150	Parafinska emulzija	12,50
41-50	Rustikal	100	151-160	Rustikal	100
51-60	Rustikal	50	161-170	Rustikal	50
61-70	Tungovo	50	171-180	Tungovo	50
71-80	Tungovo	66	181-190	Tungovo	66
81-90	Tungovo	100	191-200	Tungovo	100
91- 110	kontrola		201-220	kontrola	



Slika 7: Vzorci, impregnirani s parafinsko emulzijo



Slika 8: Vzorci, impregnirani z oljem rustikal



Slika 9: Vzorci, impregnirani s tungovim oljem

Po vakuumiranju (Slike 7, 8, 9) smo impregnacijsko sredstvo odlili, vzorce položili na papirnate brisače ter jih stehali. Stehtali smo jih z elektronsko tehtnico Sartorius na 0,0001 g natančno (Slika 10) in izračunali mokri navzem (Enačba 1). Iz razlike mas pred impregnacijo ter po impregnaciji smo določili mokri navzem vzorcev. Iz razlike mas absolutno suhih vzorcev pred impregnacijo ter absolutno suhih vzorcev po impregnaciji smo lahko določili suhi navzem impregnacijskega sredstva.

$$r^{(v)} = \frac{m_2 - m_1}{V_1} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad \dots(1)$$

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 pred impregnacijo (m^3)



Slika 10: Tehtnica Sartorius



Slika 11: Eksikator



Slika 12: Merilnik dimenzij in računalnik

Vzorce smo po 4 tednih sušenja na zraku zložili v sušilnik Kambič in jih sušili pri temperaturi 60 ± 2 °C 3 dni. Suhe vzorce smo ponovno zložili v eksikator (Slika 11) ter jih stehali in določili dimenzije z laserskim brezstičnim merilnikom (Slika 12).

3.2.3 Določevanje hitrosti navlaževanja

Po impregnaciji smo vzorce kondicionirali, podobno kot opisuje Lesar (2011). Polovico vzorcev smo kondicionirali v klima komori z relativno vlažnostjo 87 % (Slika 13), ostale pa smo potopili v vodo. Maso in dimenzije vzorcev smo spremljali 4 tedne in na podlagi teh podatkov ovrednotili hidrofobno delovanje testiranih pripravkov.

3.2.3.1 Navlaževanje vzorcev na zraku

Polovico vzorcev smo zložili v zračno komoro s 87 % relativno zračno vlažnostjo (Slika 13, Preglednica 5). Vzorce smo najprej zložili na ustrezno pripravljene podstavke (Slika 14). Podstavek je narejen s plastično mrežo, vpeto na lesen okvir.

Na dnu komore je bila nasičena vodna raztopina $\text{ZnSO}_4 \times 6 \text{H}_2\text{O}$, ki je zagotavljala ustrezno vlažnost pri 30 °C (80 % do 90 % relativna zračna vlažnost). Za ustrezne pogoje je bilo potrebno komoro dobro zatesniti, temperatura v prostoru se je gibala okoli 25 °C. Z ventilatorjem smo v komori dosegli enakomerno porazdelitev vlažnosti v celotni komori. Temperaturo in vlažnost v komori smo spremljali s pomočjo Easy Log USB ključka, ki smo ga vstavili v samo komoro (Slika 15). Ta je redno spremljal podatke ter jih beležil.



Slika 13: Zračna komora



Slika 14: Vzorci na pladnjih



Slika 15: Log USB ključek

Prve meritve smo opravili po dveh dneh. Tehtanje in merjenje dimenzij smo nato izvajali na dva dni in kasneje tedensko 4 tedne (Preglednica 4). Maso vzorcem smo določali s tehtnico Sartorius na 0,0001 g natančno, dimenzije pa smo merili z laserskim brezstičnim merilnikom na 0,01 mm natančno.

Preglednica 4: Pregled merjenj uravnovešanja

Meritev	Uravnovešanje na zraku (dnevi)	Namakanje vodi (dnevi)	v
1	2	18 ur	
2	4	2	
3	7	3	
4	9	4	
5	11	7	
6	15	9	
7	17	11	
8	22	15	
9	30	17	
10	31	22	
11		30	
12		31	

Preglednica 5: Pregled vzorcev in impregnacije s hidrofobnimi pripravki, ki so se uravnovešali v zračni komori

zračna komora, bukev						zračna komora, smreka					
št.	sredstvo	konc.(%)	št.	sredstvo	konc.(%)	št.	sredstvo	konc.	št.	sredstvo	konc.
1	Protektin	100	54	Rustikal	50	111	Protektin	100	164	Rustikal	50
2	Protektin	100	55	Rustikal	50	112	Protektin	100	165	Rustikal	50
3	Protektin	100	61	Tungovo	50	113	Protektin	100	171	Tungovo	50
4	Protektin	100	62	Tungovo	50	114	Protektin	100	172	Tungovo	50
5	Protektin	100	63	Tungovo	50	115	Protektin	100	173	Tungovo	50
11	Lan. Olje	100	64	Tungovo	50	121	Lan. Olje	100	174	Tungovo	50
12	Lan. Olje	100	65	Tungovo	50	122	Lan. Olje	100	175	Tungovo	50
13	Lan. Olje	100	71	Tungovo	66	123	Lan. Olje	10	181	Tungovo	66
14	Lan. Olje	100	72	Tungovo	66	124	Lan. Olje	100	182	Tungovo	66
15	Lan. Olje	100	73	Tungovo	66	125	Lan. Olje	100	183	Tungovo	66
21	Par. em.	25	74	Tungovo	66	131	Par. em.	25	184	Tungovo	66
22	Par. em.	25	75	Tungovo	66	132	Par. em.	25	185	Tungovo	66
23	Par. em.	25	81	Tungovo	100	133	Par. em.	25	191	Tungovo	100
24	Par. em.	25	82	Tungovo	100	134	Par. em.	25	192	Tungovo	100
25	Par. em.	25	83	Tungovo	100	135	Par. em.	25	193	Tungovo	100
31	Par. em.	12,50	84	Tungovo	100	141	Par. em.	12,50	194	Tungovo	100
32	Par. em.	12,50	85	Tungovo	100	142	Par. em.	12,50	195	Tungovo	100
33	Par. em.	12,50	91	kontrola		143	Par. em.	12,50	201	kontrola	
34	Par. em.	12,50	92	kontrola		144	Par. em.	12,50	202	kontrola	
35	Par. em.	12,50	93	kontrola		145	Par. em.	12,50	203	kontrola	
41	Rustikal	100	94	kontrola		151	Rustikal	100	204	kontrola	
42	Rustikal	100	95	kontrola		152	Rustikal	100	205	kontrola	
43	Rustikal	100	96	kontrola		153	Rustikal	100	206	kontrola	
44	Rustikal	100	97	kontrola		154	Rustikal	100	207	kontrola	
45	Rustikal	100	98	kontrola		155	Rustikal	100	208	kontrola	
51	Rustikal	50	99	kontrola		161	Rustikal	50	209	kontrola	
52	Rustikal	50	100	kontrola		162	Rustikal	50	210	kontrola	
53	Rustikal	50				163	Rustikal	50			

3.2.3.2 Navlaževanje vzorcev v vodi

Ostale vzorce (polovico) pa smo potopili v destilirano vodo. Potopljene vzorce so prikazani v preglednici 6 in sliki 16.

V plastični posodi smo vstavili vzorce, jih pokrili z mrežico in jih obtežili, tako da so bili vsi vzorci potopljene (Slika 16). Dobro obtežene vzorce smo prelili s petimi litri destilirane vode.



Slika 16: Potopljene vzorce

Vzorce smo namakali v vodi 4 tedne, maso in dimenzije smo spremljali bolj pogosto. Samo vodo smo menjali po potrebi, glede na izpiranje učinkovin iz lesa in pojav mikroorganizmov. Na začetku smo jo menjali pogosteje, na koncu pa tedensko.

Pred tehtanjem smo vzorce vedno obrisali s papirnatim robčkom (Slika 17). Po merjenju smo vzorce zopet zložili v posodo, pokrili z mrežico in obtežili ter prelili z destilirano vodo do naslednjega tehtanja. Maso vzorcem smo določali s tehtnico Sartorius na 0,0001 g natančno, dimenzije pa smo merili z laserskim brezstičnim merilnikom na 0,01 mm natančno.



Slika 17: Vzorci vzeti iz vode med potapljanjem

Preglednica 6: Pregled vzorcev in impregnacije s hidrofobnimi pripravki, ki so bili potopljani v vodi

voda, bukev					
št.	sredstvo	konc.(%)	št.	sredstvo	konc.(%)
6	Protektin	100	59	Rustikal	50
7	Protektin	100	60	Rustikal	50
8	Protektin	100	66	Tungovo	50
9	Protektin	100	67	Tungovo	50
10	Protektin	100	68	Tungovo	50
16	Olje Lan.	100	69	Tungovo	50
17	Olje Lan.	100	70	Tungovo	50
18	Olje Lan.	100	76	Tungovo	66
19	Olje Lan.	100	77	Tungovo	66
20	Olje	100	78	Tungovo	66
26	Par. em.	25	79	Tungovo	66
27	Par. em.	25	80	Tungovo	66
28	Par. em.	25	86	Tungovo	100
29	Par. em.	25	87	Tungovo	100
30	Par. em.	25	88	Tungovo	100
36	Par. em.	12,50	89	Tungovo	100
37	Par. em.	12,50	90	Tungovo	100
38	Par. em.	12,50	101	kontrola	
39	Par. em.	12,50	102	kontrola	
40	Par. em.	12,50	103	kontrola	
46	Rustikal	100	104	kontrola	
47	Rustikal	100	105	kontrola	
48	Rustikal	100	106	kontrola	
49	Rustikal	100	107	kontrola	
50	Rustikal	100	108	kontrola	
56	Rustikal	50	109	kontrola	
57	Rustikal	50	110	kontrola	
58	Rustikal	50			

voda, smreka					
št.	sredstvo	konc.(%)	št.	sredstvo	konc.(%)
116	Protektin	100	169	Rustikal	50
117	Protektin	100	170	Rustikal	50
118	Protektin	100	176	Tungovo	50
119	Protektin	100	177	Tungovo	50
120	Protektin	100	178	Tungovo	50
126	Olje Lan.	100	179	Tungovo	50
127	Olje Lan.	100	180	Tungovo	50
128	Olje Lan.	100	186	Tungovo	66
129	Olje Lan.	100	187	Tungovo	66
130	Olje	100	188	Tungovo	66
136	Par. em.	25	189	Tungovo	66
137	Par. em.	25	190	Tungovo	66
138	Par. em.	25	196	Tungovo	100
139	Par. em.	25	197	Tungovo	100
140	Par. em.	25	198	Tungovo	100
146	Par. em.	12,50	199	Tungovo	100
147	Par. em.	12,50	200	Tungovo	100
148	Par. em.	12,50	211	kontrola	
149	Par. em.	12,50	212	kontrola	
150	Par. em.	12,50	213	kontrola	
156	Rustikal	100	214	kontrola	
157	Rustikal	100	215	kontrola	
158	Rustikal	100	216	kontrola	
159	Rustikal	100	217	kontrola	
160	Rustikal	100	218	kontrola	
166	Rustikal	50	219	kontrola	
167	Rustikal	50	220	kontrola	
168	Rustikal	50			

3.2.4 Določanje vlažnosti in spremembe mase

Maso in dimenzijo vzorcev smo določili v predhodno določenih časovnih intervalih. Vodo-odbojnost smo določali en mesec. Vzorce, potopljene v vodi smo analizirali vsak dan v prvem tednu, nato pa na dva dni. Vzorce, ki smo jih uravnovešali pri višji relativni zračni vlažnosti smo analizirali redkeje, kot je razvidno iz preglednice 4.

Po 4 tednih eksperimenta smo vzorce zložili v sušilnik in jih sušili 24 ur pri 103 °C do absolutno suhega stanja. Vzorce smo naslednji dan zopet zmerili in stehtali.

Iz danih meritev smo izračunali navzem vzorcev, spremembo volumna (Enačbi 2 in 3).

Volumen smo izračunali:

$$V = \frac{T \cdot R \cdot L}{1000} \quad \dots(2)$$

$$\Delta T(\%) = \frac{V_1 - V_k}{V_k} \cdot 100 \quad \dots(3)$$

V ... volumen preizkušanca (m³)

T ... tangencialna smer (mm)

R ... radialna smer (mm)

L ... longitudinalna smer (mm)

ΔT ... navzem vzorcev (%)

V₁ ... volumen preizkušanca pred impregnacijo (m³)

V_k ... volumen preizkušanca po impregnaciji (m³)

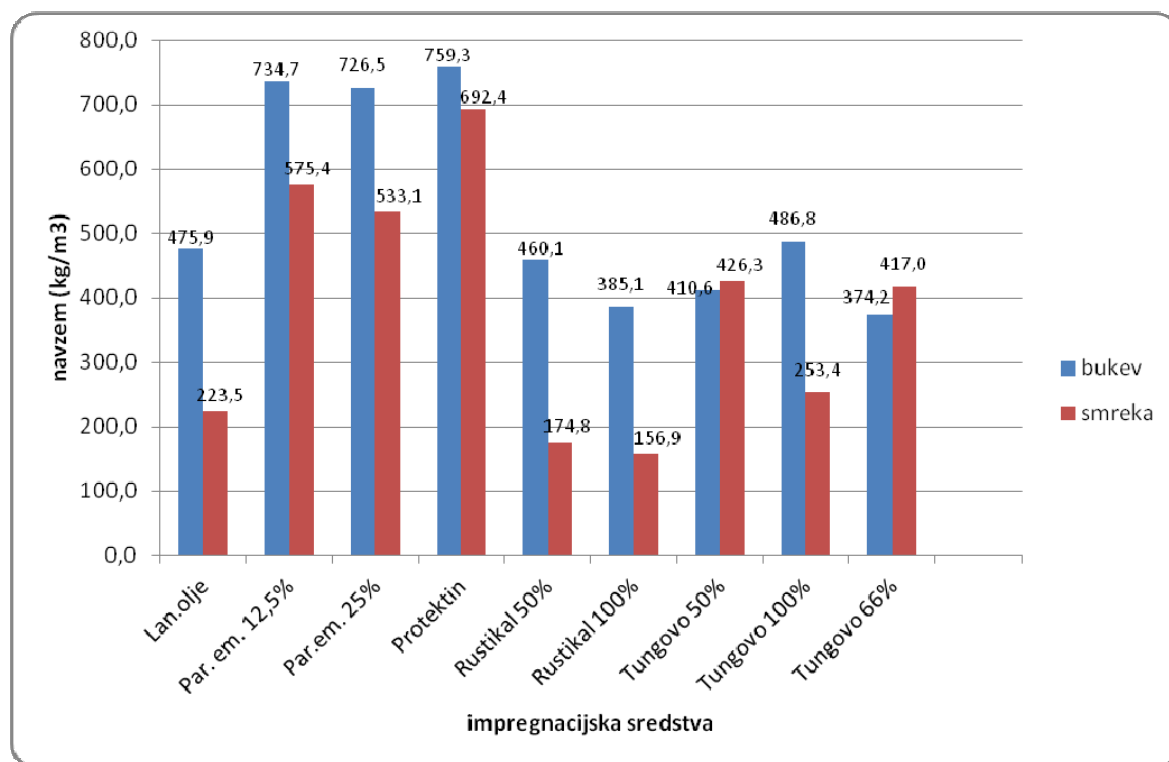
4 REZULTATI

Les, izpostavljen nihajočim vlažnostim, je podvržen nezaželenemu spreminjanju vlažnosti in posledično tudi dimenzij, oblike, barve ... Z danimi pogoji smo želeli preveriti, če smo s hidrofobnimi pripravki upočasnili navlaževanje in spreminjanje dimenzij impregniranega lesa.

4.1 NAVZEM IMPREGNACIJSKIH SREDSTEV

Navzem hidrofobnih sredstev oziroma, mokri navzem je podatek, ki nam pove koliko hidrofobnega sredstva je prodrlo v les med impregnacijo.

V laboratoriju določamo mokre navzeme s tehtanjem vzorcev pred postopkom impregnacije in po njem (Slika 18).



Slika 18: Navzem hidrofobnih sredstev v les bukovine in smrekovine

Bukovina je v vseh primerih vpila največ impregnacijskih sredstev. Vzorce smo impregnirali s kotelskim postopkom polnih celic, kar se odraža v relativno visokih mokrih navzemih. Pri tem postopku so vsaj periferni celični lumni povsem zaliti z impregnacijskim sredstvom.

Mokri navzem bukovine se giblje od $374,2 \text{ kg/m}^3$ do $759,3 \text{ kg/m}^3$. Največji navzem smo dobili pri bukovini, impregnirani s protektinom in parafinskimi emulzijami. Tako visoki navzemi jasno kažejo, da so bili vzorci dobro prepojeni z uporabljenim pripravkom. Razlogi za visoke navzeme so ti, da je bukovina ena izmed lesnih vrst, za katero je značilna dobra impregnabilnost, zaradi večjih prevodnih elementov neotiljenih trahej. Uporabljena impregnacijska sredstva so imela ustrezno viskoznost in vzorci so imeli relativno velik delež aksialnih površin, skozi katere pripravki bistveno bolje prodirajo kot v radialni oziroma tangencialni smeri.

Najnižji navzem bukovine pa imajo vzorci, zaščiteni z rustikal oljem ($460,1 \text{ kg/m}^3$) in tungovim oljem ($374,2 \text{ kg/m}^3$). Tudi ta rezultat je pričakovan, saj so olja bistveno bolj viskozna od vodnih emulzij protektina in parafina.

Kljub znanemu dejstvu, da je smrekovina manj oziroma slabše impregnabilna kot bukovina, se je pri vzorcih, zaščitenih s protektinom in parafinsko emulzijo izkazalo ravno obratno. Razlog za to se skriva v ostrih pogojih impregnacije, ki so zagotovili, da je bil celoten volumen prepojen z izbranimi emulzijami. Ker je smrekovina redkejša od bukovine, ima več praznih lumov, kamor so lahko prodrli impregnacijski pripravki, kar se odraža v višjih mokrih navzemih. Po drugi strani, pa se je pri močno viskoznem rustikal olju slabša impregnabilnost jasneje izkazala.

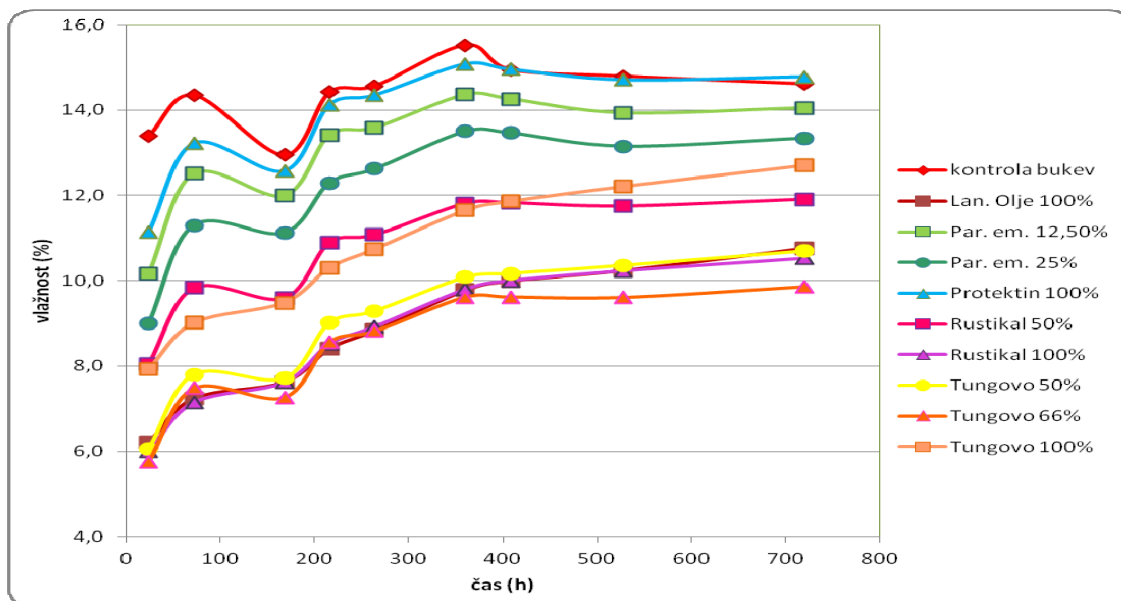
Pri smrekovini smo največji navzem ($692,4 \text{ kg/m}^3$) določili pri vzorcih, zaščitenih s protektinom, najmanjši pa je bil zabeležen, pri vzorcih, impregniranih z rustikal oljem ($156,9 \text{ kg/m}^3$).

Naši rezultati sovpadajo s splošnim pravilom, da največji navzem in najglobljo penetracijo dosežemo s sredstvom, ki ima majhno viskoznost, majhen kontaktni kot ter visoko površinsko napetost (Richardson, 1993).

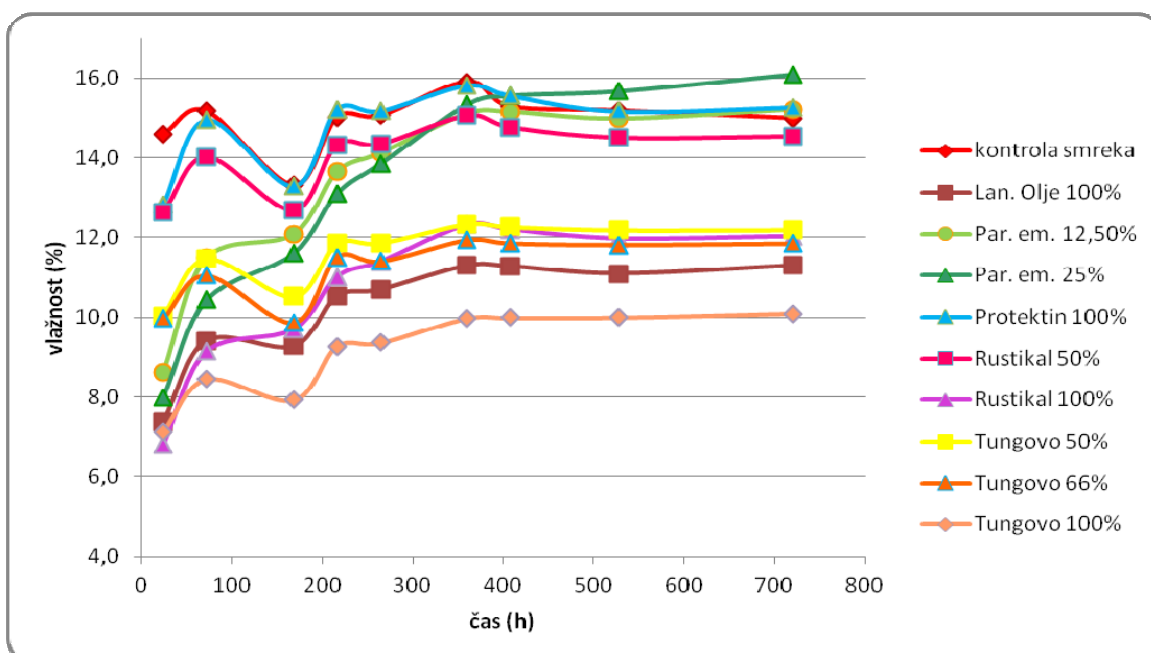
Pri parafinski emulziji dosežemo višji navzem pri nižji koncentraciji emulzije (12,5 %), ravno tako pri olju rustikal, kjer je smo zabeležili večji navzem pri razredčenem pripravku (50 % raztopina v heksanu).

Pri tungovem olju pa se izkaže ravno obratno, saj največje prodiranje dosežemo pri nerazredčenem pripravku. Laneno olje v les prodira srednje dobro, pri bukovini nekoliko bolje, kot pri smrekovini, saj je razlika v navzemu približno 200 kg/m³.

4.2 NAVLAŽEVANJE VZORCEV NA ZRAKU



Slika 19: Vpliv hidrofbnih pripravkov na navlaževanje impregniranih bukovih vzorcev v komori z vlažnostjo RH = 87 %



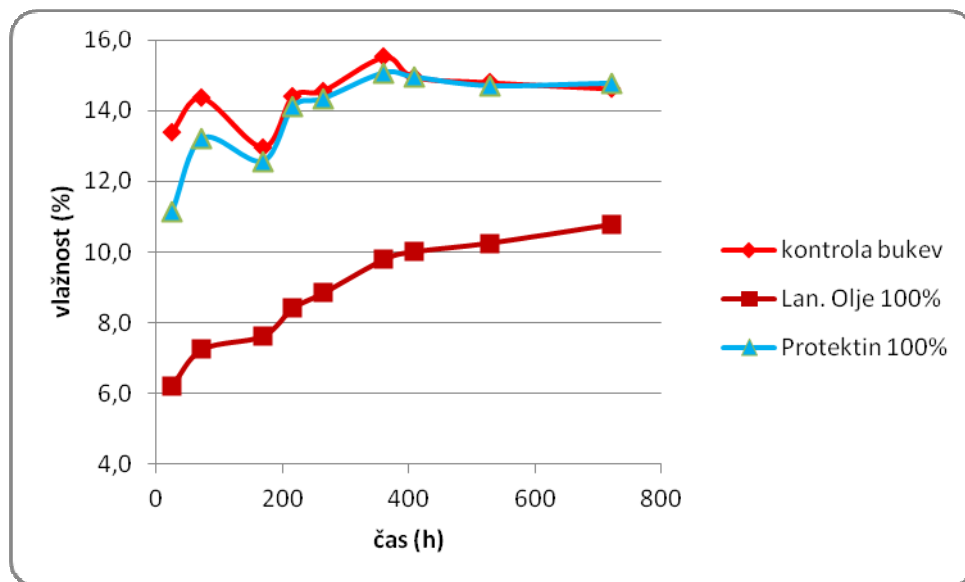
Slika 20: Vpliv hidrofbnih pripravkov na navlaževanje impregniranih smrekovih vzorcev v komori z vlažnostjo RH = 87 %

Sliki 19 in 20 prikazujeta spremembe navlaževanja bukovih in smrekovih impregniranih vzorcev v komori z relativno zračno vlažnostjo 87 %. Vsi vzorci so bili uravnovešeni 720 ur. Najvišjo vlažnost smo zabeležili pri bukovih vzorcih po 360 urah uravnovešanja in sicer vlažnost 15,5 % pri kontrolnih vzorcih (Slika 19); pri smrekovini smo ravno tako zabeležili najvišjo vlažnost pri kontrolnih vzorcih po 360 urah, in sicer so bili nekoliko vlažnejši (15,9 %). Največjo vlažnost med vsemi vzorci pa smo zabeležili pri vzorcih, zaščiteneh s parafinsko emulzijo nižje koncentracije 12,5 % in sicer 16,10 % (Slika 20). Ta podatek jasno nakazuje na dejstvo, da ta parafinska emulzija na površini ne tvori ustreznega filma, ki bi preprečeval difuzijo vodne pare v les.

V večini primerov se je pojavila najvišja vlažnost po 360 urah uravnovešanja, kasneje pa je vlažnost lesa nekoliko upadla. Razlogov za ta padec ne znamo pojasniti v celoti, en razlog se pa verjetno skriva v dejstvu, da nismo uspeli v celoti nadzorovati vseh pogojev v sobi, kjer so bile komore. Zaradi sončnega obsevanja ter nihanj v ogrevanju je nihala tudi klima v komorah za uravnovešanje.

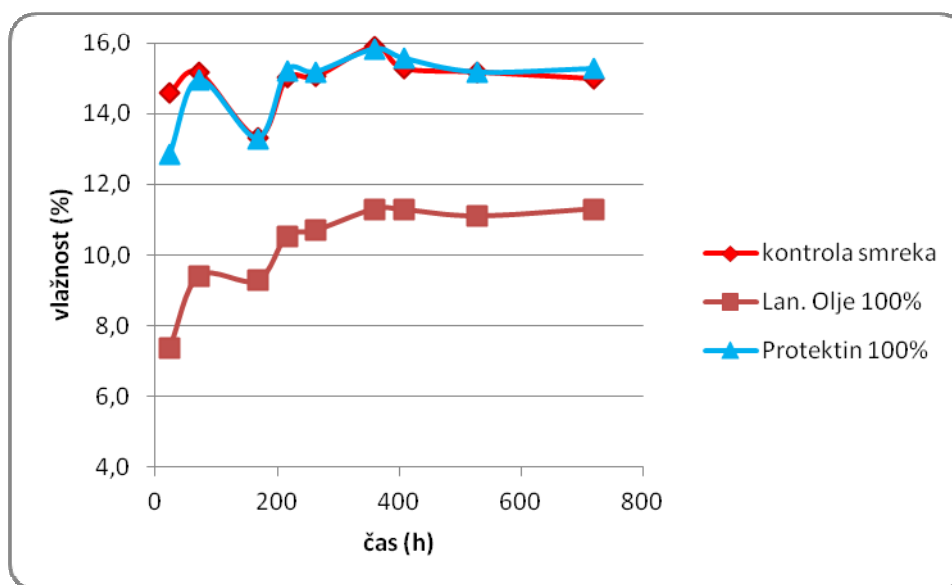
Za nazornejši prikaz je delovanje posamezne emulzije prikazano na ločenih slikah, razčlenjenih po posamezni lesni vrsti in hidrofobnem sredstvu.

4.2.1 Navlaževanje vzorcev, impregniranih z lanenim oljem in protektinom v komori z RH = 87 %



Slika 21: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih z lanenim oljem in protektinom, v komori z vlažnostjo RH = 87 %

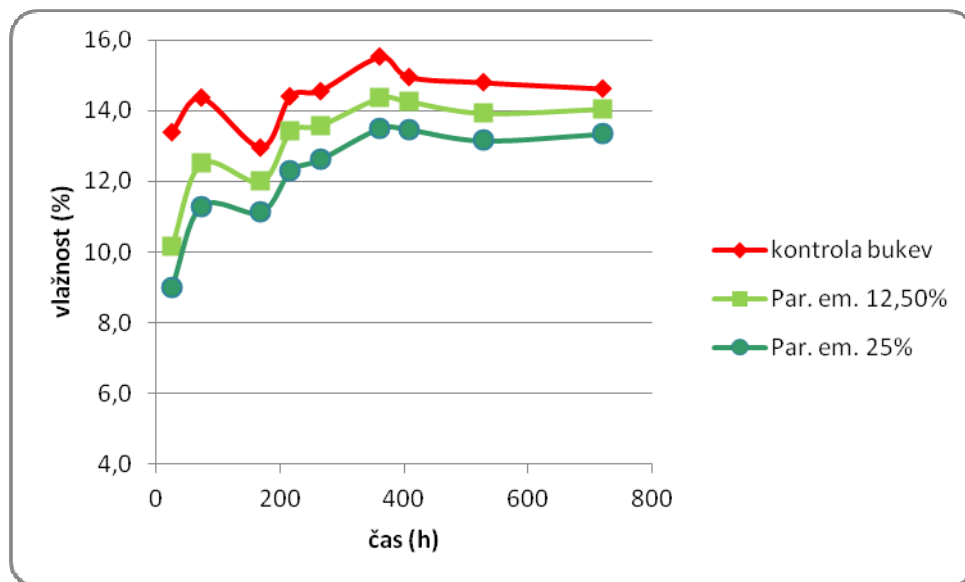
Laneno olje in protektin smo uporabili v nerazredčeni obliki. Že po 24 urah uravnovešanja so se pokazale jasne razlike v vlažnosti impregniranega lesa. Bukovina, impregnirana z lanenim oljem ima po 24 urah 6,2 % vlažnost, bukovina, prepojena s protektinom, pa kar 11,1 %, kar je malo manj kot kontrolni vzorci (13,4 %). Vlažnost pri lesu, impregniranem z lanenim oljem, linearno narašča do 10 % vlažnosti, ki jo dosežemo po 408 urah. Vlažnost lesa, impregniranega s protektinom, pa sprva narašča do maksimalne vlažnosti 15,1 %, ki jo zabeležimo po 360 urah, kasneje pa vlažnost nekoliko upade. V kolikor primerjamo vlažnost bukovine, impregnirane s protektinom in kontrolnih vzorcev, je vlažnost lesa večinoma primerljiva. Nekoliko manjša razlika je opazna le v prvih urah kondicioniranja, ko je po vsej verjetnosti film protektina nekoliko upočasn timer prodiranje vodne pare v les. Po drugi strani pa je vlažnost lesa z lanenim oljem vedno za 5 % nižja.



Slika 22: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih z lanenim oljem in protektinom, v komori z vlažnostjo RH = 87 %

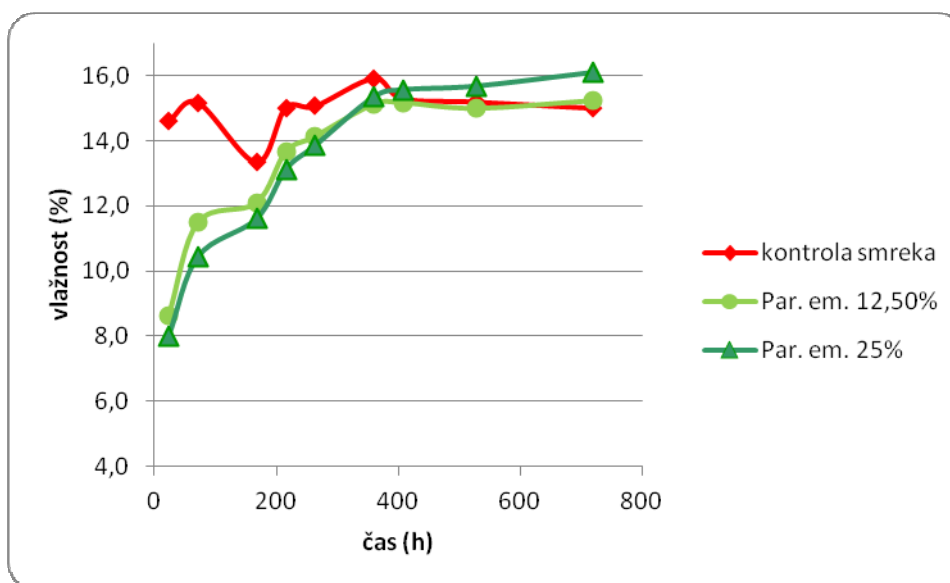
Pri smrekovini smo zaznali podobno delovanje protektina in lanenega olja kot pri bukovini vzorcih. Začetna vlažnost pri lanenem olju in protektinu se podobno kot pri bukovini razlikuje. Pri smrekovini, zaščiteni z lanenim oljem, je vlažnost impregnirane smrekovine 7,4 %, vlažnost lesa, impregniranega s protektinom pa 12,8 %, pri kontroli je vlažnost lesa 14,6 %. V nadaljevanju se vlažnost s protektinom zaščitenega lesa in kontrolnih vzorcev smrekovine izenači. Maksimalna vlažnost lesa je pri kontrolnih vzorcih 15,9 %, pri smrekovini, impregnirani s protektinom, je vlažnost primerljiva (15,8 %), pri smrekovini, impregnirani z lanenim oljem, pa je maksimalna vlažnost nižja in sicer znaša 11,3 % po 360 urah. Iz predstavljenih rezultatov (Sliki 21 in 22) je razvidno, da imata protektin in laneno olje primerljiv vpliv na navlaževanje impregnirane smrekovine in bukovine.

4.2.2 Navlaževanje vzorcev, impregniranih s parafinsko emulzijo v komori z RH = 87 %



Slika 23: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih s parafinsko emulzijo, v komori z vlažnostjo RH = 87%

Tudi pri parafinski emulziji narašča vlažnost impregniranega lesa enakomerno. Pričakovano je vlažnost lesa, impregniranega z višjo koncentracijo raztopine, nižja od vlažnosti bukovine, prepojene z emulzijo nižje koncentracije. Začetna vlažnost lesa je pri 25 % raztopini 9 %, pri 12,5 % raztopini 10,2 % in pri kontrolni bukovini 13,4 %. Maksimalno vlažnost dosežejo vzorci po 360 urah uravnovešanja, pri 25 % raztopini je vlažnost vzorcev 13,5 %, pri 12,5 % pa 14,4 %. Vzorci, zaščiteni s parafinsko emulzijo, nikoli ne presežejo vlažnosti kontrolnih vzorcev. Parafinska emulzija se je izkazala za bolj učinkovito od lanenega olja in manj učinkovita od emulzije protektin.

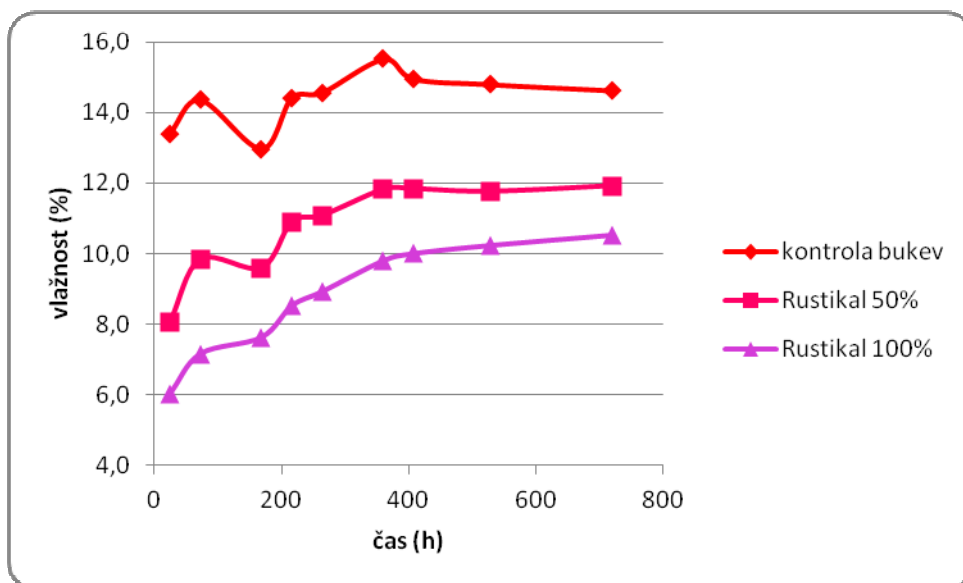


Slika 24: Vpliv hidrofbnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih s parafinsko emulzijo, v komori z vlažnostjo RH = 87%

Delovanje parafinskih emulzij na smrekovini se nekoliko razlikuje od učinkov na bukovino. Po drugi strani pa je vlažnost vzorcev, impregniranih z obema emulzijama primerljiva.

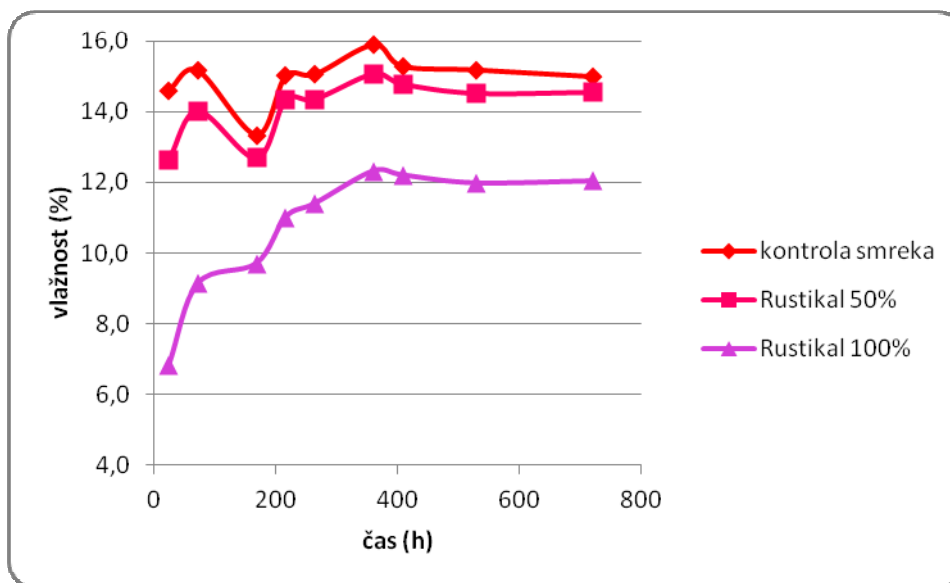
Začetna vlažnost smrekovih vzorcev, impregniranih s 25 % raztopino parafinske emulzije znaša 8 %, maksimalno vlažnost pa dosežemo po 720 urah (16,1 %). Pri nižji koncentraciji parafinske emulzije pa je začetna vlažnost lesa 8,6 % maksimalna pa 15,2 %, kar je manj od vlažnosti smrekovine, impregnirane z višjo koncentracijo (Slika 24). Eden izmed vzrokov za slabšo učinkovitost emulzije na lesu smrekovine, so nižji navzemi emulzije v smrekov les (Slike 18, 20 in 24).

4.2.3 Navlaževanje vzorcev, impregniranih z rustikal oljem v komori z RH = 87 %



Slika 25: Vpliv hidrofbnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih z rustikal oljem, v komori z vlažnostjo RH = 87%

Rustikal olje se je izkazalo kot izredno učinkovito. Pri vzorcih, impregniranih z rustikal oljem, zagotavljata obe raztopini bistveno nižje vrednosti vlažnosti kot je pri kontrolnih vzorcih. Začetna vrednost vlažnosti lesa pri obdelavi s 50 % raztopino je 8 %, pri nerazredčenem rustikal olju pa je vlažnost lesa le 6 %. Vlažnosti impregniranega lesa naraščata enakomerno, najvišja vlažnost pa je dosežena po 720 urah, in sicer 11,9 % (rustikal 50 %) in 10,5 % (rustikal 100 %). V primerjavi z do sedaj predstavljenimi hidrofbnimi pripravki, je vlažnost lesa, impregniranega z rustikal oljem, bistveno nižja od vlažnosti lesa, prepojenega tako z lanenim oljem, kot tudi s parafinsko emulzijo in protektinom.

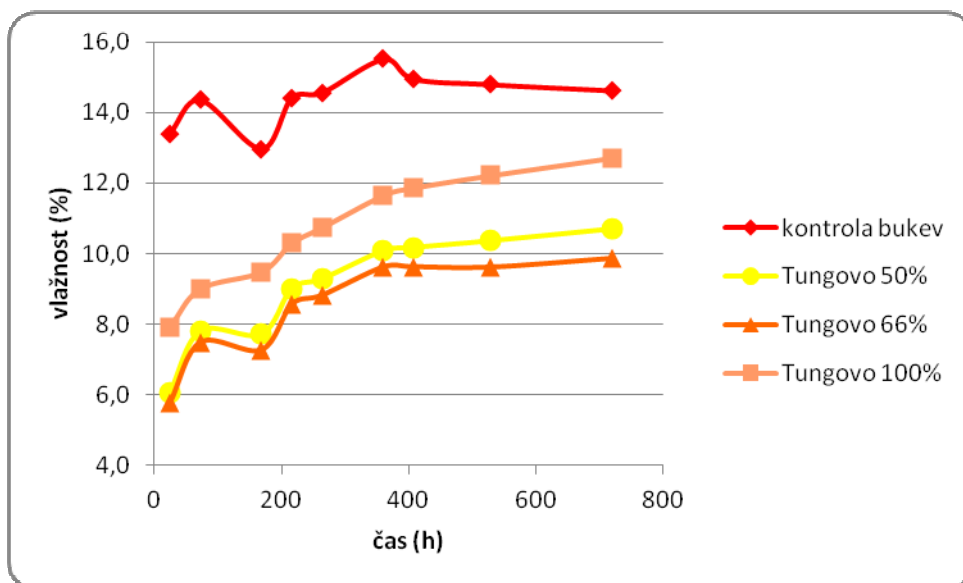


Slika 26: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih z rustikal oljem, v komori z vlažnostjo RH = 87%

Navlaževanje smrekovine, zaščitene z rustikal oljem, se razlikuje od navlaževanja bukovine, prepojene z istim pripravkom. Prva razlika je že v začetni vlažnosti, saj pri 50 % raztopini, vlažnost lesa, prepojenega s 50 % oljem, znaša 12,6 % pri nerazredčenem olju je vlažnost smrekovine znašala le 6,8 %, kar je bistveno manj od vlažnosti kontrolnih vzorcev. Vlažnost lesa, prepojenega z rustikal oljem, je nižja od vlažnosti kontrolnih vzorcev. Maksimalna vrednost je pri nerazredčenem rustikal olju, in sicer 12,3 % po 360 urah. Pri 50 % raztopini rustikal olja pa je maksimalna vlažnost lesa 15,1 % (slika 26).

Iz primerjave slike 25 in 26 je razvidno, da rustikal bistveno bolj upočasni navlaževanje bukovine kot smrekovine. Ocenjujemo, da je to povezano tudi z navzemom. Rustikal olje bistveno bolje prodre v les bukve, kot v les smreke. Po drugi strani pa se je izkazalo, da rustikal olje dobro prepreči navlaževanje lesa, če ni razredčeno. Razredčeno olje pa žal ne deluje najbolje na lesu smrekovine.

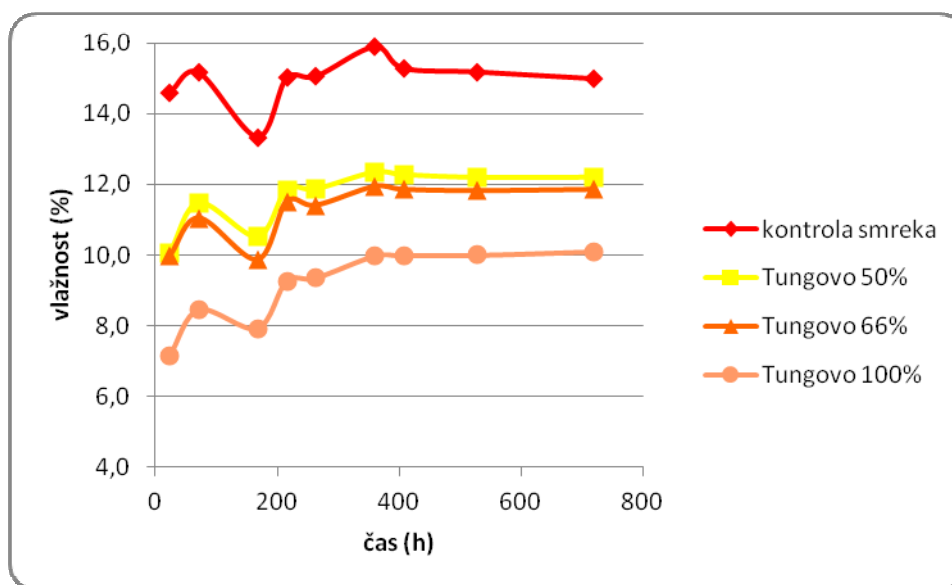
4.2.4 Navlaževanje vzorcev, impregniranih s tungovim oljem v komori z RH = 87 %



Slika 27: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih s tungovim oljem, v komori z vlažnostjo RH = 87%

Bukovino smo prepojili s tremi pripravkami tungovega olja, ki smo ga pripravili z redčenjem s heksanom. Pri bukovini, zaščiteni s tungovim oljem, so vlažnosti bistveno nižje od kontrolnih vzorcev. Naraščanje vlažnosti lesa, prepojenega s 50 % in 66 % raztopino tungovega olja, sta si po obliki navlaževanja zelo podobni. Začetna vlažnost vzorcev je 5,8 % (pri 66 % raztopini), 6,1 % (pri 50 % raztopini) in 7,9 % (pri nerazredčenem tungovem olju).

Vsem vzorcem impregniranim s tungovim oljem vlažnost narašča skoraj linearno, najvišjo vlažnost dosežejo po 720 urah, 9,9 % (pri 66 % raztopini), 10,7 % (pri 50 % raztopini) in 12,7 % (pri nerazredčenem tungovem olju).



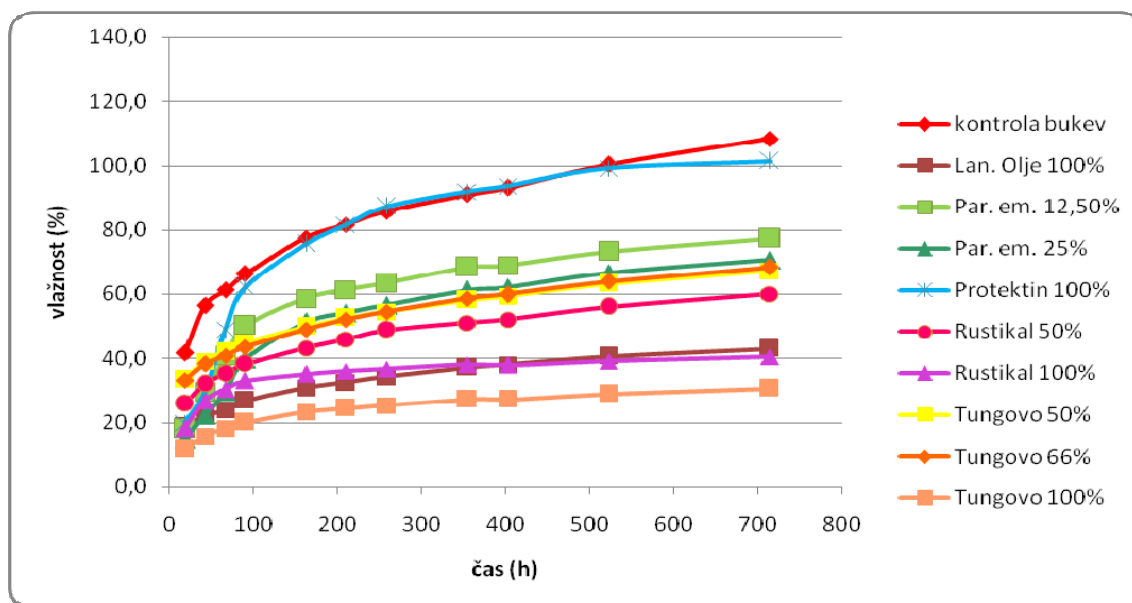
Slika 28: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih s tungovim oljem, v komori z vlažnostjo RH = 87%

Pri smrekovini, impregnirani s tungovim oljem, smo zabeležili podoben vzorec navlaževanja kot pri bukovini, le da se je nerazredčeno tungovo olje pokazalo kot najučinkovitejše. Po drugi strani pa imajo vzorci, prepojeni s 50 % in 66 % pripravki tungovega olja podoben vzorec navlaževanja. Začetna vlažnost pri 50 % in 66 % raztopini je 10 %, pri nerazredčeni raztopini pa le 7,1 %, kar je bistveno manj od vlažnosti kontrolnih vzorcev (14,6 %). V procesu navlaževanja smo zabeležili naslednje maksimalne vlažnosti: 12,2 % (50 % raztopina), 11,9 % (66 % raztopina) po 408 urah, pri nerazredčenem tungovem olju pa 10,1 % po 720 urah. Ta vrednost je v primerjavi z ostalimi hidrofobnimi sredstvi najnižja.

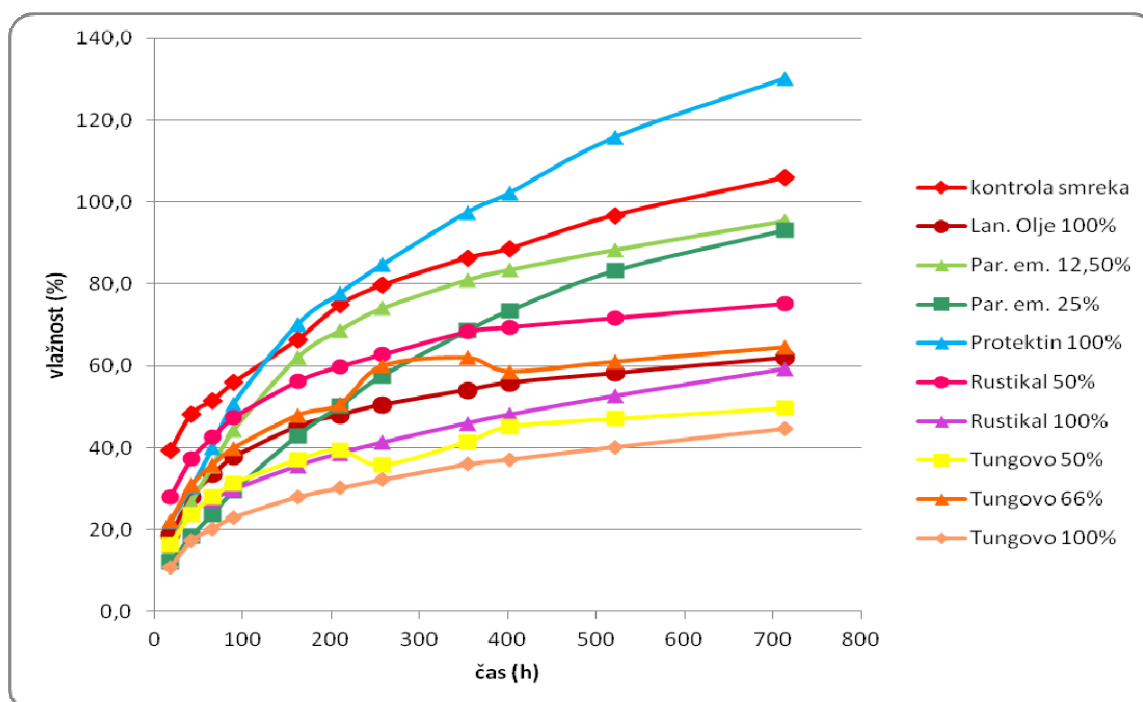
Primerjava vseh hidrofobnih pripravkov jasno pokaže, da vplivajo na ravnovesne vlažnosti lesa. Na splošno se je izkazalo, da večina hidrofobnih sistemov nekoliko bolje deluje na lesu bukve kot na lesu smreke. Razlog za to je verjetno v boljši impregnabilnosti bukovine v primerjavi s smrekovino in s tem posledično v višjih navzemih hidrofobnih pripravkov.

Poleg tega se je pokazalo, da v veliki večini primerov s heksanom razredčenih sistemov, redčenje ne deluje najboljše na sorpcijske lastnosti. En od razlogov za to je morda heksan, ki je izhajal iz lesa in s tem vplival na interakcijo olja z lesom in tvorbo filma na površini. Le to bi bilo potrebno osvetliti v eni od prihodnjih raziskav.

4.3 NAVLAŽEVANJE VZORCEV V VODI



Slika 29: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje impregniranih bukovih vzorcev, potopljenih v vodi



Slika 30: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje impregniranih smrekovih vzorcev, potopljenih v vodi

Vlažnost lesa, v odvisnosti od časa namakanja vzorcev v vodi, je razvidna iz slik 29 in 30. Kontrolni vzorci so po 714 urah namakanja pri bukovini dosegli vlažnost 108,4 %, pri smrekovini pa 105,8 % vlažnost. Najvišjo vlažnost smo izmerili pri smrekovih vzorcih,

zaščitenih s protektinom (130,2 %). Vsi ostali vzorci so bili manj vlažni. Najnižjo vlažnost smo določili pri vzorcih, prepojenih z nerazredčenim tungovim oljem, in sicer pri bukovini znaša 30,7 %, pri smrekovini pa nekoliko več, 44,7 %. Ta rezultat nakazuje, da tungovo olje močno upočasni prodiranje vode v les, kar povsem sovпада z drugimi podatki (Dim, 2012).

Vsi vzorci so se navlaževali enakomerno. Kontrolni vzorec je imel začetno vlažnost po 18 urah, 41,6 % (bukovina) in 39,3 % (smrekovina). Tolikšno vlažnost smo pri vzorcih, zaščitenih s tungovim oljem, zabeležili šele po treh tednih navlaževanja.

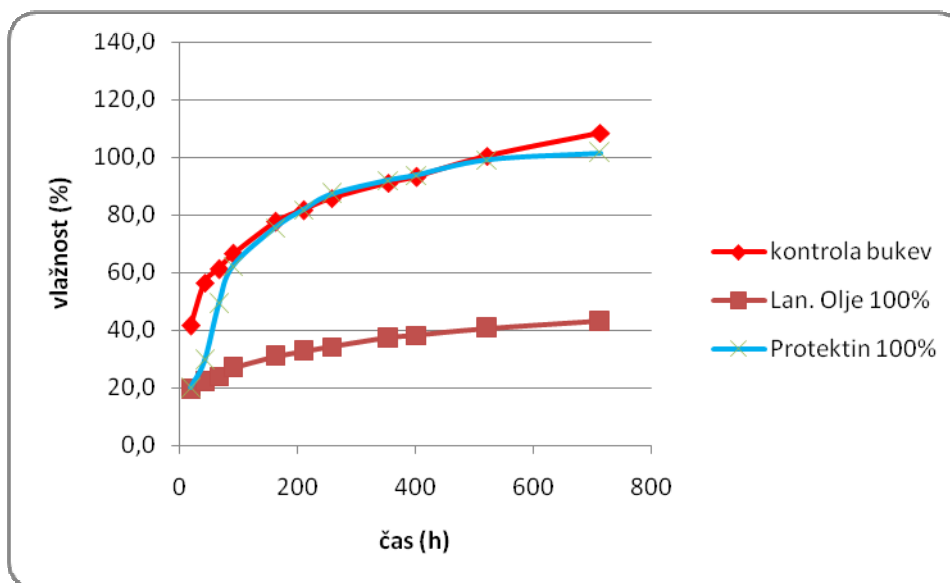
Pri obeh vrstah kontrolnim vzorcem narašča vlažnost enakomerno. Pri smrekovini vlažnost kontrolnega vzorca takoj preseže TNCS, ki pri smrekovini znaša od 30 % do 34 %, pri bukovini pa znaša med 32 % in 35 %.

Vlažnost točke nasičenja celičnih sten (TNCS) predstavlja zgornjo mejo higroskopskega območja, v katerem vlada tesna odvisnost med fizikalnimi in mehanskimi lastnostmi ter lesno vlažnostjo. Sama definicija TNCS je, da je to stanje, pri katerem so celične stene nasičene s higroskopsko (vezano) vodo, lumni pa že izpraznjeni (Gorišek, 2009).

Vlažnost kontrolnih vzorcev najbolj narašča v obdobju od 18 ur do 210 ur, nato pa se hitrost navlaževanja upočasni (navlaževanje narašča logaritemsko). Če bi podaljševali čas navlaževanja za nekaj dni, se vlažnost vzorcev verjetno ne bi bistveno spremenila.

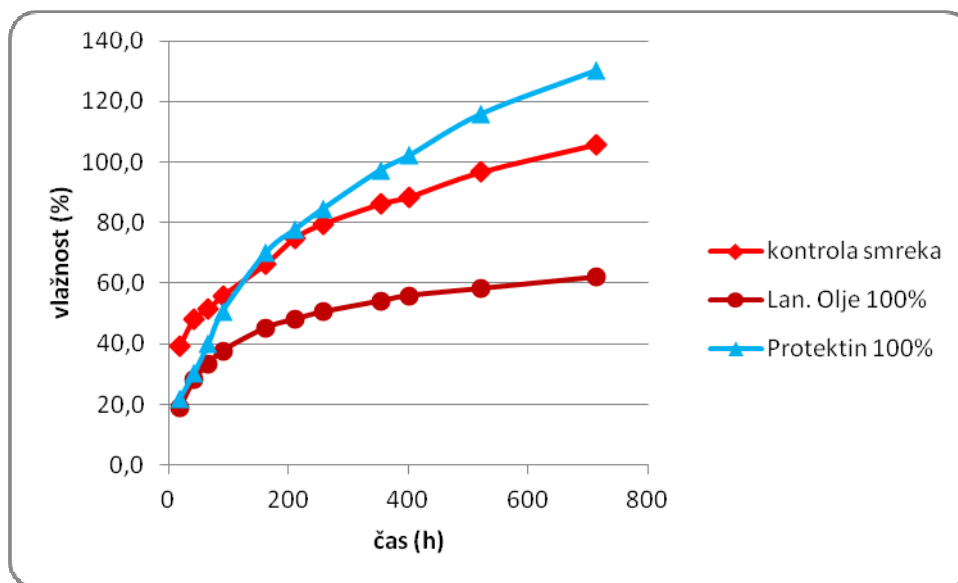
V naslednjih podpoglavjih je podrobneje prikazano navlaževanje impregnirane bukovine in smrekovine.

4.3.1 Navlaževanje vzorcev, impregniranih z lanenim oljem in protektinom v vodi



Slika 31: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih z lanenim oljem in protektinom, potopljenih v vodi

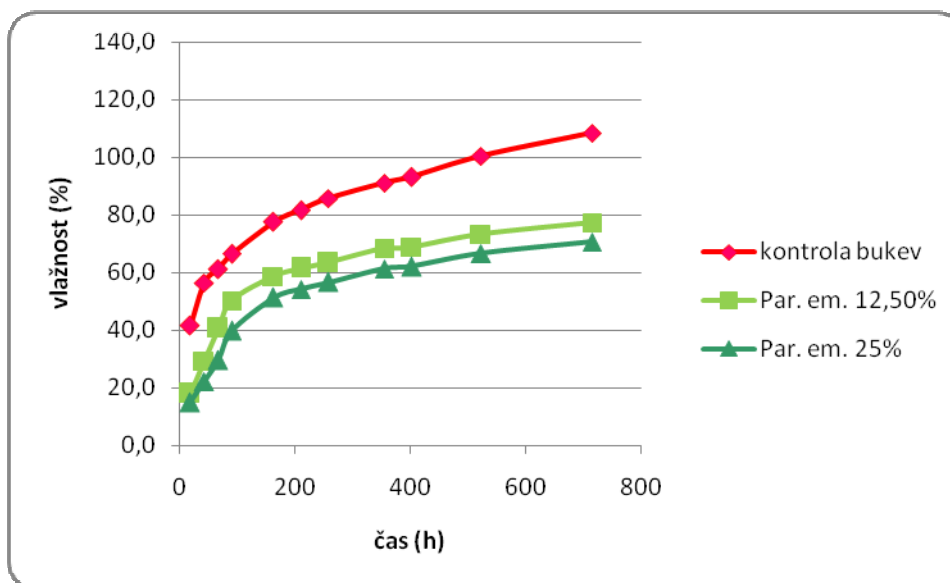
Začetna vlažnost bukovine, impregnirane s protektinom, po 18 urah potapljanja v vodi, znaša 19,9 %. Les impregniran z lanenim oljem pa 19,2 %. Obe začetni vlažnosti sta nižji od vlažnosti kontrolnih vzorcev (41,6 %). Iz slike 31 pa se lepo vidi, da se obliki krivulj navlaževanja močno razlikujeta. Pri lanenem olju narašča vlažnost lesa počasi in doseže maksimalno vlažnost 43 %, kar je bistveno manj kot smo zaznali pri nezaščiteni smrekovini. Po drugi strani pa vlažnost protektina narašča od nižje vrednosti in že po 66 urah namakanja doseže 49 % vlažnost. Vlažnost lesa, impregniranega s protektinom, preseže vlažnost kontrolnih vzorcev po 15 dneh namakanja. Najvišjo vlažnost s protektinom zaščitenega lesa dosežemo po 714 urah, to je 101,4 % (Slika 31).



Slika 32: Vpliv hidrofbnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih z lanenim oljem in protektinom, potopljenih v vodi

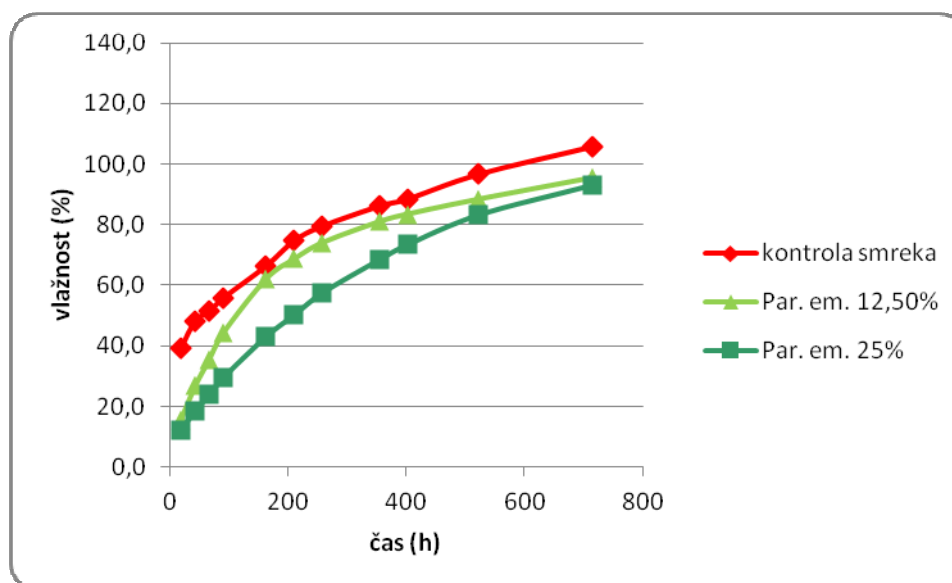
Pri impregnirani smrekovini smo zaznali podoben vzorec navlaževanja. Začetna vlažnost, po 18 urah namakanja, znaša pri lesu, prepojenem z lanenim oljem 18,2 %, pri smrekovini, impregnirani s protektinom pa 21,8 %. Kontrolni vzorci imajo vlažnost lesa 39,3 %. Protektinu vlažnost izredno hitro narašča, še posebej v začetnih intervalih. Po 162 urah preseže vlažnost kontrolnih vzorcev, maksimalno vlažnost pa dosežemo po 714 urah (130,2 %). Vlažnost lesa pri lanenem olju sprva narašča hitro, kasneje pa se umiri in doseže največjo vrednost po 714 urah namakanja (61,9 %). Vlažnost z lanenim oljem impregnirane smrekovine je tako višja od vlažnosti vzporednih bukovih vzorcev. Razlog za te razlike se skriva v dejstvu, da smo med impregnacijo v les smreke vnesli manj olja, kot v les bukve.

4.3.2 Navlaževanje vzorcev, impregniranih s parafinsko emulzijo v vodi



Slika 33: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih s parafinsko emulzijo, potopljenih v vodi

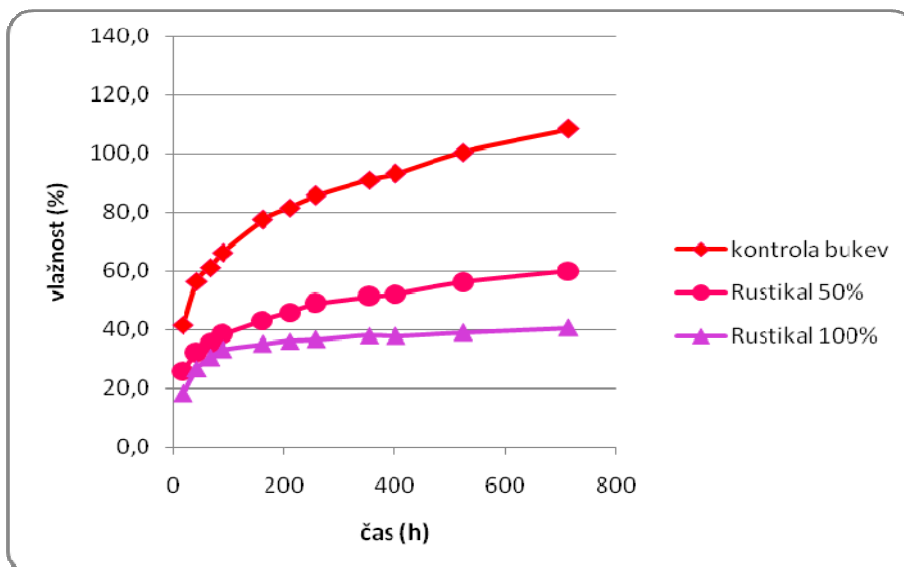
Tudi parafinska emulzija je uspešno preprečila navlaževanje lesa. Delovanje ni bilo tako učinkovito kot pri lanenem olju, vendar se je kljub vsemu izkazala bolje kot protektin. Pri parafinski emulziji pa se je vlažnost impregniranega lesa ves čas gibala pod vlažnostjo kontrolnih vzorcev. Začetna vlažnost je nizka, pri 12,5 % parafinski emulziji znaša 17,9 %. Pri 25 % parafinski emulziji pa 15 %. Vrednosti rastejo enakomerno, s tem da je naraščanje vlažnosti pri bukovini, prepojeni s parafinsko emulzijo višje koncentracije, malo manj intenzivno. Maksimalna vrednost je dosežena po 714 urah, in sicer pri nižji koncentraciji parafinske emulzije znaša vlažnost lesa 77,3 %, pri parafinski emulziji višje koncentracije pa je vlažnost lesa 70,7 %.



Slika 34: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih s parafinsko emulzijo, potopljenih v vodi

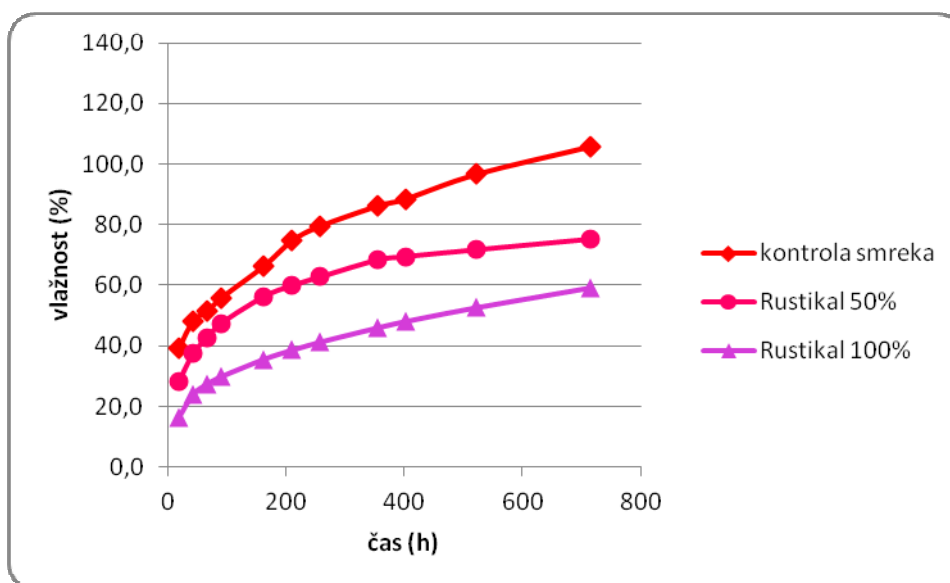
Pri smrekovini, impregnirani s 25% parafinsko emulzijo, vlažnost med namakanjem strmo narašča, začetna vlažnost je 12 %, maksimalna vlažnost pa je dosežena po 714 urah (93,2 %). Pri nižji koncentraciji parafinske emulzije vlažnost lesa prav tako strmo narašča, in doseže še višje vlažnosti. Razlog za te razlike se po vsej verjetnosti skriva v mokrem navzemu. Z emulzijo višje koncentracije smo v les vnesli več parafina, ki bolj zapre pore in tako upočasni oziroma prepreči navlaževanje. Začetna vlažnost lesa, impregniranega s parafinsko emulzijo znaša 15,6 %, maksimalna vrednost pa 95,5 %. Obe parafinski emulziji sta šteli les pred navlaževanjem, vendar ne tako učinkovito kot laneno olje. Poleg tega se je ponovno izkazalo, da je vlažnost impregnirane smrekovine višja od vlažnosti impregnirane bukovine. Glavni razlog za razlike se podobno, kot je bilo že omenjeno, skriva v boljši impregnabilnosti bukovine in s tem povezanimi višjimi navzemi. Poleg tega se je izkazalo, da so olja učinkovitejša hidrofobnostna sredstva kot vodne emulzije voskov. Ta podatek je pomemben s praktičnega vidika.

4.3.3 Navlaževanje vzorcev, impregniranih z rustikal oljem v vodi



Slika 35: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih z rustikal oljem, potopljenih v vodi

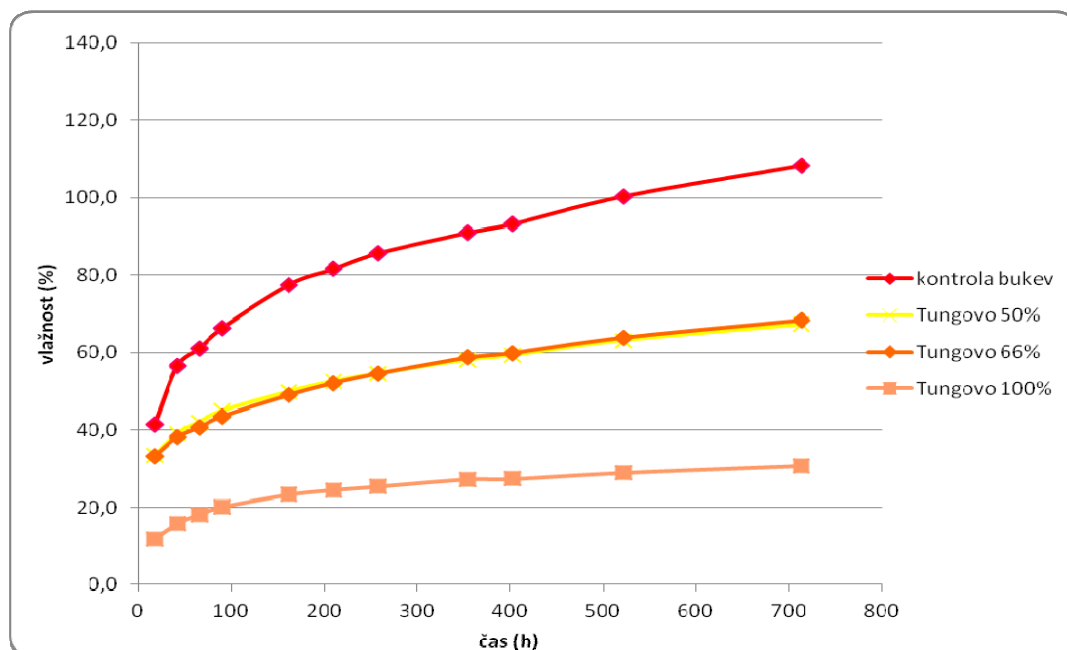
Bukovina, impregnirana z razredčenim rustikal oljem, ima višje vrednosti vlažnosti lesa kot pri nerazredčenem rustikal olju. Obe skupaj pa imata še vedno nižje vrednosti vlažnosti lesa kot kontrolni vzorci. Vzorci, impregnirani z nerazredčenim oljem rustikal imajo začetno vlažnost lesa 18,2 %, najvišja vlažnost pa je 40,5 % (30 dan). Les, prepojen z nerazredčenim oljem rustikal pa ima začetno vlažnost višjo, in sicer, 25,9 %, najvišjo pa 60,1 % (30. dan). Te vrednosti kažejo na odlično hidrofolno delovanje olja rustikal in nakazujejo na možne aplikacije tega olja v praksi.



Slika 36: Vpliv hidrofbnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih z rustikal oljem, potopljenih v vodi

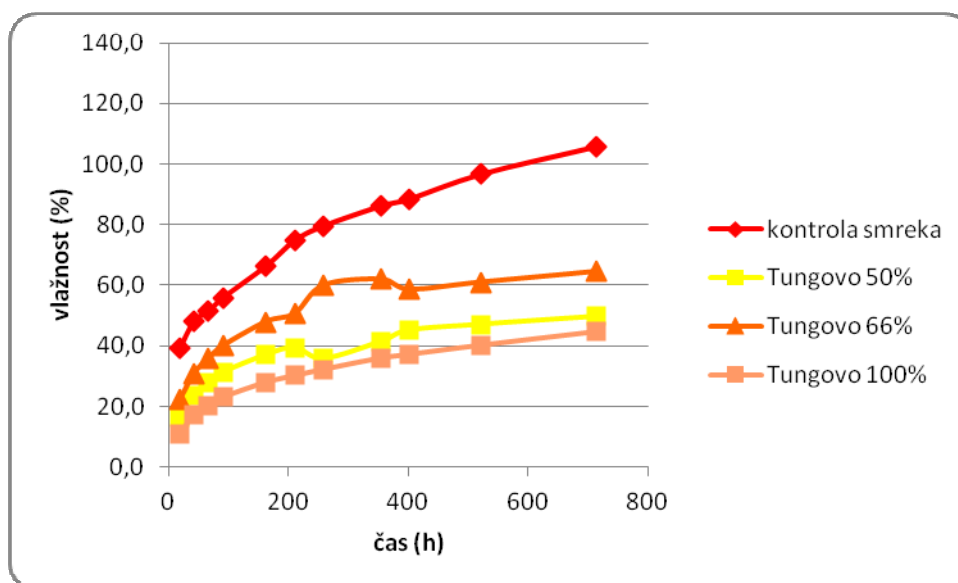
Smrekovina, impregnirana z rustikal oljem, se je obnašala podobno kot bukovina, le da so bile vlažnosti v procesu navlaževanja nekoliko višje. Pri nerazredčenem rustikal olju so vrednosti vlažnost lesa v 696 urah narasle od 28,1% do 75,2 %. Pri vzorcih, impregniranih z nerazredčenem rustikal oljem, pa so bile vlažnosti ustrezno nižje in so narasle z začetnih 16,3 % na 59,3 % (Slika 36).

4.3.4 Navlaževanje vzorcev, impregniranih s tungovim oljem v vodi



Slika 37: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje bukovih vzorcev, impregniranih s tungovim oljem, potopljenih v vodi

Podobno kot poroča Dim (2012), smo tudi mi potrdili odlično hidrofolno delovanje tungovega olja. Najnižje vlažnosti smo zabeležili pri lesu, impregniranem z nerazredčenim tungovim oljem, saj se je vlažnost lesa dvignila od začetnih 11,8 % na končnih 30,7 %. Ta vrednost je relativno nizka, za tako dolgo obdobje namakanja in kaže na dobro hidrofolno delovanje tungovega olja. Bukovina, impregnirana s 66 % raztopino tungovega olja, je v procesu namakanja dosegla primerljive vlažnosti. Po pričakovanju se je najbolj razredčeno olje obneslo najslabše, začetna vlažnost lesa je bila 33,4 %, končna pa 67,3 %. Na podlagi teh podatkov lahko sklepamo, da redčenje nima smisla, saj s tem lesu bistveno poslabšamo vodoodbojne lastnosti. Verjetno pa poleg tega še heksan, ki hlapi iz lesa, negativno vpliva na permeabilnost filma olja na površini.



Slika 38: Vpliv hidrofobnih pripravkov na navlaževanje smrekovih vzorcev, impregniranih s tungovim oljem, potopljenih v vodi

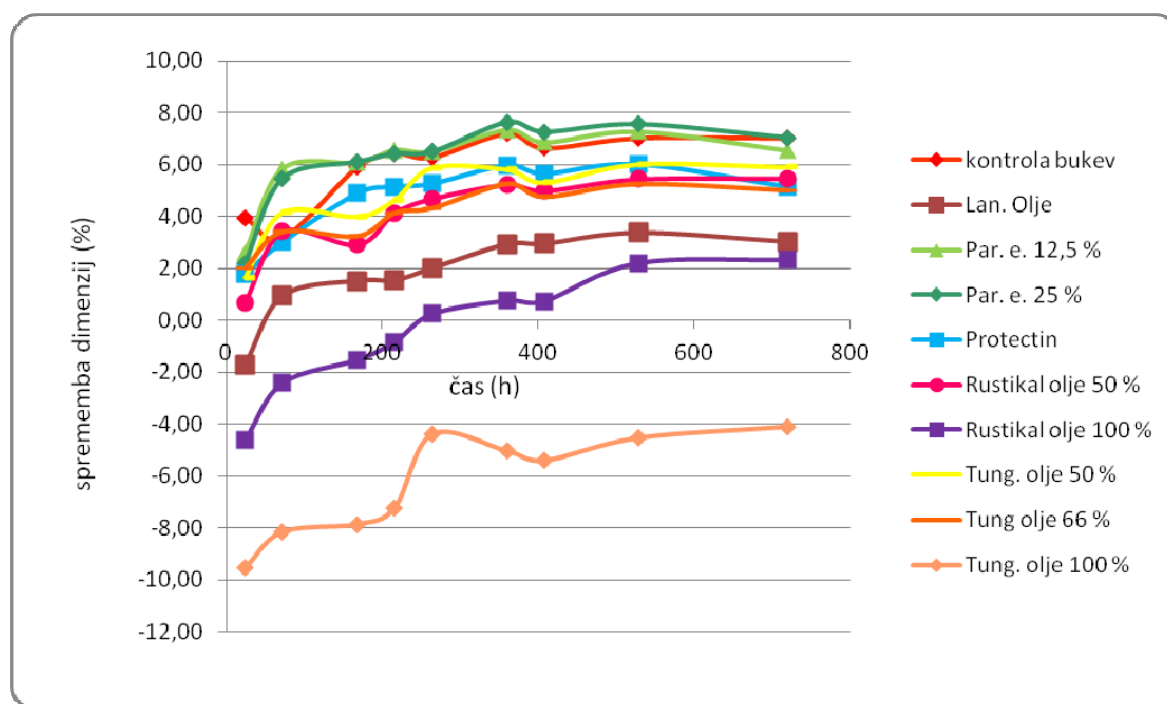
Podobno kot pri smrekovini, se je tungovo olje dobro izkazalo tudi na bukovem lesu. Najnižje vlažnosti smo zabeležili na lesu smreke, prepojenem z nerazredčenim oljem. V tem primeru je bila začetna vlažnost 10,8 %, najvišja oziroma končna pa je 44,7 %. Te vrednosti so višje od vlažnosti, ki smo jih zabeležili pri bukovem lesu. Razlog za to razliko se verjetno skriva tudi v razliki v navzemu. Nižje vrednosti ima les, zaščiten s 50 % raztopino tungovega olja, začetna vlažnost lesa je 16,3 %, najvišja pa 49,7 %. Zanimivo je, da se je delno razredčeno olje obneslo na vzorcih lesa še slabše, in sicer je začetna vlažnost 22,1 %, ki pa nato po 696 urah namakanja zraste do 64,5 %.

4.4 SPREMEMBA DIMENZIJ

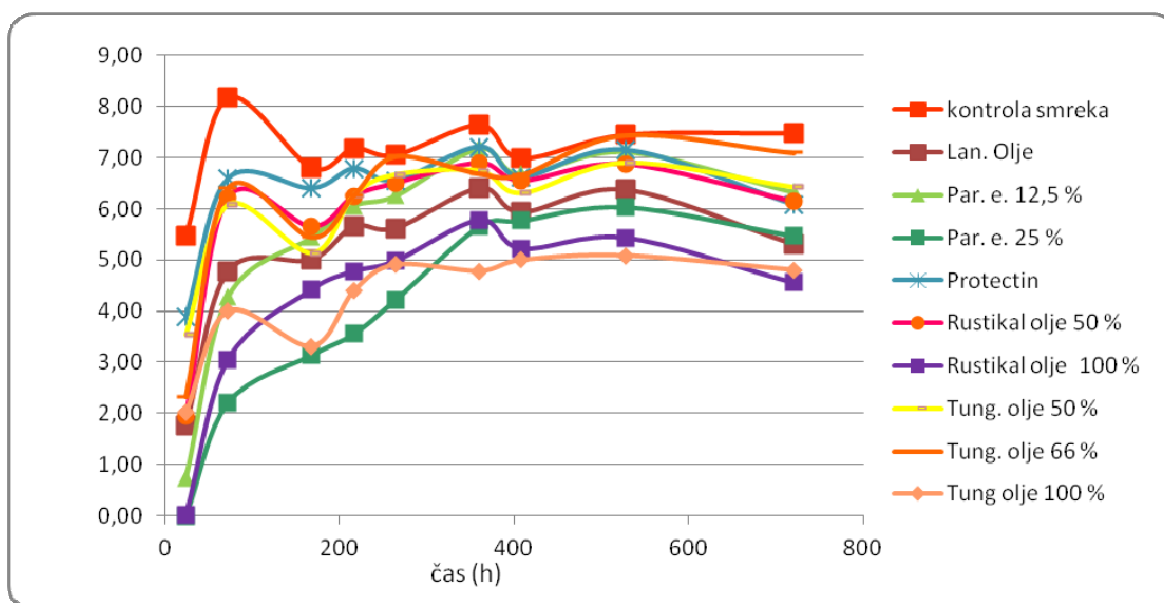
Sliki 39 in 40 prikazujeta spremembe dimenzij vzorcev, izpostavljenih visoki relativni zračni vlažnosti, 87 %. Z laserskim merilnikom smo merili dimenzije vzorcev v dveh smereh in sicer v tangencialni (x os) in radialni smeri (y os).

Pri vzorcih neimpregnirane bukovine opazimo, da je začetna sprememba najvišja 4 %, po 72 urah se skrči in nato zopet narašča do 7 %. Najvišja dimenzijska sprememba pa je pri bukovih vzorcih, zaščiteneh s parafinsko emulzijo. Pri teh vzorcih je sprva sprememba 2 %, po 30 dneh pa se poveča na 7,3 %. Bukovina, impregnirana z rustikal oljem, lanenim oljem in protektinom je imela podobne nabreke. Bukovina, impregnirana z lanenim oljem, je izkazovala najnižje nabreke in posledično najmanjše dimenzijske spremembe. Vzorci, zaščiteni s tungovim oljem in rustikal oljem, pa so imeli celo negativne nabreke.

Negativnih vrednosti ne znamo pojasniti. Le to bo lahko tema ene izmed prihodnjih diplomskih nalog.



Slika 39: Spremembe dimenzij impregniranih vzorcev bukovine po kondicioniranju v komori z relativno zračno vlažnostjo 87 %

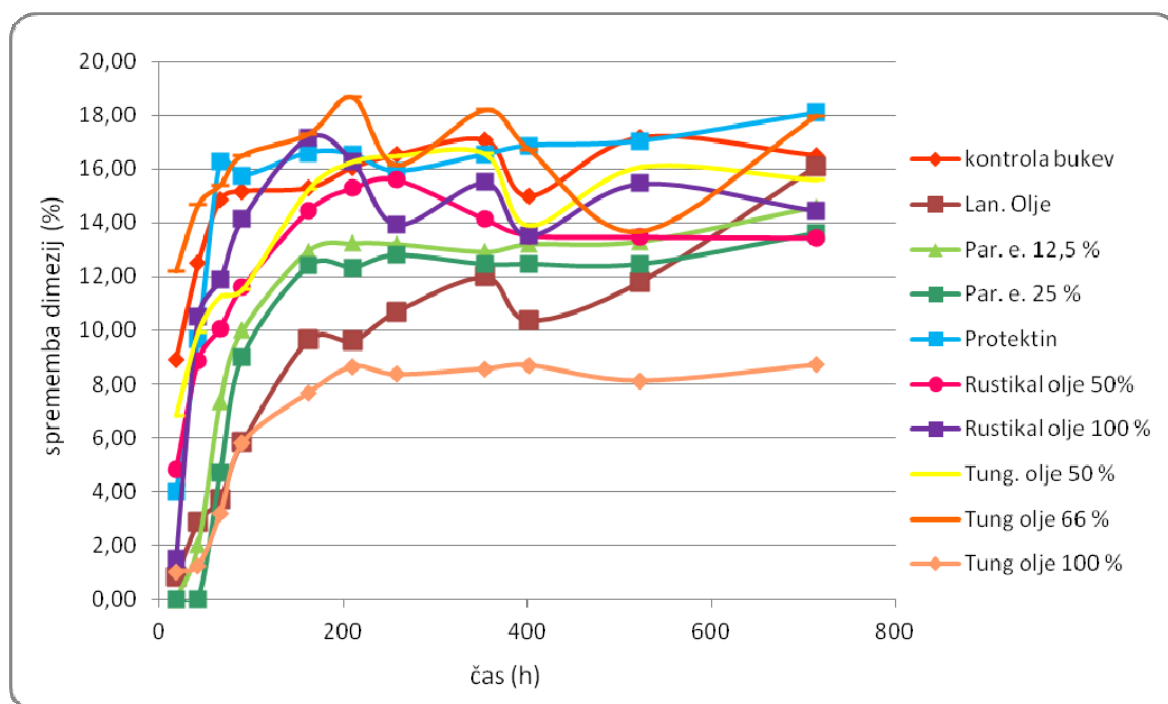


Slika 40: Spremembe dimenzij impregniranih vzorcev smrekovine po kondicioniranju v komori z relativno zračno vlažnostjo 87%

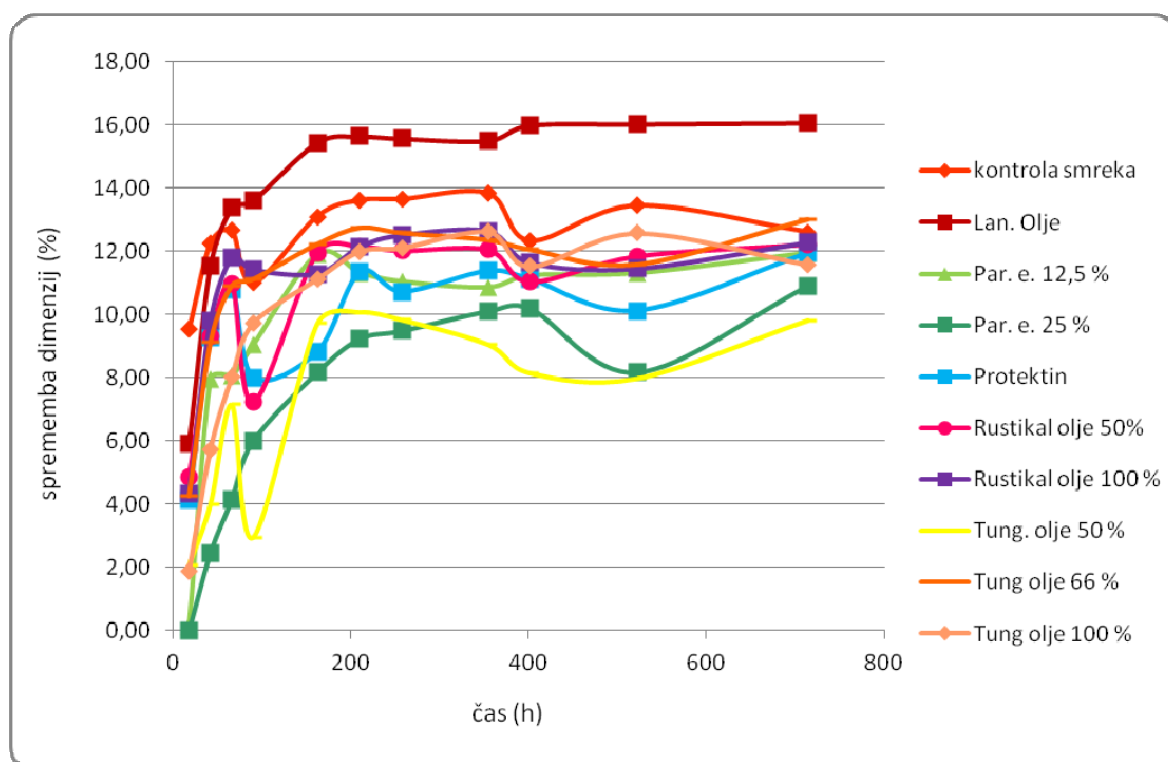
Pri smrekovini pa imajo najnižje spremembe ravno vzorci, zaščiteni s parafinsko emulzijo. Nezaščiteni vzorci imajo najvišji nabrek že na začetku merjenja, 5,5 %, tem vzorcem dimenzije tudi najbolj nihajo in dosegajo najvišje nabreke, 7,5 %. Vsi impregnirani smrekovi vzorci imajo nižje nabreke od neimpregniranih. Najboljše rezultate oz. najmanjše spremembe dobimo pri vzorcih, zaščitenih s parafinsko emulzijo in olji (nerazredčeno tungovo in rustikal). Ta rezultat je pričakovan, saj je iz gravimetrične analize razvidno, da sta ti dve olji tudi najboljše zaščitili les pred navlaževanjem.

Sliki 41 in 42 pa prikazujeta spremembe dimenzij vzorcev, ki so bili potopljene v vodi. Nazaščiteni bukovi vzorci so že po enem dnevu namakanja za 9 % povečali svoje dimenzije, po 30 dneh pa dimenzije narastejo na 16 % (Slika 41).

Impregnirana bukovina, potopljena v vodi (Slika 41) ima najnižje dimenzijske spremembe, v primeru da je bila prepojena z rustikal in lanenim oljem ali parafinsko emulzijo. Tako so se vzorci, prepojeni s tungovim oljem, prvi dan povečali za 1 %, po 30 dneh pa na 8,7 % (Slika 41). Vzorci, prepojeni z razredčenim tungovim oljem (66 % raztopina) in protektinom, imajo navišje nabreke, kar je po eni strani presenetljivo. Verjetno so pri izparevanju heksana iz tungovega olja v filmu olja v lesu nastale vrzeli, ki so omogočile prodor vode v les. Za potrditev te domneve bi bilo treba izvesti mikroskopsko analizo.



Slika 41: Spremembe dimenzij impregniranih vzorcev bukovine, potopljenih v vodi



Slika 42: Spremembe dimenzij impregniranih vzorcev smrekovine, potopljenih v vodi

Tudi pri potopljeni smrekovini (Slika 42) imajo najnižje nabreke vzorci, zaščiteni s parafinsko emulzijo. Kljub velikim začetnim nihanjem, vzorci, prepojeni z razredčenim tungovim oljem, dosežejo majhne nabreke. Zanimivo je, da so najvišje nabreke dosegli vzorci, impregnirani z lanenim oljem. Tudi pri neimpregnirani smrekovini je začetna sprememba najvišja, 9,5 %, maksimalno spremembo pa doseže po 9 dneh izpostavitve (13, 6 %). Ti rezultati so povsem skladni z rezultati raziskav Dima (2012).

Med meritvami je prihajalo do velikih nihanj, morda zaradi vlažnosti vzorcev. Izkazalo se je, da imajo zaščiteni vzorci nižje začetne nabreke, tudi samo nihanje je manjše. Pri obeh lesnih vrstah in načinih izpostavitve lahko rečemo, da nabreki naraščajo logaritemsko, če je začetni nabrek nizek, kljub izpostavitvam les ne doseže velikih dimenzijskih sprememb.

5 SKLEPI

V okviru diplomske naloge smo ugotovili, da so hidrofozna sredstva med impregnacijo dobro prodrli v les. Najbolje se je izkazala impregnacija s protektinom in parafinskimi emulzijami, saj sta bila navzema teh sredstev pri obeh lesnih vrstah najvišja. Bukovina je v vseh primerih vpila največ impregnacijskih sredstev od $374,2 \text{ kg/m}^3$ do $759,3 \text{ kg/m}^3$, smrekovina pa le od $174,8 \text{ kg/m}^3$ do $692,4 \text{ kg/m}^3$. Razlogi za visoke navzeme so, da je bukovina ena izmed lesnih vrst, za katero je značilna dobra impregnabilnost, zaradi večjih prevodnih elementov in neotiljenih trahej.

Ker so olja bolj viskozna od vodnih emulzij (protektin in parafin), je navzem z rustikal oljem in tungovim oljem posledično nižji.

Čeprav je smrekovina slabše impregnabilna kot bukovina, se je pri vzorcih, zaščiteneh s protektinom in parafinsko emulzijo izkazalo ravno obratno. Razlog za to se skriva v ostrih pogojih impregnacije, ki so zagotovili, da je bil celoten volumen prepojen z izbranimi emulzijami. Ker je smrekovina redkejša od bukovine, ima več praznih lumnov, kamor so lahko prodrli impregnacijski pripravki, kar se odraža v višjih mokrih navzemih. Po drugi strani pa se je pri močno viskoznem rustikal olju slabša impregnabilnost jasneje izkazala.

Pričakovali smo, da bodo impregnirani vzorci imeli nižjo vlažnost kot neimpregnirani vzorci, kar se je tudi izkazalo pri vseh hidrofobnih sredstvih.

Najvišjo vlažnost impregniranega lesa, izpostavljenega v zračni komori smo dosegli pri vzorcih, zaščiteneh s parafinsko emulzijo, saj emulzija na površini ne tvori ustreznega filma, ki preprečuje difuzijo vodne pare v les. Na splošno se je izkazalo, da večina hidrofobnih sistemov nekoliko bolje deluje na lesu bukve, kot na lesu smreke. Izkazalo se je tudi, da redčenje s heksanom ne deluje najbolje, saj je heksan izhajal iz impregniranega lesa in verjetno ustvarja pore v filmu na površini.

Protektin in laneno olje imata primerljiv vpliv na navlaževanje smrekovine in bukovine pri vzorcih lesa, izpostavljenih v komori z visoko relativno zračno vlažnostjo. Najboljše

impregnacijsko sredstvo je bilo v obeh primerih tungovo olje (bukovina, impregnirana s 66 % raztopino heksana, smrekovina, impregnirana z nerazredčenim tungovim oljem), rustikal olje in laneno olje. Najslabše hidrofolno delovanje smo pri obeh drevesnih vrstah zabeležili pri lesu, impregniranem s protektinom in parafinsko emulzijo.

Pri vzorcih, potopljenih v vodi, pa se izkaže, da imajo nezaščiteni vzorci višjo vlažnost že po osemnajstih urah namakanja (bukovina, impregnirana s protektinom 19,9 %, nezaščiteni les 41,6 %). Najboljše hidrofolno sredstvo pri obeh drevesnih vrstah je tungovo olje. Dobro pa prepreči navlaževanje lesa med namakanjem tudi rustikal olje. Tudi pri potopljenih vzorcih je les pred vodo najslabše zaščiten protektin.

Ugotovili smo, da v obeh primerih, pri namakanju vzorcev in uravnovešenju, redčenje olj ni smotno, saj s tem lesu poslabša vodoodbojni učinek, smotno je morda le zgolj z ekonomskega vidika. Izkazalo se je, da so olja sama po sebi bolj učinkovita hidrofolna sredstva kot vodne emulzije voskov.

6 POVZETEK

Les, nepogrešljiv material preteklosti in prihodnosti, je naravno manj odporen. Na prostem je izpostavljen biotskim in abiotskim dejavnikom razgradnje. S pravilno zaščito preprečimo prehitro razkrajanje in povečamo dimenzijsko stabilnost lesa. Vse bolj prihajajo v veljavo naravni, nebiocidni postopki zaščite. Voski so že dolgo časa v uporabi, le da so večinoma v kombinaciji z drugimi učinkovinami. Z vodoodbojnimi pripravki želimo zaščititi les pred navzemom tekoče vode, ki je potrebna za delovanje gliv.

Pri raziskovanju smo uporabili različna hidrofobna sredstva, med njimi laneno, tungovo in rustikal olje ter parafinske emulzije in protektin. Vsa hidrofobna sredstva smo uporabili samostojna, nekatera smo le razredčili. Ta sredstva smo na bukovini in smrekovini preizkusili v različnih koncentracijah. Vzorce smo vzporedno preizkušali, polovico je bilo potopljenih v vodo, druge polovico pa smo izpostavili visoki relativni zračni vlažnosti (87 %).

Ugotovili smo, da je bukev veliko bolj impregtabilna od smrekovine, saj so bukovi vzorci imeli višje navzeme hidrofobnih sredstev, posledično je bila tudi vlažnost lesa nižja od kontrolnih vzorcev.

Največji navzem je dosegel protektin, ki se je kasneje izkazal za najmanj učinkovitega, ker ni tvoril zadostnega filma in s tem onemogočil vodoodbojni učinek. S protektinom impregniran les je dosegel podobne vlažnosti kot nezaščiteni vzorci. Torej se uporaba le tega v praksi ne izkaže za racionalno.

Izkazalo se je, da so vzorci, impregnirani s tungovim, rustikal in lanenim oljem dobro preprečili navzem vode. Najbolje se je izkazalo tungovo olje, ker je zadostno zapolnilo pore in s tem preprečilo adsorpcijo vode v les in s tem doseglo nižjo vlažnost lesa, izpostavljenega v danih pogojih.

Kljub temu, da smo pri lesu, impregniranem s protektinom in parafinskimi emulzijami dobili podobne vlažnosti lesa kot pri kontrolnih vzorcih, je zaščita z njimi še zmeraj učinkovita, saj vsaj v začetku prepreči prehitro navlaževanje lesa in s tem spremembe dimenzij.

Torej, če želimo upočasniti in zmanjšati nabrekanje oz. krčenje, je smotrno les zaščititi. Najboljšo učinkovitost so pokazala olja, kot so tungovo, rustikal in laneno. Uporaba le teh je v praksi izkazala najboljšo vodoodbojnost zaščitenega lesa.

7 VIRI

- Aloui F., Ayadi N., Charrier B. 2004. Durability of European oak (*Quercus Petrea* and *Quercus robur*) against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): relations with phenol extractives. Holz als Roh und Werkstoff, 62: 286-290
- Bhat K. 2005. Wood durability of home – garden teak against brown- rot and white-rot fungi. Trees, 19: 654-660
- Budija F. 2008. Tungovo olje. Les, 60, 4: 142-147
- BASF. 2009. Za prijetno ohlajene prostore bomo v stene vgrajevali vosek. [http://www.basf.si/tisk_novice_detail.html?&no_cache=1&tx_ttnews\[pointer\]=2&tx_ttnews\[tt_news\]=78&tx_ttnews\[backPid\]=223&cHash=48382da31e](http://www.basf.si/tisk_novice_detail.html?&no_cache=1&tx_ttnews[pointer]=2&tx_ttnews[tt_news]=78&tx_ttnews[backPid]=223&cHash=48382da31e)
(5. 3. 2009)
- Ciesla W.M. 2002. Non-wood forest products from temperate broad-leaved trees. Non-Wood Forest Products, 15: 59-66
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Dim A. 2012. Učinkovitost izbranih hidrofobnih pripravkov za les. Diplomski projekt Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 36 str.
- Dinwoodie J. 2000. Timber. Its nature and behaviour. London, E & FN Spon: 257 str.
- Fabčič B. 2008. Vpliv širine branik hrastovine na naravno odpornost proti glivam razkrojevalkam. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 77 str.
- Fine Woodworking 1999. Finishes & finishing techniques: professional secrets for simple and beautiful finishes from Fine Woodworking. Taunton Press, Newtown, 208
- Feist W.C., Mraz E.A. 1978. Protecting millwork with water repellents. Forest Products Journal, 28: 31-35
- Gettens R. J., Stout G. L. 1966. Painting Materials: A Short encyclopedia. New York, Dover Publications: 333
- Gerardin P., Neya B., Dumarcay S., Petrisans M., Serraj M., Huber F. 2004. Contribution of gums to natural dursbility of Propsis africana heartwood. Holzforscung, 58: 39-44
- Gorišek Ž. 2009. Les. Zgradba in lastnosti. Njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str

- Guidice A. 2001. The Seven Essentials of Woodworking. New York, Sterling Publishing Company, Inc.: 128 str.
- Guilley E., Charpentier J., Ayadi N., Snakkers G., Nepveu G., Charrier B. 2004. Decay resistance against *Coriolus versicolor* in Sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) analysis of the between-tree variability and correlations with extractives, tree growth and other basic properties. Wood Science and Technologie, 38: 539-554
- Garai M.R., Sanchez I.C., Garcia R.T., Rodriguez A.M., Vilchez C., Hidalgo-Alvarez R. 2005. Study on the effect of raw material composition on water-repellent capacity of paraffin wax emulsions on wood. Journal of dispersion Science and Technology, 26: 9-18
- Ghosh S.C., Mai C., Militz H. 2008. The efficacy of commercial silicones against blue stain and mould fungi in wood. International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 08-30471
- Haupt M., Leithoff H., Meier D., Puls J., Richter H., Faix O. 2003. Heartwood extractives and natural durability of plantation-grown teakwood (*Tectona Grandis* L.) a case study. Holz als Roh-und Werkstoff, 31: 473-474
- Humar M., Fabčič B., Zupančič M., Pohleven F., Oven P. 2008. Influence of xylem growth ring width and wood density on durability of oak heartwood. International Biodeterioration and Biodegradation, 62, 4: 368-371
- Jewitt J. 1997. Hand-Applied Finishes. Newtown. Taunton Press: 208 str.
- Koch P. 1985. Utilization of Hardwoods Growing on Southern Pine Sites. U.S. Department of Agriculture, Washington, Forest Service.: 605 str.
- Kervina Hamović. L. 1990. Zaščita lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 126 str.
- Laneno olje. 2008. Chemcolor Sevnica d.o.o.
<http://www.chemcolor.si/laneno-olje.html> (11.1.2012)
- Lesar B., Humar M., Oven P. 2008. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegova trajnost. Les, 60, 11/12: 408-414
- Lesar B., Petrič M., Kričej B., Humar M. 2009. Voski in njihova uporaba v lesarstvu. Les, 61, 5: 188-194
- Lesar B., Humar M. 2010. Vrednotenje življenjske dobe lesa, zaščenega z emulzijami voskov in bakeretanolaminskimi pripravki v tretjem razredu izpostavitve. Zbornik gozdrstva in lesarstva, 93: 23-36

- Lesar B., Straže A., Humar M. 2011. Sorption properties of wood impregnated with aqueous solution of boric acid and montan wax emulsion. *J. appl. polym. sci.*, 120, 3: 1337-1345
- Lesar B. 2011. Interakcije borovih spojin in emulzij voskov z lesom in lesnimi glivami. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 198 str.
- Ling H., Maiqian N., Chiavari G., Mazzeo R. 2007. Analytical characterization of binding medium used in ancient Chinese artworks by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry. *Micropchemical Journal*, 85: 347-353
- Matthies L. 2001. Natural montan wax and its raffinates. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 103: 239-248
- McElroy W. 1987. *Painter's Handbook*. Craftsman Book Company, Carlsbad: 318
- Mihevc V., Tišler V., Krajnc A. 1994. Odpornost voskanih površin na reagente in toploto. *Les*, 46, 1-2: 10-13
- Morrell J.J., Morris P.I. 2002. Methods for improving preservative penetration into wood: a review. The International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 02-40227.
- Nellis D. W. 1997. *Poisonous Plants and Animals of Florida and the Caribbean*. Pineapple Press Inc., Sarasota: 416 str.
- Panshin A., De Zeeuw C., 1980. *Textbook of Wood Technology*. New York, McGraw-Hill: 722 str.
- Passialis C.N., Voulgaridis E.V. 1999. Water repellent efficiency of organic solvent extractives from Aleppo pine leaves and bark applied to wood. *Holzforschung*, 53: 151-155
- Petrič M. 2002a. Površinska obdelava lesnih talnih oblog z naravnimi olji. *Korak*, 5: 41-42
- Petrič M. 2002b. Površinska obdelava lesenih talnih oblog z voščenimi premazi. *Korak*, 6: 38-39
<http://www.korak.ws/clanki/povrinska-obdelava-lesnih-talnih-oblog-z-voenimi-premazi.html> (25.8. 2008).
- Petrič M. 2007. Zaščita lesa z lanenim oljem.
<http://www.korak.ws/strokovnjaki/vprasanja-in-odgovori/zascita-lesa-z-lanenim-oljem-2.html> (19.5.2007)

- Petrič M. 2000. Natural oils and waxes for surface protection of wood. V: International conference Ecological, biological and medical furniture - fact and misconceptions. Zagreb, Šumarski fakultet, 6.
- Pohleven F. 2008. Konstrukcijska zaščita lesa pred škodljivci. V: Gradnja z lesom-Izziv in priložnost za Slovenijo. K.K. M. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 96-100
- Pohleven F. 2010. Obvladajmo podnebne spremembe- uporabimo les. Ljubljana, Slovenska gozdno-lesna tehnološka platforma, Liberalna akademija, Ekološki forum LDS, Služba Vlade Republike Slovenije za podnebne spremembe: 88 str.
- 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. E & FN Spon, London: 226 str.
- Samson Kamnik: <http://www.samson-kamnik.si/si/index.htm>
Varnostni list- Protektin
Varnostni list- Rustikal olje
- 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
- Svensson I.G., Hagglund G., Johansson I., Banks W.B. 1987. Water based repellents for treatment wood. International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 87-3446, 10.
- SIST EN 350-1:1995. Trajnost lesa in lesnih izdelkov – Naravna trajnost masivnega lesa – 1. del: Navodila za osnove preskušanja in klasifikacije naravne trajnosti lesa. European Committee for Standardization
- SIST EN 350-2:1995. Trajnost lesa in lesnih izdelkov – Naravna trajnost masivnega lesa – 2. del: Naravna trajnost in možnost impregnacije izbranih, v Evropi pomembnih vrst lesa. European Committee for Standardization
- SIST EN 335-1/2:2006. Trajnost lesa in lesnih proizvodov – Definicija uporabnosti razredov – 1. in 2. del. 2006: 23 str.
- Treu A., Luckers J., Militz H. 2004. Screening of modified linseed oils on their applicability in wood protection. International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 04-30346,17.
- Viitanen H., Leena P., Teijo N., Pirkko V. 1997. Durability of larch (*Larix* spp) Wood against brown rot fungi. International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 97-10228, 9 str.

- Windesen E., Wagener G., Lasnino G., Schumacher P. 2002. Investigation of the correlation between extractives content and natural durability in 20 cultivated larch trees. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 60: 373-374
- Wolfmeier U. 2003. Waxes. V: *Ullman's encyclopedia of industrial chemistry*, 39, 3. izdaja (Ur.), Bhonet M. Wiley-VCH, Weinheim: 136-141
- Zhang Y., Jin J., Wang S. 2007. Effects of Resin and Wax on the Water Uptake Behavior Of Wood Strands. *Wood and Fiber Science*, 39,2: 271-278
- Zobel B. J., van Buijtenen P. 1989. *Wood Variation. Its Causes and Control* Springer-Verlag. Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Berlin: 363 str.

ZAHVALA

Mentorju, prof. dr. Mihi Humarju, bi se iskreno zahvalila za vso pomoč, zasnovo in strokovno znanje za izvedbo te diplomske naloge. Najlepša hvala za vse nasvete pri pisanju in oblikovanju.

Rada bi se tudi zahvalila somentorju dr. Boštjanu Lesarju za pomoč pri izvajanju eksperimentalnega dela, za vse nasvete, pomoč pri iskanju literature in opombe pri pisanju.

Najlepša hvala tudi recenzentu, prof. dr. Marku Petriču za recenzijo diplomske naloge in vse opombe.

Za pomoč pri oblikovanju diplomske naloge se zahvaljujem prof. slov. in soc., bibliot. Darji Vranjek.

Zahvaljujem se tudi vsem ostalim zaposlenim na Oddelku za lesarstvo.

Velika zahvala gre tudi staršem in bratu, ki so mi bili v času študija v veliko oporo ter me podpirali in bodrili v času nastajanja diplomske naloge.

Na koncu pa bi se rada zahvalila še vsem ostalim, ki so mi v času študija in izdelave diplomske naloge tako ali drugače pomagali.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Darja MATKO

**HIDROFOBNOST LESA IMPREGNIRANEGA S PRIPRAVKI NA
OSNOVI LANENEGA, TUNGOVEGA IN RUSTIKAL OLJA TER
PARAFINSKIH EMULZIJ**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2012

