

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej GRILC

**VPLIV TEMPERATURE SUŠENJA Z VODNIMI
EMULZIJAMI POLIETILENSKIH VOSKOV
IMPREGNIRANEGA LESA NA SORPCIJSKE IN
HIDROFOBNE LASTNOSTI LESA**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej GRILC

**VPLIV TEMPERATURE SUŠENJA Z VODNIMI EMULZIJAMI
POLIETILENSKIH VOSKOV IMPREGNIRANEGA LESA NA
SORPCIJSKE IN HIDROFOBNE LASTNOSTI LESA**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**INFLUENCE OF DRYING TEMPERATURE ON SORPTION AND
HYDROPHOBIC PROPERTIES OF POLYETHYLENE WAX WATER
EMULSIONS TREATED WOOD**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2012

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

Senat Oddelka za lesarstvo BF je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Miha Humarja, za somentorja dr. Boštjan Lesarja in za recenzenta prof. dr. Marko Petriča.

Mentor: prof. dr. Miha Humar

Somentor: dr. Boštjan Lesar

Recenzent: prof. dr. Marko Petrič

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Matej GRILC

KLJUČNA INFORMACIJSKA DOKUMENTACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*841.1
KG	les/bukovina/smrekovina/zaščita/impregnacija/vodne emulzije voskov/ sorpcija/polietilenski voski/navlaževanje/temperatura sušenja
AV	GRILC, Matej
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	VPLIV TEMPERATURE SUŠENJA Z VODNIMI EMULZIJAMI POLIETILENSKIH VOSKOV IMPREGNIRANEGA LESA NA SORPCIJSKE IN HIDROFOBNE LASTNOSTI LESA
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	X, 58 str., 6 pregl., 38 sl., 49 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Zaradi zavedanja okoljske problematike se v zadnjem času precej pozornosti posveča iskanju novih postopkov zaščite lesa. Trend je v opuščanju škodljivih biocidnih postopkov in zniževanju porabe tropskega lesa. Ena izmed okolju prijaznih rešitev je zaščita z vodnimi emulzijami voskov. Princip delovanja je v povečanju vodo-odbojnosti; posledično les ostaja bolj suh, kar znižuje stopnjo ogroženosti lesa. Sorpcijske lastnosti z vodnimi emulzijami voskov impregniranega lesa smo preizkušali na smrekovih in bukovih vzorcih. Za zaščito smo uporabili polietilenski vosek WE1 in oksidirani polietilenski vosek WE6. Vzorce smo sušili na 2 različna načina, in sicer prvi del vakuumsko pri 60 °C, drugega pa v laboratorijskem sušilniku pri 140 °C. Izvedli smo test, kjer smo spremljali vlažnost in dimenzije vzorcev, ki so se navlaževali v klima komori pri povišani zračni vlažnosti (87 %). Drugi test za preučevanje vpliva impregnacije z vodnimi emulzijami voskov pa smo izvedli z 10-minutnim, ponavljajočim se namakanjem v destilirani vodi. Zaradi anatomskih značilnosti smrekovine in njene slabe impregnabilnosti nismo opazili bistvenih razlik med posameznimi vrstami vzorcev. Najboljši rezultat smo dosegli pri vakuumsko sušeni bukovini, kjer je bila stopnja vlažnosti lesa do 25 % nižja v primerjavi s kontrolnimi vzorci. Pri bukovih vzorcih nam je s prepojitvijo z vodnimi emulzijami voskov uspelo omiliti dimenzijske spremembe.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC UDC 630*841.1

CX wood/beech/Norway spruce/protection/impregnation/water/wax
emulsions/sorption/polyethylene wax/ humidification/drying temperature

AU GRILC, Matej

AA HUMAR, Miha (supervisor)/LESAR, Boštjan (co-advisor)/PETRIČ, Marko
(reviewer)

PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and
Technology

PY 2012

TI INFLUENCE OF DRYING TEMPERATURE ON SORPTION AND
HYDROPHOBIC PROPERTIES OF POLYETHYLENE WAX WATER
EMULSIONS TREATED WOOD

DT Graduation thesis (University studies)

NO X, 58 p., 6 tab., 38 fig., 49 ref.

LA sl

AL sl/en

AB Due to a rise in the awareness on environmental issues, special emphasis is taken to developing new procedures for wood protection. Harmful biocidal solutions and the use of tropical woods are in decline due to increased environmental awareness. One of the environmentally friendly solutions is the protection of wood with water repellent emulsions increasing hydrophobicity; therefore, wood remains dry and is not endangered by the degrading fungi. Sorption characteristics of wood impregnated with a water repellent emulsion were tested on Norway spruce and beech samples. Polyethylene wax emulsion WE1 and oxidized polyethylene wax emulsion WE6 were used for impregnation. The samples were dried in 2 different ways: in a vacuum at 60 °C, and with a laboratory oven dryer at 140 °C. Half of the specimens were used for monitoring of moisture content and the dimensions of the samples conditioned in chamber with high relative air humidity (87 %). The second half of the specimens was used for elucidation of capillary water uptake through 10 minute non-continuous dipping into distilled water. Due to anatomical properties of Norway spruce and poor impregnability we did not notice any considerable influence of the wax treatment of the dimensional stability and moisture of spruce wood blocks. Considerably more prominent differences were observed at beech wood specimens. The best result was achieved after vacuum drying of impregnated beech, where moisture content was up to 25 % lower compared to the control samples. Volume changes were improved when beech samples were wax treated.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA INFORMACIJSKA DOKUMENTACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 LES	2
2.2. LES KOT HIGROSKOPEN – NETRAJEN MATERIAL	2
2.3. DEJAVNIKI RAZKROJA	3
2.4. RAZREDI IZPOSTAVITVE	4
2.5. TRENDI V ZAŠČITI LESA	6
2.6. VOSKI	8
2.6.1 Definicije voskov	8
2.6.2 Razdelitev voskov	9
2.6.3. V lesarstvu najpogosteje uporabljeni voski	10
2.6.3.1 Čebelji vosek	10
2.6.3.2 Karnauba vosek	11
2.6.3.3 Montanski vosek	11
2.6.3.4 Šelakov vosek	12
2.6.3.5 Parafinski vosek	13
2.6.3.6 Ostali sintetični voski	13
2.7. VPLIV VOSKOV NA SORPCIJSKE LASTNOSTI	14
3 MATERIALI IN METODE	17
3. 1. PRIPRAVA VZORCEV	17
3.2. IMPREGNACIJA VZORCEV	18
3.3. MOKRI NAVZEM	20
3.4. SUŠENJE	21
3.5. NAVLAŽEVANJE V VODI	22

3.6. NAVLAŽEVANJE NA ZRAKU	24
4 REZULTATI IN RAZPRAVA.....	27
4.1. NAVZEM VODNIH EMULZIJ VOSKOV, KOT REZULTAT IMPREGNACIJE	27
4.2. NAVLAŽEVANJE NA ZRAKU	30
4.2.1. Spremljanje vlažnosti lesa	30
4.2.2. Spremljanje sprememb dimenzij	36
4.2.3. Pregled rezultatov za navlaževanje na zraku.....	42
4.3. NAVLAŽEVANJE V VODI.....	43
4.3.1. Spremljanje vlažnosti lesa med navlaževanjem v vodi	43
4.3.2. Spremljanje sprememb dimenzij med navlaževanjem v vodi	49
4.3.3. Pregled rezultatov navlaževanja v vodi	51
5 SKLEPI	52
6 POVZETEK	53
7 VIRI	54
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Razredi izpostavitve po standardu SIST EN 335/1 2006	5
Preglednica 2: Časovni razpored meritev med navlaževanjem v vodi	23
Preglednica 3: Časovni potek meritev pri navlaževanju vzorcev v komori z visoko RZV (87 %).....	25
Preglednica 4: Navzem vodnih emulzij voskov	27
Preglednica 5: Pregled rezultatov: (največja vlažnost, in največji volumenski nabrek) - Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na spremembe dimenzij in spremembo vlažnosti smrekovega in bukovega lesa pri povišani zračni vlažnosti (RZV 87 % - v klima komori)	42
Preglednica 6: Pregled rezultatov: (največja vlažnost, povprečna vlažnost in največji volumenski nabrek) - Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na spremembe dimenzij in spremembo vlažnosti smrekovega in bukovega lesa po 10 minutnem namakanju v destilirani vodi.....	51

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Termično modificiran les (Thermally modified..., 2012)	7
Slika 2: Razvrstitev voskov (Wolfmeier, 2003; SpecialChem, 2008).....	9
Slika 3: Čebelji vosek (Waxexporter..., 2011)	10
Slika 4: Karanuba vosek (Waxexporter..., 2011)	11
Slika 5: Montanski vosek (Montan Wax..., 2012).....	12
Slika 6: Šelakov vosek (Waxexporter..., 2011).....	12
Slika 7: Parafinski vosek (Waxexporter..., 2011).....	13
Slika 8: Polietilenski vosek (Waxexporter..., 2011).....	14
Slika 9: Tipična sorpcijska histerezna zanka za les (Gorišek in sod., 1994).....	15
Slika 10: Vodo-odbojnost lesne površine, dosežena z obdelavo z voskom (Momentive wax..., 2012)	16
Slika 11: Orientirani smrekovi in bukovi vzorci dimenzij $2 \times 2 \times 5$ cm.....	17
Slika 12: Premazana čela vzorcev z epoksidnim premazom.....	18
Slika 13: Vakuumsko - tlačna komora Kambič, za impregnacijo lesnih vzorcev	19
Slika 14: Grafični prikaz tlaka v odvisnosti od časa med impregnacijo vzorcev z emulzijami izbranih voskov	20
Slika 15: Sprememba dimenzij vzorcev po impregnaciji	21
Slika 16: Vakuumski (levo) in laboratorijski sušilnik (desno)	22
Slika 17: Shematski prikaz namakanja vzorcev v destilirani vodi	23
Slika 18: Navlaževanje vzorcev v klima komori.....	24
Slika 19: Laboratorijska tehnika SARTORIUS.....	25
Slika 20: Laserski merilnik dimenzij (Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Katedra za Mehanske obdelovalne tehnologije)	26
Slika 21: Slikovni prikaz navzema vodnih emulzij v les smreke (S) in bukve (B).....	28
Slika 22: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v vakuumu na vlažnost smrekovega lesa.	30
Slika 23: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku na vlažnost smrekovega lesa.	31

Slika 24: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v vakuumu na vlažnost bukovega lesa	32
Slika 25: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku na vlažnost bukovega lesa.....	33
Slika 26: Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na vlažnost smrekovega in bukovega lesa v klima komori z 87 % RZV	34
Slika 27: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v vakuumu na dimenzijske spremembe smrekovega lesa	36
Slika 28: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku na dimenzijske spremembe smrekovega lesa	37
Slika 29: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v vakuumu na dimenzijske spremembe bukovega lesa.....	38
Slika 30: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku na dimenzijske spremembe bukovega lesa	39
Slika 31: Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na dimenzijske spremembe smrekovega in bukovega lesa v klima komori z 87 % RZV	40
Slika 32: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v vakuumu na vlažnost smrekovega lesa zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi.....	43
Slika 33: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku na vlažnost smrekovega lesa zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi.....	44
Slika 34: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v vakuumu na vlažnost bukovega lesa zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi.....	45
Slika 35: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku na vlažnost bukovega lesa zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi.....	46

- Slika 36: Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na spremembe vlažnosti smrekovega in bukovega lesa zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi, pred namakanjem v destilirani vodi 47
- Slika 37: Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na spremembe vlažnosti smrekovega in bukovega lesa, zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi, po namakanju 48
- Slika 38: Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na spremembe dimenzij smrekovega in bukovega lesa, zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi, po namakanju 50

1 UVOD

Les je naraven material in je zaradi svojih dobrih lastnosti v uporabi že od nekdaj. Ker je naraven in okolju prijazen material, mu ta dejstva v obdobju naravovarstvenega ozaveščanja še povečujejo vrednost. Glavna pomanjkljivost lesa je v tem, da je podvržen razkroju in da je relativno higroskopen material. Namen zaščite lesa je preprečevati oziroma omiliti te negativne lastnosti in pridobiti odličen material tudi za uporabo na prostem. Zaradi novih trendov se opuščajo nekdanji uveljavljeni biocidni postopki zaščite lesa, saj le-ti precej obremenjujejo okolje. Novi načini podaljševanja življenjske dobe izdelkov predstavlja modifikacija lesa. Modifikacija lesa vključuje več postopkov, ki povzročijo, da glive in insekti lesa ne prepoznajo več kot vir hrane (Tjeerdsma s sod., 1998). Druga možnost je, da vzdržujemo nizko vlažnost izdelkom in na ta način preprečujemo okužbo oziroma napad škodljivcev (Goethals in Stevens, 1994).

Voski so hidroforni, kar nas napelje na to, da je les, ki je tretiran z voskom tudi bolj vodo-odbojen. Že od nekdaj poznamo naravne voske, vendar je v zadnjem času v porastu predvsem poraba sintetičnih voskov. Predvsem polietilenski voski se v zadnjih letih čedalje pogosteje uporabljajo v industrijske namene. Glavna prednost sintetičnih voskov je nižja cena in lažja modifikacija želenih lastnosti.

Glavni namen naše raziskave je bil preveriti, kako temperatura sušenja z vodnimi emulzijami voskov impregniranega lesa, vpliva na sorpcijske lastnosti impregniranega lesa. Les, impregniran z vodno emulzijo voska, naj bi pridobil na vodo-odbojnosti s predpostavko, da smo impregniran les segreli nad točko tališča uporabljenega voska. Posledično naj bi se tvoril tanek kompakten film voska na površini lesa, ki pozitivno vpliva na odboj vode.

Želja je zmanjšati negativne lastnosti lesa, kot naravnega materiala na najbolj naravi prijazen način. Ob uspehu lahko dobimo odličen material prihodnosti.

2 PREGLED OBJAV

2.1 LES

Les je surovina, ki jo ljudje uporabljamo že od nekdaj. Uporabljal se je nekoč in se zaradi svojih dobrih lastnosti uporablja še danes. Z znanjem les razvijamo v moderen material. Les je okoljsko gledano zelo prijazen material, zaradi tega postaja vse bolj pomemben v času boja proti podnebnim spremembam.

Les nastaja v lesnih ali lesnatih rastlinah. Iz tehničnega vidika je les trdno vlaknasto tkivo pod skorjo debel in vej. V živih rastlinah, drevesih ali grmih opravlja mehansko funkcijo (oporo rastline), prevajanje vode in skladiščenje hrane (Čufar, 2002).

Les je material, ki ga v večini uporabljamo za gradbeni material, pohištvo, papir in celulozo. Z razvojem pa bi bilo mogoče les vpeljati v nove izdelke oziroma ga povrniti v izboljšane različice nekdanje uporabe lesa.

Z izpopolnjenim znanjem, ozaveščanjem ljudi o ugodnih lastnostih lesa, bo les tudi material prihodnosti.

2.2. LES KOT HIGROSKOPEN – NETRAJEN MATERIAL

Les je naraven material. Ima številne dobre lastnosti, žal pa tudi nekaj manj ugodnih lastnosti, ki so slabosti predvsem z vidika uporabnika. Pojem »škodljivi vplivi« lahko vpeljemo šele z načrtovanjem rabe. Naš cilj je čim bolj upočasniti proces razkrojevanja in s tem podaljšati življenjsko dobo izdelkov.

Lastnost lesa, ki v lesarstvu povzroča precej težav, je higroskopnost. Gradniki lesa, hemiceluloza, celuloza, lignin so vsi bolj ali manj higroskopni, kar pomeni, da sprejemajo in oddajajo vodo glede na relativno vlažnost okolice. To se v prvi meri odraža v dimenzijskih spremembah lesa, ki je zaradi narave lesa anizotropen (različno se krči in nabreka v različnih smereh). Za biološko razkrojevanje je v večini primerov potrebna dovolj velika vlažnost lesa. Zračno suh les je varen pred okužbo z glivami in pred večino lesnih insektov (Pohleven, 2008a). Iz tega lahko sklepamo, da bi ob zmanjšani higroskopnosti, zmanjšali vpliv bioloških dejavnikov razkroja.

Material bi postal dimenzijsko bolj stabilen in bolj odporen pred biološkemu, predvsem glivnemu razkroju.

2.3. DEJAVNIKI RAZKROJA

Les je organska snov, kar pomeni, da v življenjskem ciklu lesa prej ali slej pride tudi do njegovega razkroja. To je povsem naravno in v naravi zaželena lastnost. Dejavnike razkroja smo za škodljive označili ljudje, saj nam povzročajo škodo, kadar les uporabljamo v gospodarske namene. Z razvojem zaščite lesa uporabniki skušamo upočasniti razkroj lesa in s tem podaljšati življenjsko dobo lesenim izdelkom.

Dejavnike razkroja lahko delimo na abiotične in biotične.

Abiotični – dejavniki nežive narave so (Kervina-Hamović, 1990; Jecl, 2005)

- nihanje temperature,
- veter,
- voda,
- vlaga,
- svetloba (UV sevanje),
- kemikalije,
- reaktivni plini.

Največji vpliv abiotičnih dejavnikov razkroja se kaže na lesu, ki ga uporabljamo na prostem. Les na prostem je podvržen vremenskim vplivom, zato je razkroj lesa dokaj hiter. Poleg dejavnikov razkroja, na razkroj bistveno vpliva čas izpostavitve in seveda klimatske razmere področja, v katerem se les nahaja. Primer, kjer je delovanje abiotičnih dejavnikov intenzivno, je lesena streha (Pečenko, 1987).

Biotični dejavniki – dejavniki žive narave so (Kervina-Hamović, 1990; Jecl, 2005)

- bakterije,
- glive,
- insekti,
- morski škodljivci,

- človek.

Les, kot živ organizem predstavlja hrano za druge žive organizme. S tem, ko se organizmi prehranjujejo s posameznimi komponentami lesa, zmanjšujejo njegovo vrednost, saj negativno vplivajo na večino njegovih lastnosti. Pri nas so najpomembnejši dejavniki žive narave glive in insekti (Pečenko, 1987).

2.4. RAZREDI IZPOSTAVITVE

V evropskem standardu SIST EN 335/1,2 (2006) so definirani razredi izpostavitve lesa glede na prisotnost lesnih škodljivcev. Standard pozna pet razredov, od tega se tretji in četrti razred delita na dva poddela. Stopnja ogroženosti z razredi narašča, torej je les najmanj ogrožen v prvem razredu izpostavitve, najbolj pa v petem. Glavno merilo za razvrščanje v razrede je mesto uporabe lesnega izdelka, saj je s tem neposredno povezana izpostavljenost navlaževanju lesnih izdelkov. Les je lahko glede na mesto uporabe stalno suh, občasno, pogosto ali stalno vlažen, to dejstvo pa pogojuje, kateri škodljivci bodo napadali, oziroma okužili les. S pomočjo razredov izpostavitve lahko predvidimo ogroženost lesa in ga ustrezno zaščitimo. Za uspešno zaščito je pogosto zelo pomembno, da s pomočjo konstrukcijske zaščite poizkušamo izdelek uvrstiti v nižji razred izpostavitve. Kot primer lahko navedemo drogeve za električno napeljavo, ki jih pritrdimo na betonski podstavek in s tem preprečimo neposreden stik z zemljo. Tako imamo izdelek v tretjem in ne v četrtem razredu izpostavitve, kar podaljšuje življenjsko dobo izdelka.

Evropski sistem razvrščanja lesa v razrede izpostavitve v skladu s standardom SIST EN 335/1 (2006), je podan v preglednici 1.

Preglednica 1: Razredi izpostavitve po standardu SIST EN 335/1 2006

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

2.5. TRENDI V ZAŠČITI LESA

V zadnjih letih je izjemno pereča okoljevarstvena problematika. Ta je narekovala številne spremembe na področju zaščite lesa v zadnjih letih. V prihodnosti lahko pričakujemo porast pomena zaščite lesa, saj je les edini cenovno dostopen gradbeni material, kar nakazuje na povečanje porabe v gradbene namene (Humar, 2004). Številne raziskave so dokazale, da je pravilno zaščiten les, eden izmed okolju najprijaznejših gradbenih materialov (Hillier in Murphy, 2000).

Zaradi vedno večje zavesti kupcev, ki se vedno bolj izogibajo kemikalijam, in seveda vse strožje zakonodaje, se klasični biocidni pripravki iz zaščite lesa umikajo. Vedno bolj so v uporabi ciljni biocidi, ki delujejo le na izbranega škodljivca in naj ne bi imeli negativnega vpliva na druga živa bitja. Načrtovani so tako, da škodljivca ne ubijejo, ampak le omejujejo njegov razvoj (Humar, 2008). Biocidna sredstva se uporabljajo le še za izdelke, kjer okolju prijaznejša rešitev ni učinkovita. Problematični so predvsem izdelki, ki so stalno izpostavljeni vlagi, predvsem tisti v stiku z zemljo. Za zelo izpostavljene izdelke se uporabljajo bakrovi pripravki, ki v kombinaciji z impregnacijskim postopkom prodrejo globoko v les (Pohleven, 2008a). Zaradi okoljske nesprejemljivosti je bilo potrebno močno omejiti uporabo kromovih spojin v zaščiti lesa. Namesto njih so vlogo vezave bakra prevzeli predvsem amini (Humar, 2008).

Vse bolj je pomembna konstrukcijska zaščita lesa, ki lahko povsem na naraven način podaljša življenjsko dobo izdelka. S pravilnimi konstrukcijskimi rešitvami moramo zagotoviti, da bodo lesni izdelki ves čas suhi. Suh les je popolnoma varen pred napadom insektov vlažnega lesa in pred okužbo z glivami (Pohleven in Petrič, 1992). Z dobro konstrukcijsko rešitvijo lahko izdelek premaknemo iz bolj ogroženega razreda v manj ogrožen razred (Pohleven, 2008b), kar je pravzaprav bistvo konstrukcijske zaščite lesa.

Pomembno je tudi, da izberemo pravo lesno vrsto, glede na mesto uporabe. Naravna odpornost lesa zelo variira med vrstami. Nekatere vrste že po naravi vsebujejo substance (tanine, alkaloidi, smole...). Poleg vrste, na odpornost lesa vplivata tudi čas sečnje in širina branike, jedrovina je bolj odporna od beljave (Pohleven, 2008a). S poznavanjem lesa, in pravilno izbiro drevesne vrste glede na mesto uporabe, lahko bistveno podaljšamo uporabnost izdelka. Pri odpornejših vrstah je pogosto problematična cena, ki je razmeroma visoka, zaradi česar pogosto izbiramo cenejšo drevesno vrsto, zaščiten na primeren način.

Zelo pomembna pa je tudi nebiocidna zaščita, ki temelji predvsem na zagotovitvi vodo-odbojnosti, oziroma zmanjšani higroskopsnosti lesa. Cilj je les spremeniti v taki meri, da ga škodljivci ne bi prepoznali kot potencialni vir hrane. Kemična in termična modifikacija (Slika 1) bistveno spremenita sorpcijske lastnosti, saj je les manj higroskopen. To pomeni, da dobimo bistveno bolj dimenzijsko stabilen material. Obenem pa z modifikacijo lesu občutno povečamo odpornost na glive razkrojevalke. Učinek vodo-odbojnosti pa lahko dosežemo predvsem z impregnacijo z vodnimi emulzijami voskov (Humar, 2008)



Slika 1: Termično modificiran les (Thermally Modified..., 2012)

S pričakovanim porastom uporabe lesa, bo naraščala tudi potreba po zaščiti. Najbolj perspektivne so alternativne metode zaščite lesa, saj so okolju najprijaznejše. Dejstvo, da les skladišči CO₂, in s tem zmanjšuje vpliv tople grede, pa nam daje motiv za povečanje uporabe masivnega lesa. Z ustrezno zaščito lahko podaljšamo življenjsko dobo teh izdelkov, kar učinek še poveča.

2.6. VOSKI

Voske ljudje uporabljamo že od nekdaj, za zelo različne namene. Zaradi svojih vodo-odbojnih značilnosti jih s pridom izkoriščamo tudi v lesarstvu. Uporabljamo jih predvsem za zaščito pred navzemom vode. Lahko jih uporabljamo samostojno, ali pa kot dodatek pripravkom za površinsko obdelavo lesa, pogosto pa jih dodajamo celo v biocidne proizvode. Dodajamo jih tudi lepilnim mešanicam v proizvodnji ivernih plošč, kjer je vodo-odbojnost prav tako zaželeno. Ena od njihovih pomanjkljivosti je njihovo nekemično utrjevanje, saj s časom površine, obdelane z voski, izgubljajo vodo-odbojni učinek. Zaradi okolju prijaznih lastnosti, lahko pričakujemo porast uporabe voskov v prihodnosti (Lesar in sod., 2009).

2.6.1 Definicije voskov

Kemijsko gledano so voski estri nasičenih monohidroksi alkoholov in višjih nasičenih maščobnih kislin. Voski so netopni v vodi, raztapljajo pa se v terpentinu, bencinu, nekateri pa tudi v alkoholih (Petrič, 2002).

Sintetični voski so sestavljeni iz različnih sestavin in sicer: ogljikovodikov, ketonov, diketonov, primarnih in sekundarnih alkoholov, aldehydov, estrov, sterolov, alkanoidskih kislin in terpenov (Wolfmeier, 2003).

Ker imajo sintetični voski podobne fizikalne lastnosti, se v zadnjem času pogosto uporablja fizikalni opis voskov:

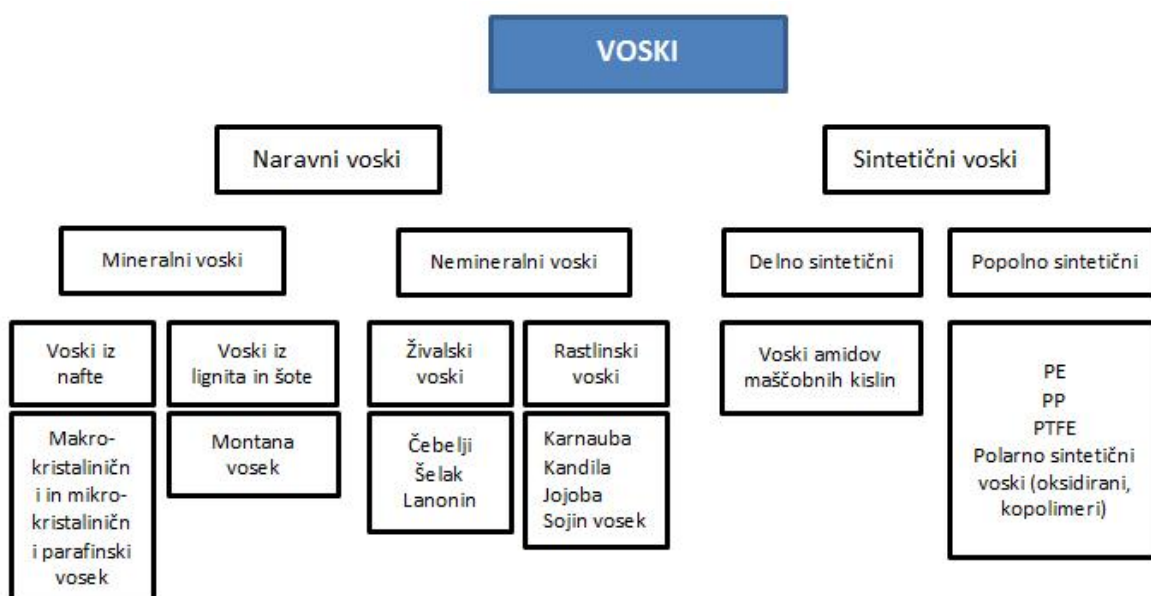
- pri sobni temperaturi so gnetljivi
- imajo zelo nizka tališča (40 °C) – v večini primerov od 50 °C do 90 °C
- nad tališčem imajo sorazmerno nizko viskoznost, ki v odvisnosti od temperature pada
- s poliranjem lahko dosežemo svetleč izgled tanke voščene plasti
- gorijo s sajastim plamenom
- lahko tvorijo paste in gele
- so toplotni in električni izolatorji

Fizikalne lastnosti voskov so povzete po (Petrič, 2002) in (Wolfmeier, 2003).

2.6.2 Razdelitev voskov

Pri delitvi voskov lahko upoštevamo njihov izvor, kemične in fizikalne lastnosti voskov, ali samo uporabo. Osnovno jih delimo glede na izvor in sintezo. Na prvi ravni voske delimo na naravne in sintetične. Najpogosteje uporabljeni naravni voski v lesarstvu so čebelji, karanuba in montana vosek. Z razvojem naravne voske vedno bolj izpodrivajo sintetični, saj so cenejši in bolje prilagojeni na specifično uporabo (Lesar s sod., 2009).

Na sliki 2 je prikazana delitev voskov po (Wolfmeier 2003):



Slika 2: Razvrstitev voskov (Wolfmeier, 2003; SpecialChem, 2008)

2.6.3. V lesarstvu najpogosteje uporabljeni voski

2.6.3.1 Čebelji vosek

Kot že samo ime pove, vosek proizvajajo medonosne čebele delavke in sicer v voskovnih žlezah. Naravna barva voska je rumenkasta do rdečkasto rjava. Čebelji vosek je najpogosteje uporabljeni naravni vosek (Petrič, 2002). Povoskana površina je zaščitena pred vodo in nečistočami, lesa pa ne zaščiti pred glivami in lesnimi insekti (Weissenfeld, 1988; Leiße, 1996).

Vosek se v vodi ne raztaplja, topen pa je v naslednjih snoveh: alkohol, ogljikov tetraklorid, kloroform, eter ter druga organska topila (Petrič, 2002). Vosek lahko uporabljamo samostojno ali pa ga modificiramo z drugimi voski, olji, smolami in topili. Uporabljamo ga lahko v trdni obliki, obliki paste ali gela in v tekoči obliki (Slika 3) (Weissenfeld, 1988).

Pri temperaturah od 32 °C do 35 °C je čebelji vosek plastičen in upogljiv, pri nekoliko nižjih temperaturah, med 25 °C in 30 °C pa postane že trši, kar oteži preoblikovanje. Tališče voska se nahaja med 62 °C do 64 °C (Lesar in sod., 2009).



Slika 3: Čebelji vosek (Waxexporter..., 2011)

2.6.3.2 Karnauba vosek

Zelo pogosto uporabljen vosek v lesarstvu je karnauba vosek. Je rastlinskega izvora in se pridobiva iz listov palme *Coprenica cerifera* (Brazilija). Je od zlato rumene do črne barve, kar je odvisno od starosti listov (Slika 4) (Foncepi, 2008). Lastnost, ki daje temu vosku izredno uporabnost, je trdota in z njo povezano visoko tališče, ki se nahaja nad 80 °C. Zaradi kompatibilnosti voska z drugimi voski, ga pogosto dodajamo drugim voskom, z namenom izboljšanja lastnosti cenejšega voska. Na ta način vosku zvišamo trdoto, točko tališča, sijaj ali zmanjšamo lepljivost površine (Kregar, 1956; Leach, 1993).

Dobro se topi v nepolarnih topilih. Uporabljamo ga lahko v trdni obliki ali v obliki past in emulzij (Lesar in sod., 2009).



Slika 4: Karnauba vosek (Waxexporter..., 2011)

2.6.3.3 Montanski vosek

Montanski vosek je fosiliziran rastlinski vosek, ekstrahiran iz lignita oziroma premoga. Najpomembnejše nahajališče je v centralni Nemčiji (Lesar in sod., 2009). Po sestavi je montanski vosek mešanica različnih voskov, smol in asfaltnih snovi (Slika 5). Kemijsko sestoji iz estrov višjih karboksilnih kislin z višjimi alkoholi in prostih višjih kislin. V majhnih količinah pa so prisotni ketoni, parafini in terpeni (Matthies, 2001).

Rafiniran montanski vosek je blede rumene barve. Njegova zelo dobra lastnost je trdota, na kar nakazuje tudi njegovo tališče, ki se nahaja med 82 °C in 95 °C. Ima podobne lastnosti

kot karnauba vosek, kar pomeni, da je montanski vosek dobra zamenjava (ChemCor, 2008). Kot zelo ugodno lastnost velja omeniti, da vosek lahko tvori izjemno tanek, a odporen film (Warth, 1959). Vosek se dobro topi v organskih topilih, še posebno v aromatskih in kloriranih ogljikovodikih (Heinrichs, 2003).



Slika 5: Montanski vosek (Montan Wax..., 2012)

2.6.3.4 Šelakov vosek

Šelakov vosek se pridobiva iz izločka insekta (*Tachardia lacca*), z raztapljanjem v razredčeni raztopini natrijevega karbonata ali v 90 % do 95 % etanolu. Vosek je rumene do rjave barve (Slika 6) (Wolfmeier, 2003). Po naravi je trd, zaradi česar se lahko uporablja kot zamenjava za karnauba vosek, predvsem v proizvodnji lakov in politur. S kemijskega vidika so glavna sestavina šelakovega voska estri maščobnih kislin (Cyberlipid, 2008). Topen je v vročem etanolu.



Slika 6: Šelakov vosek (Waxexporter..., 2011)

2.6.3.5 Parafinski vosek

Parafinski vosek se precej razlikuje od ostalih voskov, saj ima drugačno kemijsko sestavo. Glavna sestavina parafinskega voska so nerazvejane alkanske verige, prav ta lastnost pa daje vosku močno vodo-odbojnost (Slika 7). Z daljšanjem verig, se povečuje vodo-odbojni učinek (Garai in sod., 2005). Parafinski vosek ima podobne fizikalne lastnosti, kot voski in ga zaradi tega prištevamo med voske. Je brezbarven, brez vonja, kemijsko inerten, tališče pa ima med 48 °C in 66 °C. Topen je v organskih topilih, najbolje pa v bencinu in terpentinu (Wolfmeier, 2003). Glavne aplikacije parafinskega voska v lesarstvu so, kot dodatek v lepilnih mešanica za iverne plošče. Prav tako se uporablja v proizvodnji barv in premazov. Njegov namen je predvsem izboljšanje hidrofobnih lastnosti (Lesar in sod., 2009).



Slika 7: Parafinski vosek (Waxexporter..., 2011)

2.6.3.6 Ostali sintetični voski

Vir za proizvodnjo sintetičnih voskov je predvsem etilen. To so predvsem naslednji voski:

- polietilenski (PE),
- polietilenski visoke gostote (HDPE),
- polipropilenski (PP),
- kopolimerni etilenski in politetrafluoroetilenski (PTFE) (ChemCor, 2008).

Glavna prednost sintetičnih voskov pred naravnimi je njihova cena. Zaradi industrijske pridelave jih je možno prilagoditi glede na namen uporabe. Tudi kakovost je konstantnejša.

Lastnosti določa molska masa polimera, ki je odvisna od dolžine in razvejanosti verig. Sintetični voski so bele do prozorne barve in tvorijo čisto talino (Slika 8). Dobro so topni v nepolarnih topilih (alifatskih, aromatskih in kloriranih ogljikovodikih). Imajo lastnost, da jih večina med ohlajanjem kristalizira v zelo fine delce. Tališča sintetičnih voskov precej variirajo, nekateri se talijo tudi nad 130 °C. V smislu okoljske problematike sintetični voski še niso najbolj ugodna izbira. Glavna pomanjkljivost je življenjska doba površin. Z razvojem bi bilo možno tovrstne voske izboljšati, da bi bili okoljsko bolj sprejemljivi, kot na primer UV premazi (Gustafsson in Börjesson, 2007).



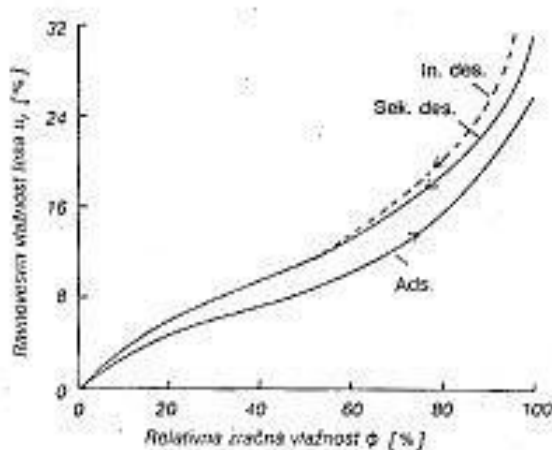
Slika 8: Polietilenski vosek (Waxexporter..., 2011)

Les, impregniran s polietilenskimi voski, se je izkazal za zelo odpornega na razkrojne procese. Odpornost se je povišala pred delovanjem tramovke, sive hišne gobe, pisane ploskocevke in ostrigarja. Zgoraj navedena dejstva nakazujejo na možnost uporabe sintetičnih voskov tudi v zaščiti lesa (Lesar in sod., 2009).

2.7. VPLIV VOSKOV NA SORPCIJSKE LASTNOSTI

Lastnost lesa je, da je higroskopen. Posledica tega je, da je vselej bolj ali manj vlažen. Les se v določeni klimi uravnovesi na določeno ravnovesno lesno vlažnost, ki je v tesni povezanosti s temperaturo in relativno zračno vlažnostjo okolja v katerem je. Sorpcijske izoterme za les, ki jih dobimo s postopnim sušenjem (desorpcija) ali postopnim

navlaževanjem (adsorpcija) pri konstantni temperaturi, so sigmoidne oblike in tvorijo histerezo zanko (Slika 9) (Gorišek in sod., 1994).



Slika 9: Tipična sorpcijska histereza zanka za les (Gorišek in sod., 1994)

Voski se v lesarstvu uporabljajo predvsem kot sredstva za preprečevanje navlaževanja lesa. Uporabljajo se tako samostojno, kot dodatki k lazuram, lakom.

Obdelava lesa z vodo-odbojnimi sredstvi je zelo pogosta kot zaščita pred navzemom vode. Navzem vode negativno vpliva na prekomerno nabrekanje lesa, kar lahko povzroča precejšnje težave. Z zmanjšanjem navlaževanja lesa pa lahko les uspešno zaščitimo tudi proti razvoju in rasti gliv (Passialis in Voulgaridis, 1999).

Na stopnjo vodo-odbojnosti vplivajo vrsta, sestava, in koncentracija uporabljenega sredstva. Z višanjem koncentracije se večja tudi učinek vodo-odbojnosti (Rice in Wang, 2002; Garai in sod., 2005; Zhang in sod., 2007). Za zagotovitev zadostne vodo-odbojnosti, moramo zagotoviti visok delež voska v zunanjih plasteh lesa. Na navzem voska v les vplivajo impregnabilnost lesne vrste, postopek impregnacije in delež suhe snovi v emulziji. S sredstvi na vodni osnovi se lahko doseže boljše penetracija, v primerjavi s tistimi, ki ne povzročajo nabrekanja celičnih sten (Lesar in sod., 2009).

Les, ki je impregniran z voski je, bistveno manj dovzeten za navlaževanje. Trije razlogi za izboljšanje sorpcijskih lastnosti, povzeti po Lesar in sodelavci, (2009) so:

- površina je bolj hidrofbna (Slika 10),
- lumni celic so vsaj delno zapolnjeni z voski, kar fizično preprečuje prehod vode,

- tanek film voska tvori bariero, kar upočasnjuje gibanje vode.



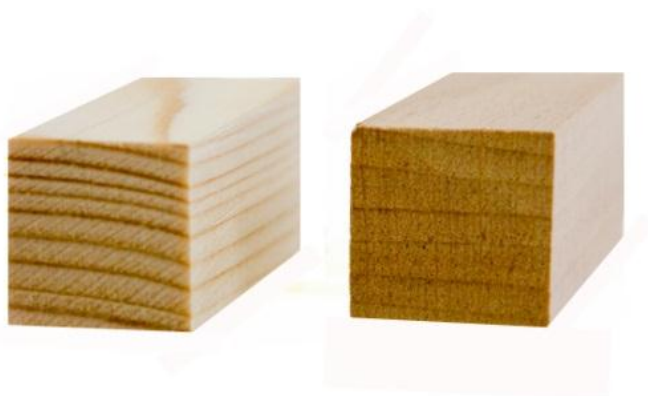
Slika 10: Vodo-odbojnost lesne površine, dosežena z obdelavo z voskom (Momentive wax..., 2012)

Vodo-odbojni pripravki ne preprečujejo parne difuzije, ali difuzije vezane vode. To se lahko zgodi izjemoma, če med impregnacijo pride do visoke zapolnitve por z voskom, ali pa, če se na celičnih stenah tvori film (Lesar in sod., 2009). Voski z večkratno izpostavitvijo navlaževanju sčasoma izgubljajo hidroforne učinek. Razlog tega je, da se vosek počasi z vodo izpira iz lesa (Treu in sod., 2004). Za preprečitev tega pojava bi morali uporabiti hidroforne pripravke, ki se kemijsko vežejo v celične stene (Rowell in Banks, 1985).

3 MATERIALI IN METODE

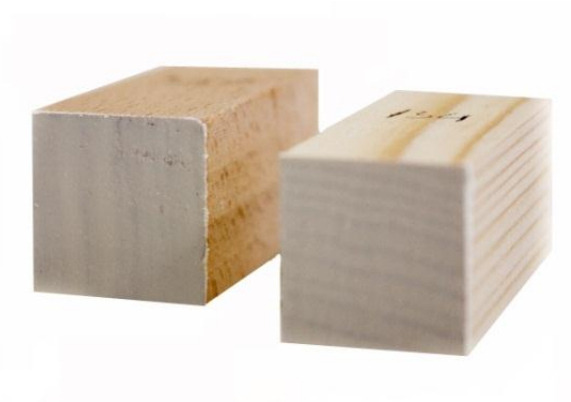
3. 1. PRIPRAVA VZORCEV

Za izvedbo poizkusa smo pripravili 200 smrekovih (*Picea abies* Karst.) in 200 bukovih (*Fagus sylvatica* L.) vzorcev. Pri pripravi vzorcev smo bili pozorni, da so bili orientirani, tako da smo lahko jasno ločili med tangencialno in radialno smerjo. Pozorni smo bili, da so bile branike razmeroma enakomerne in da je bilo število branik po 2 do 4 na en cm. Vzorci so bili dolgi po 5 cm, presek pa je bil kvadraten s stranico 2 cm (Slika 11).



Slika 11: Orientirani smrekovi in bukovi vzorci dimenzij $2 \times 2 \times 5$ cm

Tako pripravljene vzorce smo primerno obrusili, označili s številkami in jih zaščitili z lepilnim trakom. Sledilo je premazovanje čel z epoksi premazom. Uporabili smo dvokomponentni premaz Epolor (Color). Zatehtali smo potrebno razmerje, ki je znašalo 9 utežnih enot smole in 1 enoto utrjevalca. Ko se je prvi sloj posušil, smo postopek ponovili, za debelejši sloj premaza na čelih. Čela je treba zaščititi, ker je permeabilnost skozi prečne površine bistveno večja, kar bi negativno vplivalo na naše rezultate.



Slika 12: Premazana čela vzorcev z epoksidnim premazom

Vzorci smo zložili po vrsti na lesene pladnje, nato pa smo jih tri dni sušili pri 60 °C. Po treh dneh smo vzorce vzeli iz sušilnika in jih najprej zložili v eksikator, tako da so se ohladili. Sledilo je tehtanje na elektronski tehtnici Sartorius na 0,0001 g natančno in zapisovanje prvih mas v razpredelnico.

3.2. IMPREGNACIJA VZORCEV

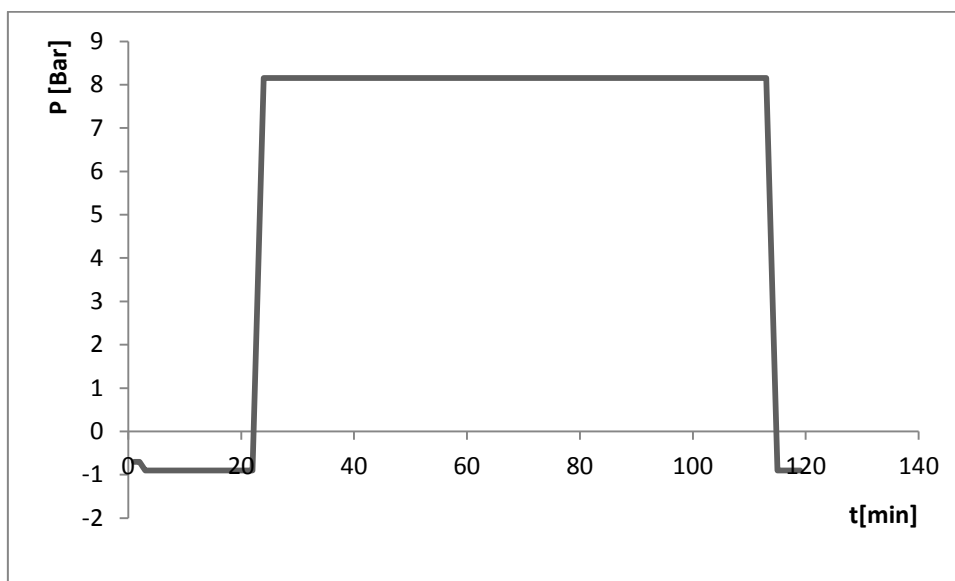
Pred impregnacijo je bilo potrebno pripraviti emulzije voskov. Pri našem eksperimentu smo uporabljali dve emulziji voska in sicer WE1 – polietilenski vosek ter WE6 – oksidiran polietilenski vosek proizvajalca BASF (Nemčija). Za vsak vosek smo pripravili po dve koncentraciji vodnih emulzij, in sicer 25 % in 50 % koncentracijo komercialne emulzije. Tako smo imeli pripravljene štiri različne vodne emulzije voskov.

Vzeli smo dve plastični posodi in v vsako zložili po 40 vzorcev. V prvo smrekove, v drugo bukove. Vsebinsko posod smo primerno obtežili in prelili z zadostno količino prve vodne emulzije voska. Posodi smo postavili v komoro, jo zaprli in začeli s postopkom impregnacije (Sliki 13 in 14).



Slika 13: Vakuumsko - tlačna komora Kambič, za impregnacijo lesnih vzorcev

Najprej smo v komori vzpostavili podtlak. Sprva do -0,7 bar, ko se je vosek nehal peniti pa smo podtlak povečali na -0,9 bar. Take pogoje smo vzdrževali 20 minut. Po pretečenem času smo izklopili vakuumsko črpalko in vklopili kompresor. Tako smo ustvarili nadtlak, ki je znašal 8,2 bar. Vzorci so se v nadtlaku nahajali eno uro in pol. Za zaključek impregnacije pa smo ustvarili še 5 minutni podtlak -0,9 bar (Slika 14). Postopek impregniranja smo ponovili še trikrat, se pravi da smo impregnacijo opravili vse skupaj štirikrat, prav tolikokrat, kot smo imeli različnih vodnih emulzij voskov.



Slika 14: Grafični prikaz tlaka v odvisnosti od časa med impregnacijo vzorcev z emulzijami izbranih voskov

3.3. MOKRI NAVZEM

Po končanem impregniranju smo vzorce narahlo obrisali s papirnatimi brisačami in jih stehali. Tako smo dobili maso vzorcev po impregnaciji. S pridobljenimi podatki smo lahko s pomočjo spodnje formule izračunali mokri navzem, ki nam pove, koliko priprava smo uspeli z impregnacijo spraviti v les.

$$r^{(V)} = \frac{m_2 - m_1}{V_1}, \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

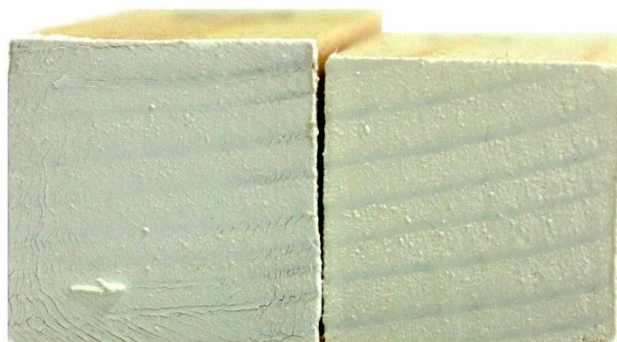
$r^{(V)}$ - mokri navzem zaščitnega sredstva [kg/m^3]

m_2 – masa vzorca po impregniranju [kg]

m_1 – masa vzorca pred impregniranjem [kg]

V_1 – prostornina vzorca [m^3]

Na sliki 15 se jasno vidi nabrek lesa, kar je posledica mokrega navzema med impregnacijo.



Slika 15: Sprememba dimenzij vzorcev po impregnaciji

3.4. SUŠENJE

Pripravljene vzorce smo razdelili na dva dela. Torej vsako skupino vzorcev impregnirano z enako koncentracijo enake emulzije. To smo storili zato, ker smo vzorce sušili po dveh postopkih.

Prvo skupino vzorcev smo sušili vakuumsko. Temperatura sušenja je bila 60 °C (Kambič, Slovenija) tlak pa je znašal 200 milibarov. Pri danih pogojih smo vzorce sušili 24 ur.

Drugo polovico vzorcev pa smo sušili v sušilniku, in sicer v dveh fazah. Prvih 5 ur smo sušili pri temperaturi (140 ± 2) °C. Nato smo temperaturo znižali na (103 ± 2) °C in nadaljevali s sušenjem nadaljnjih 20 ur.

Po koncu sušenja smo vzorce ohladili v eksikatorju in jih stehali. Ker nismo z eksperimentom nadaljevali takoj, smo vzorce pustili v eksikatorju, maso pa smo jim ponovno določili tik pred navlaževanjem.



Slika 16: Vakuumski (levo) in laboratorijski sušilnik (desno)

3.5. NAVLAŽEVANJE V VODI

Vzorci smo ponovno razdelili na dva dela. Prva polovica je služila za navlaževanje v vodi in druga za navlaževanje na zraku. Torej smo sedaj imeli 10 skupin po 10 enako pripravljenih vzorcev, za navlaževanje v vodi. V vodi smo navlaževali po 10 vzorcev, različne drevesne vrste, impregniranih z različnim voskom, različno koncentracijo in različno temperaturo sušenja.

Cikel navlaževanja smo začeli s tehtanjem in merjenjem dimenzij vzorcev (radialna in tangencialna smer) tik pred samim navlaževanjem v vodi. Nato smo skupino vzorcev potopili v destilirano vodo za 10 minut (Slika 17). Po končanem namakanju smo vzorce odcedili in jih ponovno tehtali ter jim določili dimenzije. Iz tega smo lahko izračunali spremembo mase in spremembo volumna vzorcev. Iz teh podatkov pa smo lahko kasneje izračunali navzem. Ko smo zaključili s cikli namakanja, smo vzorce sušili 24 ur pri temperaturi $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Po končanem sušenju smo vzorce ponovno tehtali in jim določili dimenzije.



Slika 17: Shematski prikaz namakanja vzorcev v destilirani vodi

Cikel navlaževanja v vodi smo ponovili 16 krat, in sicer v časovnih intervalih, kot je razvidno iz preglednice 2. V dneh, kadar smo opravili dve navlaževanji na isti dan, je bil časovni razmik med posameznima dvema cikloma približno 4,5 ure.

Preglednica 2: Časovni razpored meritev med navlaževanjem v vodi

Koledar meritev		
1. navlaževanje	6.4.2010	1. dan
2. navlaževanje	7.4.2010	2. dan
3. navlaževanje	7.4.2010	2. dan + 4,5 h
4. navlaževanje	8.4.2010	3. dan
5. navlaževanje	9.4.2010	4. dan
6. navlaževanje	9.4.2010	4. dan + 4,5 h
7. navlaževanje	12.4.2010	7. dan
8. navlaževanje	12.4.2010	7. dan + 4,5 h
9. navlaževanje	14.4.2010	9. dan
10. navlaževanje	15.4.2010	10. dan
11. navlaževanje	16.4.2010	11. dan
12. navlaževanje	19.4.2010	14. dan
13. navlaževanje	19.4.2010	14. dan + 4,5 h
14. navlaževanje	21.4.2010	16. dan
15. navlaževanje	22.4.2010	17. dan
16. navlaževanje	23.4.2010	18. dan

3.6. NAVLAŽEVANJE NA ZRAKU

Enako število vzorcev, torej 10 skupin različno pripravljenih vzorcev, smo vzporedno navlaževali na zraku. Stehtane vzorce smo zložili v pripravljeno klima komoro (Slika 18). To je steklena komora, v katero smo na dno dali nasičeno vodno raztopino soli cinkovega sulfata (ZnSO_4). S pomočjo nasičene solne raztopine smo v komori dosegli stalno relativno zračno vlažnost, ki je pri temperaturi 20 °C znašala 87 %. V komoro smo namestili še ventilator, kar nam je omogočalo enakomerno porazdelitev vlažnosti po komori. Samo vlažnost pa smo spremljali s pomočjo higrometra, ki smo ga priložili med vzorce.



Slika 18: Navlaževanje vzorcev v klima komori

Samo navlaževanje v komori z visoko RZV je potekalo 42 dni. Med tem obdobjem smo spremljali maso in dimenzije vzorcev, ki so se uravnovešali v dani klimi. Tudi pri tej vrsti navlaževanja smo na koncu vzorce posušili v 24 urah pri temperaturi (103 ± 2) °C. Enako smo določili še končno maso in dimenzije vzorcev.

V preglednici 3 je zbran koledar meritev mas in dimenzij vzorcev, ki so se uravnovešali v klima komori 42 dni.

Preglednica 3: Časovni potek meritev pri navlaževanju vzorcev v komori z visoko RZV (87 %)

Koledar meritev		
začetna masa	6.4.2010	1. dan
1. meritev	7.4.2010	2. dan
2. meritev	8.4.2010	3. dan
3. meritev	9.4.2010	4. dan
4. meritev	12.4.2010	7. dan
5. meritev	14.4.2010	9. dan
6. meritev	16.4.2010	11. dan
7. meritev	19.4.2010	14. dan
8. meritev	21.4.2010	16. dan
9. meritev	23.4.2010	18. dan
10. meritev	3.5.2010	28. dan
11. meritev	17.5.2010	42. dan
končna masa	18.5.2010	43. dan

Pri celotnem eksperimentu smo uporabljali dve laboratorijski napravi. Z laboratorijsko tehtnico SARTORIUS smo maso določevali na 0,0001 g natančno (Slika 19).



Slika 19: Laboratorijska tehtnica SARTORIUS

Za merjenje dimenzij pa smo uporabljali laserski merilnik, ki je bil izdelan na Biotehniški fakulteti, na katedri za Mehanske obdelovalne tehnologije (Slika 20). Naprava ima pravokotno nameščena dva laserja, s katerima smo merili radialne in tangencialne dimenzije naših vzorcev in sicer na 0,01 mm natančno.



Slika 20: Laserski merilnik dimenzij (Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Katedra za Mehanske obdelovalne tehnologije)

Obe napravi smo imeli povezani z osebnim računalnikom, kar nam je bistveno poenostavilo beleženje podatkov.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1. NAVZEM VODNIH EMULZIJ VOSKOV, KOT REZULTAT IMPREGNACIJE

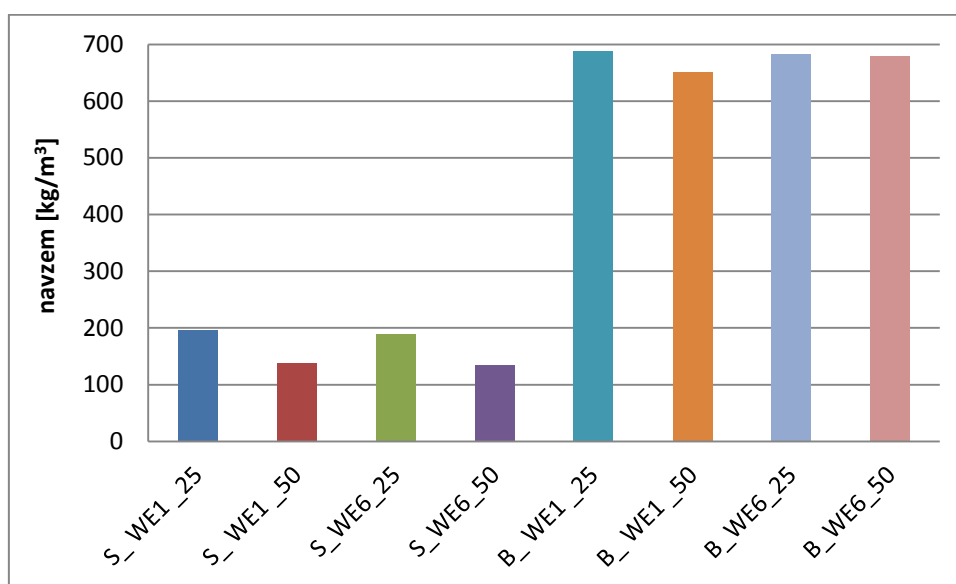
Po končanem postopku impregnacije smo vzorce stehali. Na podlagi mas smo lahko izračunali mokri navzem. Rezultati so strnjeni v naslednji preglednici 4:

Preglednica 4: Navzem vodnih emulzij voskov

vrsta lesa	vosek	koncentracija [%]	vsebnost suhe snovi [%]	navzem [kg/m ³]
smreka	WE1	25	8,2	197
		50	16,5	138
	WE6	25	8,3	189
		50	17,8	135
bukev	WE1	25	8,2	689
		50	16,5	651
	WE6	25	8,3	683
		50	17,8	679

Pri impregnaciji smrekovine s 25 % vodno emulzijo voska WE1, je mokri navzem v povprečju znašal 197 kg/m³. Pri smrekovih vzorcih, ki smo jih impregnirali s 50 % koncentracijo pa je bil nekoliko nižji, in sicer 138 kg/m³. Primerljive rezultate smo dosegli tudi z uporabo vodne emulzije voska WE6. Pri smrekovini, prepojeni z emulzijo nižje koncentracije je v les prodrlo 189 kg/m³ emulzije, pri smrekovini prepojeni z višjo, pa 135 kg/m³. Ta rezultat je pričakovan. Za smrekovino je značilna slaba impregnabilnost. Poleg tega se je izkazalo, da na prodiranje vodnih emulzij v les zelo vpliva tudi viskoznost emulzij. Emulziji z višjo koncentracijo sta bolj viskozni, kot emulziji z nižjo koncentracijo voska (Preglednica 4).

Bistveno so se rezultati razlikovali pri drugi drevesni vrsti, bukvi. Tu so bili navzemi bistveno večji. Z vodno emulzijo voska WE1, koncentracije 25 %, je bil rezultat 689 kg/m³. Tudi pri bukvi je 50 % emulzija v les prodrla slabše. Mokri navzem je znašal 651 kg/m³ (Preglednica 4). Mokri navzem druge emulzije voska WE6 se bistveno ne razlikuje od mokrega navzema WE1. Pri impregnaciji z vodno emulzijo WE6 (25 %), smo dosegli navzem 683 kg/m³. Nekoliko nižji navzem, 679 kg/m³, pa smo dosegli z vodno emulzijo WE6 (50 %) (Slika 21).



Slika 21: Slikovni prikaz navzema vodnih emulzij v les smreke (S) in bukve (B)

Na sliki 21, je grafično prikazan mokri navzem, v odvisnosti od drevesne vrste in uporabljene vodne emulzije voskov. Najbolj očitna razlika je med lesnima vrstama. Navzem pri smreki je bil bistveno manjši, kot pri bukovih vzorcih. Razloge gre iskati predvsem v dejstvu, da je bukev bistveno bolj impregnabilna lesna vrsta, kot smreka. Razlog za slabo impregnabilnost smrekovine je v prvi vrsti aspiracija pikenj (EN 350-2 2005). Po drugi strani pa je rdeče srce pri bukvi tudi razmeroma neimpregnabilno.

Drugi razlog, ki ga velja omeniti, pa je naslednji. Kot posledica boljše impregnabilnosti bukovine, so bukovi vzorci bistveno bolj nabrekli med samim postopkom impregnacije. Zaradi precejšnjega nabrekanja, je prišlo do pokanja epoksidnega premaza na čelih vzorcev. Razpoke premaza so bile vidne prostim očesom. Ker čela niso bila povsem zaprta, je bil navzem še nekoliko večji, kot bi bil sicer.

Druga stvar, ki je jasno razvidna s slike 21 je, da ob uporabi voska z večjim deležem suhe snovi, dosežemo manjši navzem. Razloge za to lahko iščemo v tem, da so delci v emulziji preveliki, da bi lahko penetrirali v celične stene. Poleg tega, pa na površini nastane pregrada, ki preprečuje prehod impregnacijskega sredstva v les. (Lesar in sod., 2011).

Kljub manjšemu navzemu pri lesu, impregniranim z vodnimi emulzijami višjih koncentracij voskov, pa lahko ugotovimo, da je les v resnici prejel več voska, torej je suhi

navzem v tem primeru večji, kot pri vzorcih, prepojenih z emulzijo nižje koncentracije. Leto pa bistveno vpliva na spremembe lastnosti vzorcev.

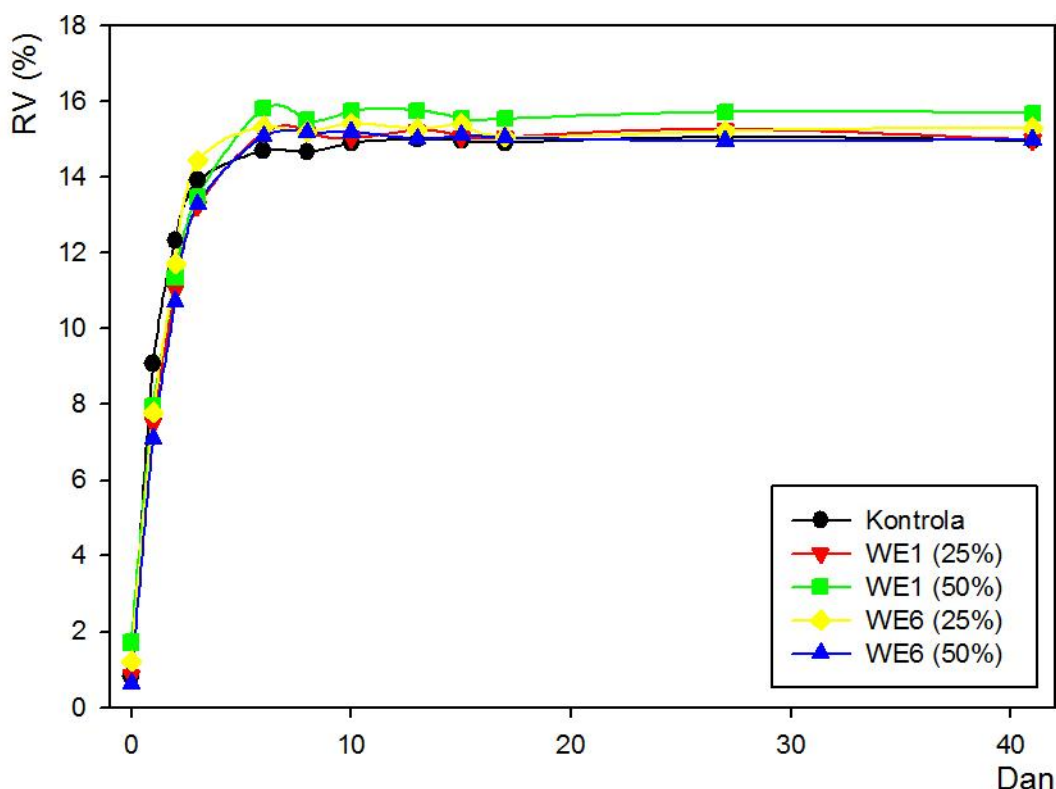
4.2. NAVLAŽEVANJE NA ZRAKU

4.2.1. Spremljanje vlažnosti lesa

Glavni namen diplomske naloge je bil ugotoviti, kako vpliva temperatura sušenja na sorpcijske lastnosti s polietilenskimi voski impregniranega lesa.

Prvi del eksperimenta smo izvedli v komori za navlaževanje na zraku, kjer smo vzdrževali 87 % zračno vlažnost. Navlaževanju so bili izpostavljeni različno tretirani vzorci. Uporabili smo smrekov in bukov les. Vzorci so bili impregnirani z dvema emulzijama voskov in sicer WE1 in WE6 različnih koncentracij (25 % in 50 %). Pol vzorcev je bilo sušenih v laboratorijskem sušilniku pri 140 °C, ostala polovica pa v vakuumski komori pri 60 °C.

Rezultate navlaževanja smo predstavili grafično na slikah 22, 23, 24, 25 in 26.

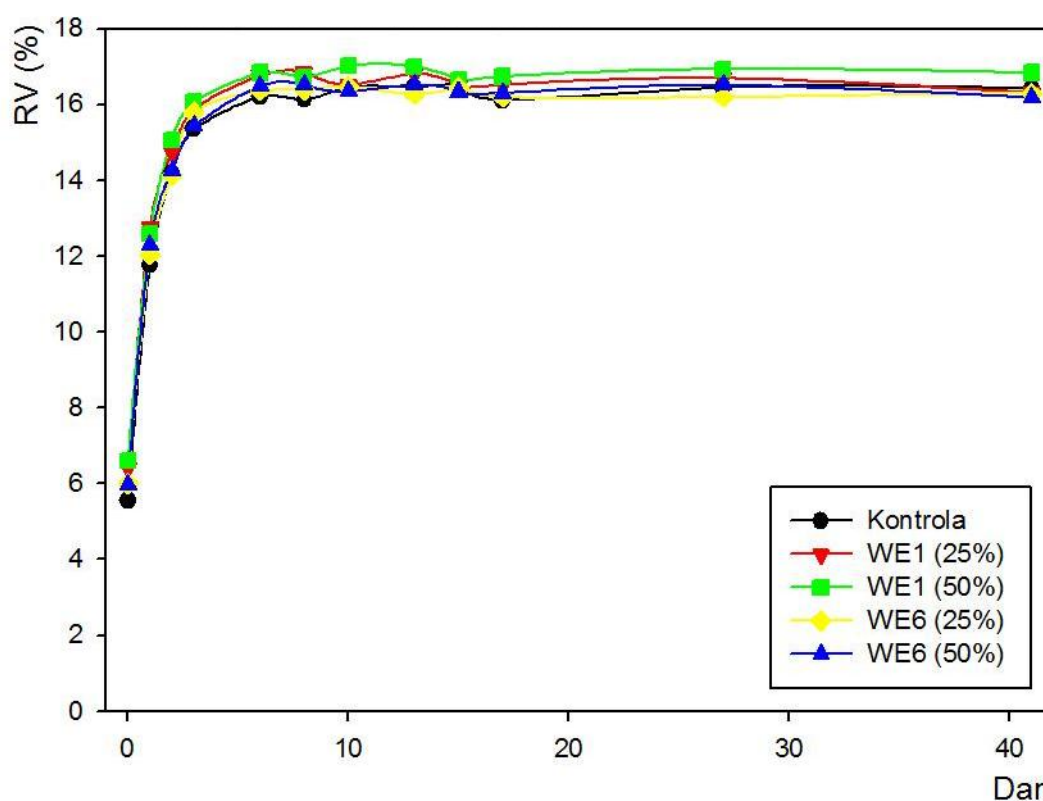


Slika 22: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v vakuumu na vlažnost smrekovega lesa.

Na sliki 22 je prikazano navlaževanje lesa smreke, impregniranega z polietilenskima voskoma WE1 in WE6 koncentracij 25 % in 50 %. Vzorci so bili sušeni vakuumsko pri 60 °C.

Vlažnost lesa je na začetku strmo naraščala. Po 17 dnevih so vzorci dosegli približno 15 % lesno vlažnost. Le ta se v nadaljevanju ni bistveno spreminjala, saj je rezultat po 41 dneh ostal približno enak. Presenetljive so zelo majhne razlike med različno tretiranimi vzorci. Tako lahko zaključimo, da impregnacija lesa z vodnimi emulzijami polietilenskih voskov nima izrazitega vpliva na potek navlaževanja na zraku.

Na sliki 23 je tudi prikazano spreminjanje vlažnosti lesa smreke s časom. Vzorci so bili impregnirani s polietilenskima voskoma WE1 in WE6 koncentracij 25 % in 50 %. Vzorci so bili v tem primeru po impregnaciji sušeni v laboratorijskem sušilniku pri 140 °C.



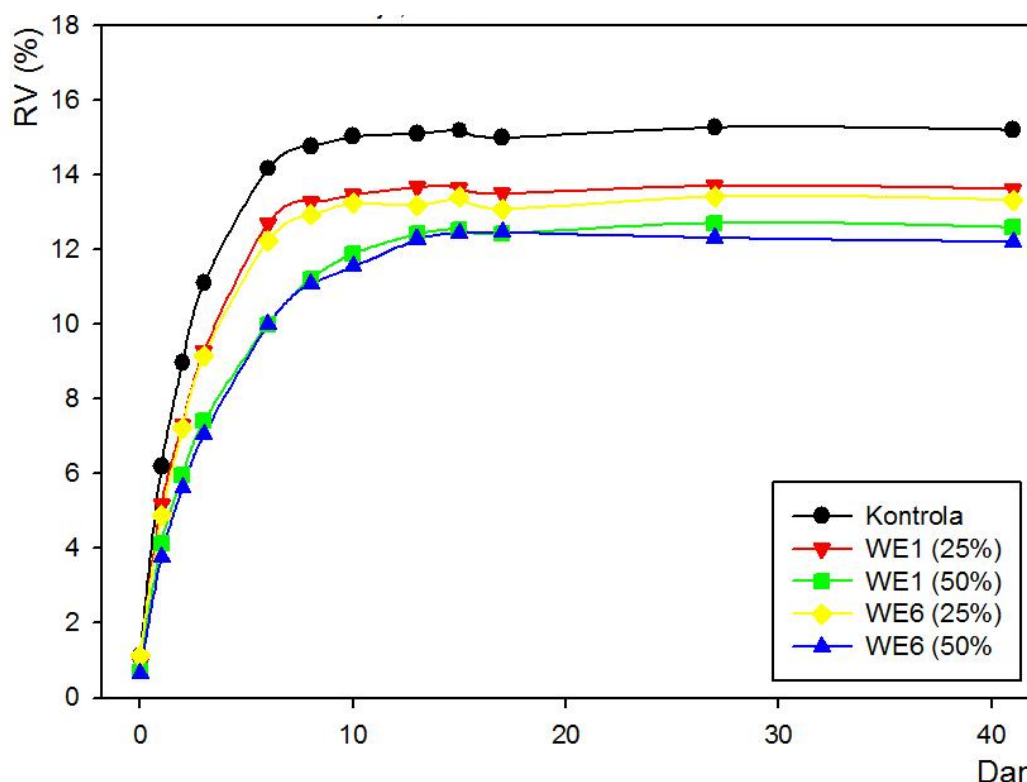
Slika 23: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku na vlažnost smrekovega lesa.

Rezultati so zelo podobni tistim, ki smo jih določili na smrekovini, sušeni v vakuumu. Ponovno opazamo, da sprva vlažnost lesa strmo narašča. Podobno, kot pri vakuumsko sušenih vzorcih, tudi pri vzorcih, ki smo jih sušili na 140 °C ni opaziti velikega vpliva impregnacije z vodnimi emulzijami voskov na vlažnost lesa. Vzorci so po 17 dneh dosegli približno 16 % lesno vlažnost in se v času ponovnih merjenj 41 dni niso bistveno spremenili. Po drugi strani pa je opazna manjša razlika v ravnovesni vlažnosti, doseženi po

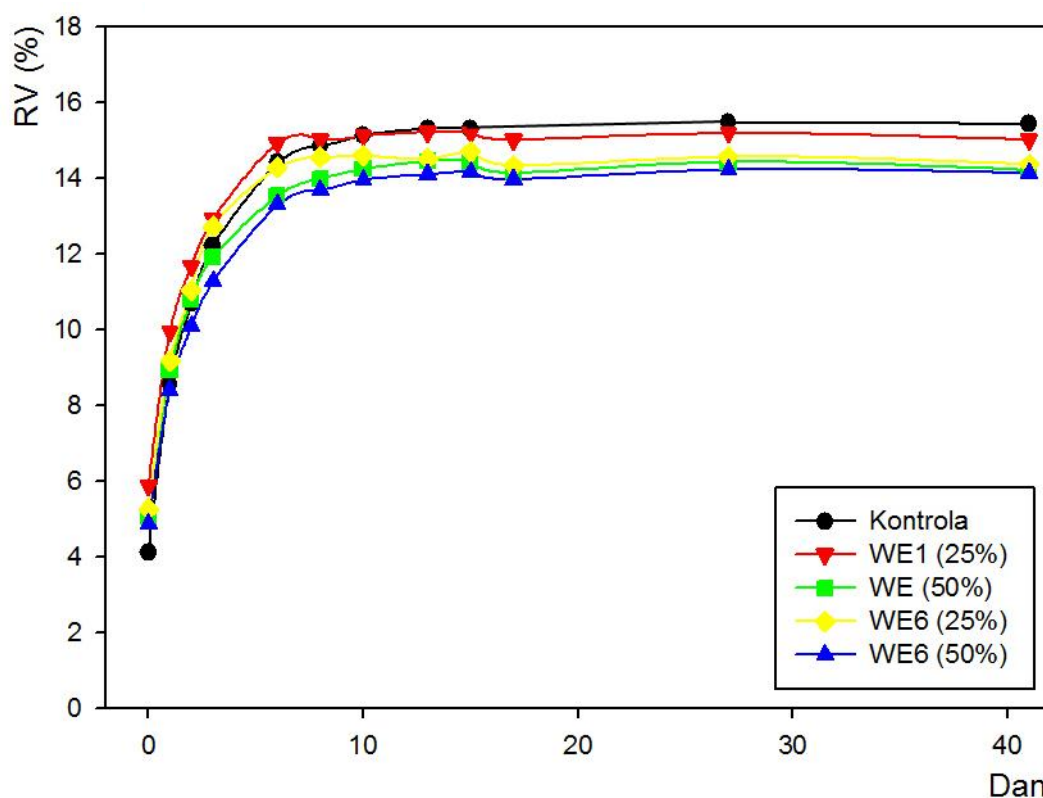
koncu uravnovešanja. Končna vlažnost vzorcev, sušenih pri 140 °C, je približno za eno odstotno točko višja, kot pri vakuumskem sušenju.

Bolj zanimive rezultate smo dobili pri bukovih vzorcih. Rezultati so prikazani na slikah 24 in 25. Na sliki 24 je prikazan vpliv vakuumskega sušenja impregniranih vzorcev, na sliki 25 pa vpliv sušenja pri 140 °C na navlaževanje impregniranega in neimpregniranega bukovega lesa. Podobno kot pri smrekovini, so tudi bukov kontrolni vzorci po 17 dneh dosegli ravnovesno vlažnost približno 15 %, ki se do 41. dne ni bistveno spremenila.

Za razliko od smrekovine, so bukov vzorci, impregnirani z voskom, dosegali nižje ravnovesne vlažnosti. Najnižje ravnovesne vlažnosti smo dosegli z impregnacijo s 50 % koncentracijo voskov, nekoliko višje pa z nižjima koncentracijama vodnih emulzij voskov. Nekoliko boljše rezultate smo dosegli z vodno emulzijo WE6, saj se je v primeru obeh koncentracij obnesla nekoliko bolje, kot vodne emulzije WE1.



Slika 24: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v vakuumu na vlažnost bukovega lesa

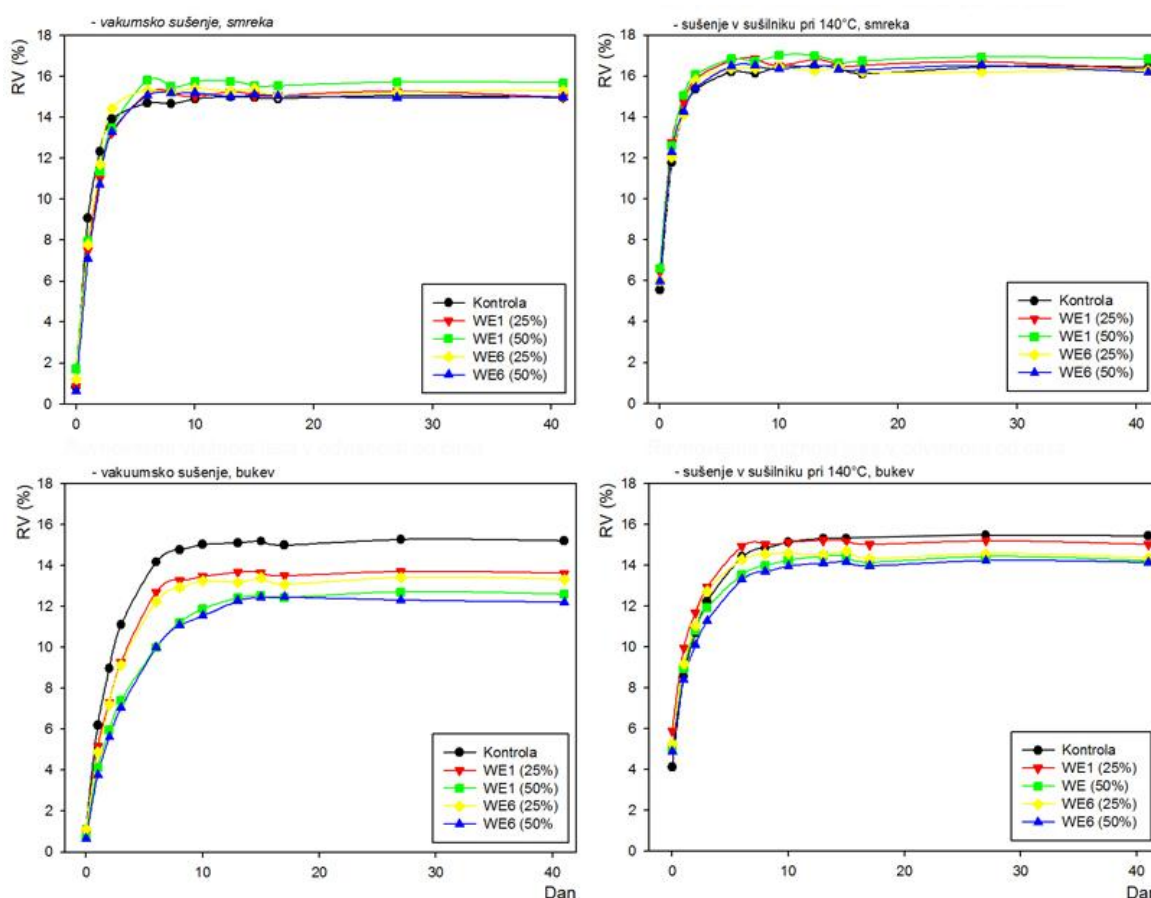


Slika 25: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku na vlažnost bukovega lesa

Pri vzorcih sušenih v sušilniku opazamo, da se je zmanjšala razlika med tretiranimi vzorci in kontrolo. Ostale primerjave so zelo podobne vzorcem sušenim v vakuumu.

Na sliki 26 smo strnili vse štiri grafikone, ki prikazujejo spremembe vlažnosti lesa v klima komori v odvisnosti od časa, impregnacije in lesne vrste. V strnjeni različici so razlike med posameznimi lesnimi vrstami in načinom sušenja najlažje primerljive. Za neznačilen vpliv impregnacije z vodnimi emulzijami voskov na vlažnost pri smreki, lahko iščemo razlog v slabi impregnabilnosti smrekovine in posledično majhnega navzema vodnih emulzij voskov (Lesar in Humar, 2010; Lesar in sod., 2010). Ocenjujemo, da bi bil vpliv impregnacije z voski izrazitejši, če bi nam uspelo v les spraviti več vodnih emulzij voskov. Žal nam dostopna oprema za impregnacijo tega ni omogočila.

Najboljše rezultate smo dosegli pri bukovini. Zaradi narave lesa smo pri bukovini dosegli precej večje navzeme, kar se posledično kaže tudi v veliko bolj izraženem vplivu vodnih emulzij na vlažnost lesa.



Slika 26: Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na vlažnost smrekovega in bukovega lesa v klima komori z 87 % RZV

Najbolj obetajoč rezultat je, da je vlažnost lesa, impregniranega z emulzijo 50 % koncentracije voska WE6 pri vakuumskem sušenju znašala kar 25 % manj, kot pri kontrolnem vzorcu.

Rezultati so v navzkrižju z našimi pričakovanji. Ravnovesna vlažnost lesa, kot tudi vlažnosti lesa v procesu navlaževanja so bile nižje v obeh primerih tako pri smreki, kot pri bukvi v primeru vakuumskega sušenja. Naše ugotovitve se ne skladajo z dvema dejstvoma:

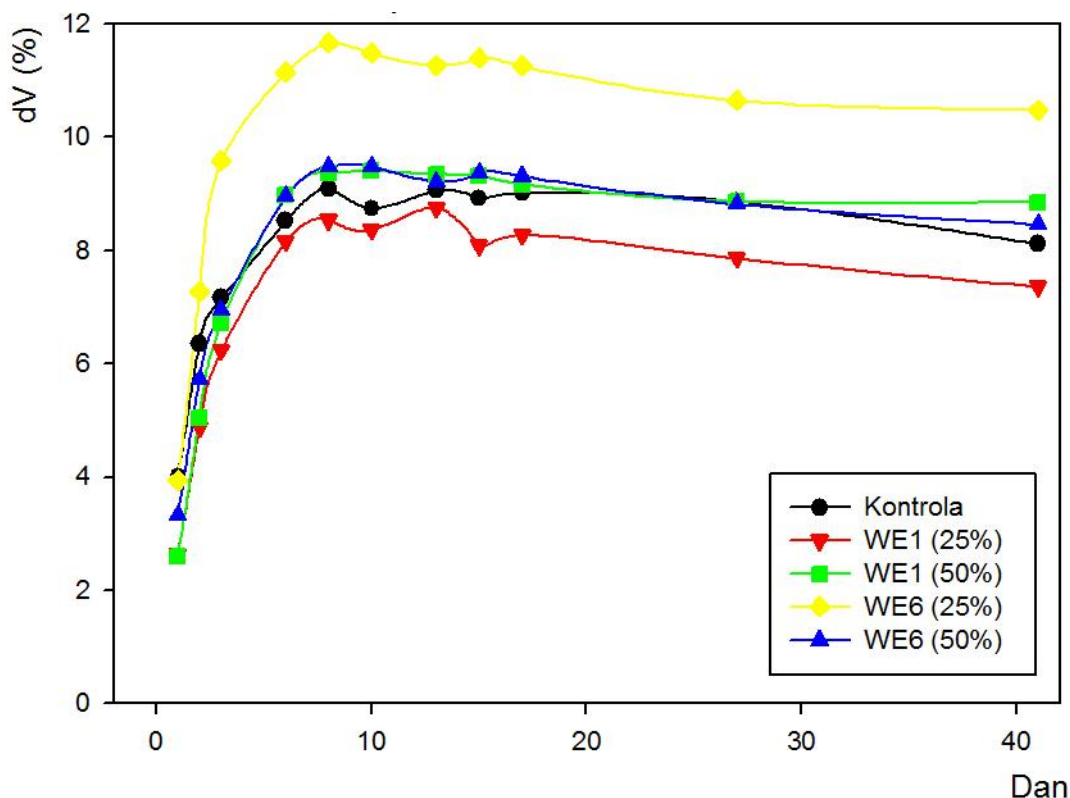
- Pri temperaturah nad 100 °C se začne razgradnja lesa (LeVan, 1989; Esteves in Pereira, 2009), predvsem najbolj higroskopskih hemiceluloz (Skaar, 1972; Fengel in Wegener, 1989; Orfao in Figueredo, 2001), kar bi se posledično moralo odražati v nižji ravnovesni vlažnosti lesa.
- Utrjevanje voska, nad tališčem, vodi do tvorjenja kompaktnega filma (Lesar in sod., 2011), kar naj bi prav tako vodilo do nižje ravnovesne vlažnosti.

Iz tega lahko sklepamo, da obstaja še nek drugi razlog, ki je vplival na sorpcijske lastnosti tretiranih vzorcev. Velja še opomniti, da je vosek po svoji naravi zelo hidrofoben, saj njegova ravnovesna vlažnost znaša le nekoliko več kot 1 % v klimi z 98 % zračno vlažnostjo (Lesar in sod., 2011).

Pri vzorcih bukovine, kjer so rezultati bolj izraziti, je opaziti, da ni bistvenih razlik med vplivom voskov WE1 in WE6 na vlažnost impregniranega lesa, temveč bolj pomembno vlogo igra koncentracija emulzije voska, s katero smo impregnirali vzorce. V obeh primerih smo boljše rezultate dobili z vodno emulzijo 50 % koncentracije. Z večjo koncentracijo vodnih emulzij smo v postopku impregnacije sicer dosegli manjši mokri navzem, vendar je zaradi večjega deleža voska prišlo do večjega suhega navzema.

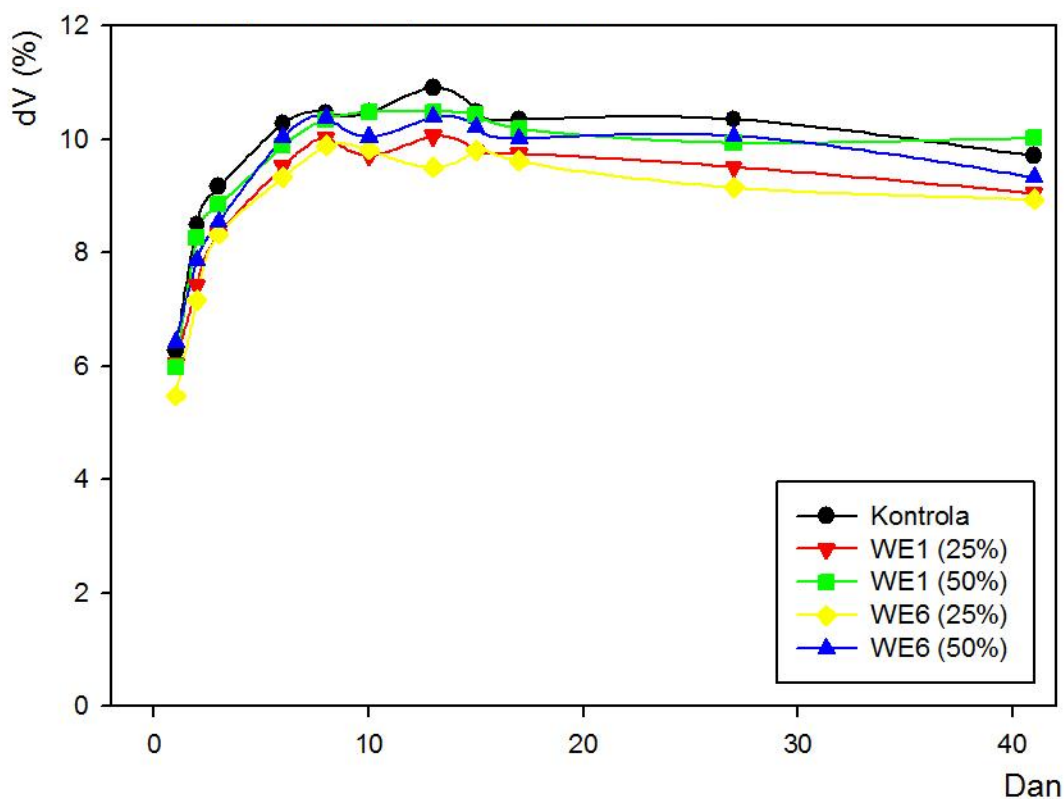
4.2.2. Spremljanje sprememb dimenzij

Sočasno z merjenjem ravnovesne lesne vlažnosti vzorcev, smo merili dimenzijske spremembe vzorcev med navlaževanjem. Iz sprememb dimenzij vzorcev smo izračunali volumsko spremembo, ki smo jo grafično prikazali na slikah od 27 do 32.



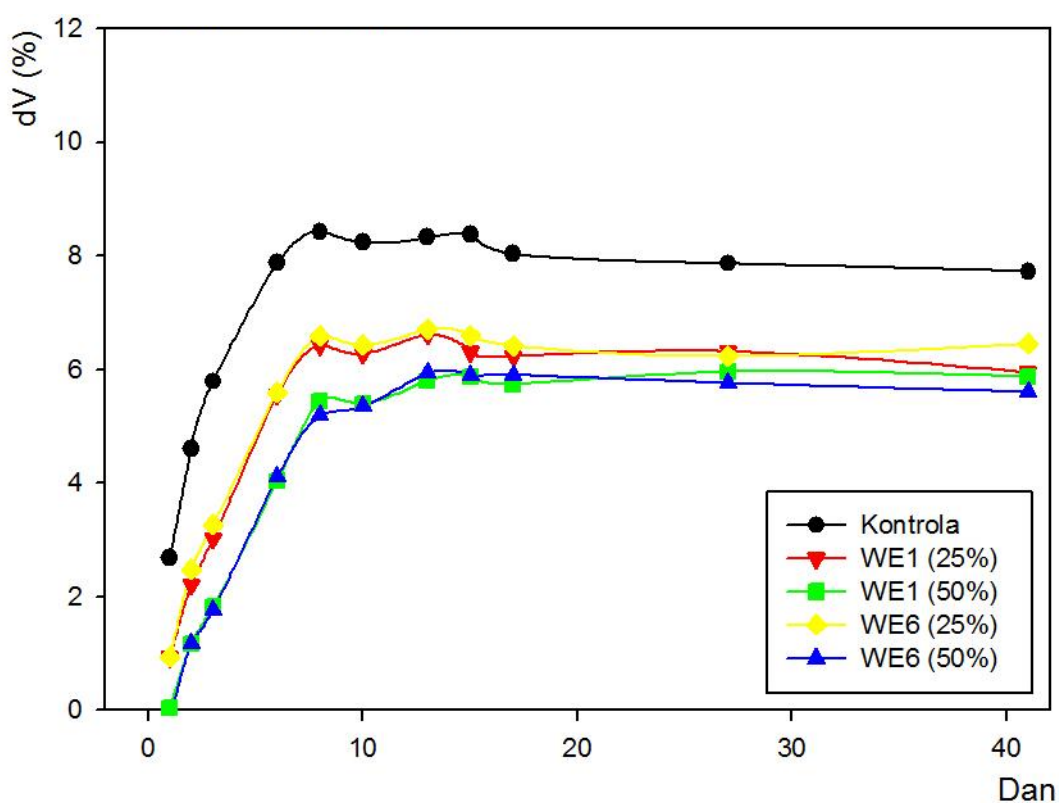
Slika 27: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v vakuumu na dimenzijske spremembe smrekovega lesa

Na slikah 27 in 28 smo grafično ponazorili dimenzijske spremembe smrekovih vzorcev, v odvisnosti od časa uravnovešanja in postopka impregnacije. Vzorci so bili v prvem primeru sušeni vakuumsko, v drugem pa v laboratorijskem sušilniku pri 140 °C. Opazimo lahko podobno obliko, kot pri slikah od 22 do 25, kjer smo spremljali vlažnost. Sprva so dimenzijske spremembe strmo naraščale. Med 17. in 41. dnevom merjenja, pa ni bilo opaziti izrazitejših dimenzijskih sprememb. Povezava med naraščanjem vlažnosti in med naraščanjem dimenzij je povsem pričakovana. Edini rezultat, ki izstopa, je presenetljivo odstopanje rezultata za vakuumsko sušene smrekove vzorce, impregnirane z vodno emulzijo WE6, koncentracije 25 %. Ti vzorci so nabrekli bistveno bolj, kot kontrolni in ostali vzorci, po drugi strani pa so se navlaževali povsem primerljivo s kontrolnimi vzorci.



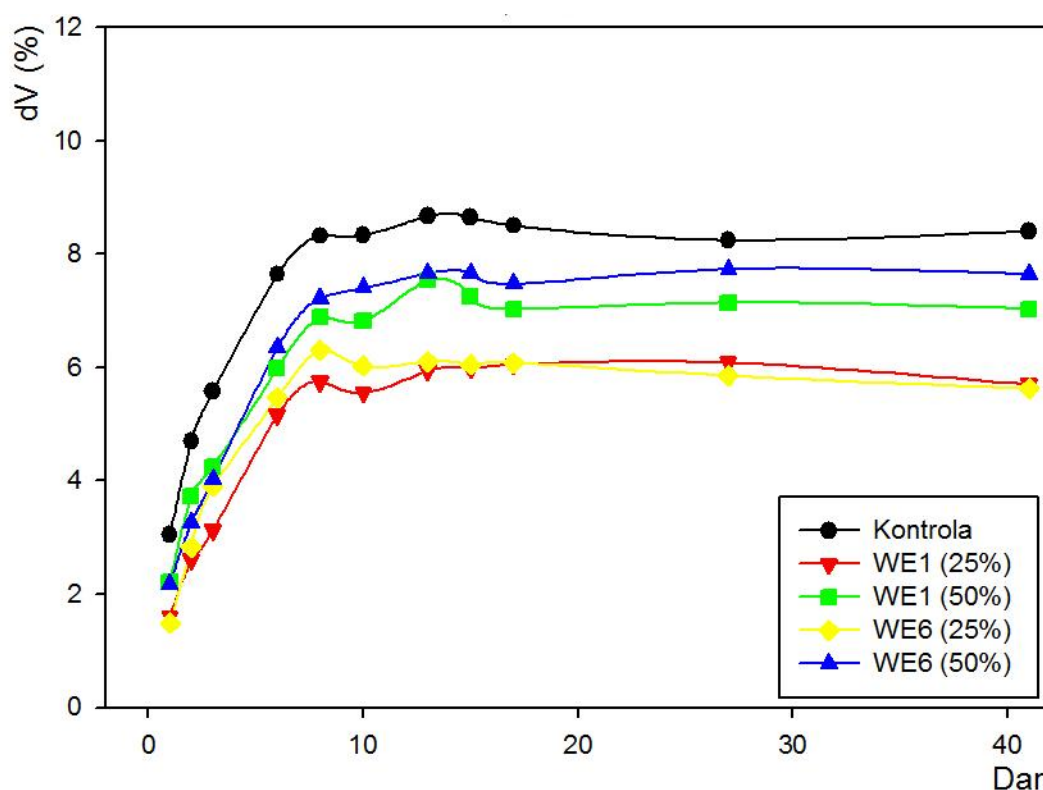
Slika 28: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku na dimenzijske spremembe smrekovega lesa

Na slikah 29 in 30 smo grafično prikazali rezultate za dimenzijske spremembe v odvisnosti od časa za bukovino. Vzorci so bili v prvem primeru sušeni vakuumsko (60 °C), v drugem pa v laboratorijskem sušilniku pri 140 °C.



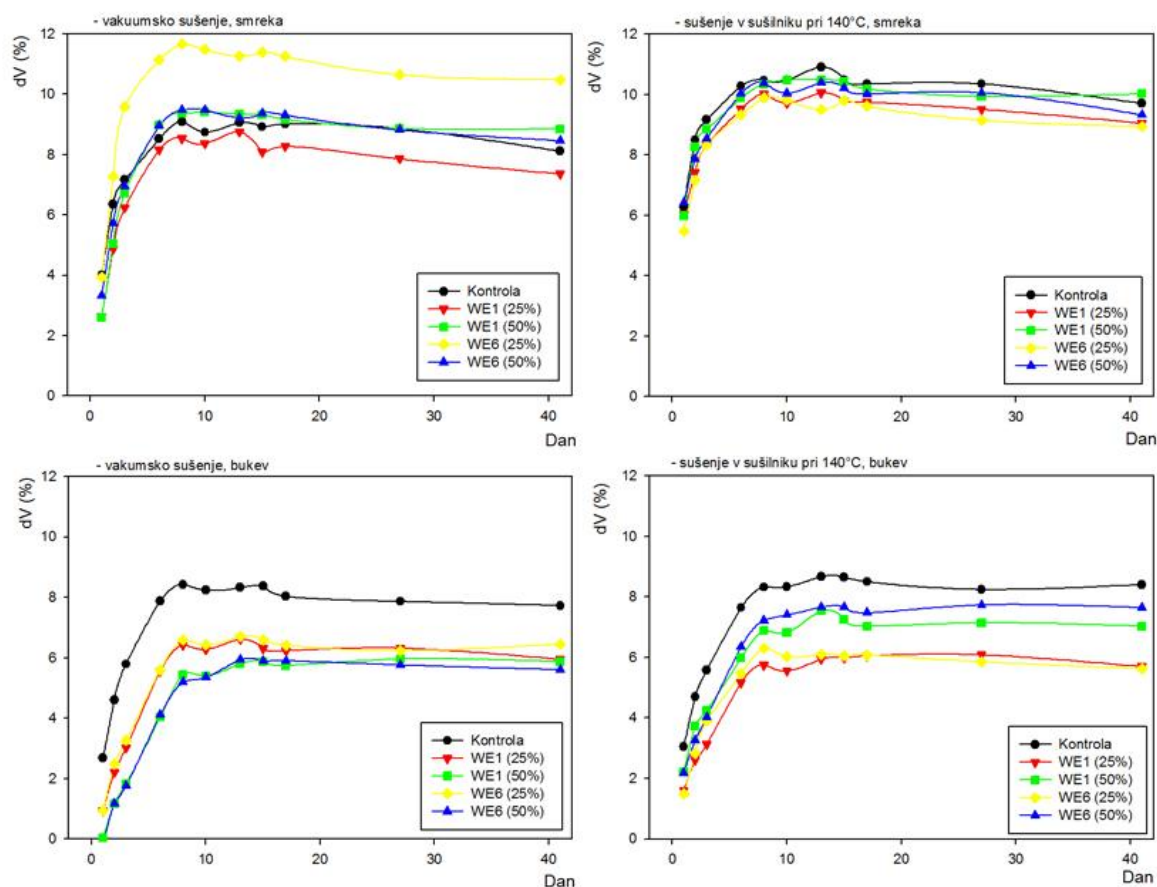
Slika 29: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v vakuumu na dimenzijske spremembe bukovega lesa

Ponovno opazimo podobno obliko krivulj, kot pri slikah, kjer je prikazano navlaževanje bukovih vzorcev. Krivulja, ki prikazuje dimenzijske spremembe strmo narašča na začetku, po 17 dnevih pa se naraščanje umiri do 41. dneva



Slika 30: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku na dimenzijske spremembe bukovega lesa

Na sliki 31 smo grafično strnili vse rezultate. Volumski nabrek smrekovine, se ni bistveno razlikoval glede na vrsto sušenja po impregnaciji. Gibal se je med 8,4 % in 11,5 %. Po drugi strani pa jasno opazimo, da so bukovi vzorci nabrekli manj, saj se rezultati gibajo med 5,8 % in 8,7 %. Opazna pa je razlika med bukovimi vzorci, sušenimi v vakuumu, kjer vrednost volumskega nabreka kontrolnih vzorcev znaša 7,7 % in na drugi strani kontrolnih vzorcev, sušenih v sušilniku, kjer je bil nabrek nekoliko večji, in sicer 8,4 %. Najboljše rezultate smo dosegli pri vzorcih bukovine, impregniranih z vodno emulzijo WE6 (50 % koncentracija), z vakuumskim sušenjem, in bukovino, sušeno v sušilniku, impregnirano z vodno emulzijo WE6 (25 % koncentracija). Rezultati volumskega nabreka so v obeh primerih znašali le 5,6 %. Volumski nabreki so presenetljivo nizki, v primerjavi s povečanjem ravnovesne vlažnosti. Iz tega lahko sklepamo, da se je vosek integriral s celično steno, kar je zaviralno vplivalo na nabrekanje lesa (Banks, 1973).



Slika 31: Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na dimenzijske spremembe smrekovega in bukovnega lesa v klima komori z 87 % RZV

Rezultati pri smrekovini le malo variirajo, kar je posledica nizkega navzema impregnacijskih sredstev v vzorce. Zaradi nizkega navzema se vzorcem lastnosti le malo spremenijo. Pri smrekovih vakuumsko sušenih vzorcih, tretiranih z emulzijo WE6 (25 %) je prišlo do nerazumljivega odstopanja, saj je nabrek teh vzorcev bistveno večji, od nabrekov kontrolnih in ostalih impregniranih vzorcev. Predvidevamo, da je vzrok v razpokah epoksidnega premaza na čelih vzorcev, ki so bile opazne s prostim očesom. Vpliv impregnacije z vodnimi emulzijami voskov impregniranega lesa je pri bukovini precej izrazitejši, saj je bukev precej bolj impregnabilna, kar je posledično omogočalo večji vpliv impregnacijskih sredstev na sorpcijske lastnosti.

Tudi pri spremljanju dimenzij je opazno, da ni bilo bistvenih razlik med vodnima emulzijama voskov WE1 in WE6. Razlika pa se zopet pokaže v vplivu koncentracij uporabljenih emulzij na dimenzijske spremembe impregniranega lesa, torej posledično v

vplivu deleža suhe snovi voska v samih vzorcih. Pri vakuumsko sušenih vzorcih smo dobili boljše rezultate tam, kjer smo uporabili emulzije z višjo koncentracijo, kar je po naših pričakovanjih, saj smo z impregnacijo v vzorce vnesli več voska. Zanimivo je, da smo zaznali ravno obratne rezultate pri impregnirani bukovini, sušeni v sušilniku. Vzorci, impregnirani s 25 % emulzijo voska so manj nabrekli, kot tisti, ki so bili prepojeni z emulzijo višje koncentracije (50 %). Očitno je, da je bil poleg deleža suhe snovi voska prisoten še nek tretji dejavnik, ki je vplival na dimenzijske spremembe lesa.

4.2.3. Pregled rezultatov za navlaževanje na zraku

V preglednici 5 smo strnili rezultate za navlaževanje na zraku. Izražena sta največja vlažnost in največji volumski nabrek v obdobju 41 dni v klima komori z zračno vlažnostjo 87 %. Rezultati so komentirani že v prejšnjih dveh poglavjih, 4.2.1 in 4.2.2.

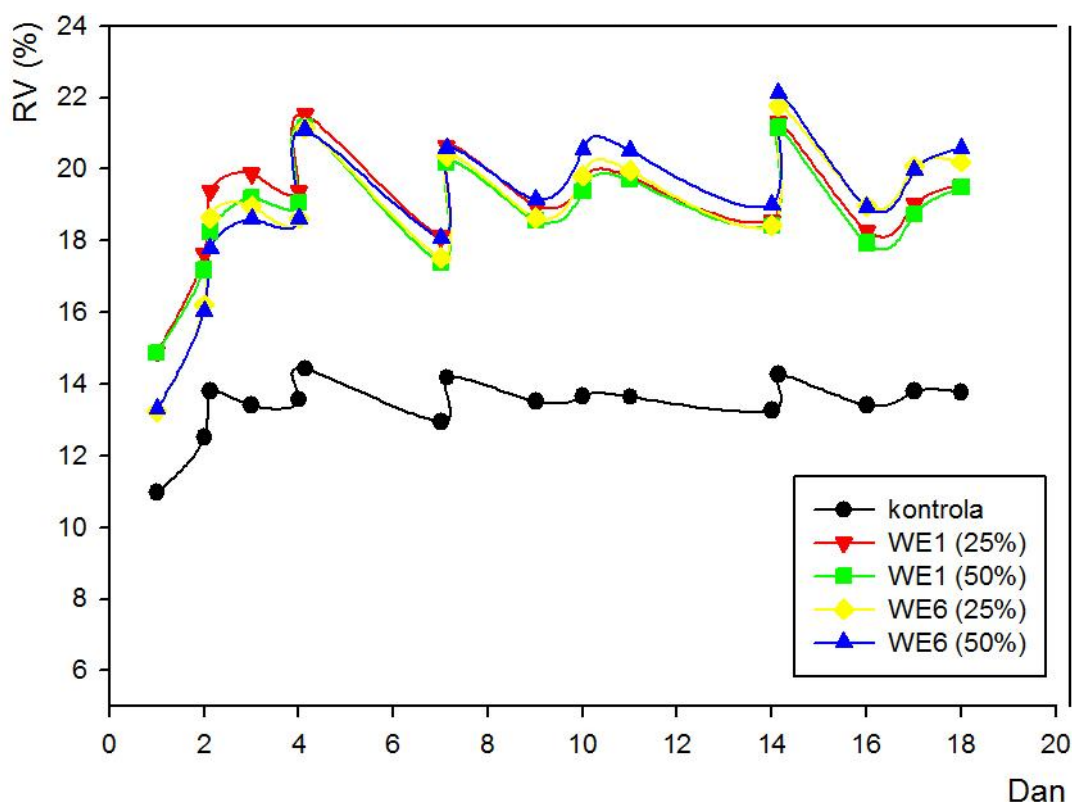
Preglednica 5: Pregled rezultatov: (največja vlažnost, in največji volumenski nabrek) - Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na spremembe dimenzij in spremembo vlažnosti smrekovega in bukovega lesa pri povišani zračni vlažnosti (RZV 87 % - v klima komori)

vrsta lesa	vosek	koncentracija	način sušenja	največja vlažnost [%]	največji volumski nabrek [%]
smreka	kontrola	0%	vakuum (60 °C)	15,1	9,1
smreka	WE1	25%	vakuum (60 °C)	15,3	8,8
smreka	WE1	50%	vakuum (60 °C)	15,8	9,4
smreka	WE6	25%	vakuum (60 °C)	15,4	11,7
smreka	WE6	50%	vakuum (60 °C)	15,2	9,5
smreka	kontrola	0%	sušilnik (140 °C)	16,5	10,9
smreka	WE1	25%	sušilnik (140 °C)	16,8	10,1
smreka	WE1	50%	sušilnik (140 °C)	17,0	10,5
smreka	WE6	25%	sušilnik (140 °C)	16,5	9,9
smreka	WE6	50%	sušilnik (140 °C)	16,5	10,4
bukev	kontrola	0%	vakuum (60 °C)	15,3	8,4
bukev	WE1	25%	vakuum (60 °C)	13,7	6,6
bukev	WE1	50%	vakuum (60 °C)	12,7	6,0
bukev	WE6	25%	vakuum (60 °C)	13,4	6,7
bukev	WE6	50%	vakuum (60 °C)	12,5	5,9
bukev	kontrola	0%	sušilnik (140 °C)	15,5	8,7
bukev	WE1	25%	sušilnik (140 °C)	15,2	6,1
bukev	WE1	50%	sušilnik (140 °C)	14,4	7,5
bukev	WE6	25%	sušilnik (140 °C)	14,7	6,3
bukev	WE6	50%	sušilnik (140 °C)	14,2	7,7

4.3. NAVLAŽEVANJE V VODI

4.3.1. Spremljanje vlažnosti lesa med navlaževanjem v vodi

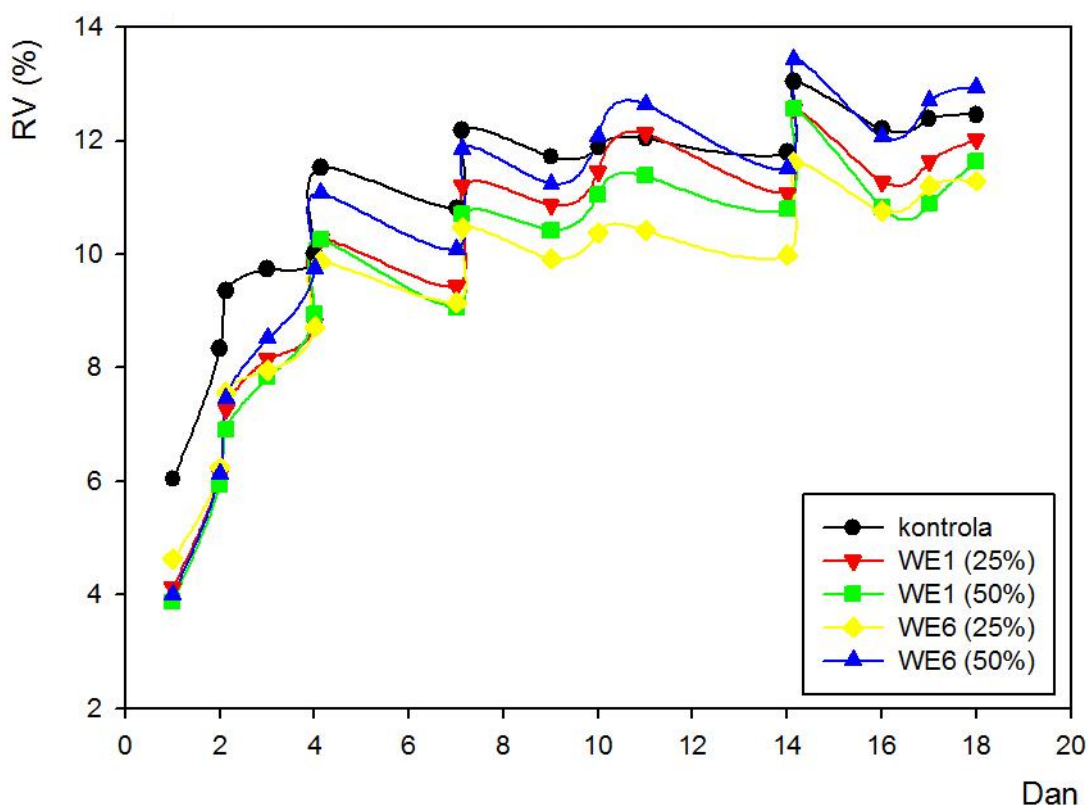
V drugem delu sorpcijskega poizkusa so bili vzorci izpostavljeni 10 minutnim namakanjem v destilirani vodi. Vzorcem smo merili ravnovesno vlažnost in dimenzije pred vsako potopitvijo v destilirano vodo in po njej. Vzorci so se po končani potopitvi sušili v laboratoriju, pri sobnih pogojih. S tem smo simulirali navlaževanje zaradi kratkotrajnih padavin, ki so značilne za naš podnebni pas.



Slika 32: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v vakuumu na vlažnost smrekovega lesa zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi

V prvem delu rezultatov predstavljamo spremembe ravnovesne vlažnosti zaradi namakanja lesa v vodi za posamezna 10 minutna obdobja. Na sliki 32 so zajeti rezultati spremljanja vlažnosti smrekovih vzorcev, ki so bili sušeni vakuumsko pri 60 °C. Rezultati so zabeleženi po 10 minutni potopitvi. Opazno je, da ni bistvenih razlik glede na vrsto in koncentracijo vodnih emulzij voska, ki smo ga uporabili. Opazno je, da se je vsem

impregniranim vzorcem vlažnost povečala precej bolj, kot kontrolnim. Eden od razlogov za višjo vlažnost impregniranih vzorcev, bi lahko bilo dejstvo, da se je na površini impregniranih vzorcev tvorila razpokana površina. Ker so bile na površini prisotne številne razpoke, ki so delovale kot kapilare, je voda lahko lažje in intenzivneje prodrla v les.

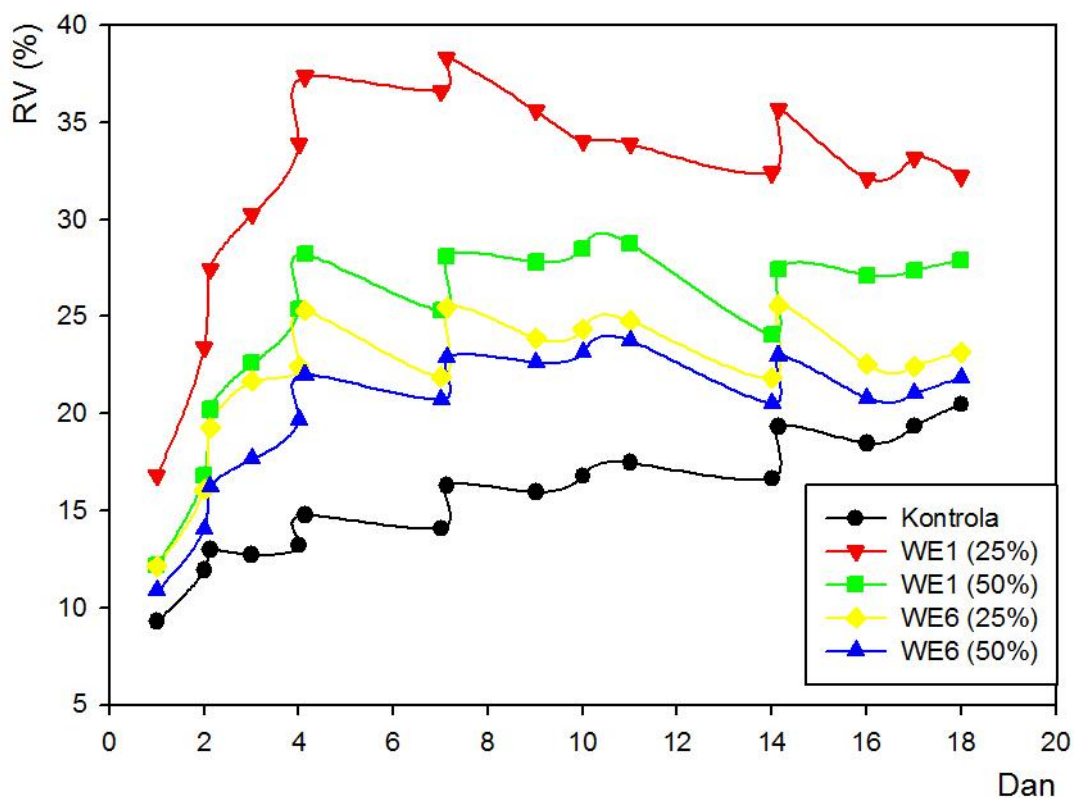


Slika 33: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku na vlažnost smrekovega lesa zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi

Rezultati za vzorce sušene v sušilniku pri 140 °C so precej bolj obetajoči, saj so impregnirani vzorci dosegali podobno ali celo nižjo ravnovesno vlažnost, kot kontrolni vzorci (Slika 33). Pri sušenju v sušilniku nad točko tališča voska je nastala tanka plast voska, ki je bila bolj celovita in je tako do neke mere delovala kot bariera.

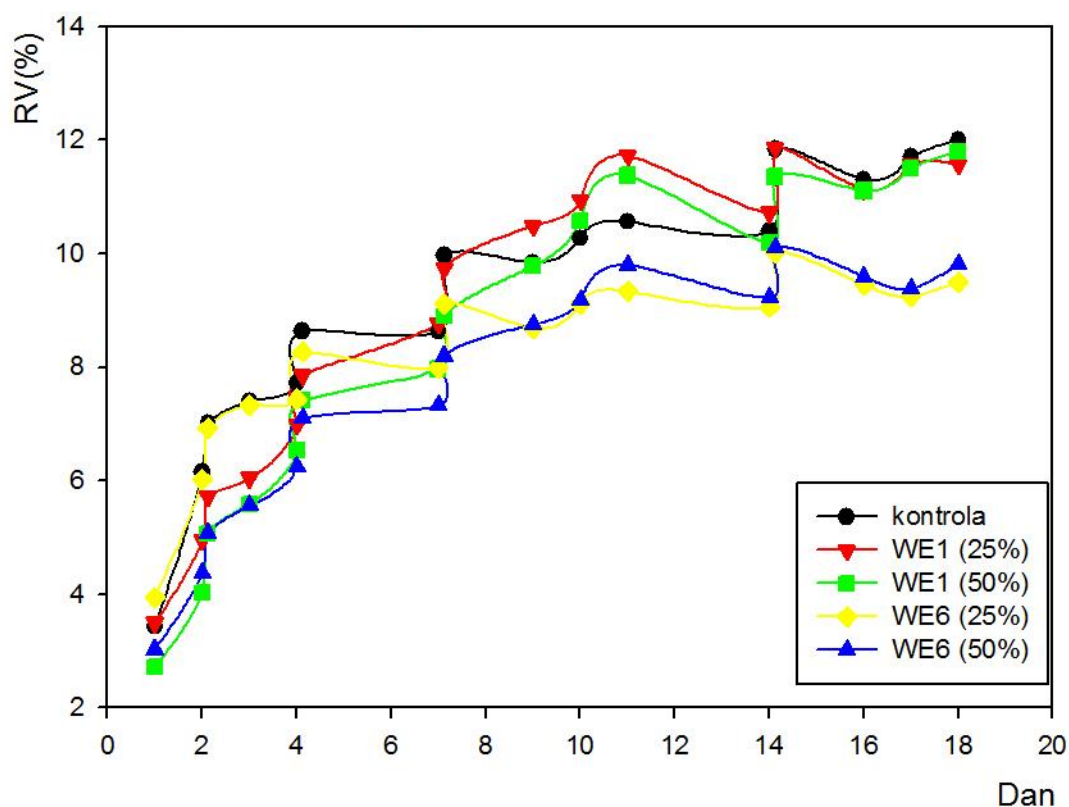
Podobno, kot je bilo zaznati že v prejšnjih poglavjih, so rezultati, določeni na bukovih vzorcih, zaradi njene boljše impregnabilnosti, bolj izraziti. Kakorkoli, po drugi strani pa smo pri navlaževanju impregniranih vzorcev v vodi prišli do podobnih rezultatov, kot pri

smrekovini. Zopet so vrednosti vlažnosti višje pri vakuumsko sušenih impregniranih vzorcih, kot pri vakuumsko sušeni kontroli (Slika 34).



Slika 34: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v vakuumu na vlažnost bukovega lesa zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi

Vzorci bukovine, ki so bili sušeni pri 140 °C v sušilniku, so dosegali podobno ali celo nižjo ravnovesno vlažnost, kot kontrolni vzorci (Slika 35). Zopet smo pri sušenju pri višjih temperaturah, dosegli precej boljše rezultate, kot pri postopku vakuumskega sušenja.

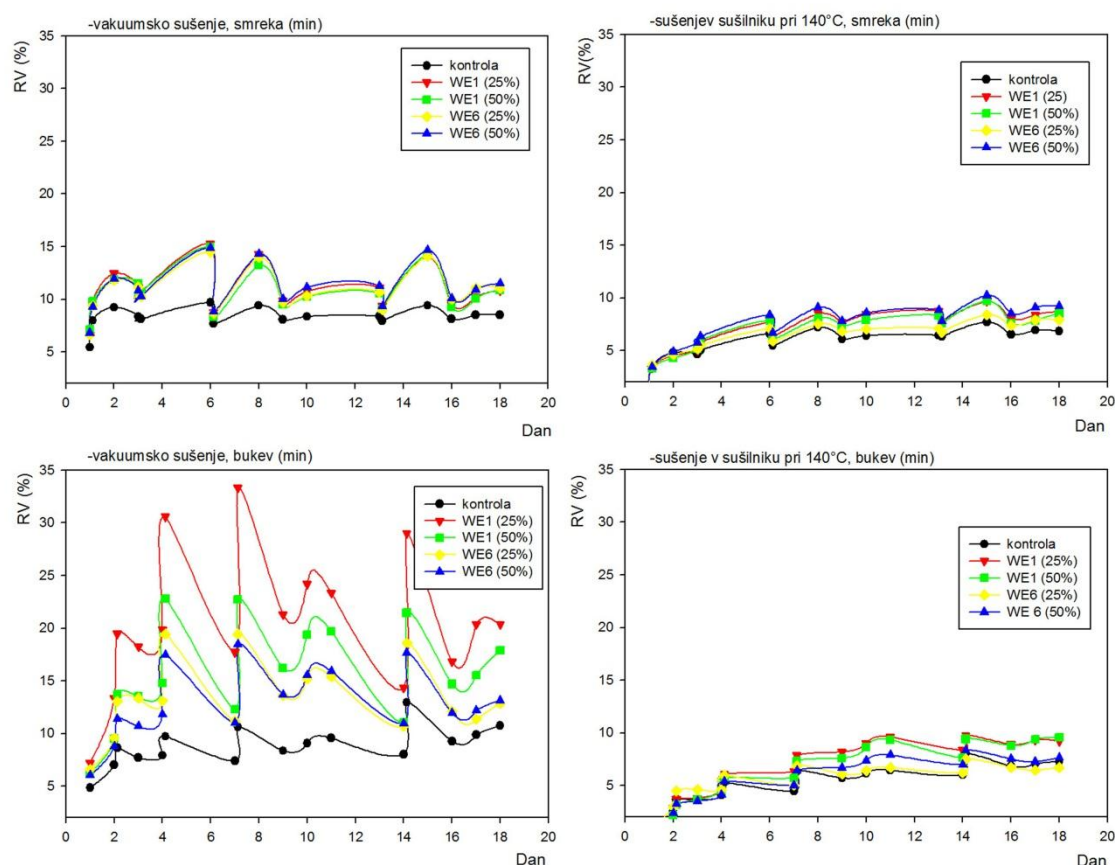


Slika 35: Vpliv impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku na vlažnost bukovega lesa zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi

Na sliki 36 so grafično prikazani rezultati za spremljanje vlažnosti pred namakanjem. Vlažnost smrekovih kontrolnih vzorcev, ki so bili sušeni vakuumsko, se je gibala med 5,4 % in 8,5 %. Vakuumsko sušeni kontrolni bukovi vzorci so imeli vlažnost med 4,8 % in 10,8 %. Razlike so predvsem odvisne od časa sušenja po namakanju, ki je bil precej različen. Od 1,5 ure, do nekaj dni.

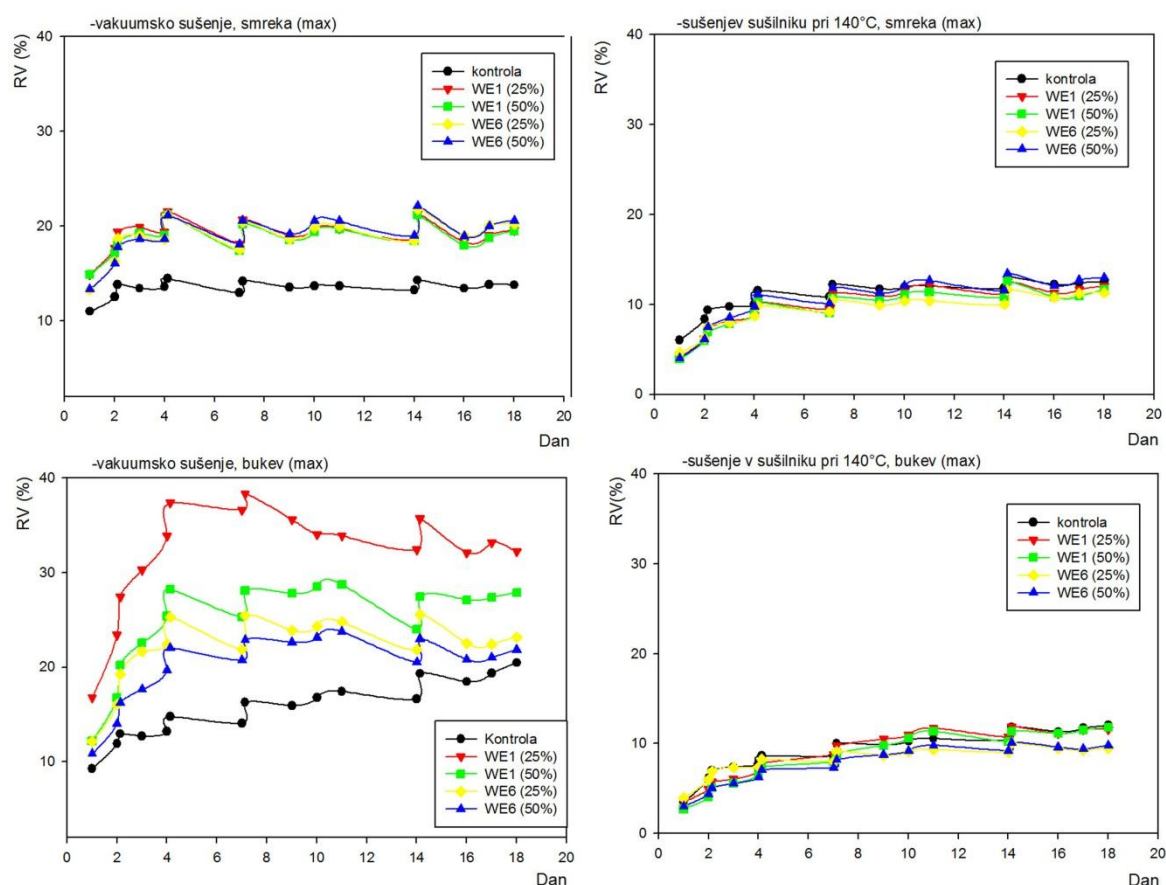
Smrekovim in bukovim kontrolnim vzorcem v sušilniku, se je ravnovesna vlažnost povečala do 7 %. Opazimo, da je ravnovesna vlažnost impregniranih vzorcev višja od kontrolnih, kar ni povsem v skladu s pričakovanim hidrofobnim delovanjem voska.

Razlik v delovanju vodnih emulzij voskov pri impregnirani smrekovini, sušeni v sušilniku ni opaziti. Vlažnost je bila odvisna predvsem od časa sušenja. Največja vlažnost pred namakanjem je znašala 11,5 % in sicer za smrekov les, impregniran z WE6 (50 %). Najmanjšo vlažnost pa smo zaznali pri smrekovih vzorcih, ki smo jih prepojili z emulzijo WE1 (50 %) – 8,3 %.



Slika 36: Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na spremembe vlažnosti smrekovega in bukovnega lesa zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi, pred namakanjem v destilirani vodi

Oblika krivulje navlaževanja se pri bukovini ne razlikuje bistveno od krivulj za smrekovino. Razlika se odraža predvsem v tem, da je vlažnost bukovine v splošnem višja, kot pri smrekovih vzorcih. Največjo vlažnost pred namakanjem smo dosegli pri bukovini, ki je bila sušena vakuumsko in prepojena z vodno emulzijo WE1 (25 %). Vrednost je znašala 33,3 %. Pri sušenju v sušilniku pri 140 °C, so bile na začetku ravnovesne vlažnosti impregniranih vzorcev precej podobne kontrolnim vrednostim. Tekom testa je vlažnost impregniranih vzorcev naraščala hitreje, kot vlažnost kontrolnih vzorcev (Slika 36).



Slika 37: Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na spremembe vlažnosti smrekovega in bukovnega lesa, zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi, po namakanju

Krivulje, ki prikazujejo spremembe po deset minutnem potopu v destilirano vodo (Slika 37), so precej podobne krivuljam iz prejšnjega poglavja (Slika 36), torej pred potopom. Vakuumsko sušenim, kontrolnim, smrekovim vzorcem se je vlažnost povečala za 5 odstotnih točk po potopitvi. Pri bukovih vzorcih, enako sušenih, se je vlažnost povečala za 9,3 odstotnih točk in je naraščala do 20,5 %. To vlažnost je dosegla po zadnji potopitvi. Vrsta vodne emulzije voska pri smrekovini ni bistveno vplivala na rezultate, saj so razlike minimalne. Opazno je, da so impregnirani vzorci pri vakuumskem sušenju dosegali precej višjo vlažnost kot kontrolni, tako pri smreki, kot pri bukovini. Pri bukovini, tretirani z emulzijo WE1 (25 %) je bil navzem vode tudi do trikrat večji od navzema vode pri kontrolnih vzorcih.

Pri drugi vrsti sušenja, torej pri sušenju v sušilniku pri 140 °C opazimo, da so se z voskom tretirani vzorci obnesli bolje od kontrolnih vzorcev. Kontrolni vzorci smrekovine so

dosegli po zadnji potopitvi vlažnost 12,5 %, bukovi pa 12 %. Iz tega je jasno razvidno, da sušenje v sušilniku pri povišani temperaturi pripomore k hidrofobnosti lesa.

Očitno je, da kombinacija sušenja v sušilniku in uporaba vodnih emulzij voskov pozitivno vpliva na zmanjšanje higroskopsnosti lesa. Z impregnacijo smo dosegli do 18 odstotnih točk nižjo vlažnost vzorcev v primerjavi s kontrolnimi. Dejstvo, da so se vzorci bolje obnesli v sušilniku pri 140 °C, kot pri vakuumskem sušenju, lepo sovпада z naslednjo ugotovitvijo:

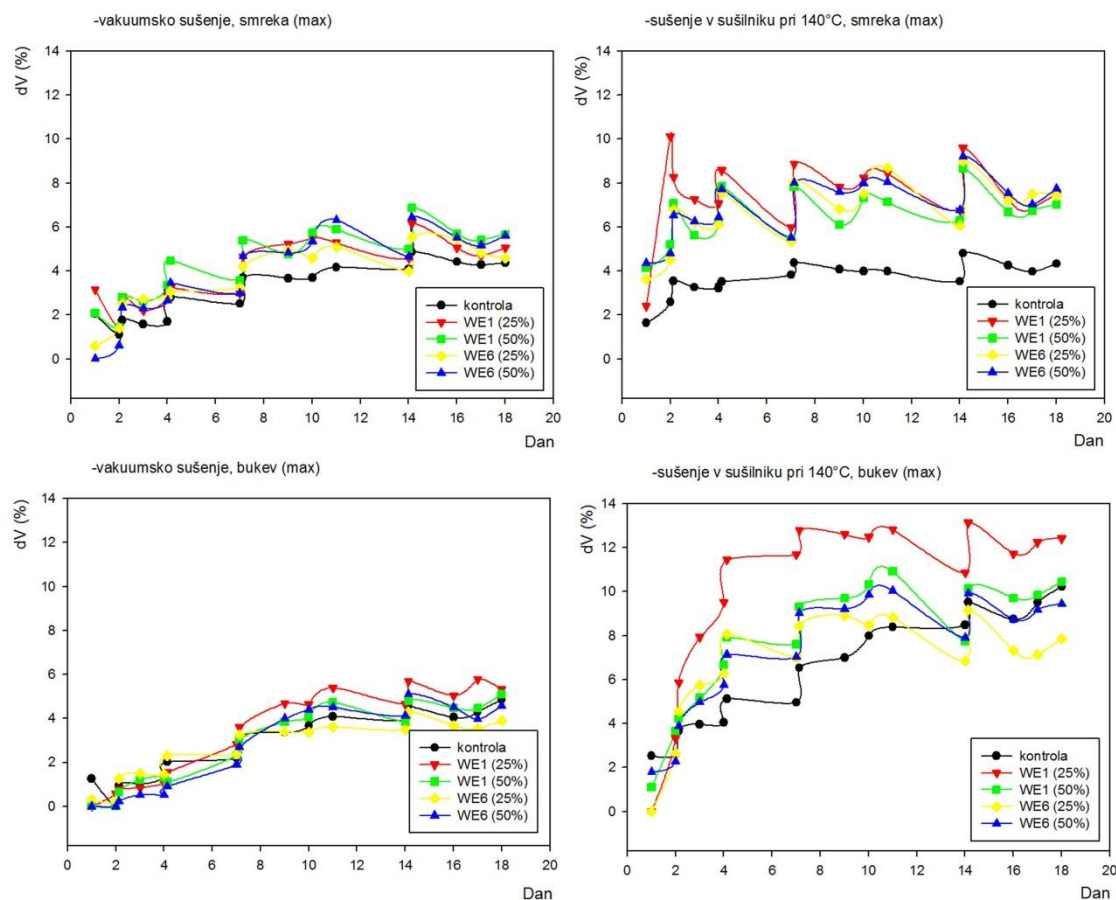
- Polietilenski voski morajo utrjevati nad temperaturo tališča, z namenom da površina lesa, obdelanega z voskom postane bolj vodo-odbojna. Delci voska pri utrjevanju nad tališčem tvorijo tanek kompakten film, ki odbija vodo. (Lesar in sod., 2011)

Impregnacija je v nekaterih primerih vplivala precej negativno na navzem vode, saj se je ta bistveno povečal v primerjavi s kontrolnimi vzorci. Razloge gre iskati v tem, da so se med impregnacijo na lesu pojavile majhne razpoke. Tudi epoksi premaz na čelih nekaterih vzorcev je precej razpokal. Na teh malih razpokah se je ustvaril kapilarni tlak, kar je omogočilo hitrejši navzem vode (Lesar in sod., 2011)

Iz grafikonov, ki prikazujejo vrednosti pred namakanjem in po njem je razvidno tudi dejstvo, da so se vzorci, ki so bili tretirani z vodnimi emulzijami voskov, med posameznimi cikli namakanja, sušili počasneje v primerjavi s kontrolnimi vzorci. Torej je vosek upočasnjeval prehod vode iz lesa nazaj v ozračje. To izhaja iz tega, da so bile pore in lumni lesa do neke mere zapolnjeni z voskom, kar je oteževalo transport vode iz lesa.

4.3.2. Spremljanje sprememb dimenzij med navlaževanjem v vodi

Pri vakuumsko sušenem lesu, ni bilo opaznih bistvenih razlik med smrekovimi vzorci, tretiranimi z vodnimi emulzijami voskov in kontrolnimi vzorci. Odstopanja so bila minimalna. Volumski nabrek je znašal po zadnji potopitvi okoli 5 %. Tudi pri bukovini smo prišli do podobnih rezultatov. Opazno je, da šibka hidrofobna učinkovitost polietilenskih voskov ne vpliva bistveno na nabrekanje in krčenje lesa.



Slika 38: Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na spremembe dimenzij smrekovega in bukovega lesa, zaradi posameznih 10 minutnih ciklov namakanja v vodi, po namakanju

Pri drugi vrsti sušenja, (sušenje v sušilniku 140 °C) pa smo opazili celo negativni učinek impregnacije na volumski nabrek vzorcev. Pri smrekovini smo opazili, da se je volumski nabrek tretiranih vzorcev po zadnjem namakanju povečal za 8 odstotnih točk, kar je dvakratna vrednost nabreka kontrolnih vzorcev. Pri bukovih vzorcih so bili rezultati še bolj izraziti. Volumski nabrek je dosegel vrednost do 12 %.

Dimenzijske spremembe med neenakomernim namakanjem se niso izkazale kot najboljši pokazatelj za ugotavljanje hidrofobnih lastnosti tretiranega lesa.

4.3.3. Pregled rezultatov navlaževanja v vodi

V preglednici 6 smo strnili rezultate za namakanje v vodi. Izraženi so največja vlažnost, povprečna vlažnost in največji volumski nabrek po 10 minutnem namakanju v destilirani vodi. Rezultati so komentirani že v prejšnjih dveh poglavjih, torej spremljanje vlažnosti in spremljanje sprememb dimenzij za navlaževanje v vodi.

Preglednica 6: Pregled rezultatov: (največja vlažnost, povprečna vlažnost in največji volumski nabrek) - Primerjava vpliva impregnacije z različnimi emulzijami polietilenskih voskov in sušenja v sušilniku ter vakuumu na spremembe dimenzij in spremembo vlažnosti smrekovega in bukovnega lesa po 10 minutnem namakanju v destilirani vodi

vrsta lesa	vosek	koncentracija	način sušenja	največja vlažnost [%]	povprečna vlažnost [%]	največji volumski nabrek [%]
smreka	kontrola	0%	vakuum (60 °C)	14,4	13,4	4,9
smreka	WE1	25%	vakuum (60 °C)	21,5	19,2	6,2
smreka	WE1	50%	vakuum (60 °C)	21,2	18,8	6,9
smreka	WE6	25%	vakuum (60 °C)	21,8	18,9	5,5
smreka	WE6	50%	vakuum (60 °C)	22,1	19,1	6,4
smreka	kontrola	0%	sušilnik (140 °C)	13,0	11,0	4,8
smreka	WE1	25%	sušilnik (140 °C)	12,6	9,9	10,1
smreka	WE1	50%	sušilnik (140 °C)	12,6	9,6	8,7
smreka	WE6	25%	sušilnik (140 °C)	11,6	9,4	9,0
smreka	WE6	50%	sušilnik (140 °C)	13,4	10,5	9,2
bukev	kontrola	0%	vakuum (60 °C)	15,6	20,5	4,9
bukev	WE1	25%	vakuum (60 °C)	32,1	38,3	5,8
bukev	WE1	50%	vakuum (60 °C)	24,9	28,8	5,1
bukev	WE6	25%	vakuum (60 °C)	22,0	25,6	4,3
bukev	WE6	50%	vakuum (60 °C)	20,0	23,8	5,1
bukev	kontrola	0%	sušilnik (140 °C)	12,0	9,2	10,2
bukev	WE1	25%	sušilnik (140 °C)	11,9	9,0	13,1
bukev	WE1	50%	sušilnik (140 °C)	11,8	8,5	10,9
bukev	WE6	25%	sušilnik (140 °C)	10,0	8,2	9,2
bukev	WE6	50%	sušilnik (140 °C)	10,1	7,7	10,0

5 SKLEPI

- Vpliv vodnih emulzij polietilenskega voska WE1 in oksidiranega polietilenskega voska WE6 na sorpcijske lastnosti, je bil v prvi vrsti odvisen od količine navzema vodne emulzije voska v samem procesu impregnacije.
- Zaradi anatomskih značilnosti lesa, smo bukovino uspeli bistveno bolje prepojit z vodnimi emulzijami voskov, kot smrekovino. Posledično so se rezultati impregnirane bukovine z vodnimi emulzijami voskov v večji meri razlikovali od kontrolnih vzorcev. Zaradi slabega navzema pri smrekovini, je bilo precej težko razbrati vpliv impregnacije z vodnimi emulzijami voskov.
- Pozitiven učinek delovanja zaščite z impregnacijo z vodnimi emulzijami voskov, pri navlaževanju na zraku (v klima komori, RZV 87 %), je bil najbolj opazen pri vakuumsko sušeni bukovini, nekoliko tudi pri impregnirani bukovini, sušeni v sušilniku.
- Zmanjšanje dimenzijskih sprememb smo z impregnacijo z vodnimi emulzijami voskov dosegli pri vakuumsko sušeni bukovini ter tudi pri bukovini, sušeni v sušilniku, kjer so se dimenzijsko najmanj spreminjali vzorci, prepojeni z vodno emulzijo voska nižje (25 %) koncentracije.
- Les, ki je bil prepojen z vodnimi emulzija voska in hkrati sušen nad točko tališča voska, se je počasneje navlaževal pri postopku namakanja v vodi, kot ostali vzorci.
- Iz rezultatov je jasno razvidno, da se les, prepojen z vodnimi emulzijami voskov suši počasneje, med posameznimi cikli namakanja v destilirani vodi.

6 POVZETEK

Zaradi zavedanja okoljske problematike, se v zadnjem času posveča precej pozornosti iskanju novih postopkov zaščite lesa. Trend je v opuščanju škodljivih biocidnih postopkov in zniževanju porabe tropskega lesa. Ena izmed okolju prijaznih rešitev je zaščita z vodnimi emulzijami voskov.

Princip delovanja voskov je v zmanjševanju higroskopnosti, kar zmanjšuje vlažnost zaščenem lesu, posledično je les manj ogrožen pred napadi insektov in okužbami z glivami. V želji po čim boljši vodo-odbojnosti smo preučevali, kako temperatura sušenja vpliva na sorpcijske lastnosti lesa, prepojenega z vodnimi emulzijami voskov.

Uporabili smo smrekove in bukove vzorce, jih impregnirali z emulzijami polietilenskih voskov različnih koncentracij in nato eno skupino vzorcev sušili v sušilniku pri 140 °C, drugo skupino pa smo sušili vakuumsko pri 60 °C. V prvem poizkusu smo vzorce izpostavili visoki zračni vlažnosti (87 %), na-kar smo spremljali uravnovešanje lesne vlažnosti in spremembo dimenzij vzorcev. V drugem testu pa smo vzorce v ciklih namakali v destilirani vodi. Tudi tu smo spremljali spremembe vlažnosti in spremembe dimenzij.

Pri navlaževanju na zraku, smo boljše rezultate dosegli pri vakuumskem sušenju z voskom impregniranih vzorcev, torej pri nižji temperaturi, 60 °C. Pri postopku namakanja pa se je izkazalo, da je sušenje nad točko tališča voska vplivalo na navzem vode tako, da je bilo prehajanje počasnejše kot pri vzorcih, ki so bili sušeni vakuumsko.

Zaščita lesa z vodnimi emulzijami voskov bi bila potencialno primerna za pripravo izdelkov za uporabo na prostem, predvsem v nižjih razredih izpostavitve.

7 VIRI

- Banks W.B. 1973. Water uptake by Scots Pine Sapwood, and its Restriction by the Use of Water Repellents. *Wood Science and Technology*, 7: 271-284
- ChemCor. 2008. About Wax;
(<http://www.chemcor.net/wax%20types,vegetable%20wax.htm>) (7.11.2011)
- Cyberlipid. 2008. About wax; (<http://www.cyberlipid.org/cyberlip/home0001.htm>)
(7.11.2011)
- Čufar K. 2002. Anatomija lesa. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 158 str.
- EN 350-2 2005 Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood - Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. European Committee for Standardization.
- Esteves B.M., Pereira H.M., 2009. Wood Modification by Heat Treatment: a review. *Bioresources*, 4: 370-404
- Fengel D., in Wegener G. 1989. Wood; Chemistry, Ultrastructure, Reactions. New York, Berlin, Walter de Gruyter: 319-344
- Foncepi A. 2008. Caranauba. (<http://www.foncepi.com/eng/products.php>) (27.10.2011)
- Garai, M.R., Sanchez, I.C., Garcia, R.T., Rodriguez, A.M., Vilchez, C., Hidalgo-Avarez, 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
- Goethals, P., Stevens, M. 1994. Dimensional stability and decay resistance of wood upon modification with some new type chemical reactants. The International Research Group on Wood Preservation, Document, IRG/WP 94-40028, 14. str.

- Gorišek Ž. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije: 235 str.
- Gustafsson, L., Börjesson, P. 2007. A comparison of various industrial wood surface coatings. *Life cycle assessment in Green Chemistry*, 12 (3): 141-206
- Heinrichs F.L. 2003. Montan wax. V: *Ullman's encyclopedia of industrial chemistry*, Vol. 39, 3. Izdaja (Ur.) Bhonet M. Wiley-VCH, Weinheim: 154-159
- Hillier B., Murphy R. 2000. Life Cycle Assessment Benefits of Preserved wood. *Journal of the Institute of Wood Science*, 16: 170-175
- Humar M. 2004. Zaščita lesa danes – jutri. *Les*, 56: 184-189
- Humar M. 2008. Zaščita lesa – Kam gremo? V: *Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 102-107
- Jecl B. 2005. Fiksacija pripravka na osnovi bakra, etanolamina, oktanojske kisline in bora v impregniranem lesu. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 42 str.
- Kervina-Hamović L. Zaščita lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 126 str.
- Kregar R. 1956. Površinska obdelava lesa: Naš les. II. Knjiga. Ljubljana. Kmečka knjiga: 298 str.
- Leach N.J. 1993. *Modern wood finish techniques*. Hartford, S. Davis: 235 str.
- Leiße B. 1996. *Holz natürlich schützen*. Heidelberg, C.F. Müller Verlag: 153 str.
- Lesar B., Humar M. 2010. Use of wax emulsions for improvement of wood durability and sorption properties. *European Journal of Wood and Wood Products*: DOI 10.1007/s00107-010-0425-y
- Lesar B., Petrič M., Kričej B., Humar M. 2009. Voski in njihova uporaba v lesarstvu. *Les*, 61, 5: 188-194

- Lesar B., Straže A., Humar M. 2010. Sorption properties of wood impregnated with aqueous solution of boric acid and montan wax emulsion. *Journal of Applied Polymer Science*. Article in press
- Lesar B., Sever Škapin, A., Humar, M. 2011. The influence of drying on the sorption properties of polyethylene wax treated wood. *Wood* ISSN: 1644-3985.- Vol. 54, Nr. 185, str. 5-18
- LeVan S.L., 1989. Thermal degradation. In *Concise Encyclopedia of Wood & Wood-Based Materials*. Ed. S. A.P. Pergamon Press, New York: 271-273.
- Matthies L. 2001. Natural montan wax and its raffinates. *European journal of lipid. Science and technology*, 103: 239-248
- Momentive wax products;
(<http://ww2.momentive.com/ProductFamily/waxes.aspx?id=252>) (2012)
- Montan wax E; (http://longstonechina.en.alibaba.com/product/356193854-209848533/montan_wax_e.html) (18.6.2012)
- Orfao J.J.M., Figueiredo J.L. 2001. A simplified method for determination of lignocellulosic materials pyrolysis kinetics from isothermal thermogravimetric experiments. *Thermochimica Acta*, 380: 67-78.
- 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
- Pečenko G. 1987. *Zaščita lesa v praksi*. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije: 221 str.
- Petrič M., 2002. Površinska obdelava lesenih talnih oblog z voščenimi premazi. *Korak*, 3, 6: 38-39

- Pohleven F. 2008a. Konstrukcijska zaščita lesa pred škodljivci. V: Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 96-100
- Pohleven F. 2008b. Zaščita lesa; zapiski iz predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Pohleven F., Petrič M. 1992. Ekološke perspektive zaščite lesa pred škodljivci. Nova revija, 43, 3: 94 – 98
- Rice R.W., Wang C. 2002. Assessing the affect of swelling pressures in particle board and MDF acoustic emission technology. Wood and Fiber Science, 34, 4: 577-586
- Rowell R.M, Banks W.B. 1985. Water Repellency and Dimensional Stability of Wood. Gen. Tech. Rep. FPL Forest products Laboratory 50
- SIST EN 335/1,2. Trajnost lesa in lesnih materialov – definicija razredov ogroženosti pred biološkim napadom – 1. In 2. Del 1992: 13 str.
- Skaar C. 1972. Water in wood. New York, Syracuse University Press, 218
- SpecialChem. 2008. Wax emulsion center.
(<http://www.specialchem4coatings.com/tc/wax/index.aspx?id=waxes>) (7.11.2011)
- Thermally Modified Wood: (<http://www.winwood-products.com/eng/timber-products/timber/thermowood.htm>) (17.4.2012)
- Tjeerdsma B.F., Boonstra M., Militz H. 1998. Thermal modification of non-durable wood species 2. Improved wood properties of thermally treated wood. The International Research Group on Wood Preservation, Dokument, IRG/WP 98-40124, str. 10
- Treu A., Luckers J., Miltz H. 2004. Screening of modified linseed oils on their applicability in wood protetction. Internatioanl Reserach Group on Wood Perservation, IRG Document No: IRG/WP 04-30346: 17

Warth A.H. 1959. The chemistry and technology of waxws. New York, Reinhold
Publishing cooperation: 2 str.

Waxexporter, Waxes; (<http://www.waxexporter.com/>) (7.11.2011)

Weissenfeld P. 1988. Holzschutz ohne gift? Ökobuch, Staufen bei Freiburg. Germany

Wolfmeier U., 2003. Waxes. V: Ullman's encyclopedia of industrial chemistry, Vol. 39, 3.
Bhonet M. Wiley-VCH, izdaja (Ur.), Weinheim: 136-141

Zhang, Y., Yin, J. Wang, S. 2007. Effects of Resin and Wax on the Water Uptake Behavior
Of Wood Stands. Wood and fiber Science, 39(2): 271-278.

ZAHVALA

Rad bi se zahvalil prof. dr. Mihi Humarju in dr. Boštjanu Lesarju za vso strokovno pomoč in nasvete pri izvedbi in izdelavi diplomske naloge. Zahvalil bi se rad tudi prof. dr. Marku Petriču za strokovno recenzijo diplome. Zahvala gre tudi vsem ostalim, ki so kakorkoli prispevali pri nastanku diplomske naloge.

Hvala!