

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Žiga MELANŠEK

**SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA
IMPREGNIRANEGA Z VODNO EMULZIJO
MONTANSKEGA VOSKA IN BOROVE KISLINE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Žiga MELANŠEK

**SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA IMPREGNIRANEGA Z VODNO
EMULZIJO MONTANSKGA VOSKA IN BOROVE KISLINE**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**SORPTION PROPERTIES OF WOOD IMPREGNATED WITH
MONTAN WAX EMULSIONS AND BORIC ACID**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2009

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

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

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Žiga Melanšek

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*841
KG	les/smrekovina/zaščita/vlažnost/montanski vosek/borove spojine/ sorpcija
AV	MELANŠEK, Žiga
SA	HUMAR, Miha (mentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2009
IN	SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA IMPREGNIRANEGA Z VODNO EMULZIJO MONTANSKEGA VOSKA IN BOROVE KISLINE
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	XII, 73 str., 8 pregl., 32 sl., 6 pril., 66 vir.
IJ	Sl
JI	sl/en
AI	Borova kislina je že v majhnih koncentracijah zelo učinkovit biocid, ki neznatno škoduje ljudem in okolju. Žal pa se v les slabo veže in se iz njega izpira. Številni avtorji poročajo, da borove spojine povečajo higroskopsnost lesa. Za izboljšavo vezave in učinkovitosti smo jih kombinirali z vodno emulzijo montanskega voska različnih koncentracij. Pričakovali smo, da bo impregnacija z vodnimi emulzijami voska znižala vlažnost impregniranega lesa med potapljanjem v vodo in uravnovešanjem v vlažnem okolju. Vzorce iz smrekovine smo vakuumsko impregnirali z izbranimi zaščitnimi pripravki na osnovi montanskega voska in borove kisline. Pripravili smo 2 tipa vzorcev: 240 za ovrednotenje hitrosti navlaževanja v vodi in zraku, 110 za določanje sorpcijskih krivulj v 5 različnih klimah (20 %, 33 %, 65 %, 87 % in 98 %). Ugotovili smo, da je impregnacija z vodno emulzijo voska upočasnila adsorpcijo vode v impregnirani les. Poleg tega smo potrdili, da kombinacija emulzije voska in borove kisline ne izboljša le delovanja proti glivam razkrojevalkam, temveč se odraža tudi v ugodnejših sorpcijskih lastnostih impregniranega lesa.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	UDC 630*841
CX	wood/Norway spruce/preservation/moisture/montan wax/boron compounds/sorption
AU	MELANŠEK, Žiga
AA	HUMAR, Miha (supervisor)/GORIŠEK, Željko (reviewer)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2009
TI	SORPTION PROPERTIES OF WOOD IMPREGNATED WITH MONTAN WAX EMULSIONS AND BORIC ACID
DT	Graduation Thesis (University studies)
NO	XII, 73 p., 8 tab., 32 fig., 6 ann., 66 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	Boric acid is very effective biocide in relatively low concentrations. It does not have negative influence on humans and environment. Boron compounds do not react with wood and, therefore, leach from it, unfortunately. Furthermore, there are several reports that boron compounds decrease hygroscopic properties of wood. To improve boron fixation in wood boron compounds were combined with montan wax emulsions of various concentrations. It was presumed that addition of wax would lower moisture content of wood during soaking in water, and during conditioning of wood in humid climate. To elucidate this issue, Norway spruce wood specimens were impregnated with selected wood preservatives, based on montan wax and boric acid emulsions. 2 sets of specimens were prepared, 240 for determination of velocity of water adsorption during immersion in water and during conditioning in humid atmosphere (RH = 80 %). 110 specimens were used to prepare sorption curve through conditioning of impregnated and control specimens at 5 different climates (20 %, 33 %, 65 %, 87 % in 98 %). The results show that treatment with water wax emulsions considerably reduces adsorption of water. Besides improvements of fungicidal properties, the combination of montan wax and boric acid also improves sorption properties of wood.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
KAZALO PRILOG	XI
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XII
1 UVOD	1
1.1 UVODNA OBRAZLOŽITEV	1
1.2 OPREDELITEV PROBLEMA	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
1.4 CILJ DIPLOMSKE NALOGE	3
2 SPLOŠNI DEL	4
2.1 PREGLED ZAŠČITE LESA	4
2.2 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA	5
2.2.1 Trajnost lesa in razredi izpostavitve	6
2.3 POGOJI ZA RAST GLIV	7
2.4 POSTOPKI ZAČITE LESA	10
2.5 KEMIČNA ZAŠČITA LESA	11
2.5.1 Borove spojine	12
2.5.1.1 Delovanje proti glivam razkrojevalkam, modrivkam ter plesni	13
2.5.1.2 Delovanje proti insektom	14
2.5.1.3 Difuzivnost in izpiranje bora	15
2.5.1.4 Borovi pripravki v zaščiti lesa	17
2.5.1.5 Zadrževanje gorenja	17
2.6 TRENDI ZAŠČITE LESA	18
2.7 NARAVNE SNOVI ZA ZAŠČITO LESA	19
2.7.1 Voski	20
2.7.1.1 Čebelji vosek	21
2.7.1.2 Karnauba vosek	22
2.7.1.3 Parafin	22
2.7.1.4 Montanski voski	23
2.8 VLAŽNOST LESA SORPCIJA IN RESORPCIJA	24
2.8.1 Higroskopsnost, ravnovesna vlažnost in histereza lesnega tkiva	25

3	MATERIAL IN METODE DELA.....	28
3.1	PRIPRAVA VZORCEV	28
3.2	PRIPRAVA RAZTOPIN.....	29
3.3.	IMPREGNACIJA SMREKOVIH VZORCEV	30
3.4	ZAŠČITA ČEL.....	33
3.5	DOLOČEVANJE HITROSTI NAVLAŽEVANJA	34
3.5.1	Navlaževanje vzorcev na zraku	34
3.5.2	Navlaževanje vzorcev v vodi.....	36
3.6	URAVNOVEŠANJE PRI PETIH RAZLIČNIH KLIMAH.....	38
4	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	40
4.1	NAVLAŽEVANJE V VODI.....	40
4.1.1	Pregled dogajanja na navlaževanje v vodi kontrolnih vzorcev.....	42
4.1.2	Vpliv impregnacije z vodno raztopino borove kisline na navlaževanje impregniranega lesa v vodi	43
4.1.3	Vpliv impregnacije z vodno emulzijo (LGE 50) in raztopino borove kisline na navlaževanje impregniranega lesa v vodi	45
4.1.4	Vpliv impregnacije z vodno emulzijo (LGE 100) in raztopino borove kisline na navlaževanje v vodi	46
4.1.4.1	Prikaz vpliva impregnacije kontrolnega vzorca, vzorca zaščitene z vodno emulzijo (LGE 100) in raztopino borove kisline na navlaževanje v vodi	46
4.1.4.2	Prikaz vpliva impregnacije kontrolnega vzorca in vzorca premazanega z vodno emulzijo (LGE 100) na navlaževanje v vodi	48
4.2	NAVLAŽEVANJE NA ZRAKU	49
4.2.1	Vpliv meritev s pomočjo Repa gumbka na temperaturo in RZV v komori med uravnotežanjem	49
4.2.2	Vpliv impregnacije z različnimi kombinacijami emulzije montanskega voska in borove kisline na uravnotežanje impregniranih in kontrolnih vzorcev pri 80 % RZV.	51
4.2.3	Vpliv sušenja vzorcev na zraku na ravnovesno vlažnost impregniranega lesa	52
4.2.4	Vpliv impregnacije z vodno raztopino borove kisline na navlaževanje impregniranega lesa v komori z 80 % RZV.....	53
4.2.5	Vpliv impregnacije z vodno emulzijo (LGE 50) in raztopino borove kisline na navlaževanje impregniranega lesa v komori z 80 % RZV	54
4.2.6	Vpliv impregnacije z vodno emulzijo (LGE 100) in raztopino borove kisline na navlaževanje impregniranega lesa v komori z 80 % RZV	55
4.2.6.1	Vpliv impregnacije kontrolnega vzorca, vzorca zaščitene z vodno emulzijo (LGE 100) in raztopino borove kisline pri navlaževanju lesa v komori z 80 % RZV	55
4.2.6.2	Vpliv impregnacije kontrolnega vzorca in vzorca premazanega z vodno emulzijo (LGE 100) pri navlaževanju v komori z 80 % RZV.....	57
4.3	DOLOČANJE SORPCIJSKIH KRIVULJ	58
4.3.1	Adsorpcija in desorpcija	58

5	SKLEPI	65
----------	---------------------	-----------

6	POVZETEK.....	66
----------	----------------------	-----------

7	VIRI	68
----------	-------------------	-----------

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

str.

Preglednica 1:	Razredi naravne odpornosti (SIST EN 350-2, 1995)	5
Preglednica 2:	Evropski razredi izpostavitve glede na mesto uporabe (SIST EN 335 – ½, 1992)	6
Preglednica 3:	Kemikalije, ki smo jih uporabili pri izdelavi diplomske naloge	29
Preglednica 4:	Zatehte borovih učinkovin v zaščitnih pripravkih	29
Preglednica 5:	Sestava posamičnih zaščitnih pripravkov in sistem označevanja impregniranih in kontrolnih smrekovih preizkušancev	31
Preglednica 6:	Predvidena časovna obdobja, ob katerih smo vzorcem namočenih v vodo določali maso	37
Preglednica 7:	Nasičene vodne raztopine različnih soli za doseganje posamezne relativne zračne vlažnosti	38
Preglednica 8:	Prikaz simbolov-okrajšav na slikah 31 in 32	62

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1:	Biotični in abiotični dejavniki razkroja (Kervina-Hamović, 1990)..... 6
Slika 2:	Shema postopkov zaščite lesa (Kervina-Hamović, 1990)..... 10
Slika 3:	Relativni energijski nivoji za vodno paro, aktivirane molekule in vezano vodo (Skaar 1988) 24
Slika 4:	Sorpcijske izoterme za primarno desorpcijo, adsorpcijo in sekundarno desorpcijo 27
Slika 5:	Preizkušanci za testiranje hitrosti navlaževanje (levo) in preizkušanci za določanje sorpcije (desno) 28
Slika 6:	Elektronska tehtnica SARTORIUS 30
Slika 7:	Vakuumsko-tlačna komora..... 32
Slika 8:	Prikaz vzorca zaščitenega z epoksidnim premazom 33
Slika 9:	Steklena komora z vzorci (levo) in H – gumbek (desno) 34
Slika 10:	Vzorci, ki se navlažujejo na zraku 35
Slika 11:	Vzorci v posodah prelitih z destilirano vodo 36
Slika 12:	Prikaz tehtanja mokrega vzorca 36
Slika 13:	Prikaz steklene komore z vzorci in ventilatorji 39
Slika 14:	Vpliv impregnacije na navlaževanje impregniranih in kontrolnih smrekovih vzorcev v vodi (n = 10)..... 40
Slika 15:	Prikaz navlaževanja impregniranih in kontrolnih smrekovih vzorcev v vodi (logaritemska skala)..... 41
Slika 16:	Vpliv navlaževanja kontrolnih smrekovih vzorcev med potapljanjem v vodi (n = 10) 42
Slika 17:	Vpliv impregnacije z borovo kislino na vlažnosti neimpregniranih in impregniranih smrekovih vzorcev med namakanjem v vodi (n = 10)..... 43
Slika 18:	Vpliv impregnacije z emulzijo montanskega voska LGE 50 in borovo kislino na vlažnosti neimpregniranih in impregniranih smrekovih vzorcev med namakanjem v vodi (n = 10) 45
Slika 19:	Vpliv impregnacije z emulzijo montanskega voska LGE 100 in borovo kislino na vlažnosti neimpregniranih in impregniranih smrekovih vzorcev med namakanjem v vodi (n = 10) 46
Slika 20:	Vpliv impregnacije z emulzijo montanskega voska LGE 100 na vlažnosti neimpregniranih in impregniranih smrekovih vzorcev med namakanjem v vodi (n = 10) 48
Slika 21:	Spremembe temperature in RZV med kondicioniranjem vzorcev 49
Slika 22:	Vpliv spremembe temperature in RZV pri sušenju vzorcev 50
Slika 23:	Vpliv impregnacije z različnimi kombinacijami vodne emulzije montanskega voska in borove kisline na spremembo vlažnosti med kondicioniranjem pri 80 % RZV (n = 10) 51
Slika 24:	Vpliv sušenja vzorcev z različnimi kombinacijami vodne emulzije montanskega voska in borove kisline 52
Slika 25:	Vpliv impregnacije z vodno raztopino borove kisline na spremembo vlažnosti med kondicioniranjem pri 80 % RZV (n = 10) 53

Slika 26:	Vpliv impregnacije z emulzijo montanskega voska LGE 50 in vodno raztopino borove kisline na spremembo vlažnosti med kondicioniranjem pri 80 % RZV ($n = 10$)	54
Slika 27:	Vpliv impregnacije z emulzijo montanskega voska LGE 100 in vodno raztopino borove kisline na spremembo vlažnosti med kondicioniranjem pri 80 % RZV ($n = 10$)	55
Slika 28:	Vpliv impregnacije z emulzijo montanskega voska LGE 100 na spremembo vlažnosti med kondicioniranjem pri 80 % RZV ($n = 10$)	57
Slika 29:	Adsorpcijske krivulje smrekovine zaščitene z različnimi pripravki na osnovi LGE emulzije in borove kisline	58
Slika 31:	Primerjava ravnovesnih vlažnosti doseženih v petih relativnih zračnih vlažnostih v procesu adsorpcije (a) in desorpcije (d) na vzorcih impregniranih z LGE emulzijo koncentracije (100 % in 50 %) in borove kisline ($c_B = 0,5$ % in $c_B = 0,1$ %). Okrajšave so razvidne v preglednici 8.....	60
Slika 32:	Primerjava ravnovesnih vlažnosti doseženih v petih relativnih zračnih vlažnostih v procesu adsorpcije (a) in desorpcije (d) na vzorcih impregniranih z LGE emulzijo koncentracije (10 %) in borove kisline ($c_B = 0,5$ % in $c_B = 0,1$ %). Okrajšave so razvidne v preglednici 8.....	61

KAZALO PRILOG

- Priloga 1: Prikaz dobljenih rezultatov vpliva impregnacije na navlaževanje impregniranih in kontrolnih smrekovih vzorcev v vodi
- Priloga 2: Prikaz dobljenih rezultatov vpliva impregnacije z različnimi kombinacijami vodne emulzije montanskega voska in borove kisline na spremembo vlažnosti med kondicioniranjem pri 80 % RZV
- Priloga 3: Prikaz dobljenih rezultatov vpliva sušenja vzorcev z različnimi kombinacijami vodne emulzije montanskega voska in borove kisline
- Priloga 4: Prikaz dobljenih vseh rezultatov adsorpcijske in desorpcijske krivulje smrekovine zaščitene z različnimi pripravki na osnovi LGE emulzije in borove kisline
- Priloga 5: Prikaz dobljenih meritev z Repa gumbkom povprečnih temperatur in RZV med kondicioniranjem pri 80 % RZV
- Priloga 6: Prikaz meritev z Repa gumbkom povprečnih temperatur in RZV med sušenjem

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

str.	stran
DDT	diklorodifenil trikloroetan
TBTO	tributil kositrov oksid
CCA	zaščitni pripravek na osnovi bakrovih, kromovih in arzenovih spojin
CCF	zaščitni pripravek na osnovi bakrovih, fluorovih in kromovih spojin.
PCP	pentaklorofenol
PNŠ	pred našim štetjem
BAE	boric acid equivalent
A / a	adsorpcija
D / d	desorpcija
TNCS	točka nasičenja celičnih sten
Ba / B	borova kislina
LGE	emulzija montanskega voska
EP	epoksidni premaz Epolor
DV	destilirana voda
c _B [%]	koncentracija bora v odstotkih
RZV	relativna zračna vlažnost

1 UVOD

1.1 UVODNA OBRAZLOŽITEV

Les je že od nekdaj ena najpomembnejših surovin pri nas. Bistvene prednosti lesa kot materiala so njegova obnovljivost, razširjenost, vsestranska uporabnost, dobre mehanske lastnosti, relativna enostavnost in čistost pridobivanja. Kot naraven material, je les izpostavljen različnim biotičnim (glive, bakterije, insekti, morski škodljivci in človek) in abiotičnim (vremenski vplivi, mehanske sile in kemikalije) dejavnikom razgradnje. Lesa nekaterih drevesnih vrst (hrast, robinja, nagnoj in kostanj) že brez kakršnega koli človekovega poseganja glive in insekti ne morejo razkrajati. Takšnega lesa je malo pri nas, kjer žal prevladuje neodporen les (smrekovina, jelovina, bukovina). Da zagotovimo njegovo zadostno življenjsko dobo, ga moramo zaščititi. Kakšno zaščito bomo uporabili je odvisno od več dejavnikov (drevesne vrste, načina in mesta uporabe lesa). Pogosto zadostuje že konstrukcijska zaščita, s katero dosežemo, da les ni izpostavljen direktnim vremenskim vplivom. Ker pa to ne zadostuje vedno, skušamo trajnost neodpornega lesa podaljšati s kemično zaščito (Humar, 2004a).

Biocidi, ki jih uporabljamo pri takšni zaščiti, lahko onesnažujejo okolje in škodljivo delujejo na človeka, zato imajo nekemični ukrepi zaščite vedno prednost pred kemičnimi. Kemijsko zaščito lesa tako uporabljamo čim manj in le kadar ni mogoče zaščititi lesa na drug okolju prijaznejši način.

Zaradi vse večjega pomena varovanja okolja in ljudi, so pri nas in v večini evropskih držav že prepovedali uporabo nekaterih klasičnih biocidov kot so: lindan, pentaklorofenol, endosulfan, DDT, TBTO, CCA, CCF... Tako so uvedli nove učinkovine in zmanjšali nezaželeni vpliv na okolje. Kljub prepovedi, pa nam še vedno povzroča težave odslužen les, ki je bil pred desetletji zaščiten s težkimi kovinami (Rep in Pohleven, 2002). Tako strokovnjaki razvijajo nove postopke zaščite lesa in naravi manj škodljive biocide, ki bodo delovali čimbolj selektivno na škodljivce in se bodo po koncu življenjske dobe razgradili. Ena izmed potencialnih alternativ je uporaba vodnih emulzij montanskega voska z dodatkom borovih učinkovin.

Borove spojine so odlični fungicidi in insekticidi, po drugi strani pa imajo zelo malo škodljivih vplivov na okolje. Njihova slabost je, da se iz lesa izpirajo, po drugi strani pa spodbujajo rast gliv in plesni. Zato jih v praksi uporabljamo v kombinaciji z drugimi biocidnimi učinkovinami in hidrofobnimi premazi. V diplomski nalogi bomo montanskemu vosku dodali borove spojine in s tem skušali izboljšati učinkovitost zaščitnega pripravka.

1.2 OPREDELITEV PROBLEMA

Po uveljavitvi Direktive o biocidnih proizvodih je bila iz uporabe umaknjena večina biocidnih aktivnih učinkovin. Ob tem se dviguje tudi okoljska zavest kupcev, ki se vedno bolj izogibajo kemikalijam. Prav to sta dva glavna vzroka, da trenutno zelo pridobivajo na pomenu nebiocidne rešitve za zaščito lesa. V laboratoriju Katedre za patologijo in zaščito lesa trenutno raziskujejo možnosti uporabe vodnih emulzij montanskega voska v zaščiti lesa. Za izboljšanje učinkovitosti zaščite, emulziji dodajajo tudi borove biocide, ki trenutno sodijo v skupino okoljsko sprejemljivih aktivnih učinkovin.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Pričakujemo, da bo impregnacija z vodnimi emulzijami voskov upočasnila adsorpcijo vode v impregniran les in posledično zmanjšala verjetnost izpiranja borovih učinkovin in zmanjšala verjetnost glivne okužbe.

Les impregniran z borovimi spojinami, bo imel višjo ravnovesno vlažnost kot kontrolni, neimpregnirani vzorci.

Dodatek montanskega voska bo prekril higroskopnost lesa zaradi impregnacije z borovimi spojinami.

1.4 CILJ DIPLOMSKE NALOGE

Cilj diplomske naloge je določiti vpliv impregnacije z vodnimi emulzijami voskov na navlaževanje in sorpcijske lastnosti impregniranega lesa, ter osvetliti vpliv borovih spojin v vodnih emulzijah voskov na sorpcijske lastnosti impregniranega lesa. Ta podatek je pomemben predvsem z aplikativnega vidika. Les, ki se manj vlaži je odpornejši proti delovanju gliv, kot vlažen les.

2 SPLOŠNI DEL

2.1 PREGLED ZAŠČITE LESA

Les so ščitili že v davnih časih. Prve znane zapise o zaščiti lesa najdemo že v Svetem pismu v Stari zavezi (4000 let PNŠ), ki govori o izdelavi ladje iz cipresovega lesa, premazanega z zemeljsko smolo (katranom).

Za začetek industrijske zaščite štejemo leto 1838, ko je Bethell razvil metodo globinske impregnacije lesa s kreozotnim oljem za zaščito železniških pragov in drogov. Pred tem odkritjem so v te namene uporabljali večinoma les odpornejših drevesnih vrst. Posledica tega je bila izčrpanje naravno odpornega lesa. Bethell je s svojim odkritjem omogočil intenzivnejšo gradnjo železniških prog ter elektro – telekomunikacijskega omrežja (Kervina – Hamović, 1990).

Na začetku 20. stoletja je bila večina raziskav na področju zaščite lesa usmerjena v razvoj vodotopnih pripravkov na osnovi floridov, kromatov in arzenov. Leta 1933 je Sonti Kamesan razvil vodotopni pripravek na osnovi kromovih, bakrovih in arzenovih spojin (CCA). CCA in kreozotno olje sta zagotavljala odlično zaščito lesa v vseh vremenskih pogojih uporabe zato ju v številnih državah uporabljajo še danes.

Poleg omenjenih zaščitnih sredstev so v začetku 60-ih let prejšnjega stoletja razvili tudi pripravke, topne v organskih topilih, namenjene za zaščito konstrukcijskega lesa (ostrešij, lesenih nosilcev ...). Uporabljali so TBTO (tributil kositrov oksid), PCP (pentaklorofenol), dieldrin in lindan. Tudi proizvodnja teh pripravkov je bila relativno stabilna do začetka devetdesetih let (Unger s sod., 2001).

Trg z zaščitnimi pripravki se močno spreminja. Univerzalnih zaščitnih sredstev kot sta bila CCA in kreozotno olje bo v prihodnosti vse manj. Novejša zaščitna sredstva imajo natančno določen namen uporabe in ožji spekter delovanja. Eden glavnih razlogov za spremembe je okoljska osveščenost uporabnikov.

Ker je les edini cenovno dostopen obnovljiv gradbeni material, se bo njegova vloga v primerjavi z drugimi materiali povečevala, s tem pa tudi razvoj zaščite lesa.

2.2 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA

Les je ena najpomembnejših surovin v Sloveniji, vendar ga na leto posekamo manj kot ga priraste. Večina Slovenskih lesnih vrst ima neodporen les (preglednica 1), kar pomeni, da je tak les zaradi svoje anatomske zgradbe in kemične sestave dovzeten za napad lesnih škodljivcev. Naravna odpornost je po definiciji lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in označuje odpornost na škodljivce. Odvisna je od anatomske zgradbe in kemijske sestave lesa.

Dejavniki razkroja lesa so biotični in abiotični (slika 1) (Kervina – Hamović, 1990; Jecl, 2005). Med biotične dejavnike (dejavnike žive narave) prištevamo bakterije, glive, insekte, morske škodljivce in človeka. Abiotični dejavniki pa so: ogenj, temperatura (visoka, nizka), veter, voda, vlaga, UV žarki, kemikalije in nekateri plini.

Preglednica 1: Razredi naravne odpornosti (SIST EN 350-2, 1995)

Razred odpornosti	Opis	Relativna doba v stiku z zemljo	Lesna vrsta
1	Zelo odporen	Več kot 5,0	robinja (1 – 2), iroko, tik
2	Odporen	3,0 – 5,0	tisa, kostanja, dob
3	Zmerno odporen	2,0 – 3,0	macesen (3 – 4), bor (3 – 4), duglazija, oreh, cer
4	Malo odporen	1,2 – 2	jelka, smreka, brest
5	Neodporen	1 – 1,2	javor, jelša, breza, gaber, bukev, jesen, topol



Slika 1: Biotični in abiotični dejavniki razkroja (Kervina-Hamović, 1990)

2.2.1 Trajnost lesa in razredi izpostavitve

Z uporabo ustreznih postopkov zaščite lahko podaljšamo trajnost neodpornega lesa. Trajnost lesa je definirana kot čas v katerem les ohrani svoje naravne lastnosti. Odvisna je od: naravne odpornosti, načina in mesta uporabe in kemične zaščite. Trajnost pa ni nujno odvisna od odpornosti lesa ampak predvsem od načina in mesta uporabe. Tako ločimo glede na mesto uporabe pet evropskih razredov izpostavitve (SIST EN 335 – 1/2, 1992) (preglednica 2).

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

Razred izpostavitve	Mesto uporabe	Vlažnost lesa
I.	nad tlemi, pokrito, vedno suho	pod 20 %
II.	pokrito, nad tlemi, nevarnost močenja	občasno 20 %
III.	nad tlemi, nepokrito, pogosto močenje	pogosto 20 %
IV.	v tleh ali vodi, stalno vlažno	stalno nad 20 %
V.	v morski vodi	stalno nad 20 %

Les v prvem razredu izpostavitve ogrožajo le insekti in potencialno termiti, medtem ko ga v višjih razredih ogrožajo tudi glive.

2.3 POGOJI ZA RAST GLIV

Leta 1969 je Whittaker uvrstil glive v samostojno kraljestvo, pred tem pa so jih uvrščali med rastline (Carlile in Watkinson, 1994). Od rastlin se razlikujejo v naslednjih značilnostih: so brez klorofila, glavna skeletna snov celičnih sten je hitin, zaloge hrane predstavlja glikogen, način prehranjevanja je heterotrofen in prehranjujejo se kot paraziti, saprofiti ali simbionti.

Pogoji, ki vplivajo na rast gliv so naslednji:

1. temperatura:

- direkten vpliv na encimatsko aktivnost,
- od 3 – 40 °C, optimalna 23 – 30 °C,
- mejne vrednosti – latentno stanje,
- bolj občutljive na visoke temperature,

Primerna kurativna zaščita je parjenje oz. visoka temperatura

2. vlažnost lesa:

- min. 20 %, zračno suh les 12 – 15 %,
- optimalna vlažnost 30 – 60 %, maks. nad 90 – 170 %.

Primerna zaščita je sušenje, brizganje, potapljanje. Les, ki ima vlažnost pod 20 %, je varen pred okužbo, razen bele in sive hišne gobe.

3. zračna vlažnost:

- pomembna za kalitev spor (infekcijo),
- pomembna za površinsko rast micelija (hišne gobe),
- optimalna vlažnost 90 %,
- zračna vlaga vpliva na vlago v lesu (higroskopičnost).

Primerna zaščita je prezračevanje (hišna goba).

4. zrak (kisik):

- dihanje (oksidacija glukoze) in razgradnja lignina,
- v lesu mora biti vsaj 15 % zraka glede na volumen por.

Primerna zaščita je znižati procent zraka pod 15 % glede na volumen por.

5. svetloba

- difuzna vpliva stimulatивно – kalitev spor, tvorba klobukov,
- direktna pa vpliva zaviralno – propad spor in micelija.

Primarna zaščita je razlaganje in lupljenje lesa.

6. pH

- encimska aktivnost,
- min. 1,5; maks 8
- opt. 4 – 6 pH,
- glive same ustvarjajo optimalno okolje z izločanjem organskih kislin – kislo okolje.

Primerna zaščita je impregnacija s pripravki, ki spremenijo vrednost pH lesa.

Glive se po lesu lahko širijo na več različnih načinov:

- po lumnih celic, kjer se širijo vzdolž lesnih vlaken,
- po parenhimskih celicah, kjer v les prodirajo v radialni smeri,
- preko pikenj, kjer se širijo v tangencialni smeri,
- skozi odprtine, ki si jih naredijo same,
- skozi celično steno z mehansko silo.

S postavitvijo ustreznih barier (površinskih filmov, oplaščenja...) lahko v določeni meri zavremo prodiranje gliv v les in po lesu.

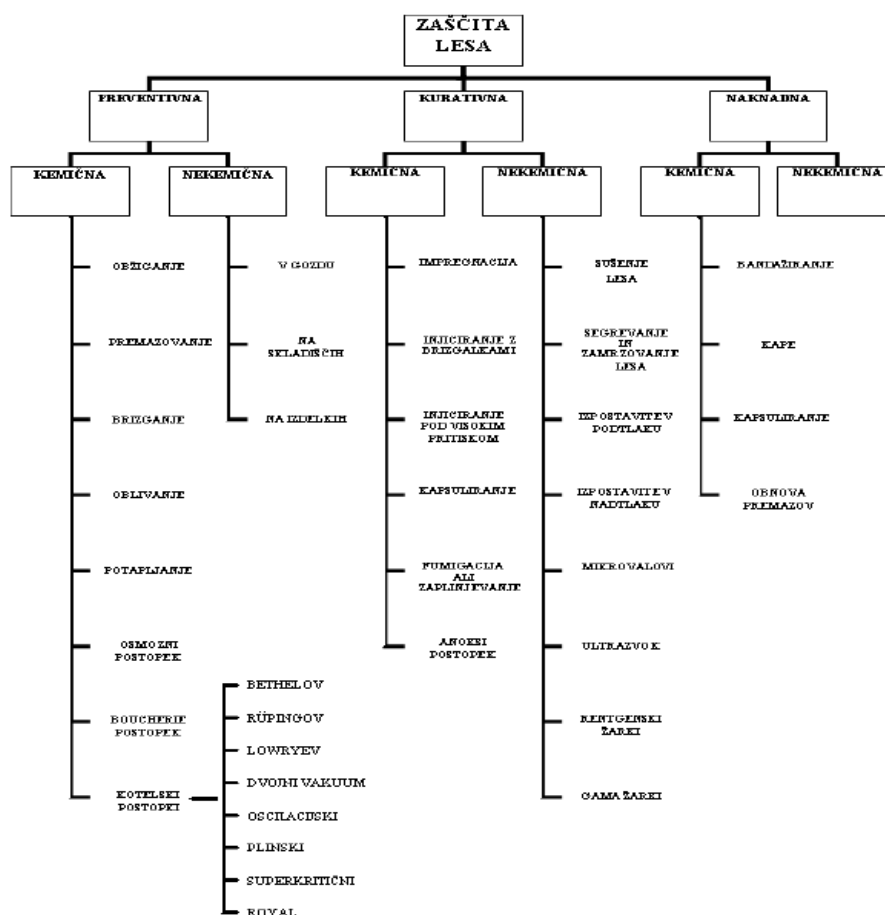
Konstruktivna zaščita temelji na poznavanju pogojev za delovanje gliv. Z ustrezno konstruktivno zaščito želimo na neki točki postaviti bariero, ki je glive ne bodo uspele preseči. Izhodišča konstruktivne zaščite lesa proti glivami:

- za razkroj lesa z glivami je potrebna povišana vlažnost,
- suh les je zaščiten pred glivami razkrojevalkami lesa,
- ideja konstruktivne zaščite lesa je preprečiti navlaževanje:
 - o zaščita lesa pred dežjem (uporaba nadstreškov),
 - o dvigniti les od tal,
 - o omogočiti, da dež-voda čim hitreje in čim lažje odteče,
 - o preprečiti zastajanje vode v razpokah in horizontalnih stikih,
 - o omogočiti dobro kroženje zraka.

Še pomembnejše, kot preprečiti zastajanje vlage zunaj, je preprečiti kopičenje vlage znotraj objektov. Zato je priporočljivo redno kontroliranje tesnosti kanalizacijskega, vodovodnega in ogrevalnega sistema. Drugi problem, ki se lahko pojavi v stavbah je kondenz. Pozorni moramo biti na difuzijo vlage v stenah s pravilno namestitvijo parne zapore in omogočiti enakomerno kroženje zraka (Humar, 2006b).

2.4 POSTOPKI ZAŠČITE LESA

V osnovi poznamo dve obliki zaščite lesa, kemično (z uporabo biocidov) ali nekemično. Nekemični ukrepi imajo vedno prednost pred kemičnimi. Kemijsko zaščito lesa uporabljamo čim manj in le v namenih, kjer vlaženje lesa ne moremo preprečiti na drug okolju sprejemljiv način. Kemična zaščita lesa je ukrep, s katerim v les vnesemo potrebno količino kemičnih snovi, ki ga varujejo pred lesnimi škodljivci. Ker je les zanje hrana, postane s kemično zaščito za škodljivce strupen ali vsaj odbijajoč (Kervina – Hamović, 1990). Pred samim postopkom je potrebno izbrati ustrezno kemično sredstvo za določen postopek, s katerim se sredstvo vnese v les. Tudi najboljše kemično sredstvo je brez učinka, če ni dovolj globoko in v zadostni količini prepojilo lesa (Jecl, 2005). Najpomembnejši postopki zaščite lesa so razvidni iz spodje slike (slika 2). Nekemično zaščito lesa izvajamo že v gozdu, na skladiščih in končnih izdelkih.



Slika 2: Shema postopkov zaščite lesa (prirejeno po Kervina-Hamović, 1990)

2.5 KEMIČNA ZAŠČITA LESA

Zaščita lesa je interdisciplinarna veda, ki preučuje razgradnjo lesa in ukrepe za povečevanje njegove trajnosti (npr. zaščita lesa slabo odpornih lesnih vrst s kemičnimi pripravki, modifikacija lesa...) (Kervina-Hamović, 1990).

Zaščitni pripravki vsebujejo eno ali več aktivnih biocidnih snovi, pripravljenih v obliki, ki se dobavlja uporabniku in so namenjeni za uničevanje, odvracanje, preprečevanje delovanja ali za kakršenkoli drugačen vpliv na škodljive organizme na kemijski ali biološki način (Humar, 2006b). Sestavljeni so iz aktivnih komponent (biocidov) in transportnega sredstva, ki je lahko voda ali pa organsko topilo. Vsebujejo še druge dodatke, ki zmanjšujejo površinsko napetost, veziva, UV absorberje in pigmente. Biocide delimo po zakonu o kemikalijah glede na ciljni organizem, namen uporabe in kemijsko sestavo (BPD, 1998). Zaščitna sredstva za les spadajo v osmo skupino: »konzervansi za zaščito lesa«.

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

- že v majhnih količinah deluje toksično na glive in insekte, ne pa tudi na ljudi in živali,
- je brez močnega in obstojnega vonja in brez barve (v nekaterih primerih je obarvanje zaželeno),
- enostaven za uporabo,
- globoko penetrira v les in se enakomerno porazdeli,
- omogoča možnost lepljenja lesa in površinske obdelave,
- ne deluje korozivno na druge materiale,
- ne zmanjšuje mehanskih lastnosti in vnetljivosti lesa,
- je kemično stabilen in ne razpada na škodljive pline,
- se hitro suši in fiksira,
- naknadno se ne solzi,
- ni higroskopičen,
- na voljo je po ceni, ki ekonomsko upraviči zaščito lesa,
- je okoljsko sprejemljiv,

- v lesu je čim bolj stabilen, v okolju pa se zaradi delovanja abiotskih in biotskih dejavnikov čim prej razkroji.

Zaradi vse večje okoljske osveščenosti, ki je že v preteklosti narekovala razvoj nekaterih novih postopkov in poudarka na kvaliteti življenja, se je na področju zaščite lesa v zadnjem času zgodilo več kot v zadnjih dvestotih letih. Velika večina biocidnih učinkovin je bila umaknjena s trga ostale so le še tiste aktivne snovi, kjer ni prevelikega okoljskega in zdravstvenega tveganja za uporabo.

Na splošno lahko delimo zaščitne pripravke na organske in anorganske. Več podatkov o biocidih se nahaja v prispevku Humarja (2008). Borove spojine spadajo v skupino anorganskih zaščitnih sredstev in so podrobneje opisane v naslednjem poglavju.

2.5.1 Borove spojine

Borove spojine se v zaščiti lesa uporabljajo že vse od začetka 20. stoletja. Njihovo uporabo so zaznamovale dobre fungicidne in insekticidne lastnosti ter slaba vezava v les in nenazadnje nizka toksičnost na sesalce (Lesar in Humar, 2007a). Uporaba borovih spojin za zaščito lesa se bo verjetno povečevala še hitreje kot uporaba drugih zaščitnih sredstev. Njihova značilnost je, da so toksične za veliko večino ksilofagnih insektov ter gliv, so brez vonja, ne izparevajo, ne vplivajo na mehanske lastnosti in naravno barvo lesa, povečujejo pa protipožarno odpornost, zato so še posebej primerna za zaščito ostrešij. Po drugi strani, je akutna toksičnost borovih spojin (LD_{50}) za sesalce minimalna in je primerljiva s toksičnostjo kuhinjske soli (NaCl) (Lloyd, 1998).

Slaba stran dobre difuzivnosti in topnosti boratov je, da se borove spojine iz impregniranega lesa izpirajo. Zato je uporaba borovih spojin za zaščito lesa omejena na uporabo v prvem in drugem razredu izpostavitve (uporaba v suhih razmerah z občasnim zviševanjem lesne vlažnosti nad 18 %). V tretjem razredu izpostavitve se les, impregniran z borovimi spojinami, lahko uporablja v kombinaciji s površinskimi premazi, a izpiranje bora ne moremo povsem preprečiti (Orsler in Holland, 1993), ampak ga lahko le upočasnim (Peylo in Willeitner, 1999).

Ena izmed možnosti za zmanjšanje izpiranja bora je uporaba okolju prijaznih hidrofobnih sredstev (Peylo in Willeitner, 1995). Hidrofozna sredstva v celičnih lumnih ne vplivajo na zmanjšanje izpiranja bora, zato morajo biti molekule hidrofobnih sredstev tako majhne, da lahko prodrejo v celično steno (Peylo in Willeitner, 1995).

2.5.1.1 Delovanje proti glivam razkrojevalkam, modrivkam ter plesni

Borove spojine že pri nizkih koncentracijah delujejo kot učinkovit fungicid in insekticid. Poznano in dobro raziskano je delovanje bora proti glivam, insektom in termitom. Po do sedaj znanih podatkih nobena gliva razkrojevalka ni tolerantna na borove spojine in ne more razkrajati z borovimi pripravki zaščenega lesa (Findlay, 1956; Jonge, 1987). Mejna vrednost, določena z laboratorijskimi testi, je za različne glive primerljiva in znaša 2,0 kg/m³ BAE (boric acid equivalent) (Beachler in Roth, 1956; Becker, 1959; Carr, 1964; Drysdale, 1994), medtem ko Jonge (1987) navaja, da je pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*) relativno odporna na borove spojine. Mejna vrednost za to glivo je nekoliko višja od prej omenjene in znaša med 1,8 in 3,0 kg/m³ BAE. Iz tega lahko sklepamo, da mora les vsebovati vsaj 3,0 kg/m³ BAE, da dosežemo odpornost lesa proti glivam razkrojevalkam. Po drugi strani pa Freitag in Morrell (2005) navajata, da mejne vrednosti za pisano ploskocevko (*Trametes versicolor*) ni bilo mogoče določiti, saj so bile izgube mase pri vseh testiranih koncentracijah zanemarljivo nizke. Mejne vrednosti, ki jih navajajo različni raziskovalci, se med seboj razlikujejo. Do teh razlik prihaja tudi zaradi različnih eksperimentalnih metod, s katerimi so določili mejno vrednost.

Učinkovitost borovih spojin je odvisna predvsem od deleža bora v posamezni spojini. Delež bora v borovi kislini znaša 17,48 %, v boraksu (natrijev tetraborat dekahidrat) pa 11,34 %. Zato je mejna vrednost za boraks višja od mejne vrednosti borove kisline (Jonge, 1987). Poleg deleža bora na učinkovitost vpliva tudi pH. Najbolj učinkovite so borove spojine z visokim pH, zato je natrijev tetraborat relativno bolj učinkovit kot borova kislina.

Borova kislina deluje tudi proti glivam modrivkam in plesnim. Mejna vrednost za plesni je veliko višja kot za glive razkrojevalke. Za preprečevanje rasti plesni je potrebno med 15 in 17 kg/m³ borove kisline ali boraksa (Becker, 1959). Po drugi starani so na srečo glive modrivke nekoliko bolj občutljive kot plesni. Lloyd (1996) za glive modrivke in plesni navaja veliko nižjo mejno vrednost (2 kg/m³ BAE).

2.5.1.2 Delovanje proti insektom

Borove učinkovine so za insekte želodčni in ne kontaktni strup, zato učinkuje počasneje kot nekateri klasični insekticidi (DDT, piretroidi...) (Becker, 1959). Za njihovo delovanje je nujen prehod skozi črevesje. Na insekticidnost močno vpliva tudi starost larv insektov. Ravno tako kot za glive, velja tudi za hišnega kozlička (*Hylotrupes bajulus*), da je borova kislina nekoliko bolj toksična od boraksa. Ti podatki potrjujejo, da je učinkovitost borovih spojin v največji meri odvisna od vsebnosti bora v posamezni aktivni učinkovini.

Za preventivno zaščito lesa pred hišnim kozličkom je zadostna mejna vrednost 5,6 kg/m³ BAE. V praksi je namreč majhna verjetnost, da bi bil zaščiten les izpostavljen srednje starim larvam. Za kurativno zaščito pa je potrebna višja koncentracija (10 kg/m³ BAE), saj so v lesu tudi starejše larve, ki lahko dalj časa preživijo brez hrane.

Poleg hišnega kozlička so trdoglavci najpomembnejši terciarni insekti v Evropi. Mejna vrednost za trdoglavce je približno 4 kg/m³ BAE. Larve ostanejo v impregniranem lesu, ga prepoznajo, obglodajo, a se z njim ne prehranjujejo (Spiller in Danne, 1948).

Poleg hišnega kozlička in trdoglavca les v svetu pogosto ogrožajo še termiti. Za zatiranje termitov (*Coptotermes formosanus*) je potrebno v les vnesti vsaj 2,25 kg/m³ BAE.

2.5.1.3 Difuzivnost in izpiranje bora

Uporaba borovih spojin kot sredstev za zaščito lesa je omejena zaradi slabe fiksacije bora v lesu in dobre naravne vodo-topnosti. Posledica je intenzivno izpiranje bora iz lesa. Zato se borove spojine uporabljajo samostojno le za prvi in drugi razred izpostavitve, kjer ni nevarnosti močenja in izpiranja. Pomembno je upoštevati, da bor v že impregniranem lesu ni trdno fiksiran ampak zaradi vlage difundira iz mesta višje koncentracije na mesta z nižjo (Lloyd, 1998).

Na difuzijo vplivajo različni dejavniki: vlažnost lesa, temperatura, koncentracija raztopine in čas trajanja difuzije. To so dejavniki, ki jih lahko kontroliramo. Poleg njih pa vplivajo tudi nekontrolirani dejavniki, ki so v tesni zvezi z anatomskimi, fizikalnimi in kemičnimi karakteristikami lesa (Ra in sod., 2002). Za difuzijo bora je potrebna vsaj 20 % vlažnost lesa. Najbolje bor difundira pri vlažnosti med 40 in 60 %, medtem ko se hitrost difuzije pri višjih vlažnostih nekoliko upočasni (Morrell in sod., 1990; 1992; Morrell in Freitag, 1995). Pri vlažnosti, ki je nižja od točke nasičenja celičnih sten (30 %), se difuzija bistveno zmanjša (Schoeman in sod., 1998). Zaradi dobre difuzivnosti globina penetracije s časom narašča, maksimalna globina penetracije znaša približno 4 cm in jo dosežemo po 25 dneh difuzije (Ra in sod., 2002). Dobra difuzija bora omogoča dobro penetracijo v les, kar pomeni dobro globinsko zaščito. Po drugi strani pa je dobra difuzija slabost, saj povečuje izpiranje bora.

Izpiranje bora je v dobri korelaciji z vlažnostjo lesa. Višja kot je vlažnost, več bora se izpere iz lesa (Peylo, 1995; Peylo in Willeitner, 1995; Kartal in sod., 2004; Baysal in sod., 2006). Takoj, ko je vlažnost lesa dovolj visoka, se borove učinkovine začno izpirati iz lesa (Peylo in Willeitner, 1995). Zato je ena od možnosti, kako zmanjšati izpiranje bora, uporaba hidrofobnih sredstev ali površinskih premazov, ki so sposobni upočasniti navlaževanje lesa. Toda tudi premaz v celoti ne zaustavi izpiranja bora (Orsler in Holland, 1993). Peylo in Willeitner (1995) sta ugotovila, da imajo hidrofobna sredstva (parafin; alkidni premaz; firnež; mešanica naravnih smol, olj in zelišč; mešanica naravnih smol in sintetičnih polimerov) zaviralni učinek na navlaževanje.

Ta učinek je večji na začetku izpiranja, z daljšim časom pa se zmanjšuje, saj difuzije vode ne moremo preprečiti, ampak jo lahko samo upočasnimo. Najbolj se je izpiranje bora zmanjšalo z alkidnim premazom (Peylo, 1995; Peylo in Willeitner, 1995). Prosta voda v lumnih celic ne vpliva na izpiranje bora, saj boratni ioni difundirajo v vlažnih celičnih stenah v smeri koncentracijskega gradienta. Zato izpiranja ne moremo zmanjšati z zapolnitvijo lumnov celic (Peylo, 1995; Peylo in Willeitner, 1995). Poleg dodatkov na izpiranje borovih učinkovin močno vpliva tudi postopek izpiranja. Primerjava kontinuiranega in nekontinuiranega izpiranja (čas namakanja enak času namakanja pri kontinuiranem izpiranju) je pokazala, da je količina izpranega bora višja pri kontinuiranem izpiranju.

S površinskim premazom torej ne moremo preprečiti izpiranja bora, ampak ga lahko le upočasnimo (Peylo in Willeitner, 1999). Po do sedaj znanih podatkih iz literature strokovnjakom in industriji še ni uspelo razviti rešitve, s katero bi popolnoma preprečili ali zmanjšali izpiranje bora na raven do 5 %. Za zmanjšanje izpiranja so uporabljali različna hidrofobna sredstva (Peylo in Willeitner, 1995; Peylo, 1995; Kartal in sod., 2004; Baysal in sod., 2006; Kartal in sod., 2007;), površinske premaze (Peylo in Willeitner, 1995; Peylo, 1995; Peylo in Willeitner, 1997; Peylo in Willeitner, 1999), tanin (Pizzi in Beacker, 1996), borove estre (Mohareb in sod., 2004) in termično modifikacijo. To pomeni, da je uporaba lesa, zaščenega le z borovimi spojinami (brez drugih fungicidov in insekticidov), kljub dodatkom za fiksacijo še vedno omejena. Uporablja se lahko v pokritih prostorih, kjer ni nevarnosti močenja oziroma zelo visoke vlažnosti v prostoru.

2.5.1.4 Borovi pripravki v zaščiti lesa

Borove pripravke se v praksi lahko uporablja samostojno ali pa jih kombiniramo z drugimi biocidi. Ker so relativno slabo topni v vodi, jim topnost izboljšamo z različnimi dodatki kot so amini, hidroksidi ...

V Sloveniji so na trgu trije samostojni borovi pripravki in sicer Belbor (Belinka), Borosol (Regeneracija) in Silvanol GB (Silvaproduct). Za izboljšanje učinkovitosti proti modrenju nekateri proizvajalci borove spojine kombinirajo s fungicidi (kvartarne amonijeve spojine, azoli...). Poleg tega pa borove spojine v nekaterih pripravkih nastopajo le kot insekticidi ali sekundarni fungicidi. Najbolj je poznan klasičen pripravek CCB, poleg tega pa borovo kislino najdemo tudi v novi generaciji pripravkov na osnovi bakra in etanolamina, kjer ima borova kislina predvsem vlogo insekticida in sekundarnega fungicida.

V Sloveniji lahko kupimo dva takšna pripravka in sicer Kuproflorin (Regeneracija) in Silvanolin (Silvaproduct). Ta priprava lahko uporabljamo tudi za zaščito lesa v četrtem razredu izpostavitve. Poleg klasičnih pripravkov pa je na trgu na voljo tudi trimetilborat, ki ga v les vnesemo s posebnim, plinskim postopkom zaščite (Lesar in Humar, 2007b).

2.5.1.5 Zadrževanje gorenja

Že kmalu po prvi industrijski uporabi borovih spojin v zaščitnih pripravkih se je začela uporaba tudi v protipožarnih sredstvih. Za zadostno protipožarno zaščito mora les vsebovati vsaj 48 kg/m^3 borove kisline (Le Van in Tran, 1990). To pomeni približno 10-krat višjo vrednost borove kisline v lesu, kot je potrebna za učinkovito zaščito pred glivami razkrojevalkami lesa. Okorn (1999) je ugotovil, da se zmanjša vnetljivost lesa zaščitenega z biocidnimi borovimi pripravki, a njihovo delovanje ni dovolj učinkovito, da bi jih lahko prištevali med protipožarna sredstva. Kakorkoli, vsako zmanjšanje gorljivosti je pomembno v primeru požara in izboljša varnost objekta.

2.6 TRENDI ZAŠČITE LESA

Les kot naravna in obnovljiva surovina zopet pridobiva pomen, saj v lesu rastline kopičijo atmosferski ogljikov dioksid in na ta način prispevajo k zmanjšanju fenomena tople grede, za razliko od plastičnih materialov. Eden glavnih razlogov za spremembe je okoljska ozaveščenost tako uporabnikov kot proizvajalcev. Ker je les edini cenovno dostopen obnovljiv gradbeni material, se bo njegova vloga v primerjavi z drugimi materiali v gradbeništvu povečevala, s tem pa tudi pomen zaščite lesa (Humar, 2004a).

Zaščita lesa podaljšuje trajnost lesa in zmanjša tveganje zaradi biotskih škodljivcev. Številne študije, ki so jih izvedli angleški strokovnjaki, dokazujejo, da je zaščiten les z okoljskega stališča eden najbolj primernih gradbenih materialov (Hillier in Murphy, 2000). Do podobnih rezultatov so prišli tudi ameriški strokovnjaki. Ti ocenjujejo, da na področju lesarske in gozdarske panoge zaščita lesa z izboljšanjem odpornosti lesa najbolj pripomore k smotrnejši porabi lesa (Preston, 2000).

Kvaliteta lesa se bo zaradi vse večje uporabe zmanjševala, zato bo na voljo vedno več neodpornega lesa. Iz tega je razvidno, da bo zaščita lesa potrebna tudi v 21. stoletju. Za zaščito lesa bomo uporabljali okoljsko primernejša zaščitna sredstva kot danes. Še posebej obetavna je modifikacija lesa ter uporaba sintetičnih analogov naravnih biocidov.

Kljub vsemu bomo za zaščito lesa na izjemno izpostavljenih mestih uporabljali tudi bakrove in borove soli, saj do sedaj še nismo odkrili primernejšega nadomestka.

Leta 2007 je v Evropi začel veljati zakonodajni paket REACH, ki bo močno spremenil trg kemikalij. Tako bodo imeli številni manjši proizvajalci velike stroške z avtorizacijo in registracijo proizvodov, kar jih bo avtomatično sililo v povezavo z drugimi proizvajalci in skupno pripravo zahtevane dokumentacije. Na drugi strani pa se pričakuje, da bo nova zakonodaja prinesla več reda na trgu kemikalij, kar bo na dolgi rok dobro za uporabnike in okolje (Kranjc, 2004).

Prav zaradi omenjenih težav intenzivno potekajo raziskave na naslednjih področjih (Voh, 2001): razvijanje novih kemijskih spojin in postopkov zaščite lesa, raziskave biokemičnih in fizioloških procesov biološke razgradnje lesa, razvoj in uveljavljanje biološke (naravne) zaščite lesa, razstrupljanje odsluženega zaščenega lesa, raziskave fizioloških procesov razgradnje lesa z glivami pri piravosti (antagonizem), sinteza in raziskave borovih ter bakrovih spojin, ugotavljanje ustreznih konstrukcijskih rešitev in uporabe lesa in raziskave vpliva zaščitnih sredstev na človeka in okolje.

2.7 NARAVNE SNOVI ZA ZAŠČITO LESA

V zadnjem času se kupci odločajo za les, ker je to naraven, človeku in okolju prijazen material s kopico dobrih lastnosti, zato redkeje posegajo po lesenih izdelkih, zaščenih s sintetičnimi biocidi. Zato strokovnjaki iščejo nove možnosti zaščite lesa. Ena izmed njih je uporaba naravnih snovi z biocidnimi lastnostmi. Pri tem se srečamo s kopico problemov: zaščita ponavadi ni dolgotrajna, kemična sestava naravnih biocidov je zelo variabilna in odvisna od zunanjih faktorjev. Za povrh je večina naravnih biocidov neoporna proti UV žarkom. Do idej za naravne produkte skušamo priti na dva načina: s pregledom tradicionalnih zaščitnih sredstev ter s pomočjo ugotavljanja kemične sestave lesa trajnih drevesnih vrst (Humar, 2004b).

Za zaščito lesa so ljudje včasih uporabljali prav neverjetne kombinacije, ki so se obdržale do današnjih dni. Francozi so še v dvajsetem stoletju uporabljali mešanico vinske kisline, česna, čebule in soli. Učinkovitost omenjenega »zaščitnega sredstva« ne zadosti tudi najmilejšim standardom. Še danes tudi v naših krajih vlada prepričanje, da premazovanje s propolisom podaljša naravno življenjsko dobo lesa, vendar se je v laboratorijskih testih izkazalo, da maščobne kisline in peptidi, ki sestavljajo propolis, včasih celo pospešijo razkroj lesa (Humar, 2004b). K veliki trajnosti lesa nekaterih drevesnih vrst v največji meri prispevajo tanini, zato so skušali les impregnirati z njimi. Lesu so s tem dvignili odpornost proti glivam in insektom, problem pa je v tem, ker tanini z lesom ne reagirajo, zato se iz njega izpirajo. Veliko boljše so se izkazala eterična olja in razni voski, ki se iz lesa ne izpirajo, so učinkovita, žal pa so za komercialno uporabo veliko predraga sredstva.

Na Japonskem in v Ameriki so v zadnjem času začeli delati poskuse s hitinom. Hitin je naraven biopolimer, glavna sestavina gliv in insektov. Odlikuje ga velika odpornost proti abiotičnim in biotičnim dejavnikom razkroja. Za zaščito lesa so ga deacetilirali in tako naredili topnega v vodni metanolni raztopini. Prve raziskave nakazujejo zelo obetajoče rezultate. Zaščitni pripravek na tej osnovi so poimenovali hitozan (Humar, 2004b).

V zadnjem času pa na Oddelku za lesarstvo poteka veliko raziskav glede uporabe voskov v zaščiti lesa. Z voski želimo napraviti površino bolj hidrofobno in na ta način zmanjšati verjetnost okužbe z glivami.

2.7.1 Voski

Vosek je dragocena snov, ki jo je človek znal ceniti že v davnini. Egipčani so 4200 let pred Kristusom uporabljali čebelji vosek za številne namene. Uporabljali so ga pri mumificiranju, izdelovali so voščene ploščice za pisanje, vosek so uporabljali za konzerviranje hrane in pijače. Kmalu so vosek začeli uporabljati tudi pri izdelavi sveč. Egipčani in Rimljani so vosek uporabljali tudi za negovanje kože (Wilkinson, 1979).

Voski imajo zaščitno funkcijo pred okoljskimi vplivi. Mnoge rastline, še posebej tiste, ki rastejo v tropskem in subtropskem klimatskem pasu tvorijo voske s katerimi preprečujejo povečane izgube vode in ščitijo pred sevanji UV. Voski so zelo odporni na biorazgradnjo. Živali in človek voskov ne moremo prebaviti. Uporaba voskov v lesarstvu temelji na posnemanju njihovih naravnih funkcij, saj v naravi voski delujejo kot zaščita pred zunanjimi vplivi (povišana temperatura, svetloba UV, napad insektov...).

Po definiciji 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 (Petrič, 2007).

Tipične lastnosti voskov so:

- pri sobni temperaturi so v trdnem agregatnem stanju,
- voski so material, ki se zmehča, ko se ga segreva in strdi, ko se ohlaja,
- so gorljivi in
- so v vodi netopni.

S komercialnega vidika so najpomembnejši naslednji voski: čebelji, karnauba, montanski, parafini...

2.7.1.1 Čebelji vosek

Je najbolj znan in za površinsko obdelavo lesa največkrat uporabljen naravni vosek. Surov čebelji vosek je rumenkaste do rdečkasto-rjave barve, kar je predvsem odvisno od čebelje paše. S čiščenjem in beljenjem pa je mogoče dobiti tudi čebelji vosek bele barve.

Značilnosti čebeljega voska so, da se tali pri temperaturi približno 60 °C in je v vodi netopen. Topen je v toplem etanolu, ogljikovem tetrakloridu, kloroformu, etru ter mnogih drugih organskih topilih. Uporablja se lahko v trdni obliki, kakor tudi v obliki paste ali tekočega pripravka.

Čebelji vosek je primeren za zaščito majhnih predmetov oz. majhnih lesenih površin, ki ne vsebujejo večjih napak. Do določene mere omejuje delovanje insektov in gliv. Učinek čebeljega voska je večji v kombinaciji z rastlinskimi smolami (kolofonija). Njegova uporaba je preprosta, vosek ostane stabilen tudi v daljšem časovnem obdobju. Če je tako zaščiten les izpostavljen povišani temperaturi ali sončni svetlobi, postane njegova površina lepljiva in začne privlačiti prah (Petrič, 2007). V praksi zato čebelji vosek pogosto modificirajo in mu na ta način zvišajo tališče.

2.7.1.2 Karnauba vosek

To je vosek rastlinskega izvora, ki ga pridobivajo z listov palme *Copernicia cerifera*, ki raste v Braziliji. Vosek služi kot zaščita listov pred ekstremnimi klimatskimi pogoji, je brez vonja in okusa, stabilen in nestrupen. Barva (zlato rumen do črn) je odvisna od čistosti in kvalitete voska ter starosti listov (Foncepi, 2008). Tali se med 80 in 86 °C, je trši od čebeljega voska, zato ga le-temu pogosto dodajamo zaradi izboljšanja mehanskih lastnosti voskane površine.

Karnauba vosek je najtrši naravni vosek in ima najvišjo točko tališča (80 – 86 °C) med naravnimi voski (Wolfmeier, 2003; Cyberlipid, 2008). Karnauba vosek slabše penetrira v les kot čebelji vosek. Slabo je topen v vodi, etanolu in etru, topen pa je v vrelem etanolu. Pri poliranju daje gladko, sijajno in trdo površino, vendar se barva površine lesa spremeni. Nadaljnja obdelava lesa je po obdelavi s tem voskom otežena (Mihevc in sod., 1994).

2.7.1.3 Parafin

Parafin kemijsko ne spada med voske, vendar ga zaradi njegovih fizikalnih lastnosti uvrščamo v to skupino. Je brezbarven, brez vonja, kemijsko inerten, tali pa se v območju med 48 °C in 66 °C. Topen je v bencinu, terpentinu in v različnih drugih organskih topilih, netopen pa v vodi in 90 % etanolu. Obdelavo lesa s parafinom omejuje njegova slabost, da ne penetrira globoko v les. Les obdelan s parafinom privlači prah in nima svetleče površine.

V lesarstvu se parafin uporablja kot dodatek lepilu pri proizvodnji vodoodpornih ivernih plošč. Poleg tega se uporablja še v mešanicah z drugimi voski, smolami itd. pri proizvodnji barv in premazov za izboljšanje hidrofobnosti. Uporabljajo ga v trdem stanju in v obliki emulzij.

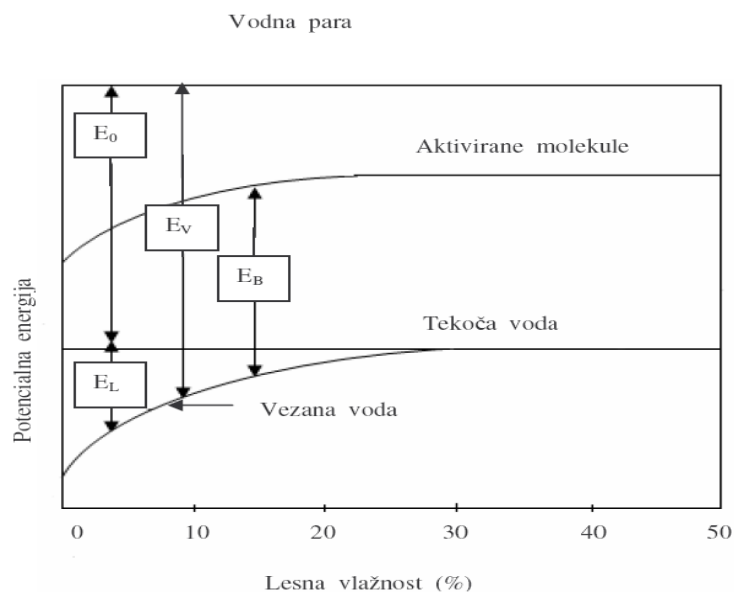
2.7.1.4 Montanski voski

Surovi montanski vosek spada med voske rastlinskega izvora. Ta vosek dobimo iz fosilnih ostankov rastlin, ki jih najdemo v lignitih. Najdemo jih v Nemčiji na območju reke Elbe. Manjše količine montanskih voskov slabše kvalitete pa najdemo tudi na območju Avstralije, Nove Zelandije, Češke, Slovaške, Rusije, Kitajske in Velike Britanije. V Nemčiji so ugotovili, da so bile pred 30 do 40 milijoni leti tipične rastlinske vrste močvirske ciprese (*Sigillaria* in *Lepidodendron*) in ostali iglavci. V fosilnih ostankih subtropskega pasu pa so našli prazgodovinske palme, kot tudi lovor, cimet, kafro. V kolikor je lignit nastal iz teh rastlin, v njem najdemo tudi montanske voske. Montanske voske uporabljamo že več kot 100 let. Prva komercialna proizvodnja montanskega voska se je začela v Nemčiji leta 1900 (Lutz, 2001).

Montanski voski so večinoma estri dolgoverižnih kislin in dolgoverižnih alkoholov. Ostale komponente kot so ketoni, parafini, terpeni pa se pojavljajo v zelo majhnih količinah. Vosek je topen v številnih organskih topilih, še posebno v aromatskih in kloriranih ogljikovodikih, celo pri nizkih temperaturah (Heinrichs, 2003). Tališče voska je pri temperaturi med 82 in 95 °C. Uporablja se kot polnovreden nadomestek za karnauba vosek. Poleg lesarstva se montanski vosek uporablja še za polirne paste za avtomobile, čevlje, eklektične izolacije in maziva v proizvodnji plastike ter papirni industriji (Cyberlipid, 2008; Lesar in sod., 2009b).

2.8 VLAŽNOST LESA SORPCIJA IN RESORPCIJA

Les je zaradi svoje specifične kemične zgradbe in velike notranje površine sten higroskopen, zato v nihajočih klimatskih razmerah niha tudi lesna vlažnost. Posledice higroskopsnosti lesa je prilagajanje njegove vlažnosti spreminjajoči se relativni zračni vlažnosti, kar se odraža tudi na njegovih dimenzijskih spremembah (krčenje in nabrekanje). Volumensko krčenje in nabrekanje lesa je enako količini sprejete oziroma oddane vode, ob upoštevanju zgostitve vode v celični steni. Higroskopsnost je odvisna od števila sorpcijskih mest, oziroma prostih polarnih hidroksilnih skupin, ki so sposobne vezati molekule vode. Od stenskih sestavin je najbolj higroskopsna hemiceluloza, sledijo jim celuloza in lignin, ter nekateri ekstraktivi. Energijske nivoje vezane vode v celični steni v primerjavi z nivojem tekoče vode in vodne pare ponazarja (slika 3).



Slika 3: Relativni energijski nivoji za vodno paro, aktivirane molekule in vezano vodo (Skaar 1988)

Kristalinična celuloza v skeletu veže vodo le na svoji površini. Molekule, ki so neposredno vezane na hidroksilne skupine stenskih komponent, se imenujejo »primarne« in imajo visoko vezalno energijo. Ker les ni homogen, niti strukturno, niti glede na sorpcijske energije, tudi vsa sorpcijska mesta nimajo enake možnosti vezanja vodnih molekul. Vezna energija na površinah kristalov je 25 kJ/mol, v amorfnihih regijah pa približno 30 kJ/mol, zato lahko eno sorpcijsko mesto sprejme tudi dve vodni molekuli, medtem ko je sosednje

še prazno. »Sekundarne« molekule imajo manjšo vezalno energijo in se na »primarne« molekule lahko vežejo v več plasteh.

2.8.1 Higroskopnost, ravnovesna vlažnost in histereza lesnega tkiva

Ker je les higroskopen, je vselej bolj ali manj vlažen. V stabilnih razmerah doseže les higroskopsko ravnovesje oziroma lesno ravnovesno vlažnost (u_r). Poleg relativne zračne vlažnosti in temperature, ki določa klimo, vplivajo na ravnovesno vlažnost še:

- sorpcijska zgodovina,
- sorpcijska histereza,
- gostota lesa,
- kemične lastnosti,
- morebitni predhodni hidrotermični postopki,
- morebitna predhodna kemijska obdelava ali modifikacija in
- napetostna stanja lesa.

Vsebnost higroskopske oziroma vezane vode je odvisna od števila sorpcijskih mest, ki jih lahko zasedejo vodne molekule in mikropilarnostne strukture celične stene (Hartley s sod., 1992). Odvisnost ravnovesne vlažnosti od relativne zračne vlažnosti izražamo s sorpcijskimi krivuljami, ki jih dobimo s postopnim uravnovešanjem v padajočih (sušenje – desorpcija) oziroma naraščajočih (navlaževanje – adsorpcija) relativnih zračnih vlažnostih. Pri konstantni temperaturi, so sigmoidne in tvorijo zaključeno histerezo zanko. Absolutna vrednost razlike med adsorpcijo in desorpcijo je praviloma največja v sredini higroskopskega območja ($\varphi = 60 - 80 \%$). V kolikor ravnovesno lesno vlažnost pri postopku adsorpcije delimo z ravnovesno vlažnostjo lesa pri procesu desorpcije, dobimo koeficient, ki označuje razmerje med adsorpcijo in desorpcijo (A/D). Najnižje vrednosti tega koeficienta se gibljejo okoli 0,80.

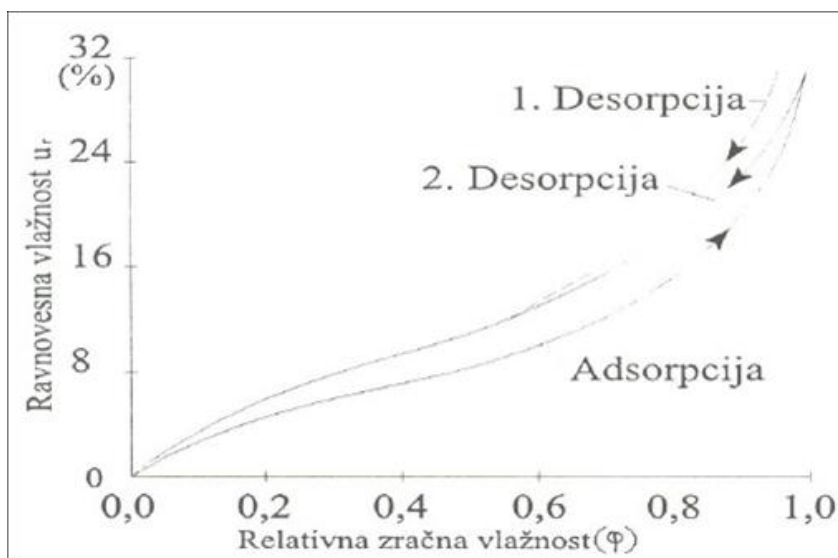
Pri višjih temperaturah se ravnovesna vlažnost lesa znižuje, gibljivost vezane vode je čedalje večja. Celulozna kristalna rešetka niha močneje, vezi med molekulami celuloze slabijo in plastičnost je večja, zato so razlike med adsorpcijo in desorpcijo čedalje manjše.

Razlike v higroskopnosti in sorpcijskih izotermah so posledica variabilne kemične zgradbe lesa, deleža mikrorazpok v celični steni, gostote, morebitnih hidrotermičnih in kemičnih postopkov obdelave ter napetostnih stanj (Gorišek, 2005).

Sorpcijsko histerezo povzroča več dejavnikov. Do razlik med A/D pride zaradi počasne porazdelitve vodikovih molekul, ki jim nasprotuje še nabrekovalni tlak zaradi dolgotrajnega uravnovešanja. Klimatski pogoji se pogosto spreminjajo še pred doseženim popolnim ravnovesjem (Skaar, 1988). Pri postopnem uravnovešanju na več sorpcijskih intervalih je doseženo večje histerezo razmerje. Sorpcijsko histerezo predpisujejo polarnim hidroksilnim skupinam celuloze, ki vežejo vodo z vodikovo vezjo. V nasičenem stanju so vse hidroksilne skupine stenskih snovi zasičene z adsorbirano vodo.

Vzrokov za neskladje med ravnovesno vlažnostjo, dobljeno v procesu adsorpcije in desorpcije je več (npr. potreben čas uravnovešanja, energijske izgube zaradi plastičnih preoblikovanj (Barkas, 1942 cit. iz Skaar, 1988), večji kot omočitve pri adsorpciji kot pri desorpciji, tvorjenje vodikovih vezi, napetostna stanja).

Pri sušenju hidroksilne skupine oddajo vodo, celulozne verige pa se zbližajo in medsebojno povežejo z vodikovimi vezmi. Pri naslednji adsorpciji vse hidroksilne skupine niso takoj sposobne vezati vode, zato je ravnovesna vlažnost v procesu adsorpcije manjša. Pri višjih temperaturah (70 °C in več) histereza ni tako izrazita, kar je pripisati večji kinetični energiji vodnih molekul in večjemu nihanju kristalne rešetke. Vezi med sosednjimi celuloznimi molekulami so vse šibkejšje in po večkratni desorpciji in adsorpciji se razlike med desorpcijo in adsorpcijo zmanjšujejo (slika 4) (Skaar, 1972).



Slika 4: Sorpcijske izoterme za primarno desorpcijo, adsorpcijo in sekundarno desorpcijo

Les kot nabrekajoči gel ni popolnoma elastičen. Krčenje in nabrekanje povzročita nastanek različnih deformacij, ki so posledica napetostnih stanj v lesnem tkivu. Zaradi spreminjanja plastične preoblikovanosti z vlažnostjo, se pojavijo energetske izgube pri adsorpciji in desorpciji, ki naj bi bile glavni razlog za pojav histereze. Z naraščajočo temperaturo pri plastifikaciji lesa se z naraščajočo plastičnostjo lesa histereza zmanjšuje.

Razlike v higroskopsnosti in sorpcijskih izotermah so posledica variabilnosti zgradbe lesne snovi (celuloza, hemiceluloza, pektini, lignini in ekstraktivne snovi), higroskopskega potenciala in atomske zgradbe lesa. Med lesnimi sestavinami imajo hemiceluloze največjo sorptivno kapaciteto, sledita pa jim celuloza in lignin.

Kot smo že omenili na higroskopsnost vplivajo različni postopki obdelave lesa, med njimi je tudi kemična zaščita lesa.

3 MATERIAL IN METODE DELA

3.1 PRIPRAVA VZORCEV

Za izvajanje poizkusa smo uporabili vzorce izdelane iz beljave smrekovine (*Picea abies* Karst.).

Izdelali smo vzorce dveh različnih dimenzij

- $50 \times 25 \times 15$ mm - za določanje hitrosti navlaževanja (slika 5 levo) in
- $20 \times 20 \times 10$ mm - za določanje sorpcijskih krivulj (slika 5 desno).

Les za preizkušance je bil zdrav in ni vseboval vidnih napak, kot so grče, smolni žepi ali razpoke.



Slika 5: Preizkušanci za testiranje hitrosti navlaževanje (levo) in preizkušanci za določanje sorpcije (desno)

Pripravili smo 240 vzorcev za ovrednotenje hitrosti navlaževanja in 110 vzorcev za določanje sorpcijskih krivulj. Vse preizkušance je bilo pred nadaljnjim postopkom potrebno obrusiti in oštevilčiti. Oštevilčene vzorce smo 72 ur sušili v laboratorijskem sušilniku (KAMBIČ) pri temperaturi 40 ± 2 °C.

3.2 PRIPRAVA RAZTOPIN

V preglednici 3 so našte kemikalije, uporabljene pri izdelavi diplomske naloge.

Preglednica 3: Kemikalije, ki smo jih uporabili pri izdelavi diplomske naloge

SESTAVINE	KEMIJSKA FORMULA	PROIZVAJALEC	MOLSKA MASA (g/mol)	OZNAKA
Borova kislina	H ₃ BO ₃	MERCK	61,83	Ba
Montanski vosek	/	SAMSON - Kamnik	/	LGE
Epoksidni premaz Epolor	/	COLOR	/	EP
Destilirana voda	H ₂ O	Katedra za patologijo in zaščito lesa	18,02	DV

Pripravili smo 1000 g mešanice raztopin pri dveh različnih koncentracijah borovih raztopin (preglednica 4). Izračunano maso posamezne sestavine za določen zaščitni pripravek smo z analitsko tehtnico zatehtali v čašo in prelili z destilirano vodo. Pri mešanju različnih sestavin smo morali paziti na pravilni vrstni red mešanja, saj smo le tako lahko dosegli, da so se nam sestavine zagotovo raztopile. Tako smo najprej zatehtali borovo kislino, nato dodali LGE emulzijo 1000 g za 100 % in 500 g za 50 % raztopino LGE. Vse kombinacije zaščitnih pripravkov smo na magnetnem mešalniku mešali toliko časa, dokler se borove učinkovine niso raztopile.

Preglednica 4: Zatehte borovih učinkovin v zaščitnih pripravkih

Koncentracija borovih raztopin	1000 g raztopine	
	B (g)	H ₃ BO ₃ (g)
0,10 %	1	5,72
0,50 %	5	28,6

Uporabljeni zaščitni pripravki so razvidni iz preglednice 5.

Uporabili smo tri različne kombinacije zaščitnih popravkov:

- vodne emulzije montanskega voska (50 % in 100 %) (Samson, Kamnik),
- mešanico emulzije montanskega voska (50 % in 100 %) in borove kisline ($c_B = 0,10$ % in $c_B = 0,50$ %) in
- vodno raztopino borove kisline ($c_B = 0,10$ % in $c_B = 0,50$ %).

3.3. IMPREGNACIJA SMREKOVIH VZORCEV

Pred impregnacijo smo vse preizkušance stehali na elektronski tehtnici SARTORIUS, ki s pomočjo osebnega računalnika avtomatsko beleži meritve (slika 6).



Slika 6: Elektronska tehtnica SARTORIUS

Po tehtanju smo preizkušance zložili v čaše (vzorci od 1 – 180 za določanje hitrosti navlaževanja in vzorci od 1 – 100 za določanje sorpcijskih krivulj), jih pokrili s plastično mrežico in obtežene z utežmi prelili z impregnacijskim sredstvom. Kontrolnih vzorcev, (od 181 – 200 namenjeni za določevanje hitrosti navlaženja in 101 – 110 za določanje sorpcijskih krivulj) nismo impregnirali. Vzorce (številka 201 – 240) pa smo namesto impregnacije le dvakrat premazali z emulzijo LGE 100 % in jih pri vsakem premazovanju obrisali in stehali. Število in označevanje vzorcev je razvidno iz preglednice 5.

Preglednica 5: Sestava posamičnih zaščitnih pripravkov in sistem označevanja impregniranih in kontrolnih smrekovih preizkušancev

SREDSTVO	Koncentracija LGE	Koncentracija borove kisline	Oznaka vzorcev – navlaževanje	Navlaževanje (voda / zrak)	Oznaka vzorcev - sorpcija
LGE	100 %	0,1 %	1 – 10	voda	1 – 10
LGE	100 %	0,1 %	11 – 20	zrak	
LGE	100 %	0,5 %	21 – 30	voda	11 – 20
LGE	100 %	0,5 %	31 – 40	zrak	
LGE	50 %	0,5 %	41 – 50	voda	21 – 30
LGE	50 %	0,5 %	51 – 60	zrak	
LGE	50 %	0,1 %	61 – 70	voda	31 – 40
LGE	50 %	0,1 %	71 – 80	zrak	
LGE	50 %	/	81 – 90	voda	41 – 50
LGE	50 %	/	91 – 100	zrak	
LGE	100 %	/	101 – 110	voda	51 – 60
LGE	100 %	/	111 – 120	zrak	
/	/	0,1 %	121 – 130	voda	61 – 70
/	/	0,1 %	131 – 140	zrak	
/	/	0,5 %	141 – 150	voda	71 – 80
/	/	0,5 %	151 – 160	zrak	
LGE	100 %	/	161 – 170	voda	
LGE	100 %	/	171 – 180	zrak	
LGE	10 %	0,1 %	/	/	81 – 90
LGE	10 %	0,5 %	/	/	91 – 100
KONTROLA	/	/	181 – 190	voda	101 – 110
KONTROLA	/	/	191 – 200	zrak	
LGE	100 % premazovanje	/	201 – 240	voda / zrak	

Preizkušance smo impregnirali v vakuumsko-tlačni komori KAMBIČ (slika 7). V komoro smo vstavili po dve čaši z vzorci naenkrat, komoro zaprli in postopoma vzpostavljali 94 % vakuum. Pri temperaturi komore med 20 in 23 °C je vakuumiranje trajalo 30 minut. V začetni fazi impregnacije smo natančno opazovali dogajanje v komori, saj je obstajala možnost močnega penjenja impregnacijskega sredstva.



Slika 7: Vakuumsko-tlačna komora

Po končanem postopku vakuumiranja smo vzpostavili nadtlak 10 barov in preizkušance pustili v posodah z impregnacijskim sredstvom še uro in pol. Zaradi nevarnosti izcejanja impregnacijskega sredstva iz vzorcev smo po končanem nadtlaku ponovno vzpostavili 94 % vakuum za 10 minut. Nato smo zaščitno sredstvo odlili, vzorce vzeli iz posod, jih zložili na papirnato brisačo in jih ponovno tehtali z elektronsko tehtnico SARTORIUS in izračunali mokri navzem. Z gravimetrično metodo tehtanja smo iz razlik v masi pred in po impregnaciji izračunali mokri navzem (1).

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

m_1 ... masa preizkušanca pred impregnacijo (kg)

m_2 ... masa preizkušanca po impregnaciji (kg)

r^v ... mokri navzem zaščitnega sredstva (kg/m³)

V_1 ... volumen preizkušanca pred impregnacijo (m³)

Po opravljeni impregnaciji smo vzorce sušili 21 dni. Vzorce smo sušili na pladnjih, pokritih s papirjem. Papir je preprečeval prehitro izhlapevanje vode iz impregniranih vzorcev.

3.4 ZAŠČITA ČEL

Čela vzorce namenjenih za določevanje hitrosti navlaževanja smo po končani fiksaciji zaščitili z epoksidnim premazom (Epolor, Color). Mešanico smole in trdilca smo pripravili v razmerju 9:1. Tako smo zatehtali 72 g smole in 8 g trdilca. Čela vseh vzorcev smo premazali dvakrat in s tem preprečili oziroma močno omejili vpliv prečnih površin.



Slika 8: Prikaz vzorca zaščenega z epoksidnim premazom

Vzorci za določevanje sorpcije smo po treh tednih zračnega sušenja, zložili v laboratorijski sušilnik (KAMBIČ) in jih 48 ur sušili pri temperaturi 40 ± 2 °C.

Vzorci za določevanje hitrosti navlaževanja smo po treh tednih zračnega sušenja dva dni sušili v sušilniku pri 40 ± 2 °C. Po sušenju, smo vzeli vzorce iz komore, jih ohladili v eksikatorju ter jih ponovno tehtali z elektronsko tehtnico SARTORIUS na 0,0001 g natančno.

3.5 DOLOČEVANJE HITROSTI NAVLAŽEVANJA

Po končanem sušenju premazanih čel, sušenju v sušilniku in tehtanju smo 240 vzorcev razdelili na pol (120 vzorcev, ki so namenjeni za določevanje hitrosti navlaževanja smo navlaževali na zraku, drugih 120 vzorcev pa smo navlaževali v vodi).

3.5.1 Navlaževanje vzorcev na zraku

Vzorci, ki smo navlaževali na zraku, smo najprej zložili na ustrezno pripravljene podstavke v stekleno komoro (slika 9 levo in slika 10).

Na dnu komore je bila nasičena raztopina $\text{ZnSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$, ki je zagotavljala ustrezno vlažnost pri približno 25 °C (RZV = 80 – 90 %). Za zagotavljanje ustreznih pogojev je bilo potrebno dobro zatesniti komoro. Temperatura v prostoru in komori je bila $T = 25\text{ °C}$, relativna zračna vlažnost pa 80 %. Z ventilatorjem v komori smo dosegli enakomerno porazdelitev vlažnosti v celotni komori. S pomočjo H – gumbka (Repa, Rudnik) (slika 9 desno) smo spremljali temperaturo in relativno zračno vlažnost v komori. Delovanje H – gumbka so preverili na ARSO (Agencije Republike Slovenije za okolje) in ustreza standardu SIST EN 12830. Točnost H – gumbka je 0,1 odstotka.



Slika 9: Steklена komora z vzorci (levo) in H – gumbek (desno)

Vzorci so bili izpostavljeni izbrani relativni zračni vlažnosti toliko časa, da so vzpostavili ravnovesje z okoliškim zrakom v komori. V našem primeru smo jih uravnovešali triinpetdeset dni. Sledil je postopek sušenja, ki je trajal do stodevetega dne.

Spremembo mase vzorcev zaradi navlaževanja smo spremljali vsakodnevno, z izjemo vikendov s pomočjo laboratorijske tehtnice SARTORIUS na 0,0001 g natančno, vse do štirinajstega dne. Nato smo tehtanje vzorcev izvajali na dva dni do enaindvajsetega dne, ko smo pričeli vzorce tehtati na štiri dni. Od petindvajsetega dne pa vzorce tehtamo le še na štirinajst dni do triinpetdesetega dne. Po triinpetdesetem dnevu smo pričeli s sušenjem vzorcev, kar traja do stodevetega dne. Suho klimo smo zagotovili s pomočjo silikagela. Maso vzorcev med sušenjem smo spremljali tedensko.



Slika 10: Vzorci, ki se navlažujejo na zraku

Po končanem uravnovešenju (109 dni) smo vzorce 24 ur sušili pri temperaturi 103 ± 2 °C do absolutno suhega stanja. Posušene vzorce smo ponovno stehtali in tako smo na koncu poizkusa iz absolutno suhe mase izračunali vse predhodne lesne vlažnosti vzorcev.

3.5.2 Navlaževanje vzorcev v vodi

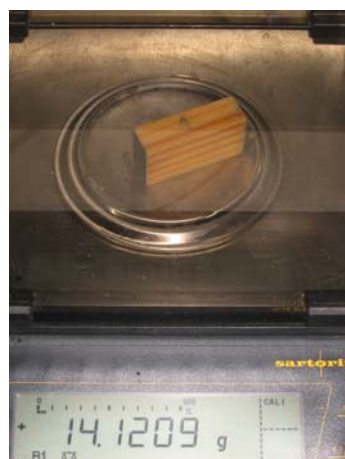
Pri navlaževanju-namakanju vzorcev v vodi smo 120 vzorcev razdelili v dve posodi, jih pokrili s plastično mrežico in obtežene z utežmi prelili z destilirano vodo (slika 11).



Slika 11: Vzorci v posodah preliti z destilirano vodo

Vzorci smo namakali v destilirani vodi enaindvajset dni. Izvajali smo ga v dveh serijah z zamikom enega tedna. Potopljenim vzorcem smo v točno določenih časovnih obdobjih določali maso, kot je prikazano v preglednici 6.

Pred tehtanjem (slika 12), smo vzorce rahlo obrisali z papirnato brisačo. Vzorce smo po tehtanju ponovno zložili v posode z destilirano vodo do naslednjega tehtanja. Poizkus smo izvajali do enaindvajsetega dne.



Slika 12: Prikaz tehtanja mokrega vzorca

Preglednica 6: Predvidena časovna obdobja, ob katerih smo vzorcem namočenih v vodo določali maso

Čas namakanja vzorcev v vodi
1 minuta
15 minut
45 minut
1 ura 15 minut
2 uri
4 ure
1 dan
2 dni
3 dni
4 dni
7 dni
8 dni
9 dni
10 dni
11 dni
14 dni
18 dni
21 dni

Po enaindvajsetem dnevu smo vzorce zložili v sušilnik, in jih 24 ur sušili pri 103 ± 2 °C do absolutno suhega stanja. Posušene vzorce smo ponovno stekali in tako smo na koncu poizkusa iz absolutno suhe mase izračunali vse predhodne lesne vlažnosti vzorcev.

3.6 URAVNOVEŠANJE PRI PETIH RAZLIČNIH KLIMAH

Po končanem impregnacijskem postopku smo vzorce 21 dni sušili oz. fiksirali na pladnjih. Vzorce za določevanje sorpcije smo za dva dni postavili v laboratorijski sušilnik (KAMBIČ) na temperaturo 40 ± 2 °C, zatem smo jih stehali in postavili v eksikator. Sušenju je sledilo uravnoteženje vzorcev pri petih različnih relativnih zračnih vlažnostih (slika 13), ki smo jih dosegli z nasičenimi solnimi raztopinami, prikazanimi v preglednici 7.

Preglednica 7: Nasičene vodne raztopine različnih soli za doseganje posamezne relativne zračne vlažnosti.

Nasičene solne raztopine	Relativne zračne vlažnosti (ϕ)
CH ₃ COOK	20 %
MgCl ₂ × 6H ₂ O	33 %
NaNO ₂	65 %
ZnSO ₄ × 6H ₂ O	87 %
/	98 %

Za zagotovitev ustreznih pogojev (relativne zračne vlažnosti) je bilo potrebno dobro zatesniti stekleno komoro. Temperatura v prostoru je bila 20 °C. Z ventilatorjem smo dosegli enakomerno porazdelitev vlažnosti v celotni komori (slika 13). S pomočjo termometra in higrometra smo spremljali spremembe temperature in relativne zračne vlažnosti.



Slika 13: Prikaz steklene komore z vzorci in ventilatorji

Na začetku smo vzorce izpostavili 20 % relativni zračni vlažnosti, kasneje pa čedalje višjim (postopek adsorpcije), do vrednosti 98 %. Po končanem izpostavljanju višjim vrednostim je sledil (postopek desorpcije) do 20 % relativne zračne vlažnosti. S tem smo želeli določiti razliko med adsorpcijsko in desorpcijsko krivuljo, oziroma osvetliti vpliv impregnacije z vodnimi emulzijami voskov na sorpcijske lastnosti impregniranega vzorca.

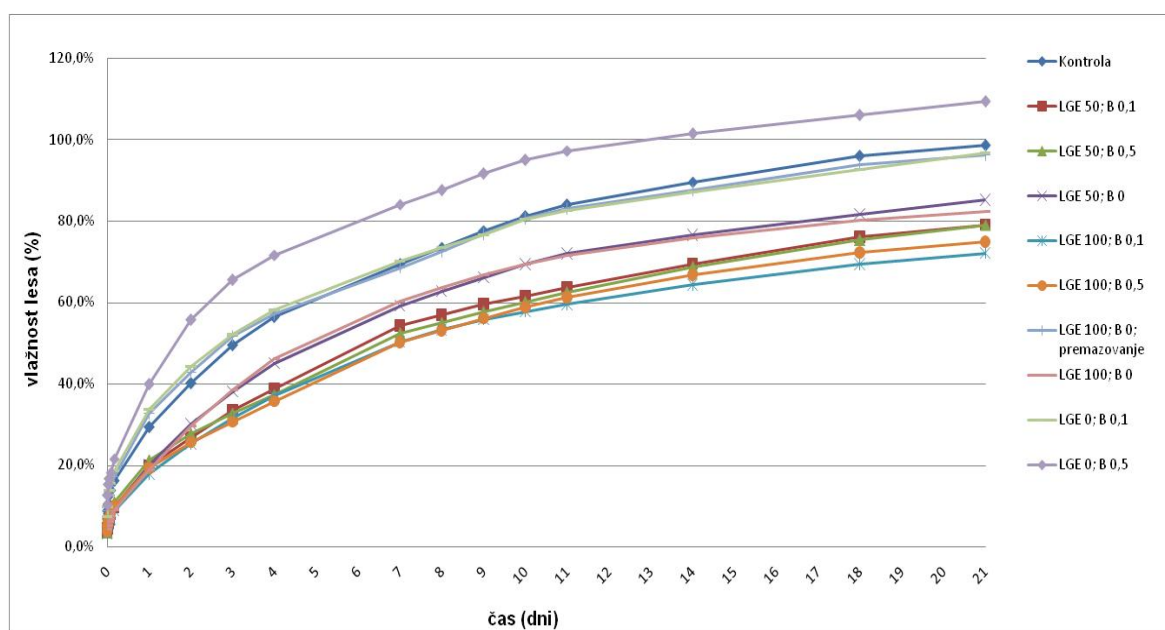
Vzorci so bili izpostavljeni izbrani relativni zračni vlažnosti toliko časa, da so vzpostavili ravnovesje z okoliškim zrakom v komori. V našem primeru smo jih uravnovešali štirinajst dni, saj so bili uporabljeni vzorci manjših dimenzij. Po štirinajstih dneh uravnovešenja, smo jih tehtali na tisočinko grama natančno. Po petih uravnovešenjih (končanem postopku adsorpcije in desorpcije) smo jih sušili 24 ur na temperaturi 103 ± 2 °C do absolutno suhega stanja. Posušene vzorce smo ponovno tehtali in tako smo na koncu poizkusa iz absolutno suhe mase izračunali vse predhodne lesne vlažnosti vzorcev.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Les v uporabi, tudi les, ki ni v stiku z zemljo, se pogosto navlaži. Vlažen les je izpostavljen glivnemu razkroju. Vzroka za navlaževanje sta največkrat dva: navlaževanje zaradi padavin ali zastajanja vode, ter navlaževanje zaradi visoke relativne zračne vlažnosti. V nadaljevanju so prikazane spremembe vlažnosti lesa med potapljanjem in uravnotežanjem v klimi z visoko relativno zračno vlažnostjo.

Vsi poizkusi, tako uravnotežanje vzorcev, kot tudi navlaževanje v konstantni klimi, so bili izvedeni v desetih ponovitvah. Na podlagi meritev smo izračunali povprečno vrednost in standardni odklon. Zaradi preglednosti, smo na slikah prikazali le podatke o povprečni vrednosti, standardni odkloni pa so razvidni iz prilog.

4.1 NAVLAŽEVANJE V VODI

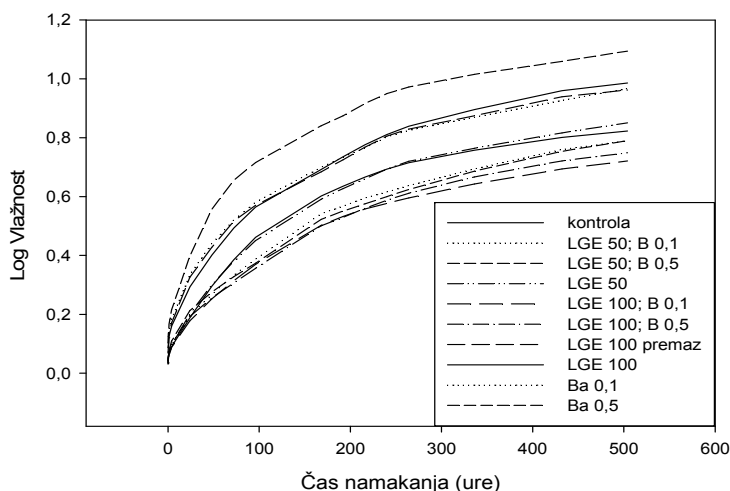


Slika 14: Vpliv impregnacije na navlaževanje impregniranih in kontrolnih smrekovih vzorcev v vodi (n = 10)

Vlažnost lesa v odvisnosti od časa namakanja v vodi je razvidna iz slike 14 in 15. Iz podatkov je razvidno, da so kontrolni, neimpregnirani vzorci po treh tednih poizkusa dosegli vlažnost 98,6 %. Višjo vlažnost (109,4 %) smo določili le pri vzorcih impregniranih z borovo spojino ($c_B = 0,5$ %). Vsi ostali vzorci so bili manj vlažni. Najnižjo vlažnost (72,1 %) smo opazili pri vzorcih impregniranih s pripravkom iz vodne emulzije montanskega voska (LGE) koncentracije 100 % in borove kisline ($c_B = 0,1$ %).

Vsi vzorci se prve štiri ure navlažujejo zelo enakomerno (linearno). Vpliv impregnacije pa je relativno dobro viden že v prvih štirih urah namakanja. Kontrolni vzorec je po štirih urah dosegel dvakrat višjo vlažnost (16,1 %), kot vzorec prepojen s pripravkom iz vodne emulzije montanskega voska (LGE) koncentracije 100% in borove kisline ($c_B = 0,1$ %), kjer smo opazili najnižjo vlažnost (8,8 %). Zanimivo je, da se vpliv borove kisline na vlažnost še ne pozna v prvih štirih urah namakanja. Po štirih urah se prične vzorec impregniran z borovo spojino najvišje koncentracije ($c_B = 0,5$ %) navlaževati veliko hitreje kot neimpregnirani vzorci.

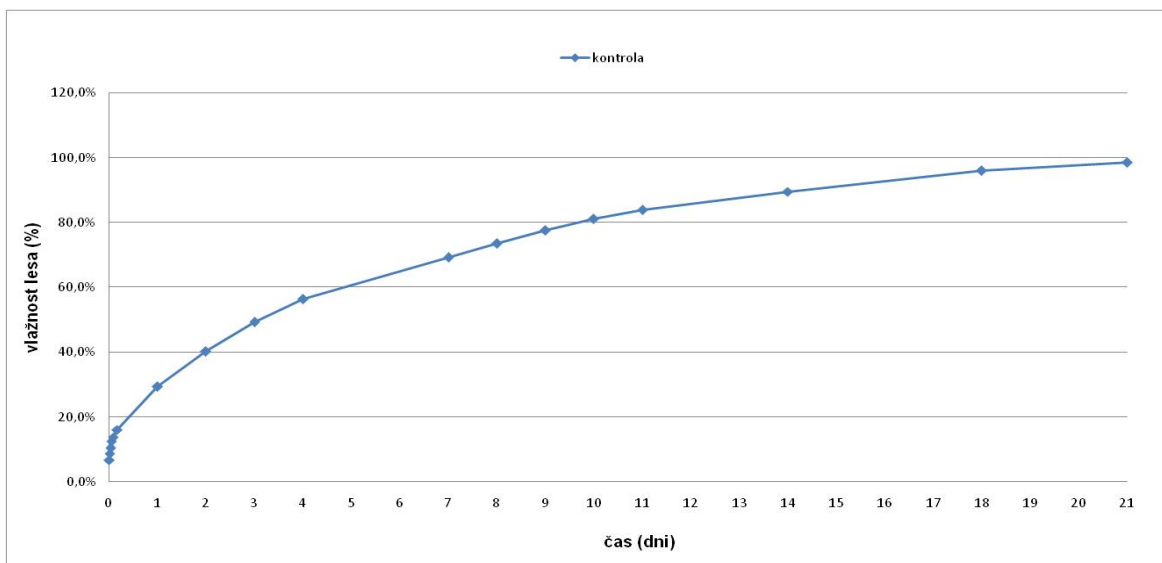
V našem primeru, so vzorci impregnirani z borovo spojino obeh koncentracij ($c_B = 0,5$ % in 0,1 %) dosegli lesno vlažnost 20 % hitreje od kontrolnega vzorca. Z dodajanjem LGE emulzije borovim kislinam smo ravnovesno vlažnost lesa med namakanjem zmanjšali in posledično zmanjšali tudi izpiranje borovih učinkovin iz vzorcev.



Slika 15: Prikaz navlaževanja impregniranih in kontrolnih smrekovih vzorcev v vodi (logaritemska skala)

V nadaljevanju je prikazano kako je posamezen tip impregnacije vplival na navlaževanje impregniranega lesa. Podatki so prikazani posamično, saj so bili prikazani na enem grafikonu nepregledni.

4.1.1 Pregled dogajanja na navlaževanje v vodi kontrolnih vzorcev



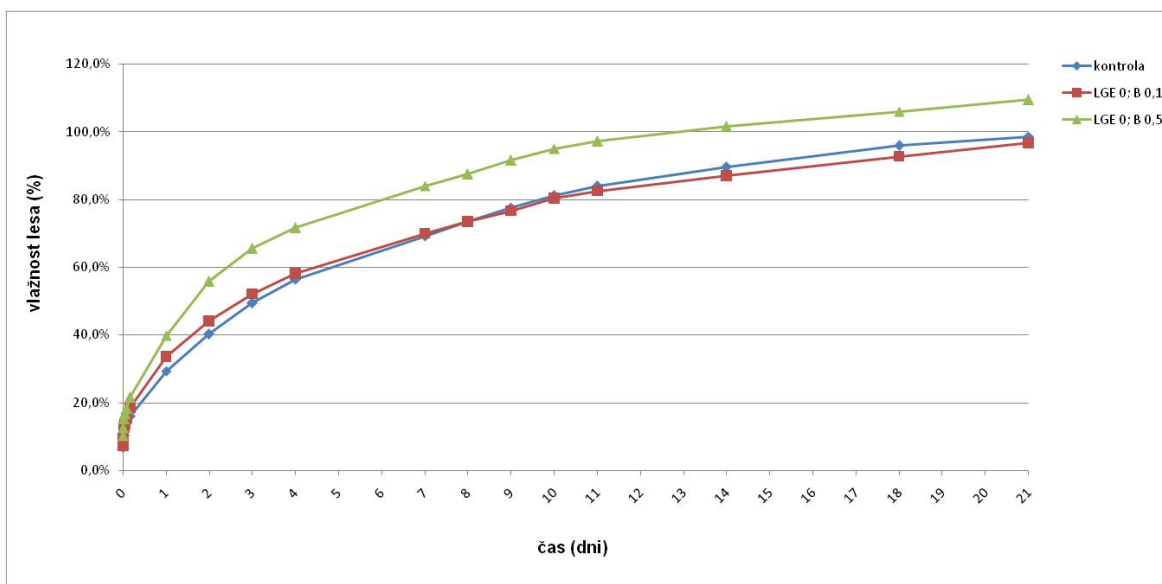
Slika 16: Vpliv navlaževanje kontrolnih smrekovih vzorcev med potapljanjem v vodi (n = 10)

Iz slike 16 je razvidno, da se kontrolni vzorec ves čas navlaževanja po posameznih ciklih navlažuje dokaj konstantno in na koncu doseže vlažnost 98,6 %. Na začetku navlaževanja vlažnost lesa enakomerno, počasi raste in doseže v štirih urah 16 %. Po dveh dneh navlaževanja ima vzorec dva krat višjo vlažnost (40 %), kot jo je imel pri štirih urah. Tukaj vzorec že preseže TNCS, ki je pri smrekovini prib. 30 - 34 %.

TNCS predstavlja zgornjo mejo higroskopskega območja v katerem vlada tesna odvisnost med fizikalnimi in mehanskimi lastnosti. Sama definicija TNCS je, da ja to stanje pri katerem so celične stene nasičene z vezano vodo, medtem ko lumni ne vsebujejo proste vode (Gorišek, 2005).

Vzorec dosega naslednje vlažnosti v času poizkusa. Sedmi dan doseže vlažnost skoraj 70 %, enajsti dan 84 % in enaindvajseti dan 98,6 % (končna vlažnost). Najvišji porast vlažnosti je viden od štirih ur (16 %) do enega tedna (70 %). Po enem tednu navlaževanja se porast vlažnosti vzorcev upočasni. Znano je, da les zaradi svoje specifične kemične zgradbe in velike notranje površine sten higroskopen, zato v nihajočih klimatskih razmerah niha tudi lesna vlažnost. Če tudi bi podaljšali čas navlaževanja za nekaj dni, se vlažnost vzorcev verjetno ne bi bistveno spremenila.

4.1.2 Vpliv impregnacije z vodno raztopino borove kisline na navlaževanje impregniranega lesa v vodi



Slika 17: Vpliv impregnacije z borovo kislino na vlažnosti neimpregniranih in impregniranih smrekovih vzorcev med namakanjem v vodi (n = 10)

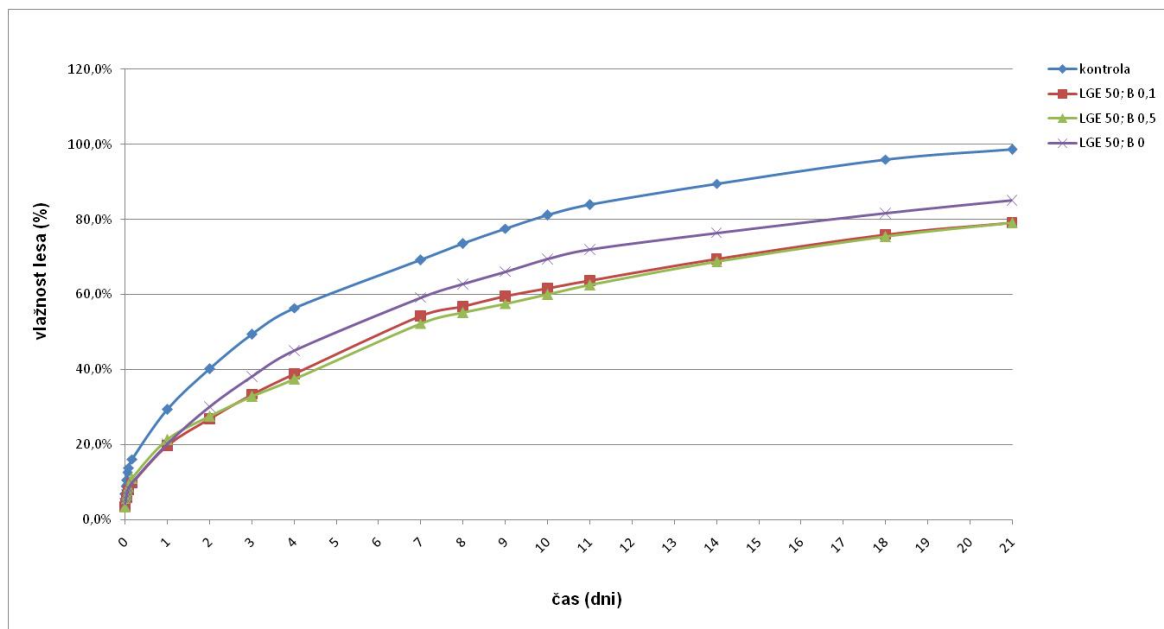
Kontrolni vzorec je imel v vseh obdobjih namakanja nižjo vlažnost, kot vzorci impregnirani z borovimi pripravki. Skupina vzorcev, impregnirana z borovo kislino (koncentracije 0,5 %), je dosegel najvišjo vlažnost od vseh vzorcev v celotnem preizkusu (109,4 %) po treh tednih namakanja v vodi (Slika 17). Po drugi strani pa je vpliv impregnacije z raztopino z nizko koncentracijo borove kisline ($c_B = 0,1$ %) na vlažnost impregniranega lesa relativno majhen. Impregnirani vzorci imajo v povprečju za 5,45 odstotne točke višjo vlažnost kot kontrolni vzorci. Razlika v vlažnosti je bolj očitna pri vzorcih impregniranih z najvišjo koncentracijo borove kisline ($c_B = 0,5$ %).

Ti vzorci so bili v povprečju kar za 10,3 odstotne točke vlažnejši od kontrolnih. V prvih urah namakanja je bila razlika v vlažnosti kontrolnih in impregniranih vzorcev manjša. Povečevati se je začela po prvem dnevu potapljanja in je bila od četrtega dneva približno konstantna. Največja je bila po treh dneh, na koncu pa je bila 10,8 odstotne točke.

Razlogov za višjo vlažnost lesa prepojenega z borovimi spojinami je več. Prvi razlog je higroskopnost. Drugi razlog pa so kristalčki, ki so se izločili iz zaščitnega pripravka in se odložili v celični steni. Znano je, da je vlažnost lesa močno odvisna od vsebnosti aktivnih učinkovin v zaščitnih pripravkih. Tako menimo, da so tudi v tem primeru primarni vzrok za tako visoko vlažnost, drobni kristali, ki so nastali v celični steni. V vrzelih med kristali so nastale kapilare, kjer se je lahko kondenzirala voda. To domnevo potrjuje dobra povezanost med vsebnostjo aktivnih učinkovin v zaščitnem pripravku in vlažnostjo lesnih vzorcev. Več kot je bilo aktivnih učinkovin v pripravku, višjo vlažnost vzorcev smo določili (Humar, 2006a). Možno je, da na vlažnost vpliva tudi higroskopnost kristalov, vendar te domneve nismo eksperimentalno preverili, v literaturi pa tudi ni natančnih podatkov o tem pojavu.

Višja vlažnost impregniranega lesa se odraža tudi v višjem izpiranju. Tudi zato je uporaba borovih spojin za zaščito lesa omejena na uporabo v prvem in drugem razredu izpostavitve (uporaba v suhih razmerah z občasnim zviševanjem lesne vlažnosti nad 18 %).

4.1.3 Vpliv impregnacije z vodno emulzijo (LGE 50) in raztopino borove kisline na navlaževanje impregniranega lesa v vodi



Slika 18: Vpliv impregnacije z emulzijo montanskega voska LGE 50 in borovo kislino na vlažnosti neimpregniranih in impregniranih smrekovih vzorcev med namakanjem v vodi ($n = 10$)

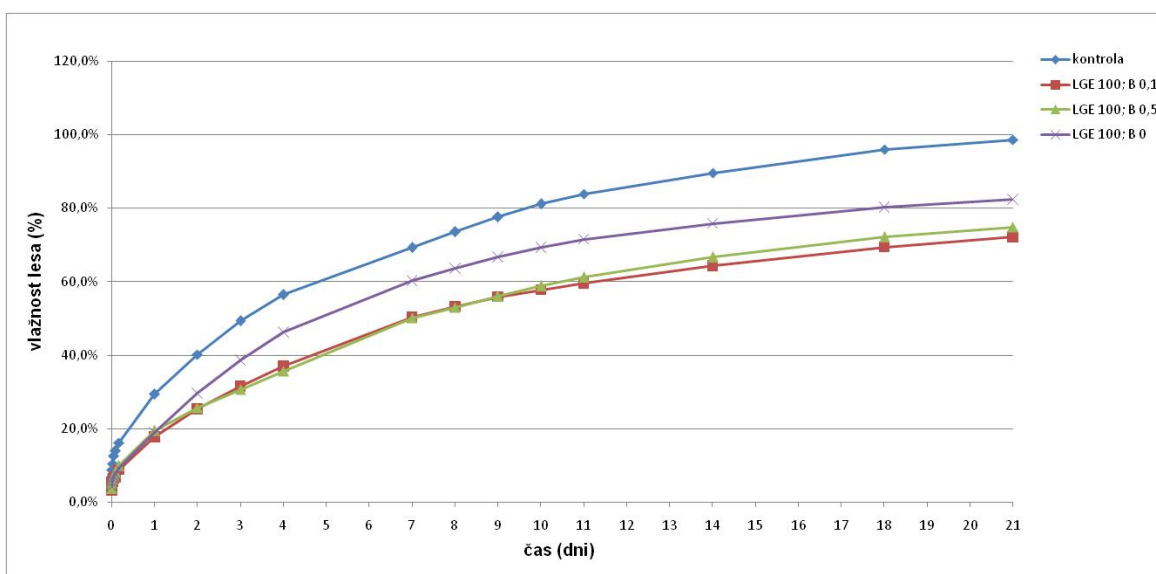
Iz slike 18 je razvidno, da so imeli vsi vzorci prepojeni z vodno emulzijo LGE 50 nižjo vlažnost od kontrolnih vzorcev, ne glede na prisotnost borove kisline. Po treh tednih namakanja v vodi, smo določili naslednje končne vlažnosti. Kontrolni vzorec je dosegel vlažnost 98,6 %, vzorci impregnirani z emulzijo (LGE 50) in borovo kislino ($c_B = 0,1$ %) 79 %, enako kot skupina vzorcev impregnirana z emulzijo (LGE 50) in borovo kislino ($c_B = 0,5$ %) in skupina vzorcev impregniran z emulzijo (LGE 50) brez borovih učinkovin pa 85,1 %.

Očitno je, da je dodatek emulzije LGE upočasnil navlaževanje impregniranega lesa. Izkazalo se je celo, da je kombinacija emulzije in borove kisline celo povečala njeno učinkovitost in ne zmanjšala, kot bi pričakovali iz podatkov o navlaževanju lesa impregniranega z vodno raztopino borove kisline.

Razlogov za to je več. Površina lesa je bila bolj vodoodbojna, kar je vsaj v prvih urah upočasnilo navlaževanje lesa. Emulzija LGE je znana po tem, da lahko tvori tanke neprepustne filme. Verjetno so se ti filmi tvorili tudi na zunanji strani celičnih lumnov, kar je še dodatno upočasnilo prodiranje vode v les. Razlog za končno nižjo vlažnost impregniranega lesa pa je verjetno tudi fizikalne narave. Utrjena emulzija in borova kislina je vsaj delno zapolnila vrzeli v celični steni in lumne celic (Lesar in sod., 2009a), in na ta način zmanjšalo prostor za prosto in vezano vodo.

4.1.4 Vpliv impregnacije z vodno emulzijo (LGE 100) in raztopino borove kisline na navlaževanje v vodi

4.1.4.1 Prikaz vpliva impregnacije kontrolnega vzorca, vzorca zaščitenega z vodno emulzijo (LGE 100) in raztopino borove kisline na navlaževanje v vodi



Slika 19: Vpliv impregnacije z emulzijo montanskega voska LGE 100 in borovo kislino na vlažnosti neimpregniranih in impregniranih smrekovih vzorcev med namakanjem v vodi (n = 10)

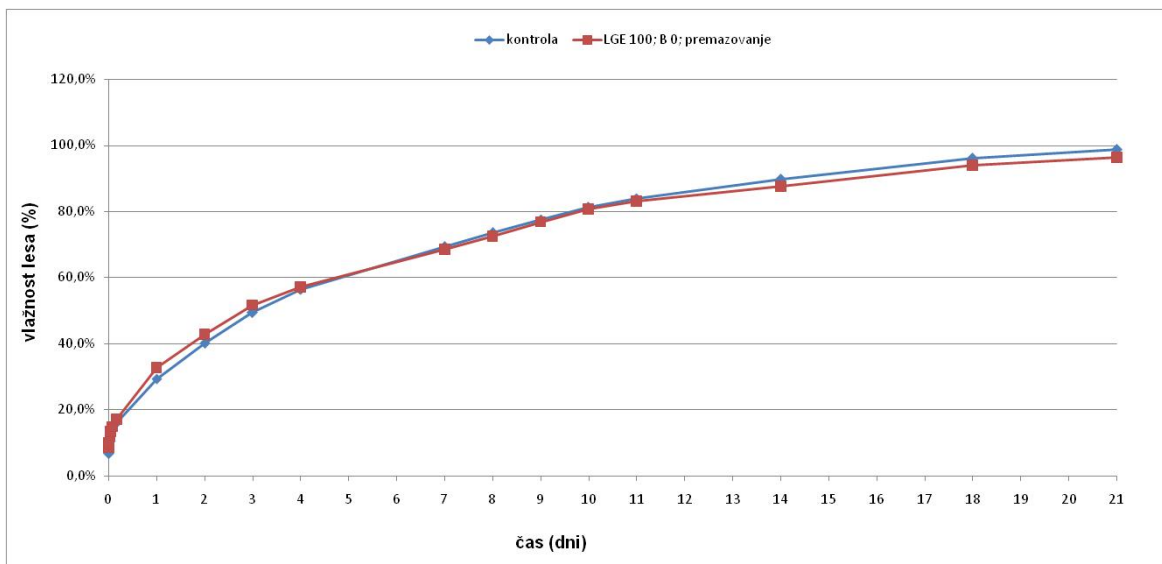
Impregnacija vzorcev z različnimi kombinacijami emulzije LGE 100 so imeli v vseh primerih nižjo vlažnost kot kontrolni vzorci. Vlažnost teh vzorcev je bila v večini primerov nižja od vzorcev prepojenih z emulzijo LGE 50 (Sliki 18 in 19). Podobno, kot pri vzorcih prepojenih z emulzijo LGE 50, je tudi v tem primeru dodatek borovih spojin v emulzijo LGE 100 deloval pozitivno.

Vzorci, ki so bili prepojeni z kombinacijo emulzije LGE in borove kisline, so imeli nižjo vlažnost kot vzorci prepojeni le z emulzijo LGE 100. Tako so imeli kontrolni vzorci po treh tednih namakanja vlažnost 98,6 %, vzorci prepojeni z emulzijo LGE 100 82,3 %, smrekovina impregnirana z emulzijo LGE 100 in borovo kislino ($c_B = 0,5 \%$) 74,9 % in vzorci prepojeni z emulzijo LGE 100 in borovo kislino ($c_B = 0,1 \%$) 72,1 % (Slika 19). Vzroki za to so opisani že v prejšnjem podpoglavju.

Treba pa je poudariti, da je ta rezultat zelo koristen s praktičnega vidika. Emulzija LGE sama po sebi ne nudi zadostne zaščite pred glivami razkrojevalkami. Znano pa je da deluje sinergistično z borovo kislino in izboljša njene fungicidne lastnosti (Lesar s sod., 2008).

Zato je zelo pomembno, da ta kombinacija emulzija LGE in borove kisline ne izboljša le delovanja proti glivam razkrojevalkam, temveč se odraža tudi v ugodnejših sorpcijskih lastnostih impregniranega lesa.

4.1.4.2 Prikaz vpliva impregnacije kontrolnega vzorca in vzorca premazanega z vodno emulzijo (LGE 100) na navlaževanje v vodi



Slika 20: Vpliv impregnacije z emulzijo montanskega voska LGE 100 na vlažnosti neimpregniranih in impregniranih smrekovih vzorcev med namakanjem v vodi (n = 10)

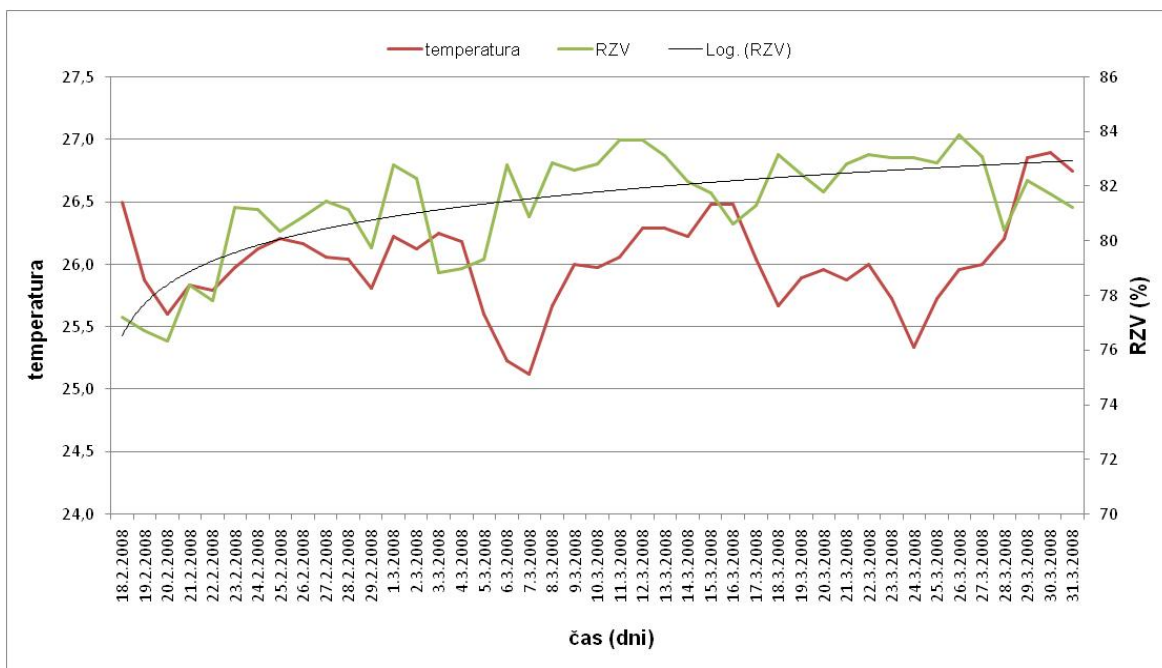
V literaturi poročajo, da ima premazovanje vzorcev pogosto boljši učinek na zmanjšanje navlaževanja kot impregnacija (Lesar in sod., 2008). Razlogov za ta pojav je več. Med impregnacijo v celične stene prodre tudi emulzija voska, ki preprečuje krčenje lesa. Celična struktura tako ostane bolj odprta, kar omogoča hitrejše prodiranje vode v les.

Kakorkoli, v našem poskusu tega nismo potrdili. Vlažnost vzorcev premazanih z vodno emulzijo LGE 100 je bila primerljiva z vlažnostjo kontrolnih vzorcev. V posameznih obdobjih navlaževanja so bili nekoliko vlažnejši kontrolni, drugič pa premazani vzorci. Na koncu je bila vlažnost kontrolnih vzorcev 98,6 %, vlažnost premazanih pa 96,2 % (slika 20).

4.2 NAVLAŽEVANJE NA ZRAKU

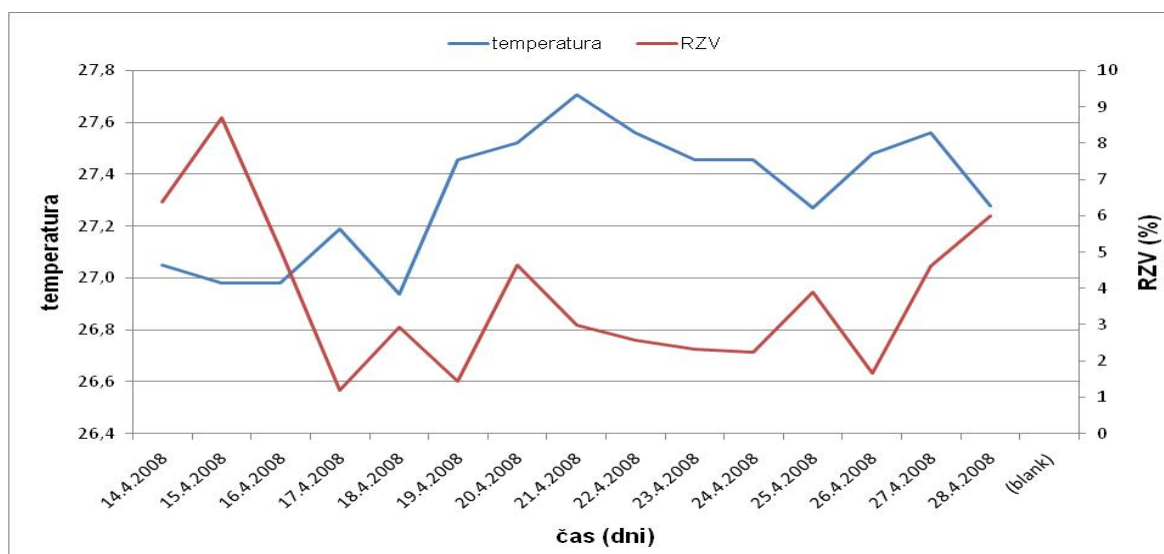
4.2.1 Vpliv meritev s pomočjo Repa gumbka na temperaturo in RZV v komori med uravnovešanjem

Med navlaževanjem smrekovih vzorcev na zraku smo s pomočjo umirjenega H – gumbka (Repa, Rudnik) spremljali temperaturo in relativno zračno vlažnost v komori (slika 21 in 22). Na dnu komore je bila nasičena raztopina $\text{ZnSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$, ki je zagotavljala ustrezno vlažnost. Temperatura v prostoru in komori naj bi bila približno $T = 25^\circ\text{C}$, relativna zračna vlažnost pa 80 %. V prilogi 5 in 6 so prikazani povprečni rezultati temperature in RZV vzorcev med kondicioniranjem in sušenjem.



Slika 21: Spremembe temperature in RZV med kondicioniranjem vzorcev

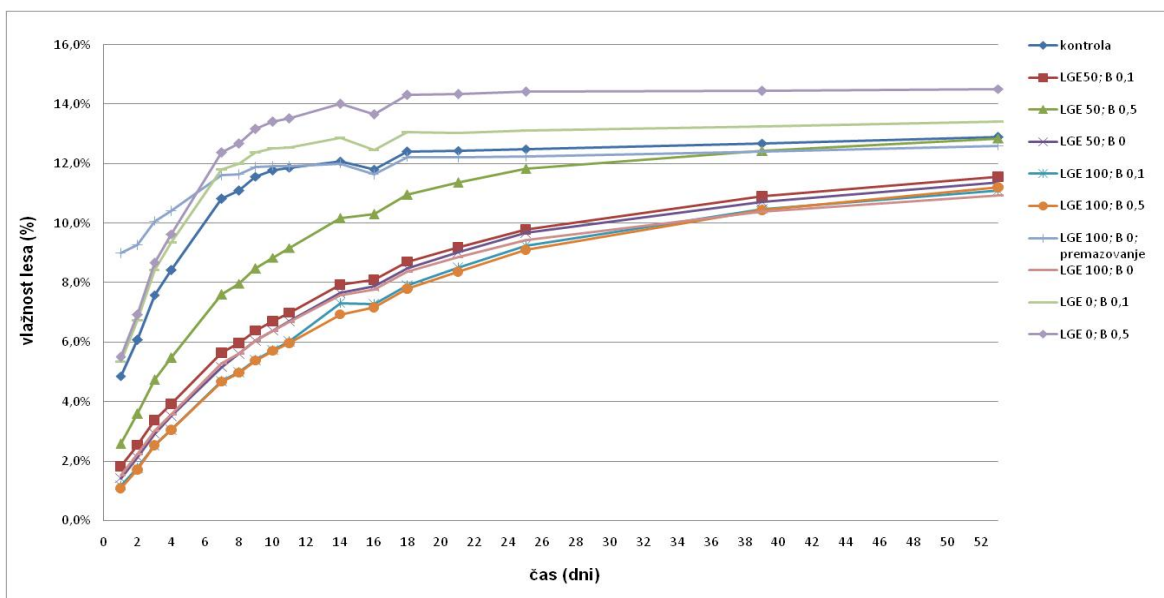
Iz slike 21 se vidi trend naraščanja RZV. Na začetku poizkusa je RZV nekoliko nižja od predvidene (80 %), vendar se skozi celotno poizkus umiri med 80 in 84 %. Očitno so na začetku poizkusa suhi vzorci absorbirali več vodne pare, kot je lahko vode izhlapelo iz nasičene raztopine soli. Iz slike 21 je razvidno, da je bila temperatura v komori relativno konstantna. Nihala je med 26,9 in 25 °C.



Slika 22: Vpliv spremembe temperature in RZV pri sušenju vzorcev

Pri sušenju je iz slike 22 lepo razvidno, da je bila vlažnost v komori nizka, v povprečju 4 %. Suho klimo smo zagotovili s pomočjo silikagela, ki smo ga po potrebi menjavali. Čas menjave silikagela je razviden iz slike 22.

4.2.1.1 Vpliv impregnacije z različnimi kombinacijami emulzije montanskega voska in borove kisline na uravnovešanje impregniranih in kontrolnih vzorcev pri 80 % RZV.



Slika 23: Vpliv impregnacije z različnimi kombinacijami vodne emulzije montanskega voska in borove kisline na spremembo vlažnosti med kondicioniranjem pri 80 % RZV ($n = 10$)

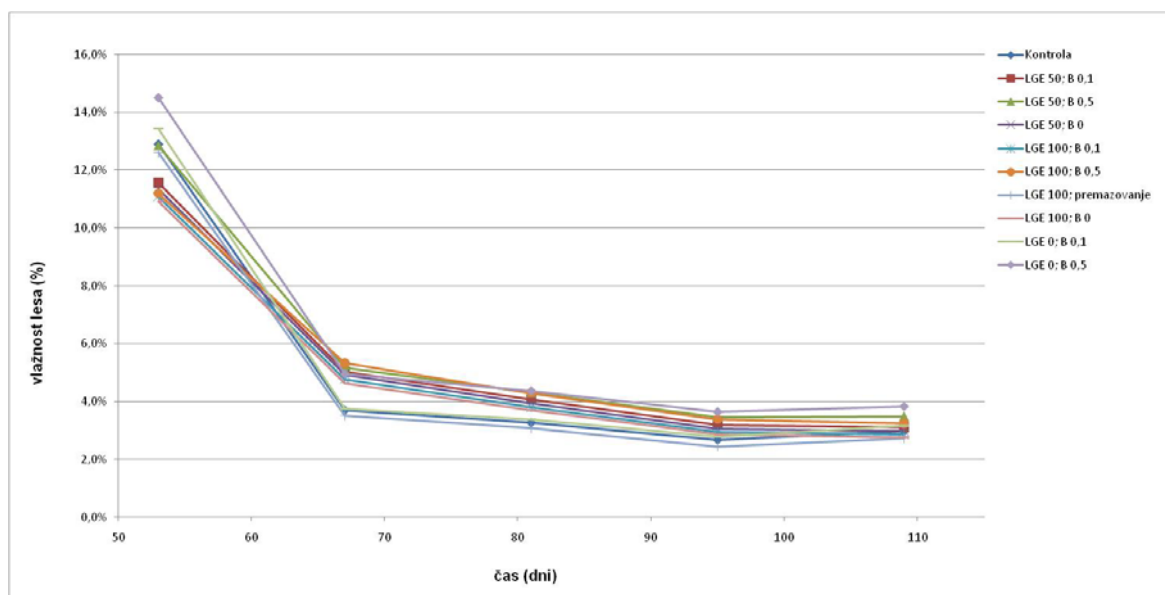
Iz slike 23 je razvidno, da so kontrolni neimpregnirani vzorci (53 dan) poizkusa dosegli vlažnost 12,9 %. Višjo vlažnost 13,4 in 14,5 % smo določili le pri vzorcih impregniranih z borovo kislino ($c_B = 0,1$ %) in ($c_B = 0,5$ %). Vsi ostali vzorci so bili bolj suhi kot kontrolni, neimpregnirani vzorci. Najnižjo vlažnost (10,9 %) smo opazili pri vzorcih impregniranih s pripravkom iz vodne emulzije montanskega voska (LGE) koncentracije 100 %.

Vzorci impregnirani z različnimi pripravki vodne emulzije montanskega voska (LGE) in borove kisline se skozi celo obdobje uravnovešanja navlažujejo enakomerno. Končna vlažnost teh vzorcev je primerljiva (11 %) (Slika 23).

V primerjavi z navlaževanjem v vodi se pri navlaževanju na zraku vpliv impregnacije vidi že prvi dan. Kontrolni vzorec je po enem dnevu dosegel petkrat višjo vlažnost (4,9 %), kot vzorec prepojen s pripravkom iz vodne emulzije montanskega voska (LGE) koncentracije 100 % in borove kisline ($c_B = 0,5$ %), kjer smo opazili najnižjo vlažnost (1,1 %).

Vpliv borove kisline na vlažnost impregniranega lesa je ravno tako očiten že prvi dan kondicioniranja, saj se vzorci impregnirani z borovo kislino obeh koncentracij ($c_B = 0,1$ % in 0,5 %) navlažujejo hitreje kot kontrolni vzorci. Hitreje od kontrolnega vzorca se v prvih obdobjih navlažujejo tudi vzorci, ki jih nismo impregnirali temveč le premazali z vodno emulzijo montanskega voska (LGE) koncentracije 100 %. Ti vzorci so prvi dan navlaževanja dosegli vlažnost 9 %, kar je dvakrat več kot kontrolni vzorec, ki je dosegel vlažnost 4,9 %.

4.2.2 Vpliv sušenja vzorcev na zraku na ravnovesno vlažnost impregniranega lesa

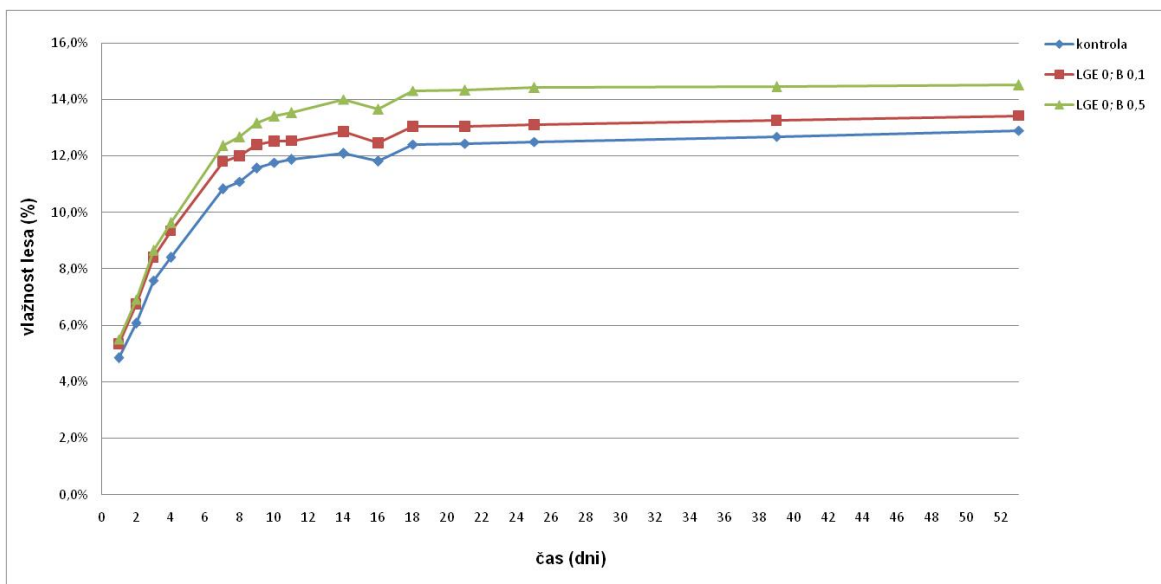


Slika 24: Vpliv sušenja vzorcev z različnimi kombinacijami vodne emulzije montanskega voska in borove kisline

Pri sušenju vzorcev na zraku, ki smo ga pričeli 53 dan, je na koncu poizkusa kontrolni vzorec dosegel vlažnost 3 %. Najnižjo vlažnost (2,7 %) smo določili pri vzorcu premazanem z pripravkom vodne emulzije montanskega voska (LGE) koncentracije 100 %. Najvišjo vlažnost (3,8 %) smo opazili pri vzorcu impregniranih z borovo spojino ($c_B =$

0,5 %). Vsi vzorci so se ves čas sušili po približno enakem vzorcu. Končna vlažnost (109 dan) je bila približno enaka kontrolnemu vzorcu (3 %).

4.2.3 Vpliv impregnacije z vodno raztopino borove kisline na navlaževanje impregniranega lesa v komori z 80 % RZV



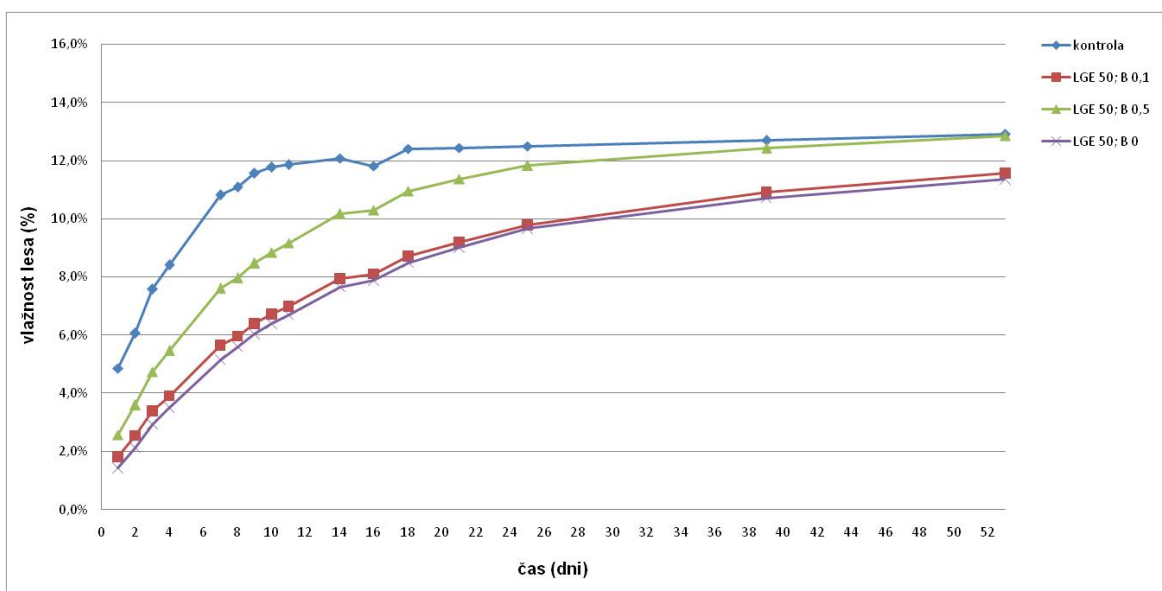
Slika 25: Vpliv impregnacije z vodno raztopino borove kisline na spremembo vlažnosti med kondicioniranjem pri 80 % RZV (n = 10)

Kontrolni vzorec je imel v vseh obdobjih časa namakanja nižjo vlažnost, kot vzorci impregnirani z borovimi pripravki. Skupina vzorcev, impregniranih z borovo kislino koncentracije najvišje koncentracije ($c_B = 0,5$ %) je po 53 dnevih navlaževanja na zraku, dosegel najvišjo vlažnost od vseh vzorcev v celotnem preizkusu (14,5 %) (Slika 25).

V prvih dneh kondicioniranja je bila razlika v vlažnosti kontrolnih in impregniranih vzorcev manjša. Povečevati se je začela po prvem tednu uravnovešanja. Iz slike 25 je razvidno, da so se vzorci impregnirani z borovo kislino koncentracije 0,5 %, pričeli hitreje navlaževati po prvem tednu, kot kontrolni vzorci in vzorci impregnirani z borovo kislino koncentracije 0,1 %. Impregnirani vzorci imajo v povprečju za 1,1 odstotne točke višjo vlažnost kot kontrolni vzorci.

Vpliv impregnacije z borovo kislino na vlažnost impregniranega lesa je bolj očiten pri vzorcih impregniranih z najvišjo koncentracijo borove kisline ($c_B = 0,5 \%$). Ti vzorci so bili v povprečju kar za 1,5 odstotne točke vlažnejši od kontrolnih. Razlogi za višjo vlažnost lesa prepojenega z borovimi spojinami so enaki kot pri navlaževanju v vodi in so opisani že v poglavju 4.1.2.

4.2.4 Vpliv impregnacije z vodno emulzijo (LGE 50) in raztopino borove kisline na navlaževanje impregniranega lesa v komori z 80 % RZV



Slika 26: Vpliv impregnacije z emulzijo montanskega voska LGE 50 in vodno raztopino borove kisline na spremembo vlažnosti med kondicioniranjem pri 80 % RZV ($n = 10$)

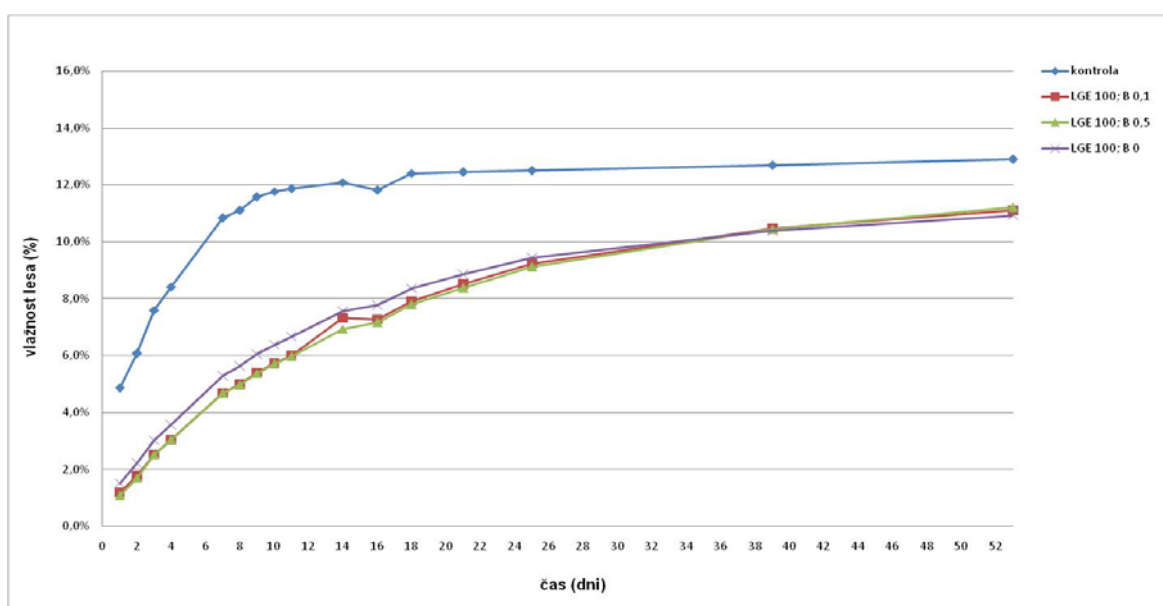
Iz slike 26 je razvidno, da so imeli vsi vzorci prepojeni z vodno emulzijo LGE 50 nižjo vlažnost od kontrolnih vzorcev. Po 53 dnevih navlaževanja na zraku, smo določili naslednje vrednosti. Kontrolni vzorec je dosegel vlažnost 12,9 %, vzorci impregnirani z emulzijo (LGE 50) in borovo kislino ($c_B = 0,1 \%$) 11,6 %, tretja skupina vzorcev impregnirana z emulzijo (LGE 50) in borovo kislino ($c_B = 0,5 \%$) 12,9 % in skupina vzorcev impregniranih z emulzijo (LGE 50) brez borovih učinkovin pa 11,4 %.

Izkazalo se je, da je pri uravnovešanju na zraku, tako kot pri navlaževanju v vodi dodatek emulzije LGE upočasnil navlaževanje impregniranega lesa. To je še posebej očitno pri vzorcih impregniranih z emulzijo LGE 50 in borovo kislino najvišje koncentracije. Vlažnost lesa impregniranega s tem pripravkom se je ves čas približevala vlažnosti kontrolnega lesa in jo po 53 dneh ujela. Očitno je, da je montanski vosek le upočasnil, oziroma za določeno obdobje prekril velik vpliv borove kisline na sorpcijo z borovimi spojinami impregniranega lesa.

Vprašanje je kaj bi se z vlažnostjo lesa dogajalo če bi te vzorce uravnovešali še dlje. Ali bi vlažnost lesa impregniranega z emulzijo LGE 50 in najvišjo koncentracijo bora celo presegla vlažnost kontrolnih vzorcev. Verjetno bi se vlažnosti v daljšem časovnem obdobju skoraj izenačili.

4.2.5 Vpliv impregnacije z vodno emulzijo (LGE 100) in raztopino borove kisline na navlaževanje impregniranega lesa v komori z 80 % RZV

4.2.5.1 Vpliv impregnacije kontrolnega vzorca, vzorca zaščitenega z vodno emulzijo (LGE 100) in raztopino borove kisline pri navlaževanju lesa v komori z 80 % RZV



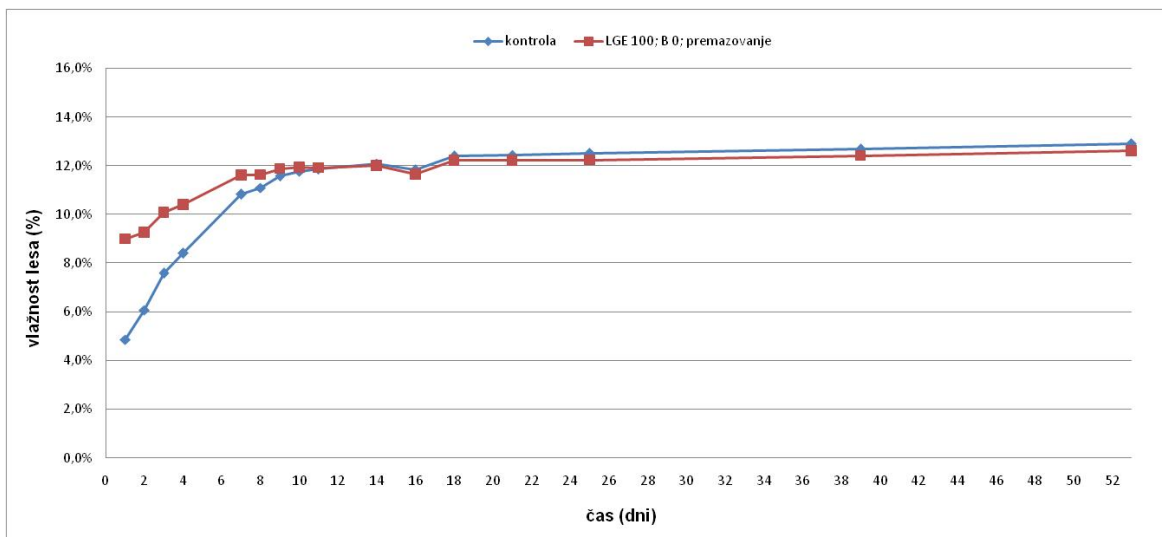
Slika 27: Vpliv impregnacije z emulzijo montanskega voska LGE 100 in vodno raztopino borove kisline na spremembo vlažnosti med kondicioniranjem pri 80 % RZV (n = 10)

Impregnacija vzorcev z različnimi kombinacijami emulzije LGE 100 in borove kisline se v vseh primerih odraža v bistveno nižjih vlažnostih v primerjavi s kontrolnimi vzorci. Ta razlika je višja na začetku, proti koncu uravnovešanja pa prične upadati. To nakazuje na to, da emulzija LGE tvori bariero, ki močno upočasni difuzijo vode v les, vendar je ne prepreči. Indikativen je tudi podatek, da je bila vlažnost vzorcev prepojenih z emulzijo LGE 100 nižja od vlažnosti vzorcev prepojenih z emulzijo LGE 50 (Sliki 26 in 27).

Dodatek borove kisline emulziji LGE 100 za razliko od emulzije LGE 50 ni imel tako izrazitega vpliva. Vzorci prepojeni z emulzijo LGE 100 in kombinacijo emulzije LGE in borove kisline so imeli na koncu uravnovešanja primerljive vlažnosti okoli 11 %.

Tako so imeli kontrolni vzorci po 53 dneh navlaževanja vlažnost 12,9 %, vzorci prepojeni z emulzijo LGE 100 10,9 %, smrekovina impregnirana z emulzijo LGE 100 in borovo kislino ($c_B = 0,1$ %) 11,1 % in vzorec prepojen z emulzijo LGE 100 in borovo kislino ($c_B = 0,5$ %) 11,2 % (Slika 27). Menimo, da je tudi v tem primeru emulzija upočasnila difuzije vodne pare v lesne vzorce in s tem vplivala na ravnovesno vlažnost lesa.

4.2.5.2 Vpliv impregnacije kontrolnega vzorca in vzorca premazanega z vodno emulzijo (LGE 100) pri navlaževanju v komori z 80 % RZV



Slika 28: Vpliv impregnacije z emulzijo montanskega voska LGE 100 na spremembo vlažnosti med kondicioniranjem pri 80 % RZV (n = 10)

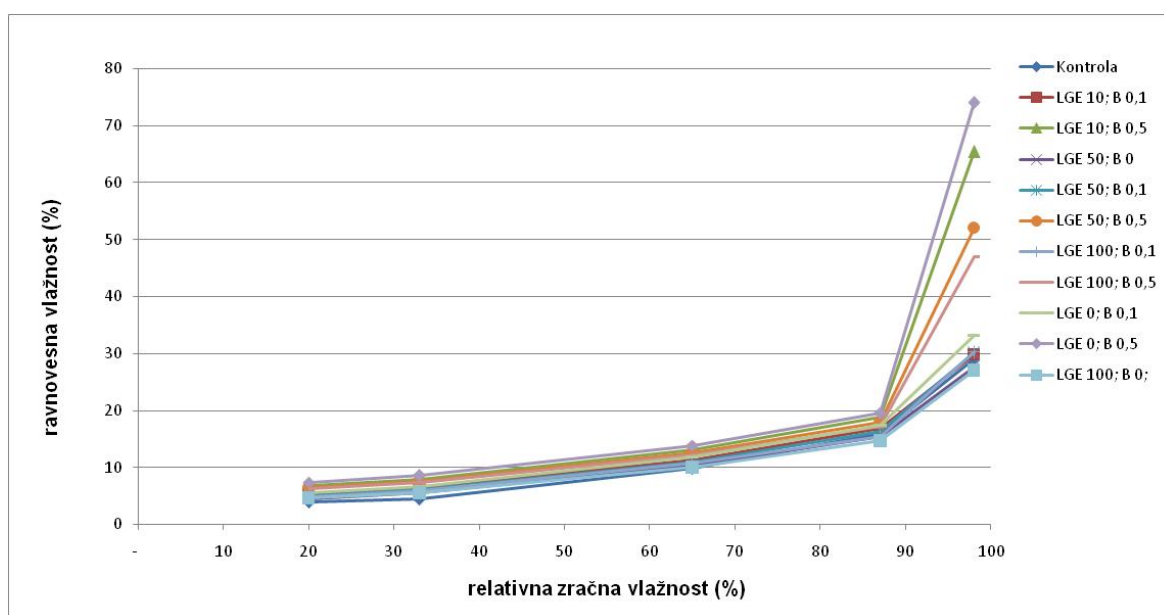
Lesar in sod. (2008) navajajo, da ima premazovanje vzorcev boljši učinek na zmanjšanje navlaževanja kot impregnacija, vendar to v našem primeru ne drži. Tako kot pri navlaževanju v vodi, je vlažnost premazanih vzorcev z vodno emulzijo LGE 100, na koncu poizkusa primerljiva z vlažnostjo kontrolnih vzorcev. Na začetku je vlažnost premazanih vzorcev celo nekoliko višja od vlažnosti kontrolnih vzorcev. Po prvem dnevu navlaževanja je razlika 4,1 odstotne točke. Ta razlika se je po prvem dnevu pričela manjšati in se je po desetem dnevu uravnovešanja skoraj povsem izenačila. Na koncu je bila vlažnost kontrolnih vzorcev 12,9 %, vlažnost premazanih pa 12,6 % (Slika 28).

4.3 DOLOČANJE SORPCIJSKIH KRIVULJ

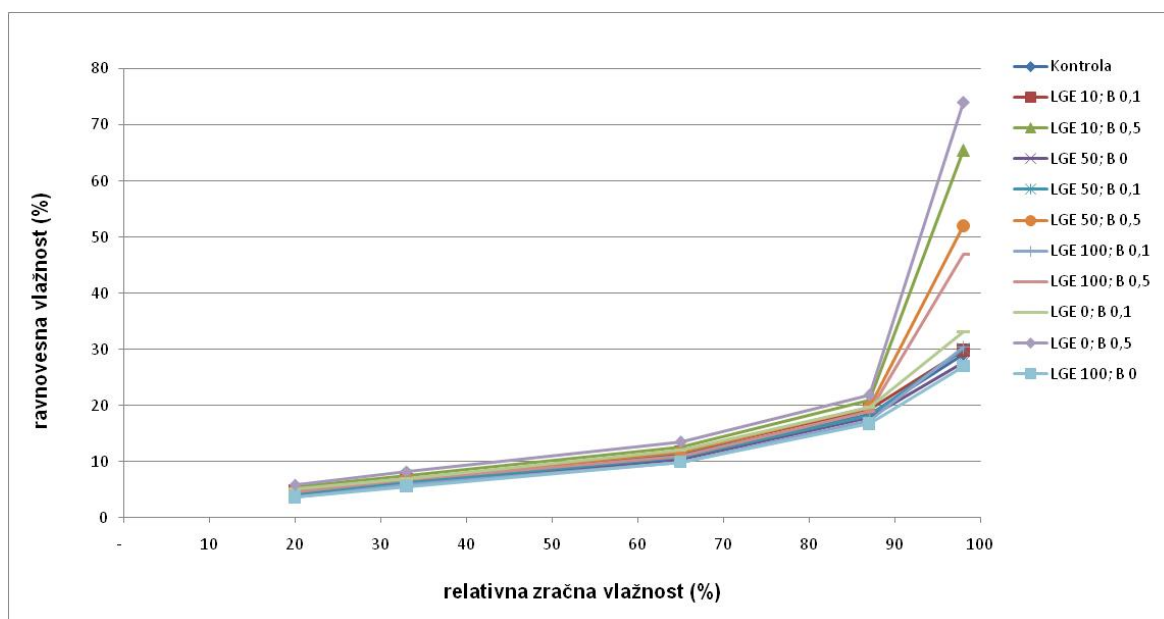
Les je zaradi svoje specifične kemične zgradbe in velike notranje površine sten higroskopen, zato v nihajočih klimatskih razmerah niha tudi lesna vlažnost. V stabilnih razmerah doseže les higroskopsko ravnovesje oziroma lesno ravnovesno vlažnost (u_r).

V nadaljevanju smo proučevali sorpcijske karakteristike impregniranega lesa z borovo kislino različnih koncentracij ($c_B = 0,1$ %) ($c_B = 0,5$ %) in LGE emulzije montanskega voska koncentracije (10, 50 in 100 %) na celotnem higroskopskem območju v procesu adsorpcije in desorpcije.

4.3.1 Adsorpcija in desorpcija



Slika 29: Adsorpcijske krivulje smrekovine zaščitene z različnimi pripravki na osnovi LGE emulzije in borove kisline

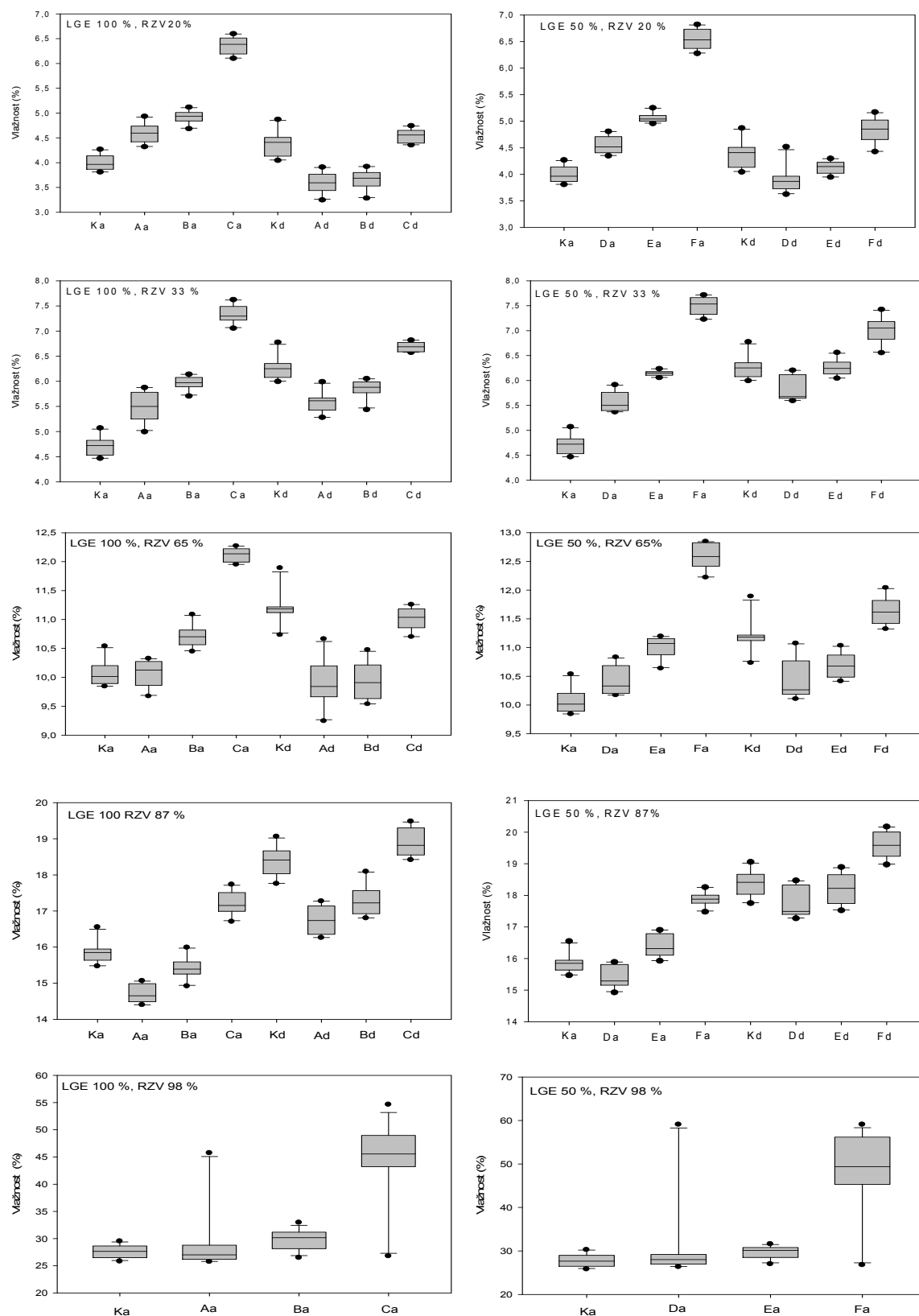


Slika 30: Desorpcijske krivulje smrekovine zaščitene z različnimi pripravki na osnovi LGE emulzije in borove kisline

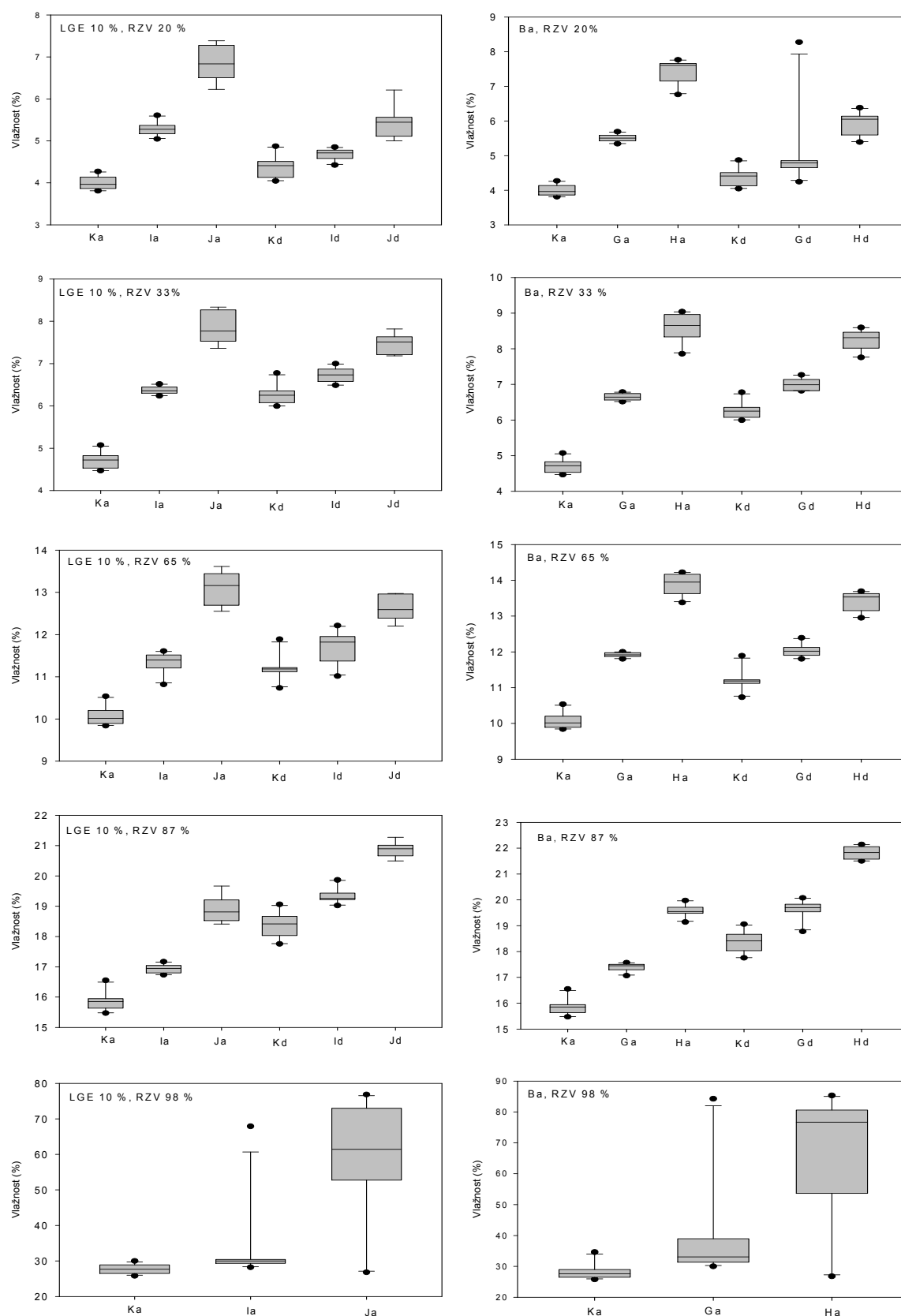
Na slikah 29 in 30 so prikazane vlažnosti impregnirane in neimpregnirane smrekovine pri uravnovešanju v petih različnih klimah v procesu adsorpcije in desorpcije. Kontrolni vzorec je v procesu adsorpcije pri 98 % relativni zračni vlažnosti (RZV) dosegel ravnovesno vlažnost 29,12 %. Nižjo ravnovesno vlažnost od kontrolnega vzorca sta dosegla le dva vzorca impregnirana z emulzijo LGE 50 (27,69 %) in emulzijo koncentracije LGE 100 (27 %). Smrekovina impregnirana z borovo kislino ($c_B = 0,5$ %) je dosegla najvišjo ravnovesno vlažnost v celotnem poizkusu (74 %).

Pri rezultatih desorpcije so se pojavila določena odstopanja-težave, ki jih ne znamo pojasniti. Vlažnosti nekaterih vzorcev so nižje v procesu desorpcije, kot v procesu adsorpcije. Vzrokov za ta nepričakovana odstopanja ne poznamo. Menimo, da ni prišlo do eksperimentalne napake, saj je bil celoten poizkus izveden v enakih pogojih, tako postopek adsorpcije, kot tudi postopek desorpcije. Zaradi neskladja, nismo izračunali modelov.

Razlogov za nižje vlažnosti pri procesu desorpcije je več. Eden izmed njih je, da je pri uravnovešanju prišlo do kapljanja vode. Drugi razlog je lahko, da smo izvedli premalo ciklov adsorpcije in desorpcije. Nekateri strokovnjaki menijo, da se prave sorpcijske lastnosti lesa izkažejo šele po več ciklih adsorpcije in desorpcije.



Slika 31: Primerjava ravnovesnih vlažnosti doseženih v petih relativnih zračnih vlažnostih v procesu adsorpcije (a) in desorpcije (d) na vzorcih impregniranih z LGE emulzijo koncentracije (100 % in 50 %) in borove kisline ($c_B=0,5$ % in $c_B=0,1$ %). Okrajšave so razvidne v preglednici 8



Slika 32: Primerjava ravnovesnih vlažnosti doseženih v petih relativnih zračnih vlažnostih v procesu adsorpcije (a) in desorpcije (d) na vzorcih impregniranih z LGE emulzijo koncentracije (10 %) in borove kisline ($c_B = 0,5 \%$ in $c_B = 0,1 \%$). Okrajšave so razvidne v preglednici 8

Preglednica 8: Prikaz simbolov-okrajšav na slikah 31 in 32

Ka	kontrolni vzorec v procesu adsorpcije
Kd	kontrolni vzorec v procesu desorpcije
Ba	borova kislina
LGE	emulzija montanskega voska
RZV	relativna zračna vlažnost
Aa	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 100 %, v procesu adsorpcije
Ba	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 100 % in borovo kislino $c_B = 0,1$ %, v procesu adsorpcije
Ca	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 100 %, in borovo kislino $c_B = 0,5$ %, v procesu adsorpcije
Ad	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 100 %, v procesu desorpcije
Bd	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 100 % in borovo kislino $c_B = 0,1$ %, v procesu desorpcije
Cd	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 100 %, in borovo kislino $c_B = 0,5$ %, v procesu desorpcije
Da	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 50 %, v procesu adsorpcije
Ea	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 50 % in borovo kislino $c_B = 0,1$ %, v procesu adsorpcije
Fa	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 50 %, in borovo kislino $c_B = 0,5$ %, v procesu adsorpcije
Dd	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 50 %, v procesu desorpcije
Ed	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 50 % in borovo kislino $c_B = 0,1$ %, v procesu desorpcije
Fd	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 50 %, in borovo kislino $c_B = 0,5$ %, v procesu desorpcije
Ia	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 10 % in borovo kislino $c_B = 0,1$ %, v procesu adsorpcije
Ja	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 10 %, in borovo kislino $c_B = 0,5$ %, v procesu adsorpcije
Id	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 10 % in borovo kislino $c_B = 0,1$ %, v procesu desorpcije
Jd	vzorec impregniran z emulzijo voska LGE 10 % in borovo kislino $c_B = 0,5$ %, v procesu desorpcije
Ga	vzorec impregniran z borovo kislino $c_B = 0,1$ %, v procesu adsorpcije
Ha	vzorec impregniran z borovo kislino $c_B = 0,5$ %, v procesu adsorpcije
Gd	vzorec impregniran z borovo kislino $c_B = 0,1$ %, v procesu desorpcije
Hd	vzorec impregniran z borovo kislino $c_B = 0,5$ %, v procesu desorpcije

Na slikah 31 in 32 so prikazane primerjave ravnovesnih vlažnosti impregniranega lesa, doseženih po uravnovešanju pri petih različnih relativnih zračnih vlažnosti v procesu adsorpcije in desorpcije. Povprečne ravnovesne vlažnosti za vsa sredstva in koncentracije nakazujejo značilno sigmoidno obliko sorpcijske krivulje.

Na ravnovesna stanja impregniranega lesa znatno vpliva vrsta zaščitnega pripravka (slika 29 in 30). Pri nižjih relativnih zračnih vlažnosti so razlike v vlažnosti impregniranega in kontrolnega vzorca lesa minimalne, pri višjih zračnih vlažnosti pa se razlike povečujejo.

Pri zračni vlažnosti 20 %, so bile ravnovesne vlažnosti lesa impregniranega z emulzijo montanskega voska koncentracij (10, 50 in 100 %) in borove kisline ($c_B = 0,1$ % in $c_B = 0,5$ %) v procesu adsorpcije povsod višje od ravnovesnih vlažnosti kontrolnega vzorca. Z naraščanjem deleža koncentracije borove kisline v impregniranih vzorcih se kaže tudi trend naraščanja ravnovesne vlažnosti. O podobnih rezultatih poroča tudi Lesar s sodelavci (2009a).

Vlažnost vzorcev impregniranih z borovo kislino koncentracije ($c_B = 0,5$ %) pri 98 % relativni zračni vlažnosti, je v povprečju kar trikrat višja od vlažnosti kontrolnih vzorcev (74 %). Tudi pri ostalih vzorcih ki so bili impregnirani z emulzijo z dodatkom borove kisline in uravnovešeni pri 98 % relativni zračni vlažnosti, je vlažnost impregniranih vzorcev, bistveno višja od vlažnosti kontrolnih vzorcev. Dosegli smo naslednje vlažnosti. Kontrolni vzorec je dosegel vlažnost 29,12 %, vzorec impregniran z emulzijo LGE 100 in borove kisline ($c_B = 0,5$ %) 46,95 %, vzorec impregniran z emulzijo LGE 50 in borove kisline ($c_B = 0,5$ %) 52 % in vzorec impregniran z emulzijo LGE 10 ($c_B = 0,5$ %) 64,45% (Sika 31 in 32). Iz teh podatkov je razvidno, da dodatek borove kisline bistveno poveča higroskopnost lesa.

Razlogov za to je več. Borova kislina ima kristalinično strukturo. Ramos in sodelavci (2006) sklepajo, da se borova kislina v les veže le fizikalno. Iz tega lahko sklepamo, da ni prišlo do spremembe v zgradbi lesa, kar pomeni, da se borova kislina v lesu nahaja v obliki manjših ali večjih kristalov, ki so se odložili v celični steni in lumnih celic. Kristali se ob spremembi vlažnosti raztapljajo in rekristlizirajo, saj absorbirana voda v impregniranih vzorcih deluje kot topilo (Humar 2006a). Med kristali so tudi številne pore, kjer se pri vlažnosti nad 90 % kondenzira kapilarna voda (Mengel, 2000). Očitno je, da ima borova kislina nasproten učinek kot jedrovinske snovi katere v zgornjem higroskopskem območju znižujejo vlažnost (Choong in Achmadi, 1991).

Poleg tega se iz zgornjih podatkov vidi, da dodatek emulzije prekrije higroskopnost borove kisline. Višji ko je delež emulzije LGE nižja je vlažnost lesa impregniranega s pripravki na osnovi emulzije LGE in borove kisline. Emulzija LGE je znana po tem, da lahko tvori tanke slabo prepustne filme. Verjetno so se ti filmi tvorili tudi na zunanji strani celičnih lumnov, kar je upočasnilo prodiranje vode v les.

Vlažnost lesa pa je še posebej pomembna ravno pri lesu impregniranem z borovimi pripravki. Na podlagi literaturnih podatkov vemo, da je izpiranje borovih učinkovin v dobri korelaciji z vlažnostjo lesa. Višja kot je vlažnost, več bora se izpere iz lesa (Peylo, 1995; Peylo in Willeitner, 1995; Kartal in od., 2004; Baysal in sod., 2006) Takoj, ko je vlažnost lesa dovolj visoka, se izpiranje prične. Difuzija bora iz lesa se močno pospeši pri vlažnostih višjih od 20 % (Peylo in Willeitner, 1995). Zato je vsako znižanje ravnovesne vlažnosti dobrodošlo in vpliva na učinkovitost zaščite pred lesnimi glivami.

5 SKLEPI

Raziskovalno delo v okviru diplomske naloge lahko povzamemo v naslednjih ugotovitvah.

- Impregnacija lesa z zaščitnim pripravkom vpliva na vlažnost lesa.
- Dodatek emulzije LGE je upočasnil navlaževanje impregniranega lesa.
- Vlažnost vzorcev zaščitnih z emulzijo LGE 100 je bila pri navlaževanju v vodi v večini primerov višja od vlažnosti vzorcev prepojenih z emulzijo LGE 50. Pri uravnovešanju na zraku je bil rezultat ravno obraten. Vzorci zaščitni z emulzijo LGE 100 so dosegli nižje vlažnosti od vzorcev prepojenih z emulzijo LGE 50.
- Vzorci prepojeni z vodno raztopino borove kisline so bili bolj higroskopni kot neimpregnirani vzorci.
- Vpliv borove kisline na vlažnost je pri uravnovešanju na zraku viden že prvi dan, medtem ko pri navlaževanju v vodi tega v prvih dneh namakanja nismo opazili.
- Vlažnost lesa impregniranega z vodno raztopino borove kisline je premo sorazmerna s koncentracijo borove kisline v zaščitnem pripravku.
- Na podlagi naših in literarnih podatkov o izpiranju sklepamo, da se višja vlažnost impregniranega lesa odraža tudi v višjem izpiranju. Tudi zato je uporaba borovih spojin za zaščito lesa omejena na uporabo v prvem in drugem razredu izpostavitve.
- Kombinacija emulzija LGE in borove kisline izboljša delovanje proti glivam razkrojevalkam, in se odraža tudi v ugodnejših sorpcijskih lastnostih impregniranega lesa.
- Ravnovesne lesne vlažnosti impregniranih vzorcev so odvisne od impregnacijskega pripravka in njegove koncentracije.
- V literaturi navajajo, da ima premazovanje vzorcev boljši učinek na zmanjšanje navlaževanja kot impregnacija, vendar tega mi v našem primeru ne moremo potrditi.

6 POVZETEK

Po uveljavitvi Direktive o biocidnih proizvodih je bila umaknjena večina biocidnih učinkovin. Vzporedno z dogajanjem na zakonodajnem področju se dviguje tudi okoljska zavest kupcev, ki se vedno bolj izogibajo kemikalijam. Prav to sta dva glavna vzroka, da trenutno zelo pridobivajo na pomenu nebiocidne rešitve za zaščito lesa. Ena izmed zelo uspešnih alternativ je uporaba vodnih emulzij montanskega voska. Za doseganje boljših fungicidnih lastnosti, emulzije montanskega voska kombiniramo z borovimi učinkovinami. Znano je, da so borove spojine odlični fungicidi in insekticidi in, da imajo zelo malo škodljivih vplivov na okolje. Njihova slabost je, da se iz lesa izpirajo, po drugi strani pa spodbujajo rast gliv in plesni. V raziskavi smo preizkusili eno izmed možnih alternativ, da smo montanskemu vosku dodali borove spojine in s tem skušali izboljšati učinkovitost zaščitnega pripravka.

Eksperimentalno delo smo zasnovali na vprašanju, ali bo impregnacija z vodnimi emulzijami voskov upočasnila adsorpcijo vode v impregniran les in če bo dodatek montanskega voska zmanjšal higroskopsnost lesa zaradi impregnacije z borovimi spojinami. Vsi vzorci so bili izdelani iz smrekovine in impregnirani z različnimi koncentracijami montanskega voska in borove kisline.

Ugotovili smo, da je kombinacija emulzije in borove kisline povečala njeno učinkovitost in upočasnila navlaževanje lesa. Z dodajanjem LGE emulzije borovim kislina smo ravnovesno vlažnost lesa med namakanjem zmanjšali in posledično verjetno tudi zmanjšali ali vsaj upočasnili tudi izpiranje borovih učinkovin iz vzorcev. Vpliv borove kisline na vlažnost je pri navlaževanju na zraku viden že prvi dan, saj se vzorci impregnirani z borovo kislino navlažujejo hitreje kot kontrolni vzorci, medtem ko pri navlaževanju v vodi na začetku tega nismo opazili.

Vzporedno smo določali tudi sorpcijske krivulje z uravnovešanjem pri petih relativnih zračnih vlažnostih v procesu adsorpcije in desorpcije. Ugotovili smo, da ravnovesne vlažnosti impregniranih vzorcev odvisne od impregnacijskega pripravka in njegove koncentracije. Ta vpliv je še posebno dobro viden pri smrekovini uravnovešeni pri najvišji

zračni vlažnosti. Ravnovesna vlažnost je v največji meri odvisna od uporabljenih zaščitnih sredstev. Pri posameznih sredstvih se vlažnost sorazmerno povečuje z deležem borovih učinkovin v lesu. Po drugi strani emulzija LGE ravnovesne vlažnosti znižuje. Zaradi višjih ravnovesnih vlažnosti lesa impregniranega z borovo kislino v primerjavi z emulzijo LGE impregnirane smrekovine, pri vlažnejših vzorcih prihaja do hitrejše difuzije in s tem intenzivnejšega izpiranja iz lesa. Poleg tega nižje ravnovesne vlažnosti z LGE emulzijami impregniranega lesa predstavljajo slabše pogoje za rast in razvoj gliv, kar pozitivno vpliva na trajnost lesa.

7 VIRI

1. Barkas W.W. 1942. Wood water relationships—VII. Swelling pressure and sorption hysteresis in gels. *Trans. Faraday Soc*, 38: 194-209
2. Baysal E., Sonmez A., Colak M., Toker H. 2006. Amount of leachant and water absorbtion levels of wood treated with borates and water repellents. *Bioresource Technology*, 97: 2271-2279
3. Beachler R. H., Roth H. 1956. Laboratory leaching and decay tests on pine and oak blocks treated with several preservative salts. *Proc. AWPA*: 24-34
4. Becker G. 1959. Beitrag zur Kenntnis der Wirksamkeit von Borverbindungen als Holzschutzmittel gegen Insekten und Pilze. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 12: 483-489
5. Biocidal Prooducts Directive (98/8/EC). 1998. Official Journal of the European Communities L. 123: 1-63
6. Carr D. 1964. Diffudion impregnation for House Timbers Part 2. *International Pest Control*: 13-19
7. Carlile M., Watkison S.C. 1994. *The gungi*. London, Academic press limited: 482 str.
8. Choong E.T., Achmadi S.S. 1991. Effect of extractives on moisture sorption and shrinkage in tropical woods. *Wood and Fibre Science*, 23, 2: 185-196
9. Cyberlipid 2008. Waxes. <http://www.cyberlipid.org/wax/wax0001.htm#top> (19.8.2008)
10. Drysdale J. 1994. Boron Treatments for the Preservation of Wood. A Review of efficacy data for fungi and termites. International Research Group for Wood Preservation. IRG/WP 94-30037: 21 str.
11. Findlay W. 1956. The toxicity of borax to wood-rotting fungi. *Timber Technology and Machine Woodworking*, 61: 275-276
12. Foncepi A. 2008. Carnauba. <http://www.foncepi.com.br/eng/products.asp#topo> (27.8.2008)
13. Freitag C., Morrell J. J. 2005. Developmant of Threshold values for boron an fluoride in non soil contact applications. *Forest Products Journal*, 55, 4: 97-101

14. Gorišek Ž. 2005. Zgradba in lastnosti njegova variabilnost in heterogenost. Interno gradivo za predmet Tehnologija lesa.
15. Hartley I. D., Kamke F. A., Peemoeller F. J. 1992. Cluster theory for water sorption in wood. *Wood Science and Technology*, 26, 1: 83-99
16. Heinrichs F. L. 2003. Montan wax. V: *Ullman's encyclopedia of industrial chemistry*. Vol. 39. 3. Bhonet M. izdaja (Ur.). Weinheim, Wiley-VCH: 154-159
17. Hillier B., Murphy R. 2000. Life Cycle Assessment Benefits of Preserved Wood. *Journal of the Institute of Wood Science*, 16: 170-175
18. Humar M. 2004a. Zaščita lesa danes-jutri. *Les*, 56, 6: 184-188
19. Humar M. 2004b. Zaščita lesa s kemičnimi sredstvi. *Kemija v šoli*, 16, 3: 21-26
20. Humar M. 2006a. Sorpcijske lastnosti lesa zaščenega s pripravki na osnovi bakra in etanolamina. *Les*, 58, 11-12: 348-352
21. Humar M. 2006b. Zaščita lesa. *Zapiski iz predavanj*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
22. Humar M. 2008. Zaščita lesa - kam gremo? = Wood protection - where are we going?. V: Kitek Kuzman, Manja (ur.). *Gradnja z lesom - izziv in priložnost za Slovenijo*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 102-107
23. 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.
24. Jonge I. J. 1987. The efficacy of boon preparations. *International Research Group for Wood Preservation*. IRG/WP 3400, 7 str.
25. Kartal S., Yoshimura T., Imamura Y. 2004. Decay and termite resistance of boron-treated and chemically modified wood by in situ co-polymerization of allyl glycidyl ether (AGE) with methyl methacrylate (MMA). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 53: 111-117
26. Kartal N. S., Hwang W. J., Yamamoto A., Tanaka M., Matsumura K., Imamura Y. 2007. Wood modification with a commercial silicon emulsion: Effects on boron release and decay and termite resistance. *International Biodeterioration & Biodegradation*, doi. 10.1016/j.ibiod.2007.3.002: 8 str. (18.2.2009)

27. Kervina – Hamović L. 1990. Zaščita lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo 125-126
28. Kranjc K. 2003. Nova evropska kemijska zakonodaja-REACH. Standardizacija, 9: 11-13
29. Le Van S., Tran H. 1990. The role of boron in flame retardant treatments. V: First internacional conference on wood protection with diffudible preservatives, Nashville: 39-41
30. Lesar B., Humar M. 2007a. Ljubljana. Borove spojine za zaščito lesa. Zgodovina in toksične lastnosti. Les, 59, 8: 177-180
31. Lesar B., Humar M. 2007b. Ljubljana. Borove spojine za zaščito lesa. Vezava v les ter fungicidne in insekticidne lastnosti. Les, 59, 9-10: 216-222
32. Lesar B., Kralj P., Pohleven F., Humar M. 2008. Montan wax reduces boron leaching from impregnated wood. V: Caldeira, Fernando Jorge (ur.). Proceedings of Ecowood 2008. Porto, Fernando Pessoa University: 267-272
33. Lesar B., Humar M., Gorišek Ž. 2009a. Sorption Properties of Wood Impregnated with Boron Compounds, Sodium Chloride and Glucose. Drying Technology, 27: 1-9
34. Lesar B., Petrič M., Kričej B., Humar M. 2009b. Ljubljana. Voski in njihova uporaba v lesarstvu. Les, 61, 5: 188-194
35. Llyod J. 1996. International status of borate preservative systems. Second International Conference on Wood Protection with Diffusible Preservatives and Pesticides: 9 str.
36. Lloyd J.D. 1998. Borates and their biological applications. International Research Group for Wood Preservation. IRG/WP 30178: 26
37. Lutz M. 2001. Natural montan wax and its raffinates, Eurpean Journal of Lipid Science and Tehnology, 103: 239-248
38. Mengel A. 2000: Identifying physical and chemical phenomena with gravimetric water sorption analysis. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 62: 529-537
39. Mihevc V., Tišler V., Kranjc, A. 1994. Odpornost voskanih površin na reagente in toploto. Les, 46: 10-13

40. Mohareb A., Van Acker J., Stevens M. 2004. Leachability and efficacy of fatty acid derived boron esters as wood preservatives. International Research Group for Wood Preservation. IRG/WP 30351: 10 str.
41. Morrell J., Sexton C., Preston A. 1990. Effect of moisture content of Douglas-fir heartwood on longitudinal diffusion of boron from fused borate rods. Forest Product Journal, 40, 4: 37-40
42. Morrell J., Sexton C., Archer K. 1992. Diffusion of boron from fused borate rods through selected woods. Forest Products Journal, 42, 7/8: 41-44
43. Morrell J., Freitag C. 1995. Effect of moisture content of boron-based biocides through Douglas-fir and western hemlock lumber. Forest product Journal, 45, 3: 51-55
44. Okorn T. 1999. Vpliv biocidnih borovih zaščitnih sredstev za gorljivost lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 54 str.
45. Orsler R., Holland G. 1993. The rate of redistribution and loss of leachable preservatives under service conditions. International Research Group for Woodn Preservation. IRG/WP 30026: 16 str.
46. Petrič M. 2007. Površinska obdelava lesa. Zapiski iz predavanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
47. Peylo A. 1995. Auswaschung von Boraten aus chemisch geschutztem Holz. Dissertation. Hamburg, Universität Hamburg: 145 str.
48. Peylo A., Willeitner H. 1995. The Problem of Reducing the Leachability of Boron by Water Repellents. Holzforschung, 49: 211-216
49. Peylo A., Willeitner H. 1997. Leaching of Boron-more than 3 years of field exposure. International Research Group for Woodn Preservation. IRG/WP 30143: 8 str.
50. Peylo A., Willeitner H. 1999. Five years leaching of Boron. International Research Group for Woodn Preservation. IRG/WP 30195: 7 str.
51. Pizzi A., Beacker A. 1996. A new boron fixation mechanism for Environment Friendly Wood Preservatives. Holzforschung, 50: 507-510
52. Preston A. 2000. Wood preservation-Trends of today that will influence the industry tomorrow. Forest Products Journal, 50: 12-19

53. Ra J., Barnes H., Connors T. 2002. Predicting boron diffusion in wood from surface sorption. *Forest Products Journal*, 50, 10: 67-70
54. Ramos A.M., Calderia J.F., Botelho C. 2006. Boron fixation in wood. Studies of fixation mechanisms using model compounds and maritime pine. *Holz als Roh und Werkstoff*, 64: 445-450
55. Rep G., Pohleven F. 2002. Wood modification – a promising method for wood preservation = Modifikacija drva – obetavejuća metoda za zaštiti drva. *Drvena industrija*, 52, 2: 71-76
56. Schoeman M., Lloyd J., Manning M. 1998. Movement of borates in a range of timber species at various moisture contents. International Research Group on Wood Preservation. IRG/WP 30181: 8 str.
57. SIST EN 335-1/2. 1992. Durability of wood and derived materials – definition of hazard classes of biological attack – part 1 and 2: 13 str.
58. SIST EN 350-2. 1995 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: 42 str.
59. SIST EN 12830. 2001 Registratorji temperature za transport, skladiščenje in prodajo hladne, zamrznjene, globoko zamrznjene/hitro zamrznjene hrane in sladoleda - Preskusi, značilnosti, ustreznost - Temperature recorders for the transport, storage and distribution of chilled, frozen, deep-frozen/quick-frozen food and ice cream - Tests, performance, suitability
60. Skaar C. 1972. Water in wood. New York, Syracuse University Press: 218 str.
61. Skaar C. 1988. Wood Water relations. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Springer Verlag: 283 str.
62. Spiller D., Danne R. 1948. The lerval transfer method of determining toxicity of timber preservatives to *Anobium Punctatum*. *New Zealand Journal Science Technology*, 30: 127-139
63. Unger A., Schniewind A. P., Unger W. 2001. Conservation of wood Artifacts. Berlin, Springer: 165-265
64. Voh B. 2001. Izpiranje spojine borove kisline in etanolamina iz lesa, premazanega z lazurami. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 60 str.

65. Wilkinson J. G. 1979. Industrial timber preservation. London, Associated Business Press: 478 str.
66. Wolfmeier U. 2003. Waxes. V: Ullman's encyclopedia of industrial chemistry, Vol. 39. 3. Bhonet M. Wiley-VCH, izdaja (Ur.), Weinheim: 136-141

ZAHVALA

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

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

Zahvaljujem pa se tudi staršem, ki so mi omogočili študij in me podpirali, ko je bilo to najbolj potrebno.

PRILOGE

Priloga 1: Prikaz dobljenih rezultatov vpliva impregnacije na navlaževanje impregniranih in kontrolnih smrekovih vzorcev v vodi.

Čas (dni)			0,001	0,010	0,031	0,048	0,083	0,167	1
Sredstvo	koc. LGE	Koncent. B	Vlažnost lesa (%)						
kontrola			6,8% (1,2%)	8,8% (1,4%)	10,5% (1,1%)	12,6% (1,8%)	13,9% (1,9%)	16,1% (2,3%)	29,4% (4,1%)
LGE	50	0,1	3,5% (1,3%)	4,3% (1,5%)	5,8% (1,4%)	6,6% (1,2%)	7,9% (1,1%)	9,7% (1,0%)	19,7% (1,4%)
LGE	50	0,5	3,4% (2,1%)	5,6% (0,9%)	6,6% (0,7%)	7,6% (0,7%)	8,6% (0,9%)	11,0% (0,9%)	21,3% (0,8%)
LGE	50	0	4,3% (0,3%)	5,6% (0,4%)	6,5% (0,6%)	7,5% (0,7%)	8,3% (0,7%)	9,8% (0,7%)	20,1% (1,2%)
LGE	100	0,1	3,1% (0,9%)	5,1% (0,9%)	5,6% (0,9%)	6,4% (1,2%)	6,8% (1,2%)	8,8% (1,3%)	17,8% (1,4%)
LGE	100	0,5	3,6% (0,9%)	5,1% (1,2%)	6,3% (1,6%)	7,1% (0,9%)	8,0% (1,1%)	9,9% (1,3%)	19,3% (1,6%)
LGE	100	premazovanje	8,7% (1,7%)	9,9% (1,7%)	12,2% (1,9%)	13,4% (2%)	14,8% (2,1%)	17,1% (2,1%)	32,6% (3,5%)
LGE	100	0	4,1% (0,7%)	5,1% (0,6%)	6,2% (0,8%)	6,9% (0,7%)	7,6% (0,6%)	9,1% (0,9%)	18,9% (3,2%)
LGE	0	0,1	7,2% (0,7%)	9,7% (0,5%)	12,6% (1,5%)	13,7% (1,4%)	15,6% (1,7%)	18,6% (2,2%)	33,6% (4,6%)
LGE	0	0,5	10,2% (1,4%)	12,5% (1,5%)	15,2% (1,7%)	16,7% (1,8%)	18,2% (1,8%)	21,6% (2,0%)	39,8% (4,9%)

Čas (dni)			2	3	4	7	8	9	10
Sredstvo	koc. LGE	Koncent. B	Vlažnost lesa (%)						
kontrola			40,1% (5,7%)	49,4% (6,9%)	56,4% (7,7%)	69,2% (9,7%)	73,5% (10,3%)	77,6% (11%)	81,1% (11,5%)
LGE	50	0,1	26,8% (1,6%)	33,4% (2,2%)	38,8% (3,3 %)	54,2% (5,4%)	56,8% (5,7%)	59,5% (5,5%)	61,6% (5,6%)
LGE	50	0,5	27,6% (1%)	32,8% (1,3%)	37,4% (1,7%)	52,3% (3,1%)	55,1% (3,3%)	57,6% (3,4 %)	60,0% (3,9%)
LGE	50	0	30,1% (1,9%)	38,0% (2,3%)	45,0% (2,7%)	59,1% (3,6%)	62,7% (3,8%)	66,1% (4%)	69,4% (4,2%)
LGE	100	0,1	25,3% (2,2%)	31,4% (2,6%)	37,0% (3,4%)	50,2% (5,4%)	53,2% (6,0%)	55,8% (6,1%)	57,7% (6,2%)
LGE	100	0,5	25,6% (2%)	30,7% (2,2%)	35,7% (2,9%)	50,1% (4,2%)	53,0% (4,4%)	56,0% (4,6%)	58,8% (4,4%)
LGE	100	premazovanje	42,8% (4,4%)	51,7% (5,1%)	57,0% (5,3%)	68,5% (6,3%)	72,5% (6,8%)	76,8% (7,2%)	80,6% (7,6%)
LGE	100	0	29,6% (5,4%)	38,6% (6,8%)	46,2% (7,8%)	60,2% (7,9%)	63,5% (7,7%)	66,6% (7,7%)	69,3% (7,7%)
LGE	0	0,1	44,1% (5,4%)	52,1% (6,1%)	58,2% (6,6%)	70,0% (8,5%)	73,4% (8,8%)	76,6% (9,3%)	80,3% (9,7%)
LGE	0	0,5	55,7% (7,6%)	65,5% (8,7%)	71,6% (9,4%)	84,1% (9,8%)	87,5% (9,9%)	91,6% (10,5%)	95,0% (10,8%)

Rezultati v preglednicah prikazujejo izračunano povprečno vrednost, v oklepaju pa standardni odklon.

Čas (dni)			11	14	18	21
Sredstvo	koc. LGE	Koncent. B	Vlažnost lesa (%)			
kontrola			83,9% (11,6%)	89,6% (11,7%)	96,0% (12,1%)	98,6% (11,7%)
LGE	50	0,1	63,7% (5,8%)	69,4% (5,5%)	76,0% (5,4%)	79,0% (5,5 %)
LGE	50	0,5	62,4% (4%)	68,7% (4,3%)	75,4% (4,9%)	79,0% (4,7%)
LGE	50	0	72,0% (4,3%)	76,4% (4,3%)	81,7% (4,2%)	85,1% (4,4%)
LGE	100	0,1	59,6% (6,5%)	64,3% (6,5%)	69,4% (6,4%)	72,1% (6,3%)
LGE	100	0,5	61,2% (4,4%)	66,7% (3,9%)	72,1% (3,7%)	74,9% (3,3%)
LGE	100	premazovanje	82,9% (7,4%)	87,5% (7,2%)	93,9% (6,6%)	96,2% (6,5%)
LGE	100	0	71,5% (7,4%)	75,8% (6,9%)	80,1% (6,7%)	82,3% (6,6%)
LGE	0	0,1	82,5% (9,5%)	87,0% (9,0%)	92,7% (8,8%)	96,7% (8,9 %)
LGE	0	0,5	97,2% (10,8%)	101,5% (10,6%)	106,0% (9,9%)	109,4% (9,8%)

Rezultati v preglednicah prikazujejo izračunano povprečno vrednost, v oklepaju standardni odklon.

Priloga 2: Prikaz dobljenih rezultatov vpliva impregnacije z različnimi kombinacijami vodne emulzije montanskega voska in borove kisline na spremembo vlažnosti med kondicioniranjem pri 80 % RZV

Čas (dni)			1	2	3	4	7	8	9	10
Sredstvo	konc. LGE	konc. B	Vlažnost lesa (%)							
kontrola			4,9% (0,6%)	6,1% (0,7%)	7,6% (0,9%)	8,4% (1%)	10,8% (1%)	11,1% (1%)	11,6% (0,9%)	11,8% (0,9%)
LGE	50	0,1	1,8% (0,7%)	2,5% (0,8%)	3,4% (1%)	3,9% (1%)	5,6% (1,3%)	6,0% (1,3%)	6,4% (1,4%)	6,7% (1,4%)
LGE	50	0,5	2,6% (0,8%)	3,6% (1%)	4,7% (1,1%)	5,5% (1,2%)	7,6% (1,5%)	8,0% (1,5%)	8,5% (1,6%)	8,8% (1,6%)
LGE	50	0	1,4% (0,3%)	2,1% (0,4%)	2,9% (0,5%)	3,5% (0,6%)	5,2% (0,7%)	5,6% (0,9%)	6,0% (0,9%)	6,4% (0,9%)
LGE	100	0,1	1,2% (0,3%)	1,8% (0,4%)	2,5% (0,5%)	3,0% (0,5%)	4,7% (0,7%)	5,0% (0,7%)	5,4% (0,8%)	5,7% (0,8%)
LGE	100	0,5	1,1% (0,4%)	1,7% (0,6%)	2,5% (0,7%)	3,0% (0,8%)	4,7% (1,1%)	5,0% (1,1%)	5,4% (1,2%)	5,7% (1,2%)
LGE	100	premazovanje	9,0% (1,5%)	9,3% (1,3%)	10,1% (1,2%)	10,4% (0,9%)	11,6% (0,5%)	11,6% (0,4%)	11,9% (0,4%)	11,9% (0,4%)
LGE	100	0	1,5% (0,7%)	2,2% (0,8%)	3,0% (1%)	3,6% (1,1%)	5,3% (1,4%)	5,6% (1,4%)	6,1% (1,5%)	6,4% (1,5%)
LGE	0	0,1	5,3% (0,5%)	6,7% (0,6%)	8,4% (0,6%)	9,3% (0,7%)	11,8% (0,6%)	12,0% (0,5%)	12,4% (0,5%)	12,5% (0,5%)
LGE	0	0,5	5,5% (0,9%)	6,9% (1,1%)	8,7% (1,3%)	9,6% (1,4%)	12,4% (1,6%)	12,7% (1,5%)	13,2% (1,5%)	13,4% (1,5%)

Čas (dni)			11	14	16	18	21	25	39	53
Sredstvo	konc. LGE	konc. B	Vlažnost lesa (%)							
kontrola			11,9% (0,8%)	12,1% (0,6%)	11,8% (0,5%)	12,4% (0,6%)	12,4% (0,5%)	12,5% (0,5%)	12,7% (0,4%)	12,9% (0,4%)
LGE	50	0,1	7,0% (1,5%)	7,9% (1,5%)	8,1% (1,5%)	8,7% (1,5%)	9,2% (1,4%)	9,8% (1,2%)	10,9% (0,7%)	11,6% (0,4%)
LGE	50	0,5	9,2% (1,7%)	10,2% (1,7%)	10,3% (1,7%)	11,0% (1,7%)	11,4% (1,6%)	11,8% (1,4%)	12,4% (0,8%)	12,9% (0,5%)
LGE	50	0	6,7% (1%)	7,7% (1,1%)	7,9% (1,1%)	8,5% (1,1%)	9,0% (1%)	9,7% (0,9%)	10,7% (0,5%)	11,4% (0,3%)
LGE	100	0,1	6,0% (0,8%)	7,3% (1,1%)	7,3% (0,9%)	7,9% (1%)	8,5% (1%)	9,2% (1%)	10,5% (0,6%)	11,1% (0,3%)
LGE	100	0,5	6,0% (1,3%)	6,9% (1,4%)	7,2% (1,4%)	7,8% (1,4%)	8,4% (1,4%)	9,1% (1,4%)	10,4% (1%)	11,2% (0,6%)
LGE	100	premazovanje	11,9% (0,4%)	12,0% (0,3%)	11,6% (0,3%)	12,2% (0,3%)	12,2% (0,3%)	12,2% (0,3%)	12,4% (0,3%)	12,6% (0,3%)
LGE	100	0	6,7% (1,5%)	7,6% (1,6%)	7,8% (1,5%)	8,4% (1,6%)	8,9% (1,5%)	9,4% (1,4%)	10,4% (0,9%)	10,9% (0,7%)
LGE	0	0,1	12,5% (0,4%)	12,9% (0,3%)	12,5% (0,3%)	13,0% (0,3%)	13,0% (0,3%)	13,1% (0,3%)	13,3% (0,2%)	13,4% (0,2%)
LGE	0	0,5	13,5% (1,2%)	14,0% (1%)	13,7% (0,8%)	14,3% (0,8%)	14,3% (0,7%)	14,4% (0,6%)	14,4% (0,6%)	14,5% (0,6%)

Rezultati v preglednicah prikazujejo izračunano povprečno vrednost, v oklepaju standardni odklon.

Priloga 3: Prikaz dobljenih rezultatov vpliva sušenja vzorcev z različnimi kombinacijami vodne emulzije montanskega voska in borove kisline

Čas (dni)			53	67	81	95	109
Sredstvo	konc. LGE	konc. B	Vlažnost lesa (%)				
kontrola			12,9% (0,4%)	3,7% (0,2%)	3,3% (0,1%)	2,7% (0,0%)	3,0% (0,1%)
LGE	50	0,1	11,6% (0,4%)	5,0% (0,5%)	4,1% (0,3%)	3,2% (0,3%)	3,1% (0,2%)
LGE	50	0,5	12,9% (0,5%)	5,2% (0,6%)	4,3% (0,4%)	3,5% (0,3%)	3,5% (0,3%)
LGE	50	0	11,4% (0,3%)	4,9% (0,4%)	3,9% (0,3%)	3,0% (0,2%)	3,0% (0,2%)
LGE	100	0,1	11,1% (0,3%)	4,8% (0,1%)	3,8% (0,1%)	2,9% (0,1%)	2,9% (0,1%)
LGE	100	0,5	11,2% (0,6%)	5,3% (0,4%)	4,3% (0,3%)	3,4% (0,3%)	3,2% (0,2%)
LGE	100	premazovanje	12,6% (0,3%)	3,5% (0,2%)	3,1% (0,1%)	2,4% (0,1%)	2,7% (0,1%)
LGE	100	0	10,9% (0,7%)	4,6% (0,3%)	3,7% (0,2%)	2,9% (0,1%)	2,8% (0,1%)
0	0	0,1	13,4% (0,2%)	3,7% (0,1%)	3,4% (0,1%)	2,8% (0,0%)	3,2% (0,1%)
0	0	0,5	14,5% (0,6%)	5,0% (0,1%)	4,4% (0,2%)	3,6% (0,2%)	3,8% (0,3%)

Rezultati v preglednicah prikazujejo izračunano povprečno vrednost, v oklepaju standardni odklon.

Priloga 4: Prikaz dobljenih vseh rezultatov adsorpcijske in desorpcijske krivulje smrekovine zaščitene z različnimi pripravki na osnovi LGE emulzije in borove kisline.

ADSORPCIJA	Relativna zračna vlažnost (%)		20	33	65	87	98
Sredstvo	konc. LGE	konc. B	Ravnovesna vlažnost (%)				
kontrola			3,93 (0%)	4,47 (0%)	9,88 (0%)	15,89(0%)	29,12(0%)
LGE	10	0,1	5,29 (0,15%)	6,37 (0,08%)	11,35 (0,16%)	16,94 (0,13%)	29,80 (0,89%)
LGE	10	0,5	6,87 (0,39%)	7,86 (0,35%)	13,09 (0,22%)	18,88 (0,39%)	65,45 (8,20%)
LGE	50	0	4,56 (0,16%)	5,58 (0,19%)	10,43 (0,24%)	15,43 (0,34%)	27,69 (0,94%)
LGE	50	0,1	5,07 (0,08%)	6,14 0,05%)	11,01 (0,15%)	16,39 (0,34%)	30,09 (1,11%)
LGE	50	0,5	6,54 (0,18%)	7,50 (0,17%)	12,59 (0,25%)	17,89 (0,21%)	52,05 (4,64%)
LGE	100	0,1	4,92 (0,12%)	5,97 (0,12%)	10,71 (0,17%)	15,43 (0,29%)	30,33 (1,38%)
LGE	100	0,5	6,36 (0,16%)	7,34 (0,16%)	12,11 (0,09%)	17,20 (0,29%)	46,95 (3,32%)
LGE	0	0,1	5,51 (0,10%)	6,64 (0,09%)	11,92 (0,16%)	17,39 (0,14%)	33,17 (2,74%)
LGE	0	0,5	7,44 (0,32%)	8,62 (0,38%)	13,88 (0,27%)	19,58 (0,22%)	73,99 (10,78%)
LGE	100	0	4,59 (0,18%)	5,50 (0,27%)	10,07 (0,20%)	14,70 (0,24%)	27,00 (1,07%)

DESORPCIJA	Relativna zračna vlažnost (%)		20	33	65	87	98
Sredstvo	konc. LGE	konc. B	Ravnovesna vlažnost (%)				
kontrola			4,40 (0%)	6,34 (0%)	11,22 (0%)	18,43 (0%)	29,12 (0%)
LGE	10	0,1	4,68 (0,12%)	6,73 (0,16%)	11,70 (0,35%)	19,34 (0,24%)	29,80 (0,89%)
LGE	10	0,5	5,42 (0,34%)	7,46 (0,22%)	12,62 (0,27%)	20,87 (0,22%)	65,45 (8,20%)
LGE	50	0	3,90 (0,24%)	5,84 (0,24%)	10,46 (0,34%)	17,79 (0,47%)	27,69 (0,94%)
LGE	50	0,1	4,13 (0,11%)	6,25 (0,15%)	10,69 (0,21%)	18,21 (0,45%)	30,09 (1,11%)
LGE	50	0,5	4,83 (0,23%)	7,01 (0,25%)	11,65 (0,22%)	19,61 (0,39%)	52,05 (4,64%)
LGE	100	0,1	3,66 (0,19%)	5,85 (0,17%)	9,92 (0,30%)	17,29 (0,41%)	30,33 (1,38%)
LGE	100	0,5	4,54 (0,13%)	6,69 (0,09%)	11,01 (0,18%)	18,91 (0,36%)	46,95 (3,32%)
LGE	0	0,1	5,07 (1,08%)	7,00 (0,16%)	12,04 (0,16%)	19,64 (0,34%)	33,17 (2,74%)
LGE	0	0,5	5,93 (0,30%)	8,25 (0,27%)	13,43 (0,26%)	21,81 (0,23%)	73,99 (10,78%)
LGE	100	0	3,60 (0,20%)	5,58 (0,20%)	9,91 (0,38%)	16,77 (0,36%)	27,00 (1,07%)

Rezultati v preglednicah prikazujejo izračunano povprečno vrednost, v oklepaju standardni odklon.

Priloga 5: Prikaz dobljenih meritev z Repa gumbkom povprečnih temperatur in RZV med kondicioniranjem pri 80 % RZV

Čas (dni)	Povprečje dnevne temperature (°C)	Povprečje dnevne RZV (%)
18.2.2008	26,5	77
19.2.2008	25,9	77
20.2.2008	25,6	76
21.2.2008	25,8	78
22.2.2008	25,8	78
23.2.2008	26,0	81
24.2.2008	26,1	81
25.2.2008	26,2	80
26.2.2008	26,2	81
27.2.2008	26,1	81
28.2.2008	26,0	81
29.2.2008	25,8	80
1.3.2008	26,2	83
2.3.2008	26,1	82
3.3.2008	26,3	79
4.3.2008	26,2	79
5.3.2008	25,6	79
6.3.2008	25,2	83
7.3.2008	25,1	81
8.3.2008	25,7	83
9.3.2008	26,0	83
10.3.2008	26,0	83
11.3.2008	26,1	84
12.3.2008	26,3	84
13.3.2008	26,3	83
14.3.2008	26,2	82
15.3.2008	26,5	82
16.3.2008	26,5	81
17.3.2008	26,0	81
18.3.2008	25,7	83
19.3.2008	25,9	82
20.3.2008	26,0	82
21.3.2008	25,9	83
22.3.2008	26,0	83
23.3.2008	25,7	83
24.3.2008	25,3	83
25.3.2008	25,7	83
26.3.2008	26,0	84

27.3.2008	26,0	83
28.3.2008	26,2	80
29.3.2008	26,9	82
30.3.2008	26,9	82
31.3.2008	26,8	81
Skupno povprečje	26,0	81

Priloga 6: Prikaz meritev z Repa gumbkom povprečnih temperatur in RZV med sušenjem

Čas (dni)	Povprečje dnevne temperature (°C)	Povprečje dnevne RZV (%)
14.4.2008	27,1	6
15.4.2008	27,0	9
16.4.2008	27,0	5
17.4.2008	27,2	1
18.4.2008	26,9	3
19.4.2008	27,5	1
20.4.2008	27,5	5
21.4.2008	27,7	3
22.4.2008	27,6	3
23.4.2008	27,5	2
24.4.2008	27,5	2
25.4.2008	27,3	4
26.4.2008	27,5	2
27.4.2008	27,6	5
28.4.2008	27,3	6
Skupno povprečje	27,3	4