

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Klemen KOLMANIČ

**VPLIV IMPREGNACIJE Z BAKER-
ETANOLAMINSKIMI BIOCIDNIMI PROIZVODI NA
VODOODBOJNOST IN SORPCIJSKE LASTNOSTI
LESA**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Klemen KOLMANIČ

**VPLIV IMPREGNACIJE Z BAKER-ETANOLAMINSKIMI
BIOCIDNIMI PROIZVODI NA VODOODBOJNOST IN SORPCIJSKE
LASTNOSTI LESA**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

**INFLUENCE OF IMPREGNATION WITH COPPER-
ETHANOLAMINE PRESERVATIVES ON WATER REPELLENCY
AND SORPTION PROPERTIES**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2015

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov – 1. stopnja. Delo je bilo izvedeno v laboratoriju Delovne skupine za patologijo in zaščito lesa, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani.

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

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Klemen Kolmanič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*841
KG	les/baker-etanolaminski biocidni proizvodi/impregnacija/vodoodbojnost/sorpcijske lastnosti
AV	KOLMANIČ, Klemen
SA	HUMAR, Miha (mentor)/PETRIČ, Marko (recenzent)/LESAR, Boštjan (somentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	VPLIV IMPREGNACIJE Z BAKER-ETANOLAMINSKIMI BIOCIDNIMI PROIZVODI NA VODOODBOJNOST IN SORPCIJSKE LASTNOSTI LESA
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
OP	X, 73 str., 10 pregl., 38 sl., 24 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Impregniran les je izpostavljen različnim biotskim in abiotskim dejavnikom, zato nas je zanimalo, kako se spreminjajo lastnosti lesa med uporabo. Smrekove, borove (beljava) in macesnove (jedrovina) vzorce dimenzij $(1,5 \times 2,5 \times 5,0) \text{ cm}^3$ smo impregnirali s komercialnim biocidnim proizvodom Silvanolin, dveh različnih koncentracij $c_{Cu} = 0,25 \%$ in $c_{Cu} = 0,5 \%$. Vzorce smo impregnirali po štirih postopkih: postopek potopa vzorcev v zaščitno sredstvo za 8 h, postopek potopa vzorcev v zaščitno sredstvo za 24 h, vakuumski postopek impregnacije in vakuumsko tlačni postopek impregnacije. Določanje sorpcijskih lastnosti smo razdelili na dva dela: navzem tekoče vode in navzem vodne pare. Navzem tekoče vode smo določali: s kratkotrajnim postopkom kapilarnega navzema, s potopom vzorcev v vodo za 24 h in z določanjem hitrosti vpijanja kapljic vode v les z goniometrom. Za določitev navzema vodne pare: smo uporabili uravnovešanje vzorcev v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo in z naknadnim sušenjem vzorcev v komori nad silikagelom. V večini primerov smo ugotovili, da so pri impregniranih vzorcih ravnovesne vlažnosti višje, kot pri neimpregniranih preskušancih in, da impregnirani vzorci vpijejo več vode, kot vzporedni kontrolni vzorci.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dv1
DC UDC 630*841
CX wood/copper-ethanolamine preservatives/impregnation/water repellency/sorption properties
AU KOLMANIČ, Klemen
AA HUMAR, Miha (supervisor)/PETRIČ, Marko (co-advisor)/LESAR, Boštjan (co-supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2015
TY INFLUENCE OF IMPREGNATION WITH COPPER-ETHANOLAMINE PRESERVATIVES ON WATER REPELLENCY AND SORPTION PROPERTIES
DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)
NO X, 73 p., 10 tab., 38 fig., 24 ref.
LA sl
Al sl/en
AB Preservative treated wood is exposed to various biotic and abiotic factors, which is why we wanted to know how the properties of wood are changed during utilization. Spruce, pine (sapwood) and larch (heartwood) samples of the dimensions of $(1.5 \times 2.5 \times 5.0)$ cm³ were impregnated with a commercial biocide product Silvanolin, of two different concentrations of $C_{cu} = 0.25\%$ and $C_{CU} = 0.5 \%$. The samples were impregnated by four different processes: the process of dipping the samples in the preservative solution for 8 h, the process of dipping the samples in the preservative solution for 24 h, the vacuum impregnation process and the vacuum pressure impregnation process. Determination of the sorption properties was divided into two parts: the uptake of liquid water uptake and absorption of water vapour. For determination of uptake of liquid water, we used: a short-term process of capillary uptake of water, dipping of the samples in water for 24 h and determination of absorption dynamic of water droplets into wood, with a goniometer. Absorption of water vapour: was determined by equilibration of the samples in the chamber with a 100 % relative humidity and subsequent drying of the samples in the chamber over a silica gel. In most cases we have found out that in the impregnated samples there is a higher equilibrium moisture content than in the untreated samples and that the impregnated samples absorb more water than the parallel controls.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
1 UVOD.....	1
2 PREGLED LITERATURE.....	2
2.1 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA.....	2
2.2 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA.....	3
2.3 ZAŠČITA LESA.....	4
2.3.1 Nebiocidna zaščita lesa.....	4
2.3.2 Konstrukcijska zaščita lesa.....	5
2.3.3 Preventivna biocidna zaščita lesa.....	6
2.3.4 Naknadna zaščita lesa.....	7
2.3.5 Biocidna zaščita lesa.....	8
2.4 UPORABLJENE LESNE VRSTE.....	13
2.4.1 Smreka (<i>Picea Abies</i> Karst.).....	13
2.4.1.1 Opis lesa.....	13
2.4.1.2 Lastnosti lesa.....	14
2.4.1.3 Uporaba lesa.....	15
2.4.2 Rdeči bor (<i>Pinus sylvestris</i> L.).....	15
2.4.2.1 Opis lesa.....	15
2.4.2.2 Lastnosti lesa.....	15
2.4.2.3 Uporaba lesa.....	16
2.4.3 Macesen (<i>Larix decidua</i> Mill.).....	16
2.4.3.1 Opis lesa.....	16
2.4.3.2 Lastnosti lesa.....	17
2.4.3.3 Uporaba lesa.....	17
3 MATERIALI IN METODE.....	18
3.1 PRIPRAVA VZORCEV.....	18
3.2 PRIPRAVA IMPREGNACIJSKEGA SREDSTVA.....	18

3.3	IMPREGNACIJA VZORCEV.....	21
3.4	MOKRI NAVZEM.....	24
3.5	KONDICIONIRANJE VZORCEV PO IMPREGNACIJI.....	25
3.6	URAVNOVEŠANJE VZORCEV PRI 100 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI.....	26
3.7	URAVNOVEŠANJE VZORCEV V KOMORI NAD SILIKAGELOM..	28
3.8	DOLOČANJE VLAŽNOSTI VZORCEV, KI SO BILI V TEKOČI VODI POTOPLJENI DALJ ČASA.....	30
3.9	DOLOČANJE NAVZEMA VODE S KRATKOTRAJNIM POSTOPKOM KAPILARNEGA VLEKA.....	31
3.10	DOLOČANJE HITROSTI VPIJANJA KAPLJIC VODE V LES.....	33
4	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	34
4.1	MOKRI NAVZEM.....	34
4.2	VLAŽNOST LESA PO URAVNOVEŠANJU PRI 100 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI.....	40
4.3	DESORPCIJA - URAVNOVEŠANJE VZORCEV V KOMORI Z NIZKO RELATIVNO ZRAČNO VLAŽNOSTJO (SILIKAGEL).....	45
4.4	VLAŽNOST LESA, KI JE BIL V VODO POTOPLJEN DALJ ČASA....	53
4.5	DOLOČANJE NAVZEMA VODE S TENZIOMETROM, S KRATKIM ČASOM IZPOSTAVITVE VZORCEV TEKOČI VODI.....	58
4.6	MERJENJE HITROSTI VPIJANJA VODE V LES Z INSTRUMENTOM ZA DOLOČANJE KONTAKTNIH KOTOV.....	62
4.7	POVEZAVA MED REZULTATI RAZLIČNIH MERITEV.....	67
5	SKLEPI.....	71
6	VIRI.....	73

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

	Str.
Preglednica 1: Razvrstitev jedrovine nekaterih komercialnih drevesnih vrst v 5 odpornostnih razredov po standardu SIST EN 350-2 (1995).....	3
Preglednica 2: Sestavine zaščitnega pripravka Silvanolin.....	20
Preglednica3: Sestava zaščitnega pripravka Silvanolin v odvisnosti od koncentracije.....	20
Preglednica 4: Povprečni mokri navzemi odvisni od uporabljenih lesnih vrst, postopka impregnacije in koncentracije bakra v zaščitnem sredstvu ($c_{cu} = 0,25 \%$ in $0,5 \%$).....	35
Preglednica 5: Povprečne ravnovesne vlažnosti po uravnovešanju v klimi s 100 % relativno zračno vlažnostjo.....	42
Preglednica 6: Povprečne vlažnosti impregniranih in kontrolnih vzorcev po 24 h sušenja v komori nad silikagelom. Pred sušenjem so bili vzorci uravnovešeni v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.....	47
Preglednica 7: Razlike med vlažnostjo po uravnovešanju v komori s 100 % RZV in po 24 h sušenja nad silikagelom.....	52
Preglednica 8: Vpliv impregnacije in lesne vrste na povprečne vlažnosti lesa po 24 urah namakanja v destilirano vodo.....	54
Preglednica 9: Vpliv impregnacije in lesne vrste na povprečni navzem vode po 200 s stika čelne površine s tekočo vodo, določen s tenziometrom.....	59
Preglednica 10: Vpliv lesne vrste in postopka impregnacije na povprečni čas vpitja kapljic vode v površino lesa v sekundah.....	64

KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: Dejavniki razkroja lesa (Kervina <u>Hamović</u> , 1990).....	2
Slika 2: Označeni vzorci za izvedbo poizkusa.....	18
Slika 3: Mešalo z zaščitnim pripravkom Silvanolin.....	19
Slika 4: Elektronska tehtnica Sartorius.....	21
Slika 5: Vzorci, potopljani v zaščitnem pripravku Silvanolin.....	22
Slika 6: Vakuumsko-tlačna komora KAMBIČ za impregnacijo.....	23
Slika 7: Impregnirani vzorci zloženi na mrežicah in pripravljeni za sušenje.....	24
Slika 8: Laboratorijski sušilnik KAMBIČ.....	26
Slika 9: Impregnirani in neimpregnirani (kontrolni vzorci) v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.....	26
Slika 10: Impregnirani vzorci v komori nad silikagelom.....	28
Slika 11: Neimpregnirani kontrolni vzorci v komori nad silikagelom.....	28
Slika 12: Potopljani impregnirani in neimpregnirani kontrolni vzorci v destilirani vodi.....	30
Slika 13: Tenziometer Krüss 100.....	31
Slika 14: Naprava za merjenje (kota omočitve).....	32
Slika 15: Povprečni mokri navzemi zaščitnega sredstva Silvanolin v vzorce smrekovine v odvisnosti od postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku ($c_{Cu} = 0,25 \%$).....	35
Slika 16: Povprečni mokri navzemi zaščitnega sredstva Silvanolin v vzorce smrekovine v odvisnosti od postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku ($c_{Cu} = 0,50 \%$).....	35
Slika 17: Povprečni mokri navzemi zaščitnega sredstva Silvanolin v vzorce macesnovine v odvisnosti od postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku ($c_{Cu} = 0,25 \%$).....	37
Slika 18: Povprečni mokri navzemi zaščitnega sredstva Silvanolin v vzorce macesnovine v odvisnosti od postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku ($c_{Cu} = 0,50 \%$).....	37
Slika 19: Povprečni mokri navzemi zaščitnega sredstva Silvanolin v vzorce borovine v odvisnosti od postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku ($c_{Cu} = 0,25 \%$).....	38

Slika 20: Povprečni mokri navzemi zaščitnega sredstva Silvanolin v vzorce borovine v odvisnosti od postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku ($c_{Cu} = 0,5 \%$).....	39
Slika 21: Povprečne ravnovesne vlažnosti vzorcev smrekovine, po uravnovešanju v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.....	42
Slika 22: Povprečne ravnovesne vlažnosti vzorcev jedrovine macesna, po uravnovešanju v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.....	43
Slika 23: Povprečne ravnovesne vlažnosti vzorcev beljave bora, po uravnovešanju v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.....	44
Slika 24: Povprečne vlažnosti vzorcev smrekovine, po 24 h v komori nad silikagelom. Pred tem so bili vzorci uravnovešeni v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.....	47
Slika 25: Povprečne vlažnosti vzorcev jedrovine macesna, po 24 h v komori nad silikagelom. Pred tem so bili vzorci uravnovešeni v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.....	48
Slika 26: Povprečne vlažnosti vzorcev beljave bora, po 24 h v komori nad silikagelom. Pred tem so bili vzorci uravnovešeni v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.....	49
Slika 27: Vpliv impregnacije z bakrovimi pripravki na povprečne vlažnosti vzorcev smrekovine po potopu v vodo za 24 h.....	54
Slika 28: Vpliv impregnacije z bakrovimi pripravki na povprečne vlažnosti vzorcev jedrovine macesna po potopu v vodo za 24 h.....	55
Slika 29: Vpliv impregnacije z bakrovimi pripravki na povprečne vlažnosti vzorcev beljave bora po potopu v vodo za 24 h.....	56
Slika 30: Povprečni navzem vode v čela smrekovih vzorcev po 200 s omočitve.....	59
Slika 31: Povprečni navzem vode v čela macesnovih (jedrovina) vzorcev po 200s omočitve.....	60
Slika 32: Povprečni navzem vode v čela borovih (beljava) vzorcev po 200 s omočitve.....	61
Slika 33: Povprečni čas vpitja kapljic vode izražene v sekundah (smreka).....	64
Slika 34: Povprečni čas vpitja kapljic vode izražene v sekundah (macesen-jedrovina).....	65
Slika 35: Povprečni čas vpitja kapljic vode izražene v sekundah (bor-beljava).....	66
Slika 36: Povezava med povprečnim navzemom vode v g/cm^2 in povprečnim časom potopa kapljic vode izražene v sekundah.....	67
Slika 37: Povezava med povprečnim navzemom vode v g/cm^2 in vlažnostjo vzorcev po potopu v vodo za 24 h v %.....	68

Slika 38: Povezava med vlažnostjo vzorcev po uravnovešanju v komori nad silikagelom v % in vlažnostjo vzorcev po uravnovešanju v komori z 100 % relativno zračno vlažnostjo.....	69
--	----

1 UVOD

Les ima izredne pozitivne lastnosti, ampak, ker je organska snov, nanj delujejo različni številni uničujoči dejavniki. Le-te delimo na biotske (glive, insekti, bakterije) in abiotske (voda, vlaga, UV sevanje, temperatura). Žal je večina naših lesnih vrst neodpornih, zato jih je potrebno ustrezno zaščititi ali ustrezno vgraditi.

Uporaba biocidne zaščite lesa je že ustaljena, vendar se za njo odločimo, kadar nimamo drugih možnosti zaščite lesa. Ker biocidna zaščita škodljivo vpliva na okolje in človeka, se raje poslužujemo uporabe nebiocidne zaščite; med njo spadajo naslednji ukrepi: izbira ustrezne odporne drevesne vrste glede na namen uporabe, uporaba hidrofobnih pripravkov, modifikacija lesa in konstrukcijska zaščita lesa.

Klasični zaščitni pripravki se zaradi vse večjega varovanja okolja in ljudi umikajo iz uporabe. Zadnja leta potekajo raziskave na področju vezave bakrovih spojin v les brez dodajanja kromovih spojin, ki imajo potencialno rakotvoren učinek. Zato se je v zadnjih letih namesto tega uveljavil etanolamin. V različnih objavah smo zasledili (Humar in Petrič, 2000), da etanolamin reagira z hemicelulozo in ligninom ter, da pri tem nastajajo prosti radikali.

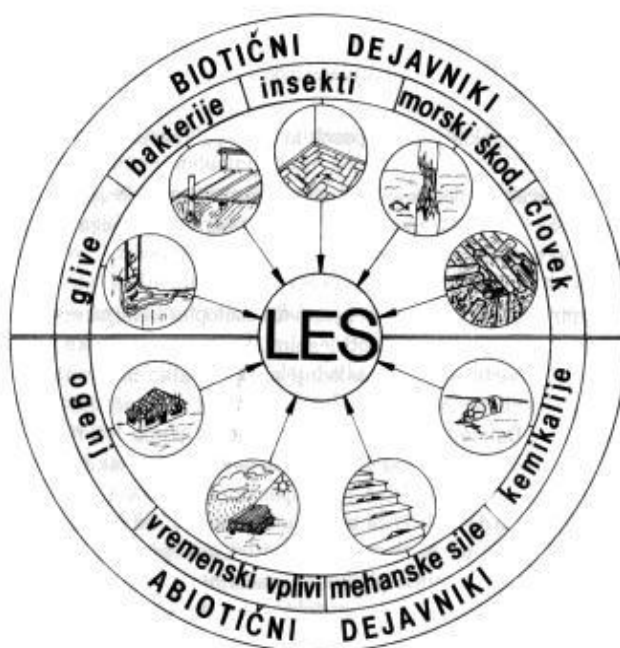
Cilj diplomskega projekta je bil raziskati, kako baker-etanolaminska biocidna sredstva vplivajo predvsem na sorpcijske lastnosti lesa in vodoodbojnost. Ta podatek je pomemben z več vidikov. Če je impregniran les bolj suh, je, zato že sam po sebi bolj odporen proti insektom in glivam. Po drugi strani pa je tudi izpiranje aktivnih učinkovin iz suhega lesa manj intenzivno.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA

Les kot organski material, zaradi različnih dejavnikov razpada v anorgansko snov. Vsi ti dejavniki imajo v naravi pozitivno vlogo, ker bi se brez njih organska snov kopičila v okolju. Za človeka pa ta sicer koristen razkroj lesa poteka večkrat prehitro, zato ga poskuša upočasniti z različnimi ukrepi.

Razkroj lesa povzročajo biotski in abiotski dejavniki. Biotski dejavniki so dejavniki žive narave to so največkrat glive, bakterije, insekti, morski škodljivci in človek, ki s svojim ravnanjem nemalokrat povzroči veliko škodo, abiotski pa so dejavniki nežive narave (slika 1), kot so temperatura, veter, vlaga in kemični vplivi. Najhujši destruktor lesa je ogenj, ki pri nas in v svetu uničuje ogromne količine lesa (Kervina-Hamović, 1990).



Slika 1: Dejavniki razkroja lesa (Kervina-Hamović, 1990).

2.2 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA

Naravna odpornost je lastnost, ki jo ima les v naravnem, zdravem stanju, torej takrat, ko nanj še niso vplivali razni škodljivi dejavniki (Kervina-Hamović, 1990). Odvisna je predvsem od kemijske sestave lesa in anatomske zgradbe lesa tukaj je mišljena predvsem zgradba celične stene (preglednica 1).

Preglednica 1: Razvrstitev jedrovine nekaterih komercialnih drevesnih vrst v 5 odpornostnih razredov po standardu SIST EN 350-2 (1995).

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

Od naravne odpornosti lesa je odvisna trajnost lesa, od slednje pa njegova uporabnost in vrednost. Trajnost lesa je čas, v katerem les oziroma lesni izdelek zadrži vse svoje naravne lastnosti (Kervina-Hamović, 1990). Trajnost lesa je odvisna tudi od kraja uporabe, načina uporabe, čas sečnje, itd. Slednji je zelo pomemben, saj je za nekatere drevesne vrste predpisano, da se uporablja čas zimske sečnje. S pravilno vgradnjo in zaščito lesa le-temu močno povečamo trajnost.

2.3 ZAŠČITA LESA

Les je eden najstarejših gradbenih materialov in tako kot naraven in obnovljiv vir vedno bolj pridobiva na uporabnosti, pred umetnimi materiali kot je plastika. Glavni razlog za večjo uporabo lesa je predvsem v okoljski ozaveščenosti uporabnikov. 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, 2004).

Primerna zaščita lesa poveča trajnost lesa in zmanjša tveganje za napade biotskih škodljivcev. V zadnjem času pridobivata na pomenu nebiocidna zaščita in konstrukcijska zaščita lesa, kjer s primerno vgradnjo lesa pomembno pripomoremo k ohranitvi lesa. Z zaščito lesa skušamo les napraviti čim bolj vodoodbojen, manj higroskopen ali pa spremeniti njegovo kemično strukturo do te mere, da ga lesni škodljivci ne prepoznajo za morebiten vir hrane.

2.3.1 Nebioidna zaščita lesa

Z lesom je potrebno ravnati primerno že na začetku, to se začne s posekom, ki naj bi se izvajal v času od oktobra do konca marca. Ravno v tem času je v naravi prisotnih manj škodljivcev, ker je v lesu vsebnost hranil med 0,2 % do 0,8 %. Poleg tega je prisotna manjša verjetnost poškodbe stoječih dreves saj so tla zamrznjena. Zelo pomemben je tudi pregled dreves pred posekom saj le tako lahko ocenimo zdravstveno stanje drevesa, pri čemer predvsem ugotavljamo morebitne poškodbe od primarnih ksilofagnih insektov ali epiksilnih gliv (Kervina-Hamović, 1990). Poleg vsega tega je pomembno obvezno lupljenje hlodovine, predvsem lesa jelke in smreke, nato sledi čimprejšnje spravilo hlodovine iz gozda na, zato primerno urejeno skladišče hlodovine, kjer je poskrbljeno za primerno higieno, skrb in zaščito lesa.

2.3.2 Konstrukcijska zaščita lesa

Kemijske zaščite lesa se zaradi vse večjega ekološkega zavedanja poslužujemo le v namenih, kjer vlaženja lesa ne moremo preprečiti na drug okolju prijaznejši način. Če je les suh, ne bo dovzeten za glive razkrojevalke lesa, zato želimo s konstrukcijsko zaščito

slednjega zaščititi pred dežjem, omogočimo, da voda čim hitreje in lažje odteče, preprečimo zastajanje vode v razpokah in stikih, ter omogočimo kroženje zraka.

Celotna konstrukcija izdelka naj bo takšna, da med vgradnjo in tudi med uporabo ne morejo nastajati mehanske poškodbe. Pri vgraditvi mora biti lesna vlažnost čim, bliže ravnovesni vlažnosti, ki ustreza povprečnim klimatskim razmeram na mestu vgraditve. S tem se izognemo dodatnim deformacijam, ki že tako nastajajo zaradi spremembe klime (Vranjek, 2009).

Eno najpomembnejših pravil konstrukcijske zaščite lesa je ta, da le tega odmaknemo od tal in, zato les postavimo na betonske kocke ali kovinske nosilce. Ne pozabimo, da mora les v stiku z drugim materialom, na primer z betonom, »dihati« in, zato postavimo med beton in les bitumensko izolacijo. Prav tako mora les biti dovolj odmaknjen od tal, da ga meteorna voda ne škropi, minimalni odmik od tal je okoli 30 cm. S pokritjem stebrov omogočimo vodi, da čim hitreje odteče s površine. Tako se les manj vlaži, s tem pa se iz lesa pripravki manj izpirajo in trajnost lesa je boljša. Konstrukcija mora biti izvedena tako, da se izognemo tesnim stikom, ker v režah najpogosteje zastaja voda. Zaradi kapilarnega vleka vodo potegne globlje, zato se les težje osuši. Torej, izvedba konstrukcije mora biti taka, da voda čimprej odteče. To zagotovimo tudi z :

- ustrezno nagnjenostjo vodoravnih profilov,
- pravilnim oblikovanjem spojev (profili za odtekanje vode),
- omogočenim prehodom zraka,
- zaobljenostjo robov,
- upoštevanjem delovanja lesa,
- ustrezno mehansko obdelavo površine.

2.3.3 Preventivna biocidna zaščita lesa

Biocidni ukrepi za zaščito lesa so ukrepi umetnega konzerviranja lesa, s katerimi v les pred njegovo uporabo vnesemo potrebno količino biocidnih snovi, ki varujejo les pred škodljivimi dejavniki (Kervina-Hamović, 1990).

Za najstarejši postopek preventivne zaščite lesa velja obžiganje. Ta postopek se je uporabljal predvsem za vinogradniške kole in prekle, vendar velja za neučinkovitega. Pri tem postopku gre za suho destilacijo, kjer se les prepoji s katranom. Zato so v ta namen razvili druge, bolj učinkovite postopke, tako za domačo kakor za industrijsko rabo, kjer so potrebna kompleksnejša znanja.

Med druge pomembnejše postopke preventivne kemične zaščite lesa sodijo:

- dimljenje,
- premazovanje,
- brizganje,
- oblivanje,
- potapljanje,
- osmozni postopek,
- Boucherie postopek,
- kotelski postopki.

2.3.4 Naknadna zaščita lesa

Naknadno zaščitimo les, kadar želimo poprej impregniranemu ali neimpregniranemu vgrajenemu lesu dodatno podaljšati trajnost. Med najbolj pomembnimi postopki naknadne zaščite so:

- bandažiranje,
- nameščanje kap,

- kapsuliranje,
- obnova premazov.

Za naknadno zaščito lesenih drogov se najpogosteje uporablja tako imenovane zaščitne bandaže in zaščitne kape. Prve bandaže so bile iz strešne lepenke, ki je bila premazana z zaščitno pasto iz anorganskih soli. Danes so te bandaže iz umetne mase in pokrivne folije, nosilec aktivnih učinkovin je pena. Bandaža se namesti na droge približno pol metra nad zemljo in pol metra pod zemljo. Ko se les vlaži, potuje zaščitno sredstvo po drogu navzgor. Zaščitna kapa je sestavljena iz platnene vrečke ali penaste mase in perforirane strešne lepenke ali PVC folije (Kervina-Hamović, 1990).

Podobno se za zaščito drogov uporablja kapsuliranje. To se izvede tako, da se v drog zavrti luknjo, vanjo pa se vstavi vložek, ki vsebuje biocid. Namesto tega vložka lahko v luknjo nabrizgamo pasto ali gel in, tako ob višjih vlažnostih v les difundirajo aktivne učinkovine (Humar, 2009).

Obnovo premazov, bi tudi lahko šteli med postopke naknadne zaščite lesa, vendar gre pri tem bolj za površinsko zaščito, s katero lesu podaljšamo trajnost, ter sproti zalijemo na novo nastale razpoke (Humar, 2009).

2.3.5 Biocidna zaščita lesa

O kemični zaščiti lesa govorimo takrat, ko v les vnesemo zadostno količino biocidnih učinkovin, ki so strupene za posamezne škodljivce. Na ta način umetno konzerviramo les in mu podaljšamo trajnost. Z vnosom biocidov v les ta postane za škodljivce strupen ali vsaj odbijajoč (Kervina-Hamović, 1990).

Kemično sredstvo za zaščito lesa ali biocid sestoji iz tako imenovanih aktivnih - biocidnih komponent in topila, ki je lahko voda ali organsko topilo. Razen tega lahko vsebuje še

dodatke, ki zmanjšujejo površinsko napetost, veziva, pigmente in drugo. V zadnjem času je večina biocidnih proizvodov izdelanih na osnovi vode. Zaščitni pripravki lahko prodrejo v les več kot 1 cm globoko in tako zaščiten les zadošča zahtevam standarda za uporabo zaščitenega lesa v stiku z zemljo (Humar, 2008a). Najkakovostnejšo zaščito lesa dosežemo s pravilno izbiro registriranega biocidnega pripravka. Na trgu so biocidi, ki bistveno podaljšajo življensko dobo lesa na prostem (Vranjek, 2009).

Delimo jih na:

- anorganske učinkovine, ki so večinoma vodotopne,
- organske učinkovine, ki so na trgu dostopne v obliki vodnih emulzij ali raztopljene v organskih topilih.

V skupino anorganskih kemičnih biocidnih proizvodov sodijo:

Natrijev klorid (NaCl)

Ni pretirano strupen, se ne veže v les in ni pretirano učinkovit. Primer zaščite lesa z NaCl je iz Bryggena na Norveškem. To je staro trgovsko naselje lesenih hiš, kjer solijo ribe, zato so vsi temelji presoljeni. (Humar, 2009).

Apno

Apno je močno bazično sredstvo. Ker glive za razkroj potrebujejo kislo okolje, apno v določenih pogojih zavira rast gliv vendar se izpira, in zato ni za les v stiku z zemljo (Humar, 2009).

Živosrebrov klorid (HgCl₂)

Je fungicid, ki se je uporabljal za kyanizacijo. Izkazal se je za učinkovito rešitev, pri zaščiti lesa, uporabljal se je od renesanse, prepovedan je bil med 1940-1950, pri uporabi živosrebrovega klorida se pojavljajo strupene emisije živega srebra (Humar, 2009).

Cinkov klorid (ZnCl₂)

je fungicid, ki se zaradi slabe fiksacije v les skoraj ne uporablja več, med drugim korodira kovine (Humar, 2009).

Bakrove učinkovine

Bakrove spojine so najpomembnejši fungicidi, ki se uporabljajo že od leta 1838 (razvoj Boucherie metode). Največkrat se uporabljajo bakrov oksid, bakrov hidroksid in bakrov hidroksid karbonat. Bakrovi pripravki so že v relativno nizkih koncentracijah strupeni za glive, bakterije in alge, na višje rastline pa ne delujejo strupeno. V nizkih koncentracijah je baker celo nujno potreben za njihov pravilen razvoj. Zaščitna sredstva na osnovi bakra so relativno poceni in relativno varna v primerjavi z ostalimi biocidi. Bakrovih učinkovin ponavadi ne uporabljamo samostojno, saj se iz lesa izpirajo, zato so jih v preteklosti kombinirali z kromovimi spojinami (CCA, CCB). Danes jih kombiniramo največkrat z amini, tudi z etanolaminom. Baker-etanolaminski biocidni pripravki so najprimernejša rešitev za zaščito lesa na prostem, še posebej v višjih razredih uporabe (Humar, 2008a).

Baker-etanolaminski biocidni proizvodi

Bakrove učinkovine se za zaščito lesa ne uporabljajo samostojno, ker se iz lesa izpirajo. Danes se v številnih komercialnih pripravkih uporablja etanolamin, ki je močno izboljšal lastnosti bakrovim pripravkom. Kljub temu, da se baker-etanolaminski pripravki za zaščito lesa uporabljajo že skoraj dve desetletji, podroben mehanizem vezave teh pripravkov v les še ni v celoti pojasnjen. Baker je eden izmed sedmih esencialnih elementov, ki so v sledovih nujno potrebni za rast gliv in rastlin. Višje koncentracije spojin bakra pa delujejo fungicidno (Gupta, 1979). Fungicidno delovanje bakrovih spojin je v primerjavi z delovanjem organskih fungicidov zelo nespecifično. Kljub dolgi in množični uporabi bakrovih biocidov v fungicidne namene, njihovo delovanje na glive še ni v celoti znano (Richardson 1997).

Znano je, da mora biti bakrova aktivna komponenta raztopljena v vodnem okolju, da deluje fungicidno oziroma fungistatično. Za izboljšanje odpornosti zaščitenega lesa proti lesnim glivam, ki so tolerantne na baker, ter za povečanje odpornosti proti lesnim insektom, dodajamo v baker-etanolaminske pripravke še različne ko-biocide, kot so spojine bora, azoli ali kvartarne amonijeve spojine (Zhang in Kamdem, 2000). Baker-etanolaminski kompleksi reagirajo predvsem s karboksilnimi in hidroksilnimi funkcionalnimi skupinami v lesu. S tem »zasedejo« mesta vezani vodi (Cao in Kamdem, 2004).

V literaturi najdemo izsledke, da se Silvanolin z nižjo (0,1 %) koncentracijo bakra v les veže bolje kot z višjo (0,5 %) (Lesar in sod., 2010). Baker-etanolaminski pripravki pa se ne vežejo v vse lesne vrste enako učinkovito. Razlike med drevesnimi vrstami so večje pri bolj koncentriranih pripravkih, pri manj koncentriranih pripravkih pa je vezava primerljiva (Humar, 2006). Vezava zaščitnih pripravkov na osnovi bakra in etanolamina je bistveno hitrejša kot vezava pripravkov na osnovi bakrovih in kromovih spojin (Humar 2008b).

Na adsorpcijo bakra v les, impregniranim z baker-etanolaminskimi pripravki, vpliva več dejavnikov: koncentracija pripravka, čas impregnacije, lesna vrsta, temperatura med impregnacijo... Nekateri dejavniki imajo bolj izrazit vpliv v prvem časovnem obdobju impregnacije (koncentracija), drugi pa se pokažejo šele po daljšem času (temperatura) (Humar, 2008b).

Borove učinkovine

Borove učinkovine najdemo v treh oblikah: borova kislina, boraks in trimetilborat. Glavna lastnost borovih spojin je poleg dobre difuzivnosti, ki omogoča dobro zaščito slabo permeabilnih lesnih vrst, še širok spekter delovanja proti insektom in glivam (Humar, 2008a). Poleg tega imajo spojine bora še celo vrsto odličnih lastnosti: so insekticidi, so nizko toksični za sesalce (rastline-gnojilo), so fungicidi, ki delujejo tudi proti glivam

modrivkam, znižujejo gorljivost lesa, so poceni in učinkoviti a se žal izpirajo iz lesa. Slabost je tudi ta, da pospešujejo rast nekaterih plesni (Humar, 2009).

V skupino preostalih dovoljenih organskih kemičnih biocidnih proizvodov sodijo:

Triazoli (propikonazol, tebukonazol)

So fungicidi, ki so bili patentirani leta 1981. Tebukonazol je vodotopen, propikonazol je topen v organskih topilih. Uporabljajo se za zaščito stavbnega pohištva, in tudi v medicini. Kombiniramo jih z bakrovimi biocidi (Cu-azole), piretroidi, IPBC. So ena izmed okolju najprijaznejših učinkovin, še posebej v vodotopni obliki (Humar, 2009).

Piretrin

Piretrine pridobivajo iz rastline bolhač (*Chrysanthemum cinerifolium*). Rastlina alohtono uspeva v Dalmaciji in na Kavkazu. Je učinkovit insekticid, največja slabost piretrina pa je nestabilnost. To rešujejo z dodajanjem antioksidantov (piperonil butoksid) (Humar, 2009).

Piretroidi (deltametrin, permetrin, cipermetrin)

Odkrili so jih leta 1973 in so ena najpomembnejših skupin učinkovin za kontrolo insektov, ker delujejo na njihov centralni živčni sistem. Najdemo jih v večini zaščitnih pripravkov za zaščito lesa v prvem in drugem razredu izpostavitve. Piretroidi so učinkoviti že v manjših koncentracijah in so manj toksični za sesalce. Uporabljajo se tudi v kurativni zaščiti lesa (Humar, 2008a).

Karbamati (IPBC, BPMC)

Učinkovitost IPBC-ja proti glivam modrivkam so odkrili leta 1981. IPBC se uporablja v površinskih premazih, sredstvom proti modrivkam in za zaščito stavbnega lesa. Ščitijo tako les kot premaz. V pripravkih IPBC nastopa samostojno (zaščita proti modrivkam) ali pa ga

kombinirajo s propikonazolom in piretroidi. IPBC deluje tako proti glivam, algam, kot tudi insektom. Iz lesa se ne izpira, žal pa iz njega hlapi, draži oči in kožo. Žal ni vodotopen (Humar, 2009).

Izotiazoloni (kathone)

Imajo dobre fungicidne in baktericidne lastnosti, poleg tega so bio-razgradljivi, kar je še posebej pomembno z okoljskega vidika (Humar, 2008a). Na trg so prišli leta 1975, kjer so jih najprej uporabljali v kozmetiki (šamponi, dezinfekcijska mila, kreme). So učinkoviti v nizkih koncentracijah, so vodotopni in so okolju prijazna rešitev za zaščito lesa. Uporablja se jih kot dodatek k površinskim premazom (osnovni premaz), za zaščito stavbnega pohištva, vrtnega pohištva in v zaščiti polimerov, avtolakov, ipd. (Humar, 2009).

Kvartarne amonijeve spojine (AAC)

AAC niso pretirano strupene, niso rakotvorne, nekatere so dražeče. So fungicidi (rjava trohnoba, modrivke), insekticidi, v nekaterih primerih pa tudi baktericidi. Bakterije v zemlji razgradijo AAC, zato jih kombinirajo z drugimi biocidi. Najbolj poznana spojina iz skupine AAC je alkildimetilbezilamonijev klorid. Kombinirajo jih z bakrovimi pripravki v četrtem razredu izpostavitve in z borovimi pripravki v drugem in tretjem razredu izpostavitve. Uporabljajo se za zaščito lesa med transportom in za zaščito ostrešij (Humar, 2009).

Juvenilni hormoni (fenoxycarb, pyroproxifen, diflubenzuron, flufenoyuron)

Uporabljamo jih za preventivno in kurativno zaščito lesa. Juvenilni hormoni preprečujejo-blokirajo:

- razvoj jajčec v larve,
- larv v bube,
- bub v odrasle insekte.

Spadajo v skupino ciljnih biocidov, ki delujejo le na izbranega škodljivca in naj ne bi bili strupeni za neciljne organizme. Načrtovani so tako, da škodljivca ne ubijejo, temveč le preprečijo ali upočasnijo njegov razvoj (Humar, 2008a). Učinkujejo že v nizkih koncentracijah (desetkrat nižjih kot običajni pripravki), v lesu so stabilni in razgradljivi v zemlji, kar je z okoljskega vidika gledano zelo pozitivno.

2.4 UPORABLJENE DREVESNE VRSTE

2.4.1 Smreka (*Picea abies* Karst.)

2.4.1.1 Opis lesa

Smrekovina ima neobarvano jedrovino, zato se beljava in jedrovina barvno ne ločita (les z neobarvano jedrovino). Les je večinoma rumenkastobel, v starosti tudi rumenkastorjav. Branike, od ozkih do zelo širokih, so razločne. Prehod iz svetlega, belkastega ranega lesa, do rdečkastorumenega kasnega lesa, je večinoma postopen. Poskobljane površine imajo svilnat lesk. Svež les diši po smoli. Pogost je pojav smolnih žepov, les je mehak in srednje gost (gostota ρ_0 300...430...640 kg/m³). Smreka je avtohtona v severni Evropi in gorovjih srednje Evrope, vendar se je zaradi gospodarjenja z gozdovi razširila po vsem kontinentu. Za smreko je značilno ravno, vitko, polnolesno in dokaj cilindrično deblo z malo vejami (razen prosto rastočih smrek, ki so malolesne in grčave). Maksimalne višine so 30 do 50 m (redko do 60 m), premeri pa do 120 (200) cm (Čufar, 2006).

Smrekovina je zelo podobna jelovini. Glavni znak za ločevanje obeh vrst so normalni smolni kanali, ki jih ima samo smrekovina (na zgajeni prečni površini se aksialni smolni kanali z lupo lepo vidijo kot svetle pike). Poleg tega je jelovina bolj bela, pogosto z modrikastim navdihom (Čufar, 2006).

2.4.1.2 Lastnosti lesa

Aksialni elementi potekajo premo, jedrovina je neobarvana, branike so razločne. Gostota je nizka do srednja, krčenje je zmerno. Je elastična in trdna, suši se brez težav, lahko se cepi in lepo se lušči. Les je le malo nagnjen k zvijanju in pokanju in se z lahkoto obdeluje z ročnimi orodji ali strojno. Brez težav se površinsko obdeluje z vsemi komercialnimi laki. Lepi se dobro. Dobro se tudi žeblija in vijači (Čufar, 2006).

Zaradi nizke vsebnosti ekstraktivov je les kemično komajda aktiven. Ob stiku z vodo, kislinami, bazami, alkoholom, maščobami, olji, bakrom ali medenino ne pride do obarvanja. Železo ob stiku s smrekovino ne korodira, vendar se les sivkasto obarva. Nezaščiten les je le zmerno odporen proti atmosferilijam in neodporen proti insektom in glivam. Pri uporabi na prostem mora biti, zato smrekovina pravilno vgrajena in zaščiten oz. površinsko obdelana. V primerjavi z borovino se bistveno slabše impregnira. Beljava svežega lesa se lahko v kotlih pod pritiskom zadovoljivo impregnira z vodotopnimi sredstvi, suha beljava pa z oljnimi sredstvi, zato je mogoče tudi ob neugodnih pogojih doseči večjo trajnost (Čufar, 2006).

2.4.1.3 Uporaba lesa

Smrekovina je naprodaj kot hlodovina, žagan les in furnir. Njena uporaba je raznovrstna in množična. Poseben pomen ima kot gradbeni in konstrukcijski les za visoke in nizke gradnje, ter za notranjo opremo. Uporabljajo jo za ostrejša in konstrukcije stavb, za mostovne, rudniške in ogrodne konstrukcije, za skeletne konstrukcije, stene, strope, stopnice, okna, fasade, vrata, tla, balkone, pergole, vhodna vrata in ograje, za betonske opaže, drogove, zaboje, palete, košare iz oblancev in škatle, lesno volno, igrače, talne kocke, itd. Primerna je tudi za proizvodnjo lesnih tvoriv (luščen furnir za vezane plošče, sredice mizarских plošč, okviri vrat, iverne in vlaknene plošče, ter plošče iz lesne volne), kot tudi za proizvodnjo celuloze in papirja. Pogosto jo uporabljajo za izdelavo pohištva. Resonančni les smreke se uporablja za glasbene instrumente (Čufar, 2006).

2.4.2 Rdeči bor (*Pinus sylvestris* L.)

2.4.2.1 Opis lesa

Sveža jedrovina je rdečkastorumena, kasneje potemni do rjavkaste oz. rdečerjave barve, beljava je večinoma široka, rumenkasto- do rdečkastobela. Branike so razločne, s temnim kasnim lesom, prehod iz ranega v kasni les je postopen do oster. Smolni kanali so številni in razločni (znatno večji kot pri smreki in macesnu), svež les ima prijetno aromatičen vonj, les je zmerno trd in srednje gost (Čufar, 2006).

2.4.2.2 Lastnosti lesa

Les je zmerno trd in srednje gost (gostota ρ_0 300...490...860 kg/ m³). Krčenje in nabrekanje je zmerno, vendar močnejše kot pri smrekovini, manj je nagnjen k zvijanju. Trdnost precej variira z gostoto. Ob preobremenitvi oddaja zvočni signal, zato je zaželen za rudniške podpornike. Je zmerno odporen proti atmosferilijam. Jedrovina je dokaj trajna, beljava pa netrajna, vendar se z lahkoto impregnira. Beljava je nagnjena k okužbi z glivami modrivkami. Pomodrel les je bolj higroskopnen od normalnega, kar povečuje nevarnost nadaljnjih okužb. Vlaga izpostavljen les je treba zaščititi s fungicidi (Čufar, 2006).

Žaganje, skobljanje, vrtanje in brušenje je dobro. Les z ostrejšim prehodom med ranim in kasnim lesom se nekoliko težje obdeluje. Obilna smola se lahko lepi na orodja in dele strojev. Sušenje je v glavnem dobro. Zaradi obilne smole je borovino treba sušiti pri nižjih temperaturah. Pri temperaturah med 20 °C in 30 °C in relativno zračno vlažnostjo nad 25 % je povečana nevarnost modrenja. Pri površinski obdelavi je treba upoštevati prisotnost smole. Pred lakiranjem, luženjem ali tretiranjem pri višjih temperaturah je pri bolj smolnatih primerkih potrebno predhodno odstraniti smolo (Čufar, 2006).

2.4.2.3 Uporaba lesa

Borovina je naprodaj predvsem kot žagan les, občasno kot luščen in rezan furnir, uporabljajo ga v splošnem in stavbnem mizarstvu, za okvire (okna, vrata), rudniški les, železniške pragove, jambore, pode, parket, vagone, karoserije, sode za razsut tovor, pohištvo, luščen in rezan furnir, vezan les, stenske in stropne obloge, embalažo, les za kemično predelavo, vlaknene in iverne plošče. Skorja in iglice so vir terpentina in eteričnih olj (Čufar, 2006).

2.4.3 Macesen (*Larix decidua* Mill.)

2.4.3.1 Opis lesa

Jedrovina je sprva rdečkastorjava, kasneje potemni do rdečerjave oz. temnorjave barve. Beljava je precej ozka in rumenkasta, smolni kanali so majhni in posamični (vidni z lupo), letnice so zelo razločne. Prehod iz ranega v kasni les je oster, kasni les je pogosto širok, svež les ima zelo aromatičen vonj. Les je trd (trši od smrekovine in borovine) in srednje gost (Čufar, 2006).

2.4.3.2 Lastnosti lesa

Gostota lesa ($\rho_0 = 400...550...820 \text{ kg/m}^3$). Les macesna z višjih nadmorskih višin je gostejši in trdnejši. Krčenje je zmerno, stabilnost dobra. Les z 2 mm do 3 mm širokimi branikami je srednje gost in srednje trd. Odporen je proti glivam, precej odporen je proti atmosferilijam in kislinam. Zelo trajen je tudi v vodi. Žagati je treba neolupljeno hlodovino; pri zlaganju mora biti les zaščiten pred direktnim soncem in padavinami (Čufar, 2006).

Žaga, skoblja, vrta, rezka in brusi se dobro, če aksialni elementi ne potekajo spiralno ali če ne vsebuje veliko smole, ki se lepi na rezila. Za žebljanje priporočajo uvajalne luknje. Naravno in tehnično sušenje potekata hitro, vendar je jedrovina nekoliko nagnjena k pokanju. Pri površinski obdelavi lahko zaradi smole pride do težav pri lakiranju z

poliestrskim lakom. Pred luženjem je treba odstraniti smolo. Za konstrukcije na prostem priporočajo zaščito z lazurami (Čufar, 2006).

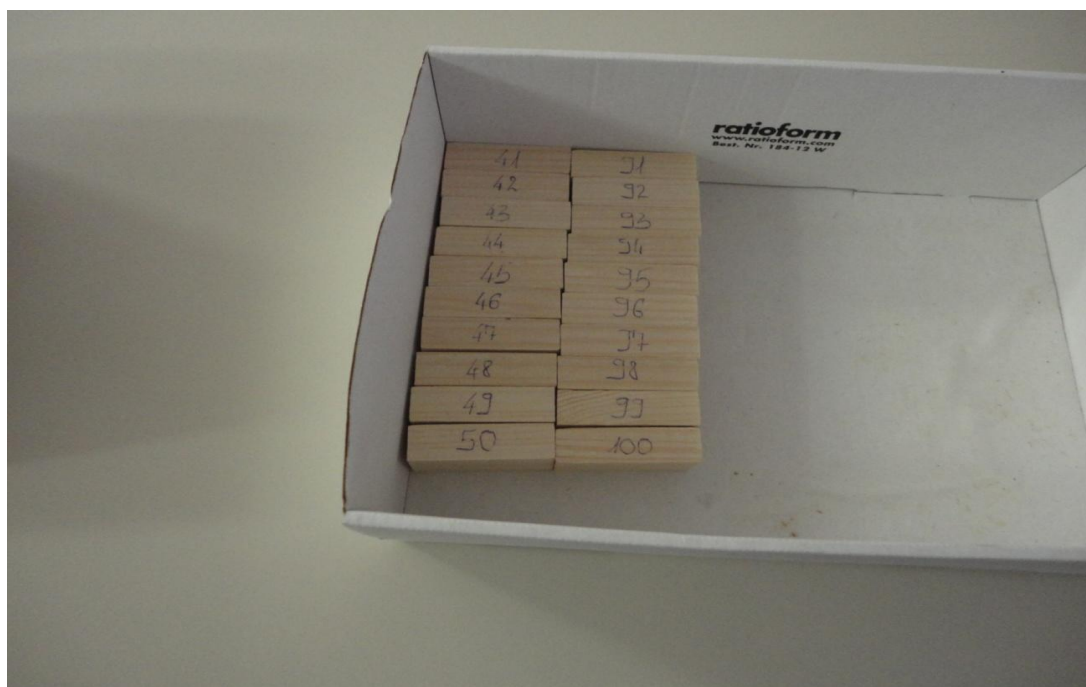
2.4.3.3 Uporaba lesa

Les macesna prodajajo predvsem kot žagan les, redkeje kot luščen ali rezan furnir, uporablja se ga v splošnem in stavbnem mizarstvu, za zunanje in notranje konstrukcije, okvire, okna, vrata, pohištvo, rezan furnir, stenske in stropne obloge, pode, les za rezljanje in struženje. Pragtako macesnovino uporabljajo za rudniški les, železniški pragove, jambore in drogove, mostove, v ladjedelništvu, za vagone, karoserije, sode, les za kemično predelavo, vlaknene in iverne plošče (Čufar, 2006).

3 MATERIALI IN METODE

3.1 PRIPRAVA VZORCEV

Poskuse smo izvedli z vzorci dimenzij $(1,5 \times 2,5 \times 5,0) \text{ cm}^3$, ki so bili izdelani iz lesa smreke (*Picea abies* Karst.), rdečega bora (*Pinus, sylvestris* L.) in macesna (*Larix decidua* Mill.), kot to predpisuje standard SIST EN 113 (2006). Pripravili smo po 100 vzorcev lesa smreke, 100 vzorcev lesa rdečega bora (beljava) in 100 vzorcev lesa macesna (jedrovina). Vzorce smo najprej obrusili, da so bile površine gladke in enakomerne, nato je sledilo označevanje vzorcev. Vzorce smo, nato označili na dveh mestih (slika 2).



Slika 2: Označeni vzorci za izvedbo poizkusa.

3.2 PRIPRAVA IMPREGNACIJSKEGA SREDSTVA

Sledila je priprava impregnacijskega sredstva Silvanolin. Silvanolin smo pripravili po naslednjem postopku: v čašo smo zatehtali primerno količino etanolamina, nato je dodana četrtna destilirane vode, odvzeta od celotne zatehtane količine vode, zatem sledi kvartarna amonijeva spojina (quat). Ko je quat popolnoma raztopljen, temu dodamo še drugo četrtno destilirane vode, ki smo jo odvzeli od celotne zatehtane količine. Nato dodamo bakrovo učinkovino in borovo kislino, sledi še naslednja tretja četrtna destilirane vode. Na koncu zatehtamo še oktanojsko kislino in zadnjo četrtno destilirane vode. Celotna priprava raztopine poteka ob stalnem mešanju na mešalu (slika 3), pri sobni temperaturi.



Slika 3: Mešalo z zaščitnim pripravkom Silvanolin

Uporabili smo raztopini dveh različnih koncentracij. V prvi je bila koncentracija bakra 0,50 %, v drugi pa 0,25 % (preglednici 2 in 3). Del vzorcev smo impregnirali z raztopino višje koncentracije, del vzorcev pa z raztopino nižje koncentracije. Del vzorcev smo pustili neimpregniranih, ti so nam kasneje služili kot kontrolni vzorci. Raztopino nižje koncentracije smo pripravili z redčenjem z destilirano vodo. Tako smo zagotovili, da je bilo razmerje med ostalimi učinkovinami v obeh pripravkih primerljivo.

Preglednica 2: Sestavine zaščitnega pripravka Silvanolin.

Sestavine	Kemijska formula	Proizvajalec	Čistost	Molska masa (g/mol)	Oznaka
Bakrov (II) karbonat	CuCO_3	MERCK	PA	123,56	Cu
Etanolamin	$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	MERCK	PA	61,10	EA
Kvartarna amonijeva spojina*	$\text{C}_9\text{H}_{13}\text{ClNR}$	MERCK	PA	169,40	Q
Borova kislina	H_3BO_3	SILKEM	PA	61,83	B
Oktanojska kislina	$\text{C}_8\text{H}_{12}\text{O}_2$	MERCK	PA	144,20	O
Destilirana voda	H_2O	BF	PA	18,02	DV

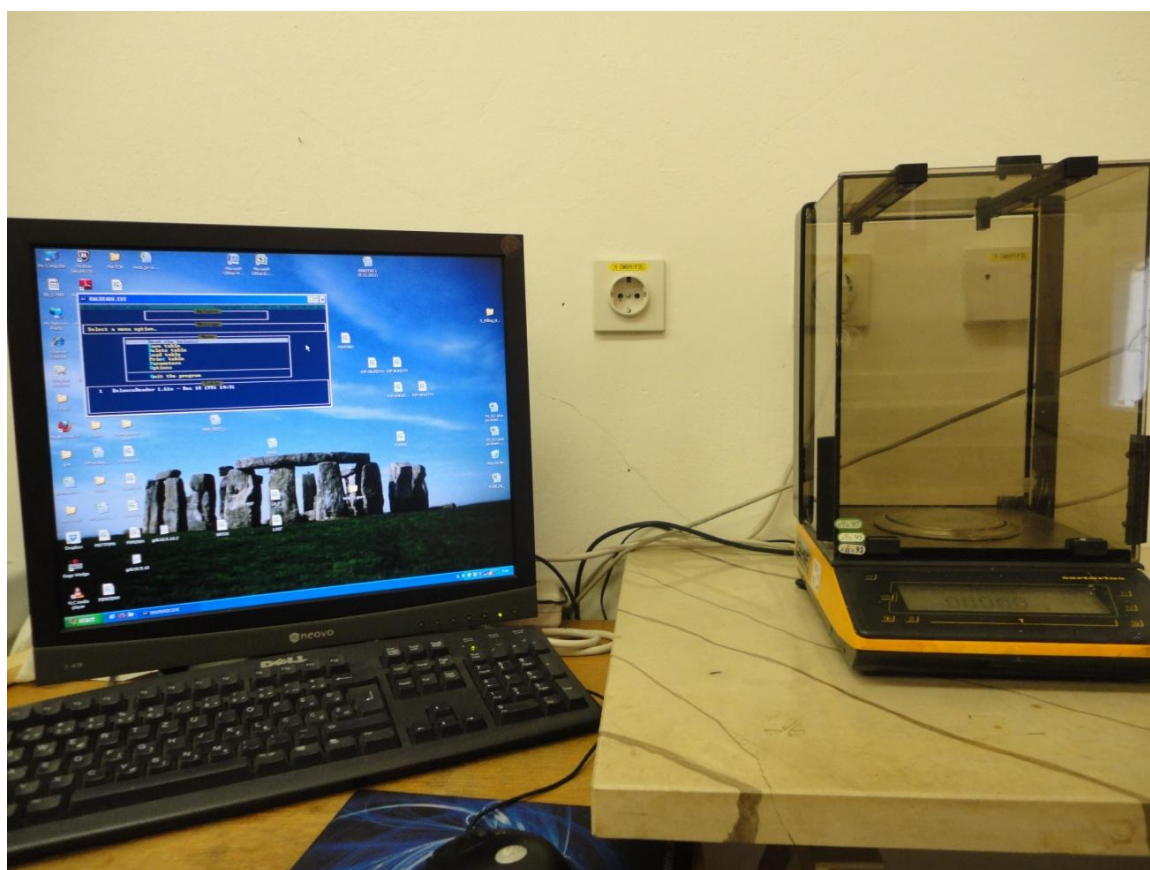
Preglednica 3: Sestava zaščitnega pripravka Silvanolin v odvisnosti od koncentracije Cu.

Koncentracija	C_{Cu} (%)	C_{EA} (%)	C_{OK} (%)	C_{quat} (%)	C_{B} (%)
Visoka	0,50	2,89	0,57	0,50	0,24
Srednja	0,25	1,44	0,284	0,25	0,12

3.3 IMPREGNACIJA VZORCEV

- Pred impregnacijo vzorcev smo, le - te stekali na elektronski tehnici Sartorius (slika 4), ki beleži rezultate na štiri decimalna mesta natančno. Vzorce smo impregnirali po štirih postopkih:

- potop vzorcev za 8 h v impregnacijsko sredstvo,
- potop vzorcev za 24 h v impregnacijsko sredstvo,
- vakuumiranje + potop za 2 h v impregnacijsko sredstvo,
- vakuumiranje + izpostavitve nadtlaku + vakuumiranje.



Slika 4: Elektronska tehtnica Sartorius.

Pri prvem postopku smo v posodo dali po deset vzorcev za vsako lesno vrsto, nato smo jih obtežili in prelili z vnaprej pripravljenim pripravkom, nakar so se vzorci namakali 8 h v sredstvu (slika 5). Pri drugem postopku je potekala impregnacija tako, kot pri prejšnjem postopku s to razliko, da so se vzorci v sredstvu namakali 24 h. Pri tretjem postopku smo

vzorci zložili v posode, jih obtežili in zalili s sredstvom, nato je sledila impregnacija vzorcev v vakuumsko-tlačni komori KAMBIČ. Najprej smo jih za 30 min izpostavili podtlaku na približno 0,75 bar, nato so se namakali v sredstvu še nadaljnjih 120 min. Pri četrtem postopku smo vzorce zložili v posode jih obtežili in prelili s sredstvom, nato je kot pri prejšnjem postopku sledila impregnacija v vakuumsko tlačni komori KAMBIČ (slika 6), s to razliko, da smo sedaj vzorce najprej za 20 min izpostavili podtlaku na približno 0,75 bar, nato za 150 min nadtlaku na približno 8 bar do 10 bar in ponovno podtlaku za 30 min. Enak postopek impregniranja je sledil za ostale vzorce, le, da smo uporabili raztopino z nižjo koncentracijo bakra.



Slika 5: Vzorci, potopljani v impregnacijskem sredstvu Silvanolin.



Slika 6: Vakuumsko-tlačna komora KAMBIČ za impregnacijo.

3.4 MOKRI NAVZEM

Mokri navzem smo določili gravimetrično s tehtanjem pred impregnacijo in po njej, na štiri decimalna mesta natančno, z elektronsko tehtnico. Navzem je količina zaščitnega sredstva, ki prodre v les med postopkom impregnacije. Mokri navzem nam pove, koliko je v les prodrlo topila in aktivne snovi. Za izračun mokrega navzema smo uporabili naslednjo formulo (1):

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

Pri čemer je:

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

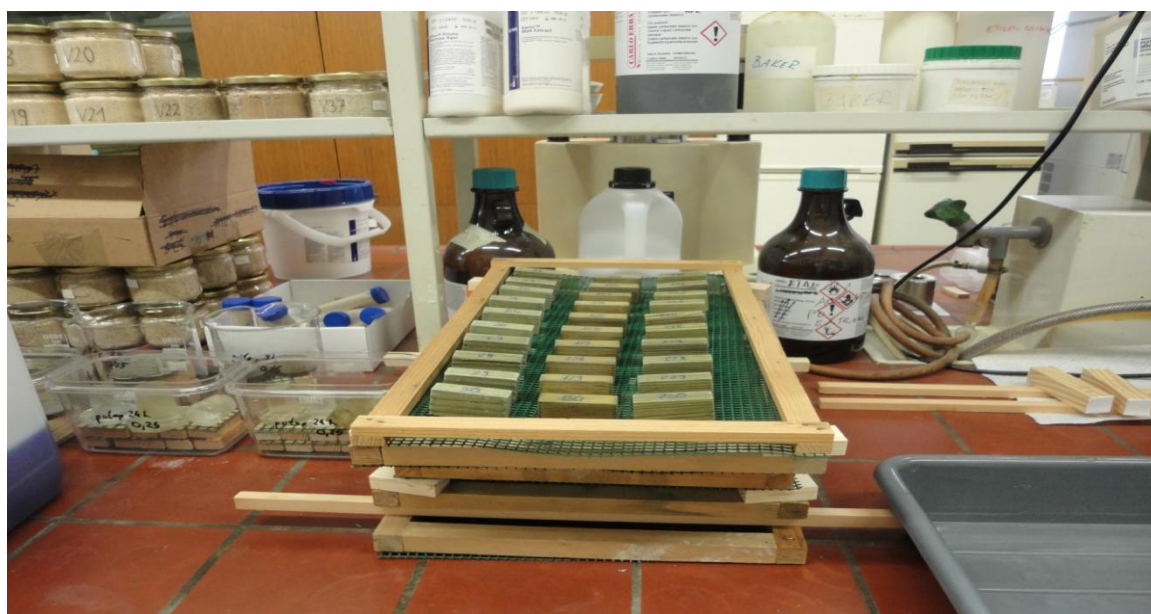
m_1 ... masa preizkušanca pred impregnacijo (kg)

m_2 ... masa preizkušanca po impregnaciji (kg)

V_1 ... volumen preizkušanca (m^3)

3.5 KONDICIONIRANJE VZORCEV PO IMPREGNACIJI

Sušenje oziroma kondicioniranje vzorcev je potekalo tako, da smo vse impregnirane vzorce zložili na mrežice (slika 7), ter jih izpostavili kontrolnemu režimu oziroma zračnemu sušenju na prostem za okoli 3 do 4 tedne, da se je baker dodobra vezal oziroma fiksiral v les.



Slika 7: Impregnirani vzorci, zloženi na mrežicah in pripravljeni za sušenje.

3.6 URAVNOVEŠANJE VZORCEV PRI 100 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI

Impregnirane in neimpregnirane (kontrolne) vzorce za določanje sorpcijskih lastnosti smo pred uravnovešanjem za tri dni postavili v laboratorijski sušilnik KAMBIČ pri temperaturi $(60 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C})$ (slika 8). Zatem smo jih prestavili v eksikator in nato stehali na elektronski tehtnici. Nato je sledilo uravnovešanje vzorcev pri 100 % relativni zračni vlažnosti; to je potekalo v komori, kjer so bili vzorci postavljeni nad vodo. Za zagotavljanje ustreznih pogojev (relativna zračna vlažnost), smo morali dobro zatesniti steklen pokrov. Temperatura v prostoru je bila okrog $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, z ventilatorjem in primernim razmikom med vzorci (slika 9), smo dosegli enakomerno porazdelitev vlažnosti po celotni komori. Po 21 dneh smo vzorce vzeli iz komore, ter jih stehali na elektronski tehtnici. Iz absolutno suhe mase vzorcev ter mase uravnovešenih vzorcev smo, nato izračunali ravnovesno lesno vlažnost posameznih vzorcev. Za izračun ravnovesne vlažnosti vzorcev smo uporabili naslednjo formulo (2):

$$u_r = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad \dots(2)$$

pri čemer je :

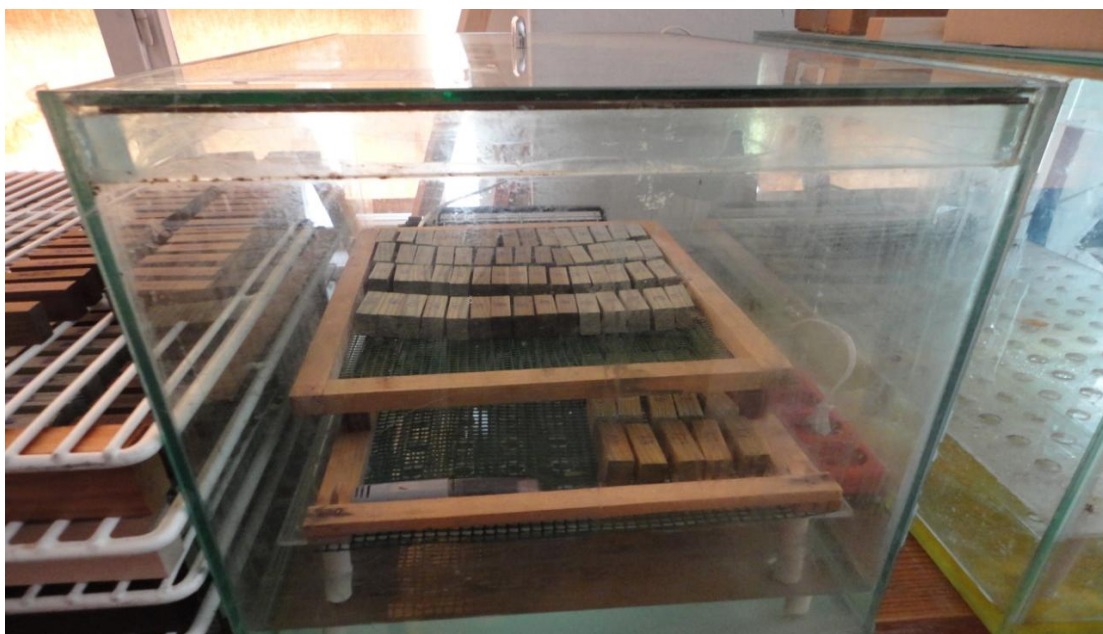
u_r ... ravnovesna vlažnost vzorca (%)

m_0 ... masa absolutno suhega vzorca (g)

m_1 ... masa vzorca izpostavljenega v klimi (g)



Slika 8: Laboratorijski sušilnik KAMBIČ.



Slika 9: Impregnirani in neimpregnirani (kontrolni vzorci) v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.

3.7 URAVNOVEŠANJE VZORCEV V KOMORI NAD SILIKAGELOM

Ko smo imeli impregnirane in neimpregnirane (kontrolne) vzorce uravnovešene, kar smo izvedli v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo, smo približno po 21 dneh vzorce stehali na elektronski tehtnici in jih predstavili v komoro nad silikagel (sliki 10 in 11). Vzorci so bili v komori nadaljnjih 24 h, nato smo jih vzeli iz komore, in jih ponovno stehali na elektronski tehtnici. Prav tako smo pri tem postopku iz dobljenih mas in predhodno stehanih vzorcev z absolutno suho maso izračunali ravnovesno vlažnost posameznih vzorcev. Za izračun vlažnosti vzorcev smo uporabili naslednjo formulo (3):

$$u = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad \dots(3)$$

pri čemer je :

u ... vlažnost vzorca (%)

m_0 ... masa absolutno suhega vzorca (g)

m_1 ... masa vzorca izpostavljenega v klimi (g)



Slika 10: Impregnirani vzorci v komori nad silikagelom.



Slika 11: Neimpregnirani kontrolni vzorci v komori nad silikagelom.

3.8 DOLOČANJE VLAŽNOSTI VZORCEV, KI SO BILI V TEKOČI VODI POTOPLJENI DALJ ČASA

Preden smo vzorce potopili v vodo, smo jih osušili v laboratorijskem sušilniku, kjer so bili 2 dni na 60°C. Zatem smo vzorce stehtali. Za izvedbo preskusa smo uporabili standard EN 350 (2015). Potop vzorcev je potekal tako, da smo po pet vzorcev posamezne lesne vrste in uporabljene koncentracije bakra v zaščitnem pripravku zložili v steklen kozarec, jih obtežili in čeznje prelili destilirano vodo (slika 12). Tako so vzorci nadaljnjih 24 h ostali preliti z destilirano vodo. Po 24 h smo vodo odlili, ter same vzorce zopet stehtali. Iz dobljenih mas in predhodno določenih mas absolutno suhih vzorcev, smo izračunali vlažnost posameznih vzorcev. Vlažnost smo uporabili kot merilo za prodor vode v les. Nižja vlažnost je posledica manj intenzivnega prodora vode v les. Za izračun vlažnosti vzorcev smo uporabili naslednjo formulo (4):

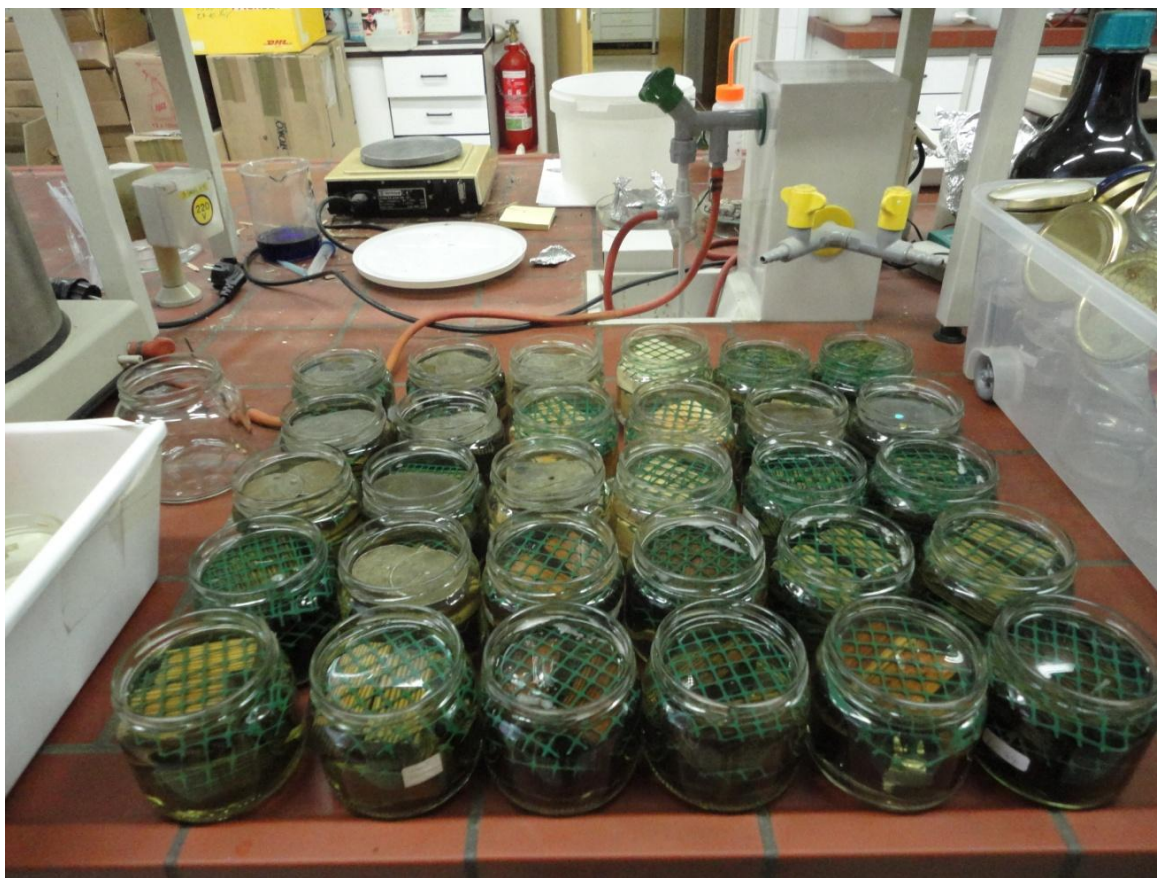
$$u = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad \dots(4)$$

pri čemer je :

u ... vlažnost vzorca (%)

m₀... masa absolutno suhega vzorca (g)

m₁ ... masa vzorca izpostavljenega v klimi (g)



Slika 12: Potopljeni impregnirani in neimpregnirani (kontrolni) vzorci v destilirani vodi.

3.9 DOLOČANJE NAVZEMA VODE S KRATKOTRAJNIM POSTOPKOM KAPILARNEGA VLEKA

V laboratoriju Katedre za lepljenje, lesne kompozite in obdelavo površin smo določali navzem vode s kratkotrajnim postopkom izpostavitve po standardu EN 1609 (1997). Pred meritvami so bili vsi vzorci uravnovešeni v standardni klimi do relativne zračne vlažnosti $65\% \pm 5\%$ pri $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. Pred meritvijo smo vsakemu vzorcu izmerili širino in debelino, ter nalepili na vzorec košček samolepilnega traku približno v sredino tako, da smo potem lahko vzorec vpeli v držalo naprave. Nato smo vzorec vpeli v držalo instrumenta

tenziometer Krüss 100 (slika 13). Po vklopu instrumenta se je čaša približala vzorcu, do stika z gladino vode in začeli so se beležiti podatki. Merjenje je pri vsakem vzorcu trajalo 200 sekund. Pri meritvah nas je zanimal končni navzem v g/cm^2 po 200 sekundah. Za izračun navzema smo uporabili naslednjo formulo (5):

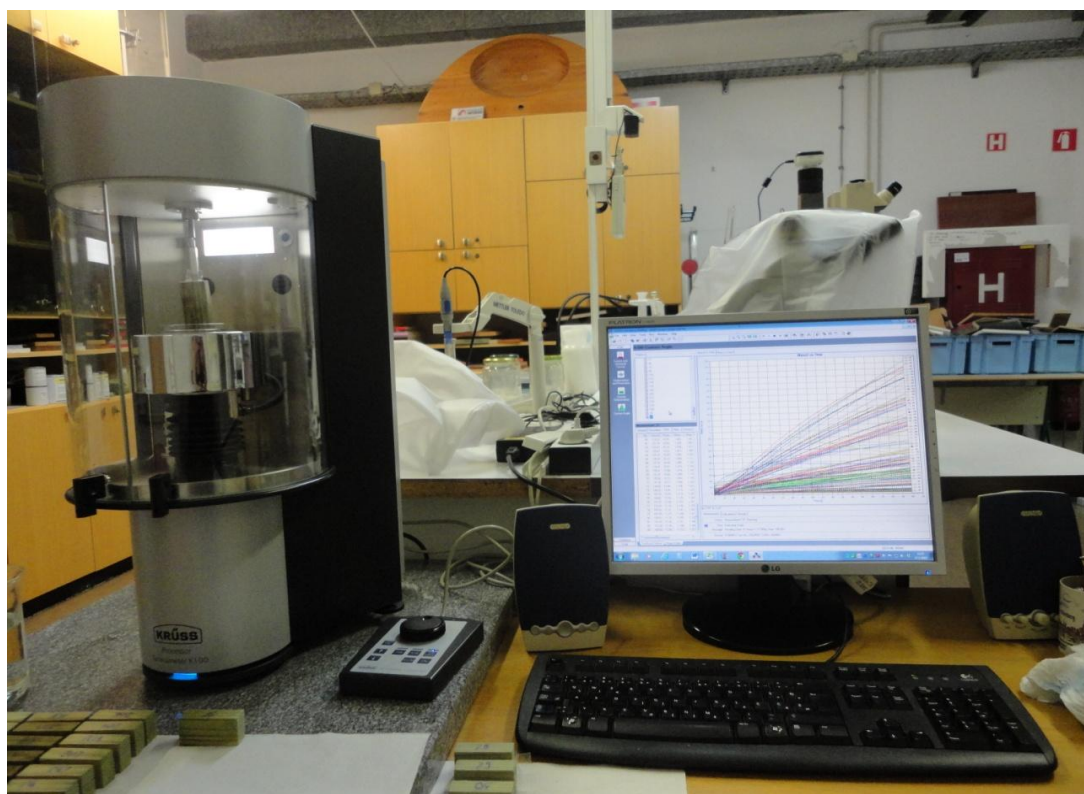
$$\text{Navzem vode} = \frac{\text{navzem vode po 200 s}}{(a \times b)} \times 100 \quad \dots(5)$$

Pri čemer je:

Navzem vode $\dots(\text{g/cm}^2)$

a... širina vzorca (mm)

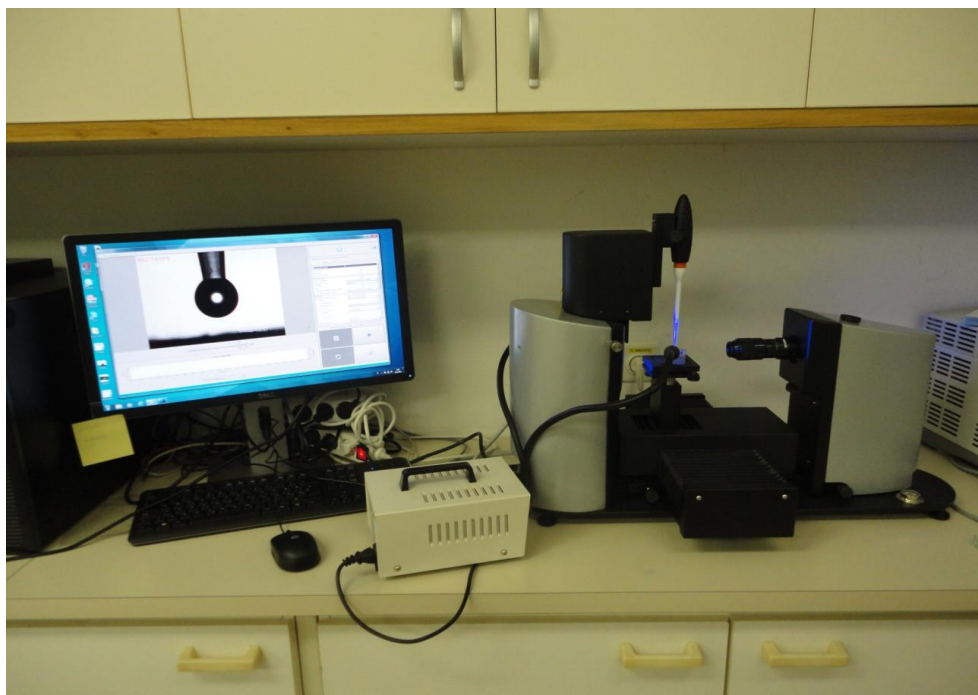
b... dolžina vzorca (mm)



Slika 13: Tenziometer Krüss 100.

3.10 DOLOČANJE HITROSTI VPIJANJA VODNIH KAPLJIC

Vzorci, ki smo jih uporabili za določanje navzema vode s kratkotrajnim postopkom izpostavitve, smo želeli uporabiti tudi za določanje kontaktnega kota. Ker pa je bila površina impregniranega lesa izrazito hidrofilna, smo se odločili, da ne bomo določali kontaktnih kotov, ampak čas, ki je potreben da vodna kapljica povsem izgine, zaradi vpitja v podlago. Ta postopek smo izvedli na napravi za določanje kota omočitve Theta, Biolin Scientific (Finska) (slika 14), tako, da smo najprej napolnili dozirnik z destilirano vodo ter nato postavili vzorec na mizico in približali dozirnik vzorcu. Instrument je potem, vodeno z računalniškim programom sam spustil kapljico na vzorec. Na vzorec smo spustili po 3 kapljice, čas za meritev vpijanja ene kapljice je bil 60 sekund. Podatki meritev so se beležili neposredno v elektronsko datoteko. Končne podatke smo obdelali s programom MS office Excell 2007.



Slika 14: Naprava za merjenje (kota omočitve).

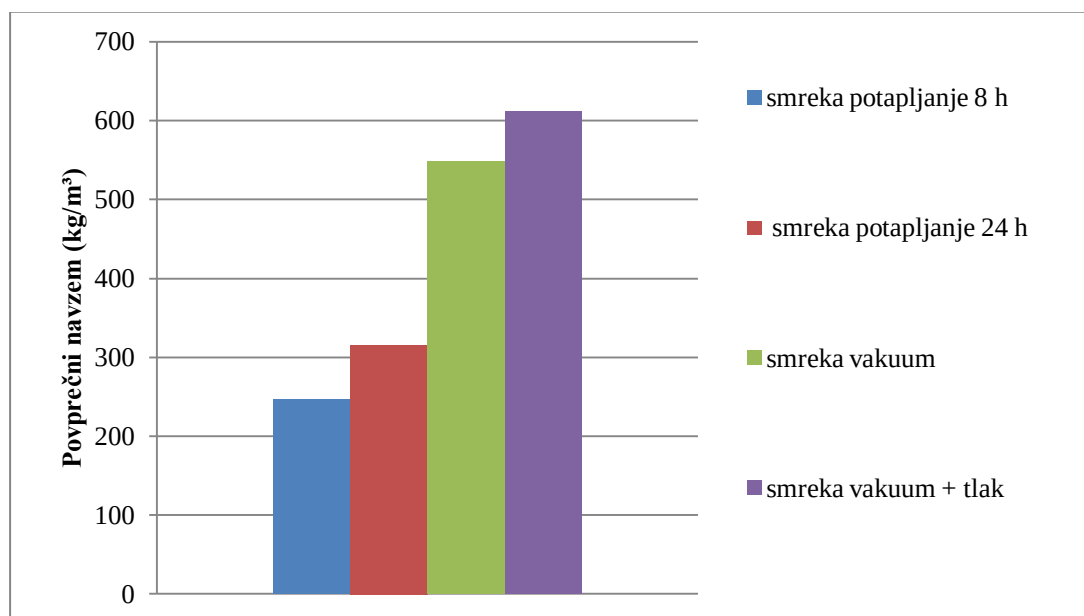
4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 MOKRI NAVZEM

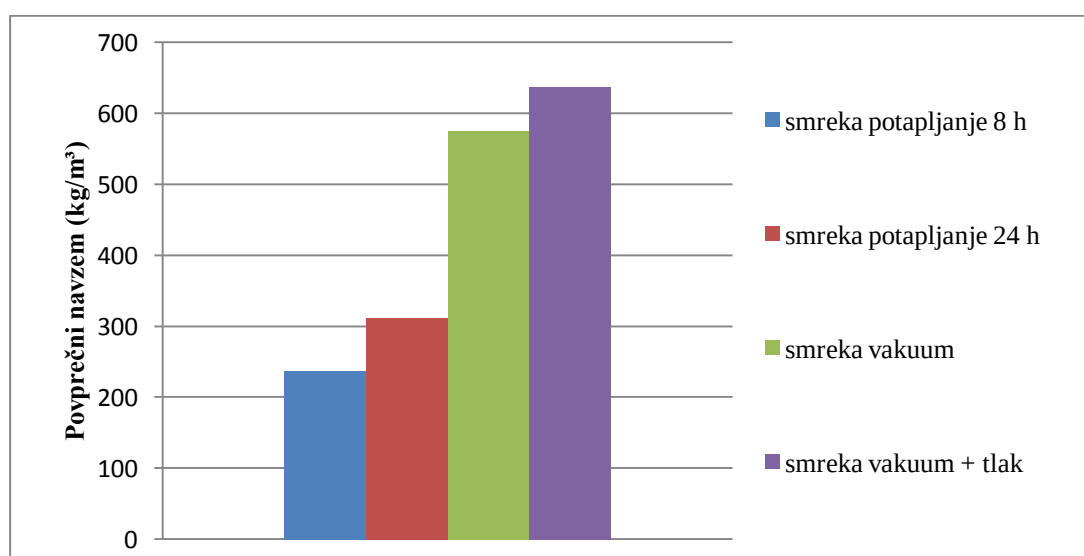
Navzem je osnovni parameter s katerim lahko prikažemo ustrezno kvaliteto zaščite lesa. Poznamo mokri in suhi navzem zaščitnega sredstva. Mokri navzem nam pove, koliko je v les prodrlo topila in aktivne snovi, suhi navzem pa nam pove koliko je v lesu ostalo nehlapnih sestavin. Izražamo ga v kg m^3 . V preglednici 4 ter na slikah 15-20 so prikazani povprečnih mokri navzemi zaščitnega sredstva, vrste vzorcev in postopki impregnacije.

Preglednica 4: Povprečni mokri navzemi v odvisnosti od uporabljene lesne vrste, postopka impregnacije in koncentracije bakra v zaščitnem sredstvu ($c_{cu} = 0,25 \%$ in $0,50 \%$).

lesna vrsta	koncentracija bakra	postopek impregnacije	povprečna gostota lesa (kg/m^3)	povprečni navzem biocidnega sredstva (kg/m^3)	standardni odklon (kg/m^3)
smreka	kontrola	/	445	/	/
smreka	0,25	potop 8 h	429	246	18
smreka	0,50	potop 8 h	422	237	30
smreka	0,25	potop 24 h	428	316	38
smreka	0,50	potop 24 h	422	312	22
smreka	0,25	vakuum	418	548	14
smreka	0,50	vakuum	450	575	9
smreka	0,25	vakuum + tlak	443	612	10
smreka	0,50	vakuum + tlak	448	636	11
macesen	kontrola	/	579	/	/
macesen	0,25	potop 8 h	531	65	2
macesen	0,50	potop 8 h	520	74	2
macesen	0,25	potop 24 h	518	103	4
macesen	0,50	potop 24 h	548	106	4
macesen	0,25	vakuum	538	99	19
macesen	0,50	vakuum	526	120	17
macesen	0,25	vakuum + tlak	532	432	23
macesen	0,50	vakuum + tlak	546	400	27
bor	kontrola	/	596	/	/
bor	0,25	potop 8 h	551	140	18
bor	0,50	potop 8 h	546	171	30
bor	0,25	potop 24 h	557	224	38
bor	0,50	potop 24 h	554	230	22
bor	0,25	vakuum	561	475	14
bor	0,50	vakuum	565	514	9
bor	0,25	vakuum + tlak	558	539	10
bor	0,50	vakuum+ tlak	576	554	11

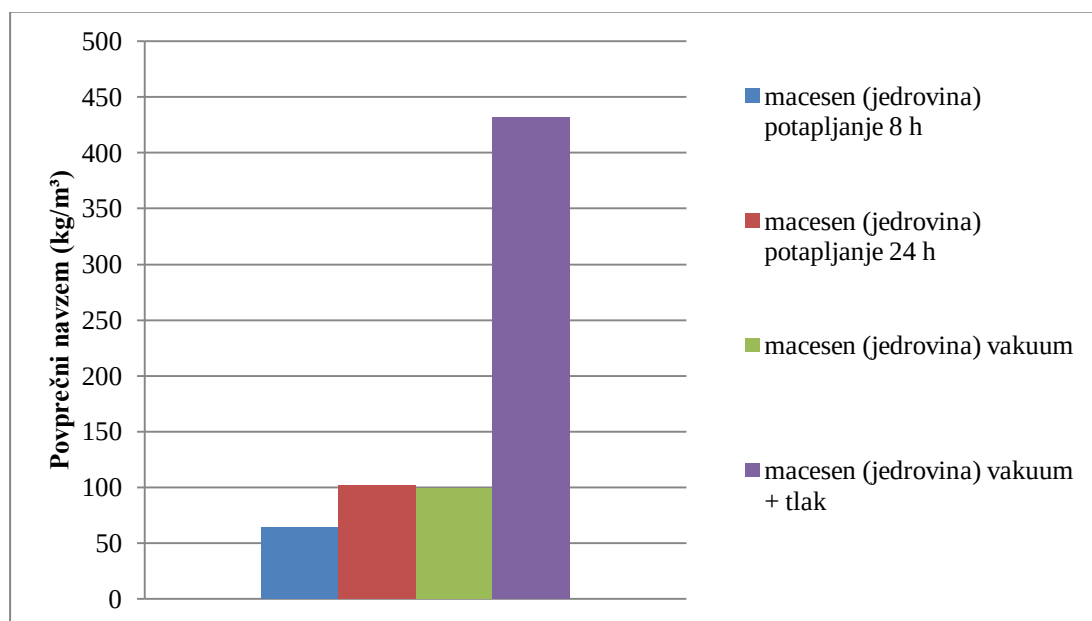


Slika 15: Povprečni mokri navzemi zaščitnega sredstva Silvnanolin v vzorce smrekovine v odvisnosti od postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku ($c_{Cu} = 0,25\%$).

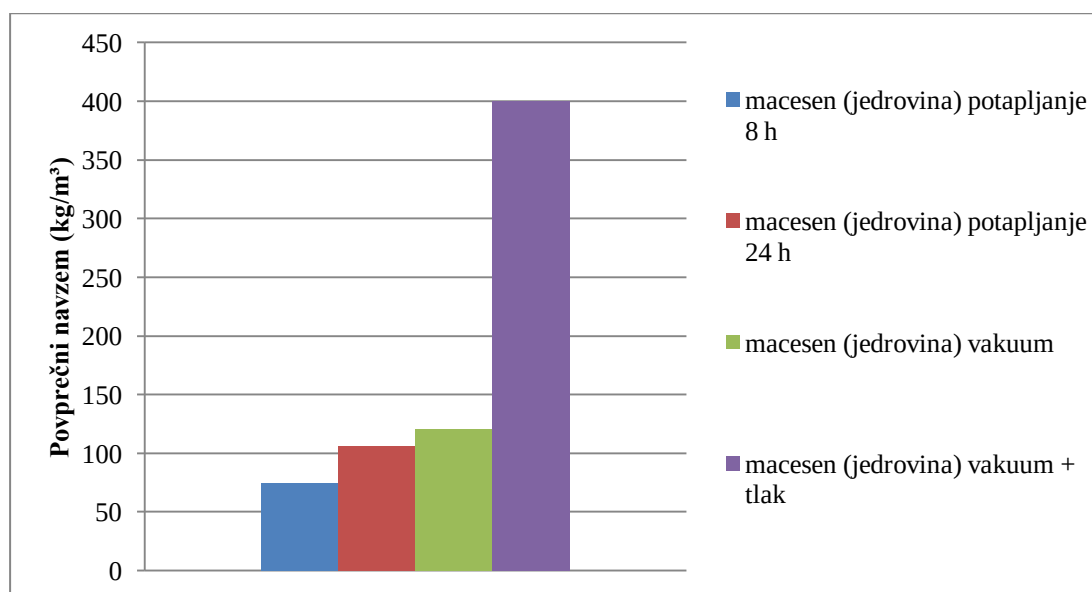


Slika 16: Povprečni mokri navzemi zaščitnega sredstva Silvnanolin v vzorce smrekovine v odvisnosti od uporabljenega postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku ($c_{Cu} = 0,50\%$).

Na slikah 15 in 16 vidimo povprečne mokre navzeme sredstva v vzorce iz smrekovega lesa, v odvisnosti od postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku. Vidimo lahko, da je imel pri nižji koncentraciji $c_{\text{cu}} = 0,25 \%$ pri postopku namakanja vzorcev za 8 ur povprečni mokri navzem vrednost okoli 246 kg/m^3 , pri postopku namakanja vzorcev za 24 ur, ta znaša 316 kg/m^3 , pri postopku vakuumu in potopa pa znaša povprečni mokri navzem okoli 548 kg/m^3 . Pri postopku vakuumu in nadtlaka smo zabeležili najvišjo vrednost povprečnega mokrega navzema, ki znaša okoli 612 kg/m^3 . Ta razporeditev je bila pričakovana: daljši časa namakanja in uporaba zunanje sile (tlak, vakuum) se odražata v višjih navzemih. Vse navedene vrednosti smo primerjali s stolpci na drugem grafu, kjer smo za impregnacijo uporabili pripravke višje koncentracije ($c_{\text{cu}} = 0,5 \%$). Pri postopku namakanja vzorcev za 8 ur smo določili povprečni mokri navzem okoli 237 kg/m^3 , pri postopku namakanja vzorcev za 24 ur 312 kg/m^3 , pri postopku vakuumu in potopa 575 kg/m^3 , ter pri postopku vakuumu in nadtlaka, ravno tako kot pri pripravku z nižjo koncentracijo, najvišji navzem, ki znaša okoli 636 kg/m^3 . Iz teh podatkov lahko sklepamo, da je vpliv koncentracije aktivnih učinkovin na navzem minimalen, saj razlike niso velike in jih v veliki meri lahko pripišemo tudi nehomogenosti materiala. O podobnih razlikah poročajo tudi drugi raziskovalci (Thaler, 2010).

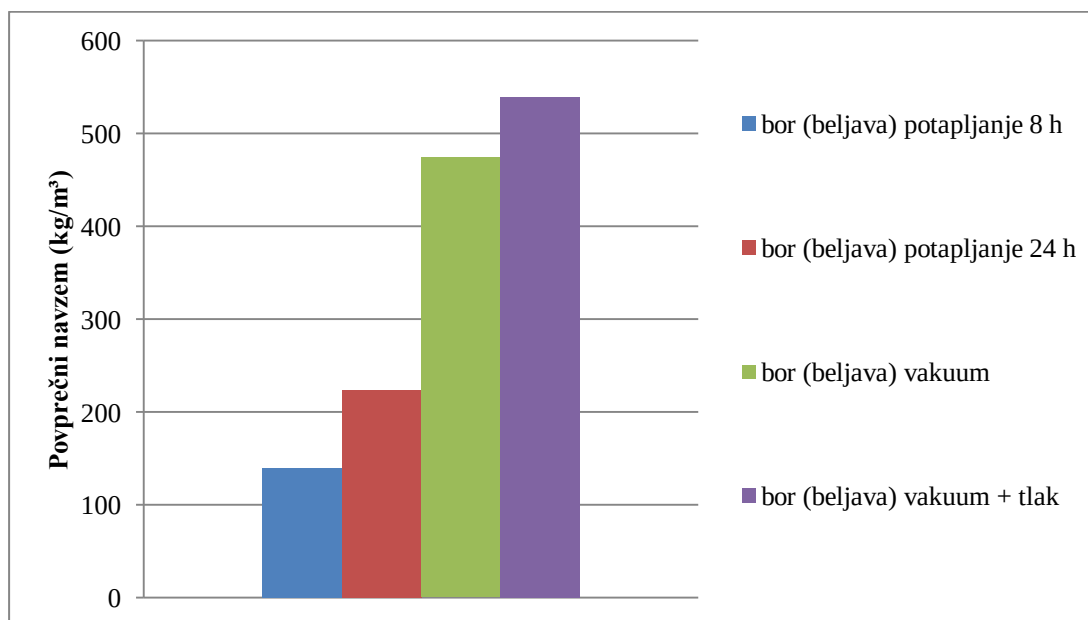


Slika 17: Povprečni mokri navzemi zaščitnega sredstva Silvanolin v vzorce macesnovine v odvisnosti od postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku ($c_{Cu} = 0,25\%$).

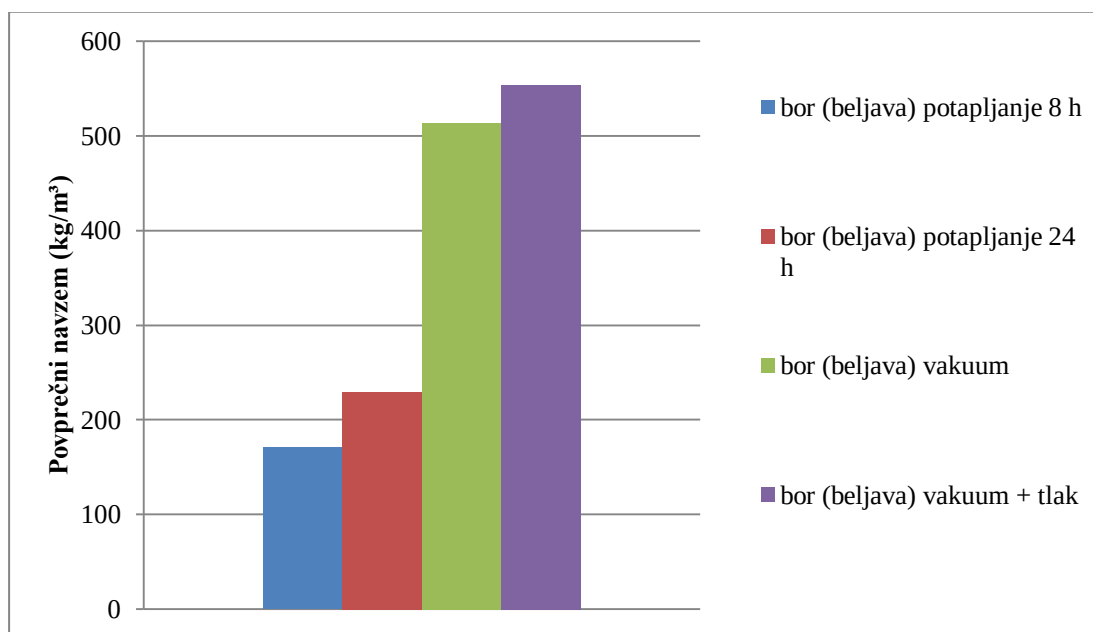


Slika 18: Povprečni mokri navzemi zaščitnega sredstva Silvanolin v vzorce macesnovine v odvisnosti od postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku ($c_{Cu} = 0,50\%$).

Če pogledamo stolpce na grafu na sliki 17 lahko vidimo, da pri koncentraciji $C_{Cu} = 0,25 \%$ pri postopku namakanja vzorcev iz macesnovega lesa za 8 ur povprečni navzem znaša 65 kg/m^3 , pri postopku namakanja vzorcev za 24 ur, imamo povprečni navzem 103 kg/m^3 . Pri postopku vakuumu in potopa znaša mokri navzem okoli 99 kg/m^3 in pri postopku vakuumu in nadtlaka okoli 432 kg/m^3 . Če pogledamo podatke o navzemu pri pripravku z višjo koncentracijo učinkovin, predstavljene na sliki 18, vidimo, da je tudi pri macesnovini vpliv koncentracije na navzem zanemarljiv. V kolikor pa med seboj primerjamo podatke smrekovine in macesnovine, vidimo, da so povprečni navzemi pri macesnovini nižji od smrekovine. Razlog za te razlike se skriva v dejstvu, da je macesnovina gostejša in ima nižjo permeabilnost kot smrekovina.



Slika 19: Povprečni mokri navzemi zaščitnega sredstva Silvanolin v vzorce borovine v odvisnosti od postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku ($C_{Cu} = 0,25 \%$).



Slika 20: Povprečni mokri navzemi zaščitnega sredstva Silvanolin v vzorce borovine v odvisnosti od postopka impregnacije in koncentracije bakra v pripravku ($c_{Cu} = 0,50 \%$).

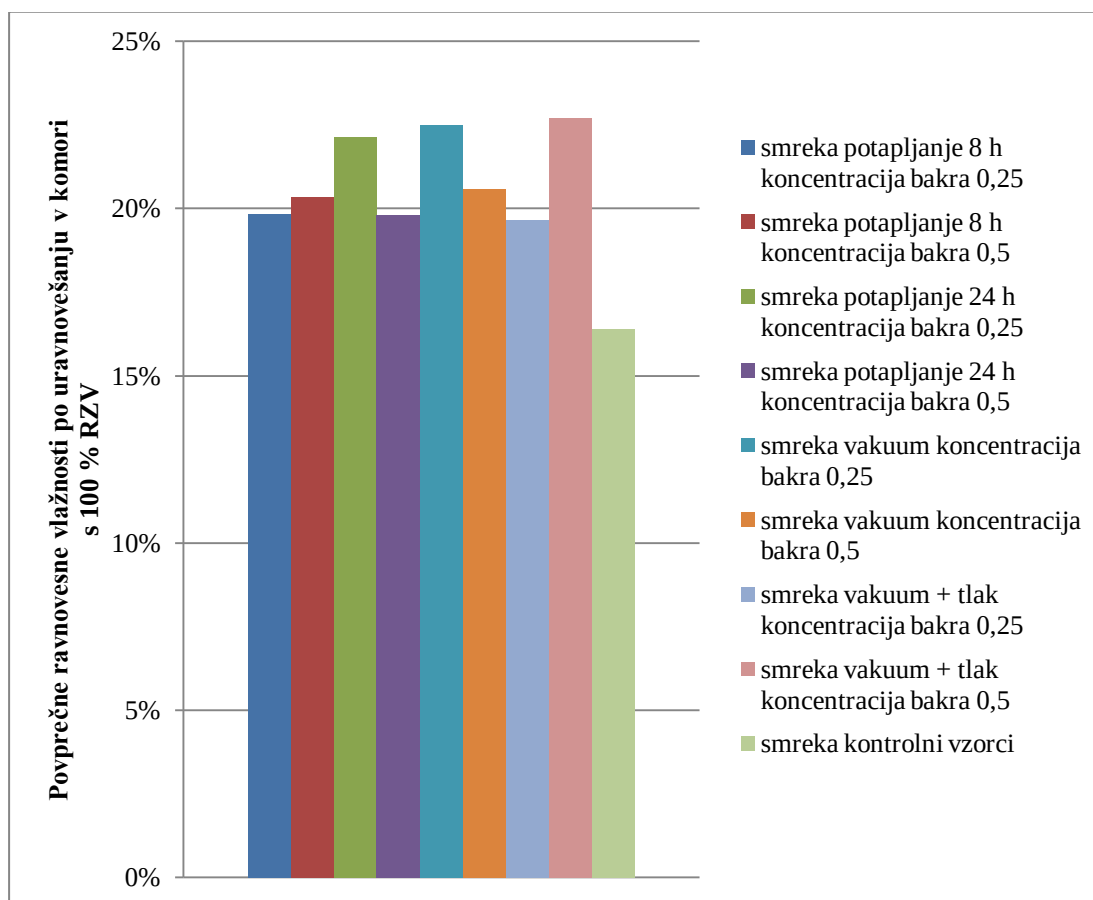
Na sliki 20 lahko vidimo, da je pri nižji koncentraciji $c_{Cu} = 0,25 \%$ povprečni mokri navzem pri postopku namakanja borovih vzorcev za 8 ur okoli 140 kg/m^3 , pri postopku namakanja vzorcev za 24 ur pa le-ta znaša okoli 224 kg/m^3 . Pri postopku vakuum in potopljanja navzem znaša okoli 475 kg/m^3 , ter pri postopku vakuum in nadtlaka 539 kg/m^3 . Tudi na primeru borovine je opazno, da koncentracija ni imela velikega vpliva na navzem. Navzem je bil bolj kot od koncentracije odvisen od postopka impregnacije. Na splošno lahko ugotovimo, da so vsi mokri navzemi pri borovini višji tako od navzemov v smrekov kot v macesnov les. Razlogov za boljše prodiranje pripravkov v borovino je več. V tem eksperimentu smo uporabili beljavo borovine. Beljava borovine sodi med bolj permeabilne dele lesa. Piknje v beljavi borovine še niso aspirirane in zato lahko tekočina dobro prodira po lesu.

4.2 VLAŽNOST LESA PO URAVNOVEŠANJU PRI 100 % RELATIVNI ZRAČNI VLAŽNOSTI

Pri samem postopku uravnovešanja, nas je zanimalo, kako na same impregnirane in neimpregnirane (kontrolne) vzorce vpliva vodna para oziroma, kako se nam je vlažnost vzorcev v (%) spreminjala tekom postopka. 120 absolutno suhih impregniranih vzorcev, ter 30 neimpregniranih (kontrolnih) vzorcev smo zložili v komoro s 100 % relativno zračno vlažnostjo. Uravnovešanje je trajalo okrog 21 dni. Po tem času smo vzorce zložili iz komore ter jih stehali. Iz rezultatov mas uravnovešenih vzorcev ter predhodno določenih mas absolutno suhih vzorcev smo izračunali vlažnost posameznih vzorcev. Rezultate povprečnih vlažnosti vzorcev smo prikazali grafično in tabelarično (preglednica 5 in slike 21, 22 in 23).

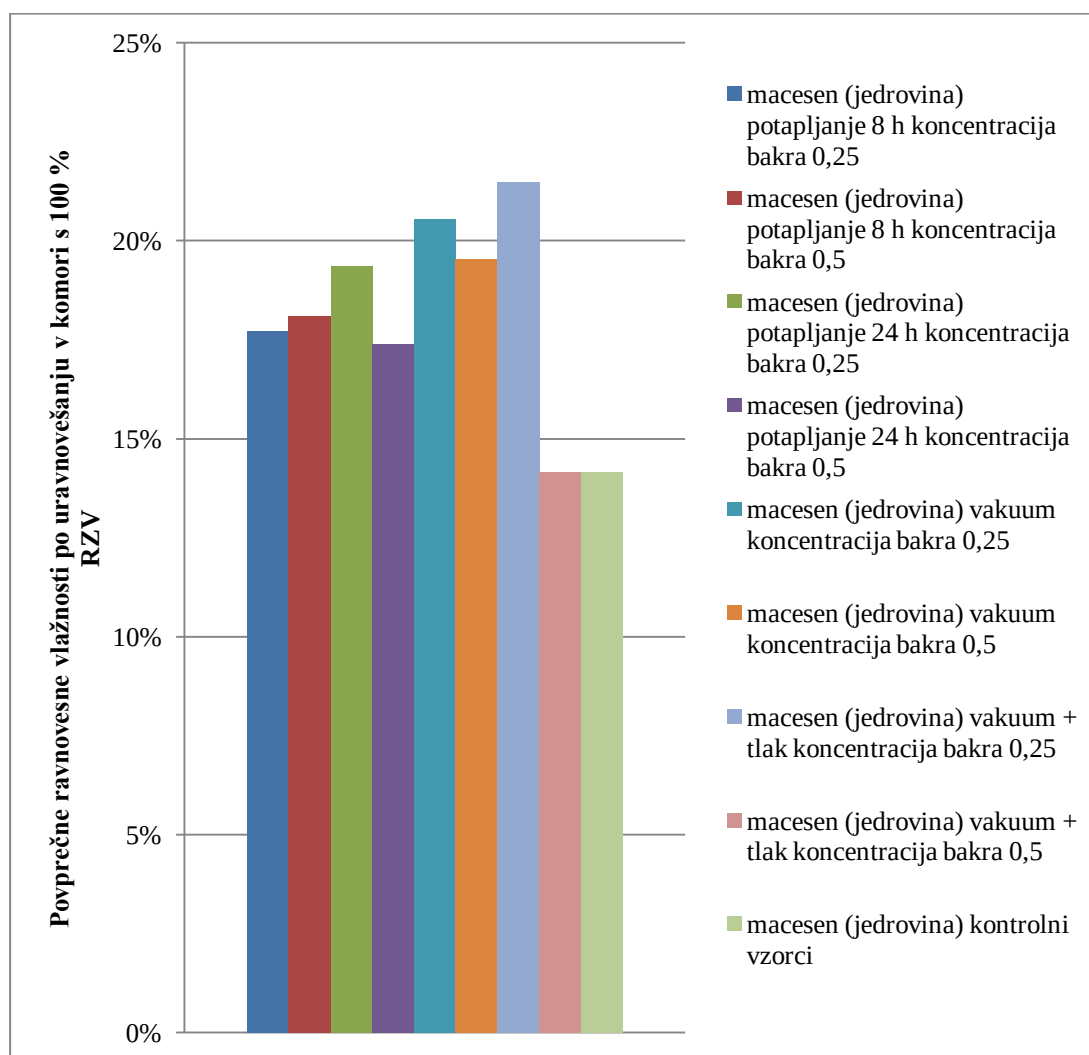
Preglednica 5: Povprečne ravnovesne vlažnosti po uravnovešanju v klimi s 100 % relativno zračno vlažnostjo.

lesna vrsta	koncentracija bakra (%)	postopek impregnacije	povprečna gostota lesa (kg/m ³)	povprečni navzem biocidnega sredstva (kg/m ³)	povprečna vlažnost po 21 dneh v komori s 100 % RZV	standardni odklon (%)
smreka	kontrola	/	445	/	16%	1%
smreka	0,25	potop 8 h	429	246	20%	1%
smreka	0,50	potop 8 h	422	237	20%	0%
smreka	0,25	potop 24 h	428	316	22%	3%
smreka	0,50	potop 24 h	422	312	20%	1%
smreka	0,25	vakuum	418	548	22%	1%
smreka	0,50	vakuum	450	575	21%	1%
smreka	0,25	vakuum + tlak	443	612	20%	1%
smreka	0,50	vakuum + tlak	448	636	23%	1%
macesen	kontrola	/	579	/	14%	1%
macesen	0,25	potop 8 h	531	65	18%	1%
macesen	0,50	potop 8 h	520	74	18%	0%
macesen	0,25	potop 24 h	518	103	19%	0%
macesen	0,50	potop 24 h	548	106	17%	0%
macesen	0,25	vakuum	538	99	21%	0 %
macesen	0,50	vakuum	526	120	18%	0%
macesen	0,25	vakuum + tlak	532	432	20%	1%
macesen	0,50	vakuum + tlak	546	400	21%	1%
bor	kontrola	/	596	/	14%	1%
bor	0,25	potop 8 h	551	140	18%	1%
bor	0,50	potop 8 h	546	171	21%	1%
bor	0,25	potop 24 h	557	224	19%	2%
bor	0,50	potop 24 h	554	230	22%	1%
bor	0,25	vakuum	561	475	20%	1%
bor	0,50	vakuum	565	514	24%	1%
bor	0,25	vakuum + tlak	558	539	22%	0%
bor	0,50	vakuum + tlak	576	554	25%	2%



Slika 21: Povprečne ravnotežne vlažnosti vzorcev smrekovine, po uravnotežanju v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.

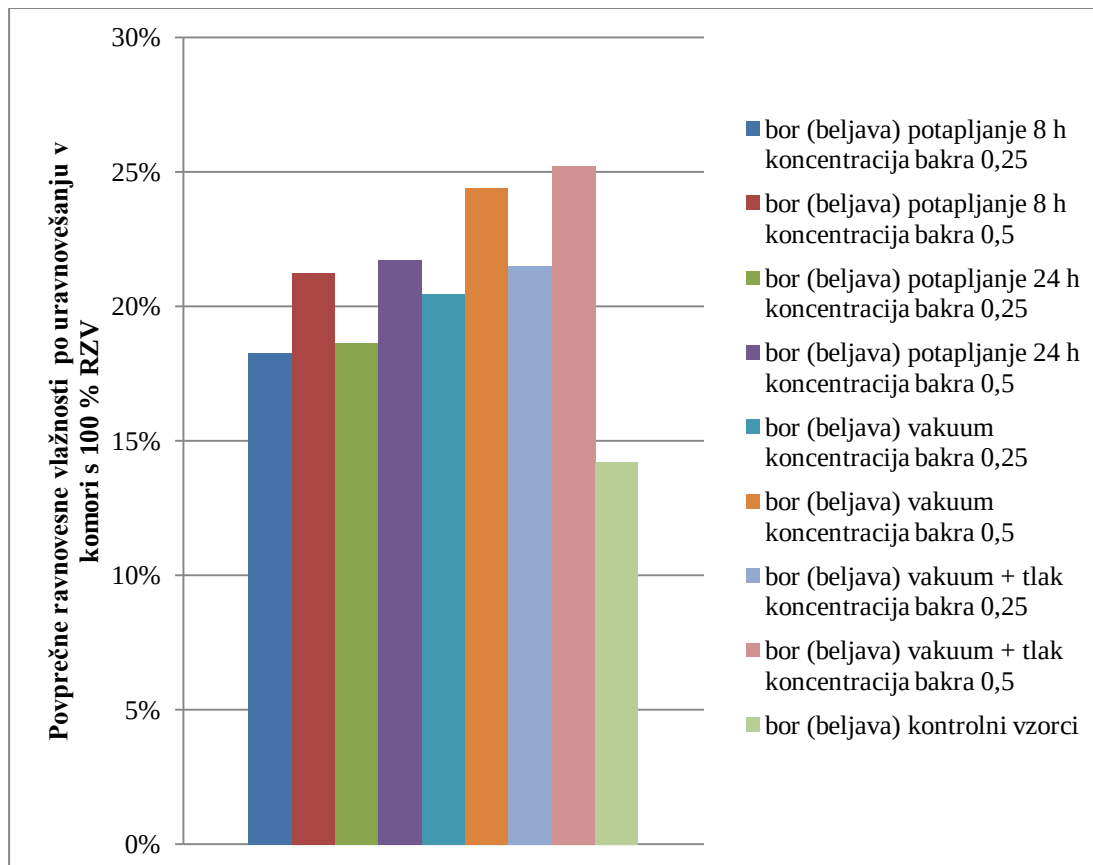
Na sliki 21 lahko vidimo, da so se najbolj navlažili vzorci, ki so bili impregnirani s postopkom vakuum in nadtlaka ter z raztopino s koncentracijo bakra 0,50 %. Vlažnost vzorcev v tem primeru znaša okoli 23 %. Po drugi strani pa je bila vlažnost kontrolnih vzorcev le okoli 16 %. V kolikor primerjamo ti dve ekstremni vrednosti z vlažnostjo vzorcev, ki so bili impregnirani z ostalimi postopki, vidimo, da je vlažnost lesa nekoliko povezana z mokrim, še bolj pa s suhim navzemom. Višja kot je količina navzetih aktivnih učinkovin, višja je vlažnost lesa po uravnotežanju na 100 %. Podobno ugotavlja tudi (Vavkman, 2006).



Slika 22: Povprečne ravnovesne vlažnosti vzorcev jedrovine macesna, po uravnovešanju v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.

Tudi tukaj pri macesnovih vzorcih lahko opazimo majhne razlike med vlažnostmi impregniranih vzorcev, lahko vidimo, da zabeležimo najvišjo vlažnost, pri vzorcih, ki so bili impregnirani po vakuumsko tlačnem postopku s pripravkom, ki je vseboval 0,50 % Cu. Ti vzorci so v povprečju dosegli okoli 21 % vlažnost, za primerjavo so se nam kontrolni vzorci

navlažili v povprečju na 14 %. Tako kot pri smrekovini opazimo povezanost med količino navzetega Cu in vlažnostjo lesa (Slike 17 in 18).



Slika 23: Povprečne ravnovesne vlažnosti vzorcev beljave bora , po uravnotežanju v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.

Pri borovih vzorcih lahko prav tako vidimo, da so najvišje vlažnosti pri vzorcih, impregniranih po postopku z vakuumom in nadtlakom, ter pri višji koncentraciji bakra v zaščitnem pripravku. Pri teh vzorcih vlažnost znaša v povprečju okoli 25 % (preglednica 5, slika 23). Pri ostalih vzorcih lahko zaznamo značilen vpliv količine navzetih aktivnih učinkovin na vlažnost. Razlog za to se skriva v higroskopni naravi soli, s katerimi smo impregnirali les. Bakrove, še bolj pa borove soli so higroskopske in tako vplivajo na vlažnost

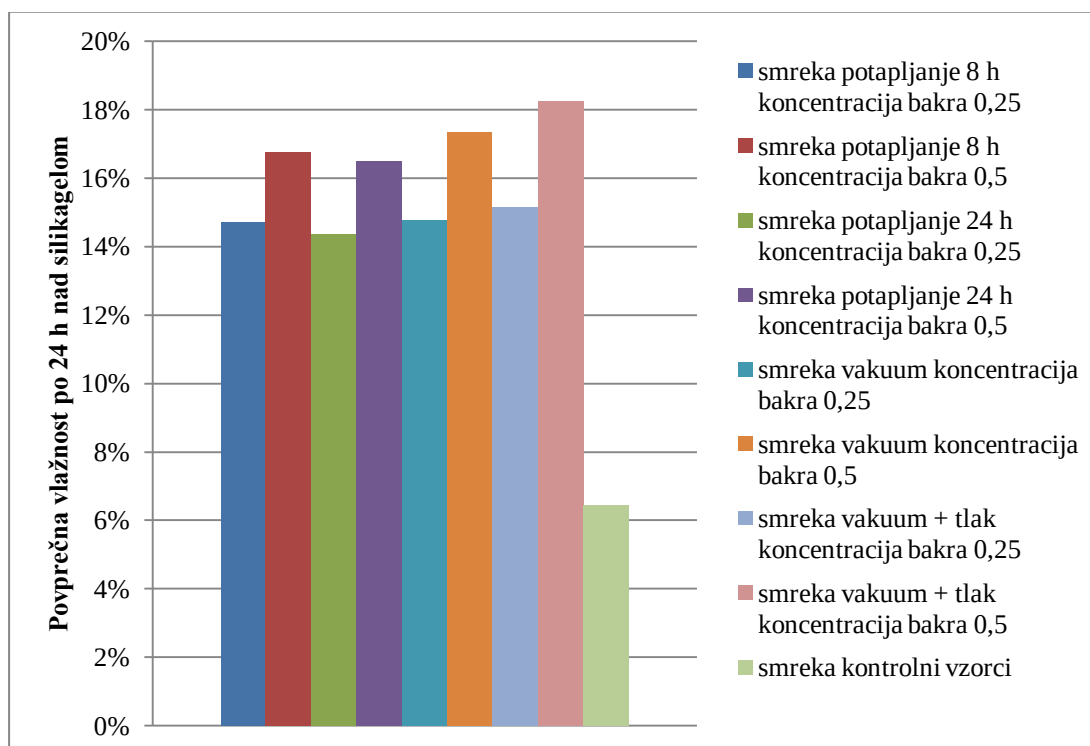
impregniranega lesa. Naraščanje vlažnosti impregniranega lesa z naraščajočo koncentracijo borove kisline so ugotovili tudi (Lesar in sod., 2010). Vlažnost kontrolnih borovih vzorcev je v povprečju okoli 14 %, tako kot pri macesnovih vzorcih. Če primerjamo med sabo vse vzorce lahko rečemo, da so se v povprečju najbolj navlažili borovi vzorci, tem sledijo smrekovi vzorci, na koncu so macesnovi vzorci, pri katerih smo zabeležili najnižjo ravnovesno vlažnost. Te vlažnosti so kljub dejstvu, da smo vzorce uravnovešali v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo relativno nizke. K nizki vlažnosti zagotovo prispeva dejstvo, da smo vzorce pred uravnovešanjem povsem posušili. Drugo dejstvo je, da ne poznamo vseh preteklih postopkov hidrotermične obdelave. Les je bil pred razžagovanjem tehnično posušen. Za sušenje pa pogosto uporabljajo visoke temperature, ki vplivajo tudi na sorpcijske lastnosti (Gorišek, 2009). Kakorkoli, tudi les, ki se uporablja v praksi, je pogosto tehnično sušen, tako da so ti podatki povsem relevantni s praktičnega vidika.

4.3 DESORPCIJA - URAVNOVEŠANJE VZORCEV V KOMORI Z NIZKO RELATIVNO ZRAČNO VLAŽNOSTJO (SILIKAGEL)

Eno izmed vprašanj, povezanih z impregniranim lesom je, kako hitro in v kolikšni meri se les navlaži v pogojih z visoko relativno vlažnostjo. Drugo vprašanje pa je, kako hitro se les posuši. Zato smo vzorce, ki smo jih uravnovesili v komori z visoko relativno zračno vlažnostjo, v drugem koraku posušili nad silikagelom. Tako smo uravnovešene vzorce prestavili v komoro nad silikagel za 24 h, naslednji dan smo jih vzeli iz komore in jim določili maso. Rezultate smo prikazali tabelarično in grafično (preglednica 6 in slike 24-26).

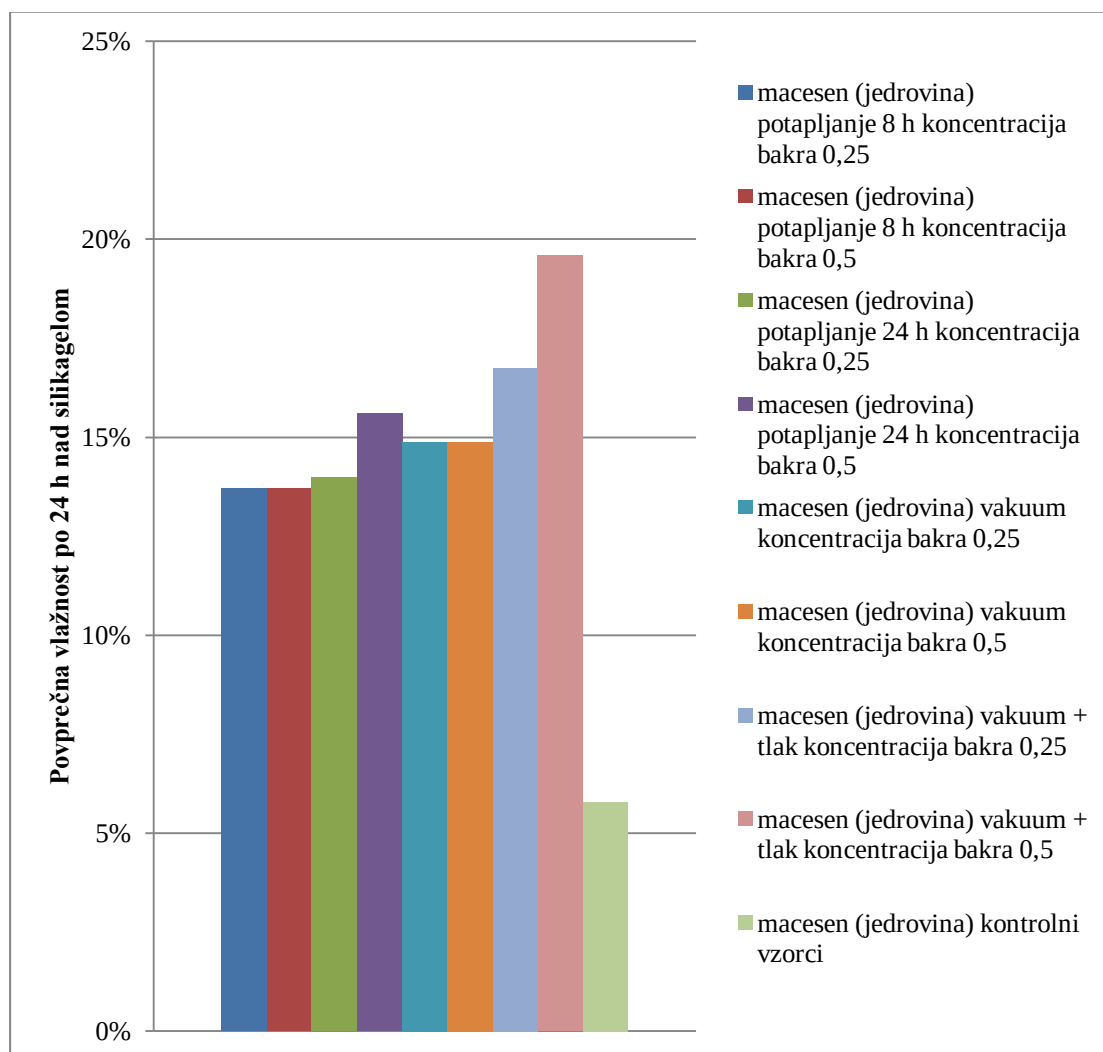
Preglednica 6: Povprečne vlažnosti impregniranih in kontrolnih vzorcev po 24 h sušenja v komori nad silikagelom. Pred sušenjem so bili vzorci uravnovešeni v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.

lesna vrsta	koncentracija bakra (%)	postopek impregnacije	povprečni navzem biocidnega sredstva (kg/m ³)	povprečna gostota lesa (kg/m ³)	povprečna vlažnost po 24 h nad silikagelom (%)	standardni odklon (%)
smreka	kontrola	/	/	445	6,4%	2,0%
smreka	0,25	potop 8 h	246	429	14,7%	0,2%
smreka	0,50	potop 8 h	237	422	16,7%	0,3%
smreka	0,25	potop 24 h	316	428	14,4%	0,6%
smreka	0,50	potop 24 h	312	422	16,5%	0,7%
smreka	0,25	vakuum	548	418	14,8%	0,2%
smreka	0,50	vakuum	575	450	17,3%	0,6%
smreka	0,25	vakuum + tlak	612	443	15,1%	0,8%
smreka	0,50	vakuum + tlak	636	448	18,2%	0,4%
macesen	kontrola	/	/	579	5,8%	0,6%
macesen	0,25	potop 8 h	65	531	13,7%	0,5%
macesen	0,50	potop 8 h	74	520	13,7%	0,6%
macesen	0,25	potop 24 h	103	518	14,0%	0,3%
macesen	0,50	potop 24 h	106	548	15,6%	0,3%
macesen	0,25	vakuum	99	538	14,9%	0,3%
macesen	0,50	vakuum	120	526	14,9%	0,7%
macesen	0,25	vakuum + tlak	432	532	16,8%	0,6%
macesen	0,50	vakuum + tlak	400	546	19,6%	0,5%
bor	kontrola	/	/	596	5,2%	0,5%
bor	0,25	potop 8 h	140	551	14,7%	0,3%
bor	0,50	potop 8 h	171	546	18,6%	0,4%
bor	0,25	potop 24 h	224	557	15,6%	0,4%
bor	0,50	potop 24 h	230	554	18,5%	1,1%
bor	0,25	vakuum	475	561	15,1%	0,6%
bor	0,50	vakuum	514	565	19,1%	0,8%
bor	0,25	vakuum + tlak	539	558	18,3%	0,2%
bor	0,50	vakuum + tlak	554	576	21,5%	0,8%



Slika 24: Povprečne vlažnosti vzorcev smrekovine, po 24 h v komori nad silikagelom. Pred tem so bili vzorci uravnovešeni v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.

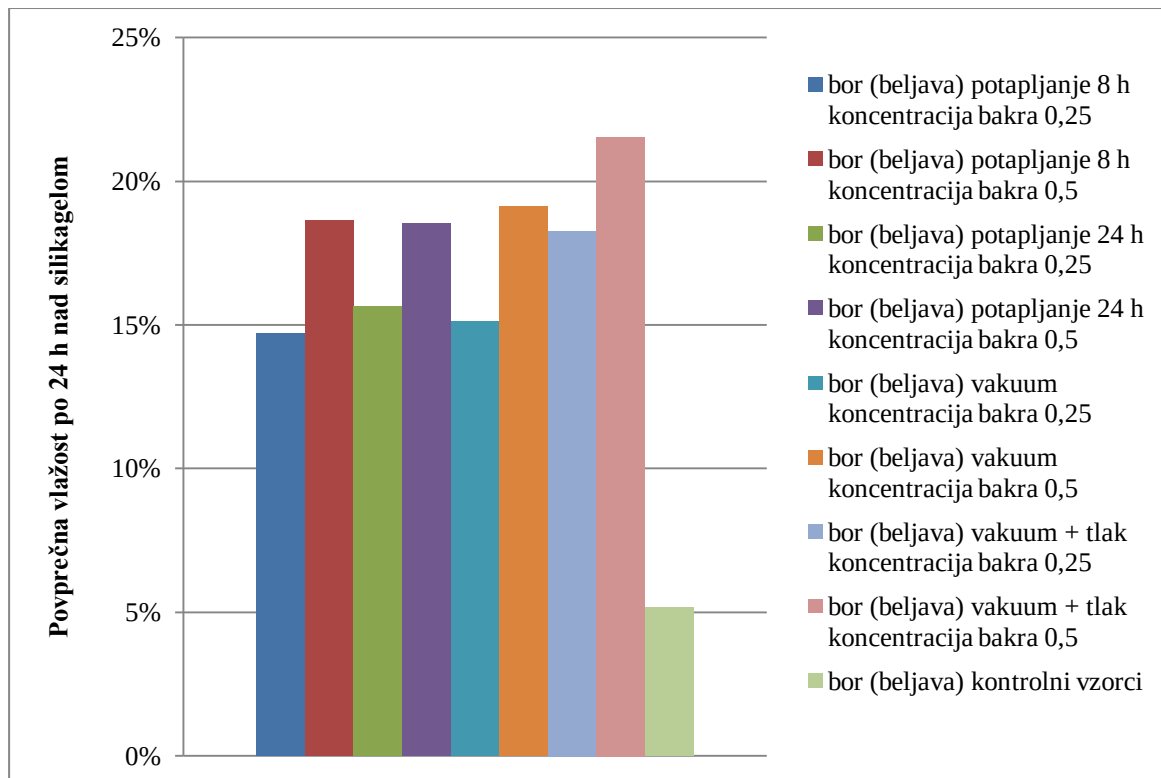
Po rezultatih sodeč lahko rečemo, da smo najnižjo vlažnost ponovno opazili pri kontrolnih vzorcih, kjer je vlažnost smrekovine padla s povprečnih 16 % na 6,4 %. Podobno, kot smo poročali za uravnovešene vzorce pri 100 % RH, so bili po 24 urah sušenja najbolj vlažni vzorci, ki so bili impregnirani s postopkom vakuumu in nadtlaka s pripravkom višje koncentracije, kjer smo določili povprečno vlažnost 18,2 % (preglednica 6, slika 24). Podobno kot smo opazili pri uravnovešanju na 100 % RH, je tudi pri sušenju opaziti povezavo med navzemom in vlažnostjo. Višji navzemi se odražajo v višjih vlažnostih tudi po sušenju. Verjetno je voda, ki je absorbirana na aktivne učinkovine v lesu relativno dobro vezana in ne izhlapi iz lesa tako hitro, kot voda, vezana na lesne komponente.



Slika 25: Povprečne vlažnosti vzorcev jedrovine macesna po 24 h v komori nad silikagelom. Pred tem so bili vzorci uravnovešeni v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.

Pri macesnovini, ki je bila po uravnovešanju pri 100 % RVZ izpostavljena celodnevemu sušenju, opazimo podobne rezultate, kot pri smrekovini. Vlažnosti kontrolnih vzorcev so najnižje. Opaziti pa je, da so vlažnosti pri vzorcih, ki so bili impregnirani s pripravkom nižje koncentracije, višje povprečne vrednosti, kot pri vzorcih, ki so bili prepojeni s pripravki višje koncentracije. Podobno kot pri smrekovih vzorcih se je najbolj zmanjšala vlažnost pri kontrolnih vzorcih, kjer se je od povprečne začetne 14 % vlažnosti le-ta zmanjšala na 5,8 %.

Najvišja vlažnost je bila tako pri vzorcih, kjer je bil za impregnacijo uporabljen vakuum in nadtlak, kjer vlažnost po sušenju znaša okoli 19,6 %.



Slika 26: Povprečne vlažnosti vzorcev beljave bora po 24 h v komori nad silikagelom. Pred tem so bili vzorci uravnovešeni v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.

Tudi pri borovih vzorcih lahko opazimo, da zaznamo najvišjo povprečno vlažnost po 24 urnem sušenju vzorcev, impregniranih s postopkom s kombinacijo vakuumu in nadtlaka, ter z raztopinami višje koncentracije bakra (preglednica 6, slika 26). V tem primeru znaša vlažnost okoli 21,5 %. V povprečju se je pokazalo podobno kot pri ostalih vzorcih, kjer smo najnižjo vlažnost določili pri kontrolnih vzorcih, ko se je od začetne povprečne vlažnosti 14 % le-ta zmanjšala na 5,2 %. Pri ostalih vzorcih je končna vlažnost v tesni korelaciji z navzetim bakrom. Višji navzemi se odražajo v višji vlažnosti po sušenju. Če primerjamo med sabo vse vzorce, bi lahko zaključili, da se je vlažnost najmanj spremenila na borovih

vzorcih, nato jim sledijo smrekovi vzorci, najbolj pa se je vlažnost spremenila pri macesnovih vzorcih. Ti podatki se skladajo s podatki o navzemu bakrovih učinkovin v les. Največje navzeme smo opazili pri borovih vzorcih, najnižje pa pri macesnovih (preglednica 6). V preglednici 7 so prikazane razlike med vlažnostjo po uravnovešanju v komori s 100 % RZV in po 24 h sušenja nad silikagelom.

Preglednica 7: Razlike med vlažnostjo po uravnovešanju v komori s 100 % RZV in po 24 h sušenja nad silikagelom

lesna vrsta	koncentracija bakra (%)	postopek impregnacije	povprečna vlažnost po 21 dneh v komori z 100 % RZV	povprečna vlažnost lesa po 24 h nad silikagelom (%)	razlike v vlažnostih Δ (%)
smreka	kontrola	/	16%	6,4%	10,0%
smreka	0,25	potop 8 h	20%	14,7%	5,1%
smreka	0,50	potop 8 h	20%	16,7%	3,6%
smreka	0,25	potop 24 h	22%	14,4%	7,8%
smreka	0,50	potop 24 h	20%	16,5%	3,3%
smreka	0,25	vakuum	22%	14,8%	7,7%
smreka	0,50	vakuum	21%	17,3%	3,2%
smreka	0,25	vakuum + tlak	20%	15,1%	4,5%
smreka	0,50	vakuum + tlak	23%	18,2%	4,5%
macesen	kontrola	/	14%	5,8%	8,4%
macesen	0,25	potop 8 h	18%	13,7%	4,0%
macesen	0,50	potop 8 h	18%	16,3%	1,8%
macesen	0,25	potop 24 h	19%	14,0%	5,4%
macesen	0,50	potop 24 h	17%	15,6%	1,8%
macesen	0,25	vakuum	21%	14,9%	5,7%
macesen	0,50	vakuum	18%	14,9%	2,7%
macesen	0,25	vakuum + tlak	20%	16,8%	2,8%
macesen	0,50	vakuum + tlak	21%	19,6%	1,9%
bor	kontrola	/	14%	5,2%	9,0%
bor	0,25	potop 8 h	18%	14,7%	3,6%
bor	0,50	potop 8 h	21%	18,6%	2,6%
bor	0,25	potop 24 h	19%	15,6%	3,0%
bor	0,50	potop 24 h	22%	18,5%	3,2%
bor	0,25	vakuum	20%	15,1%	5,3%
bor	0,50	vakuum	24%	19,1%	5,3%
bor	0,25	vakuum+ tlak	22%	18,3%	3,2%
bor	0,50	vakuum + tlak	25%	21,5%	3,7%

Iz podatkov v preglednici 7 lahko vidimo, da so bile najvišje razlike vlažnosti pri vseh kontrolnih vzorcih. Lahko rečemo, da so se najmanj osušili macesnovi vzorci, nato jim

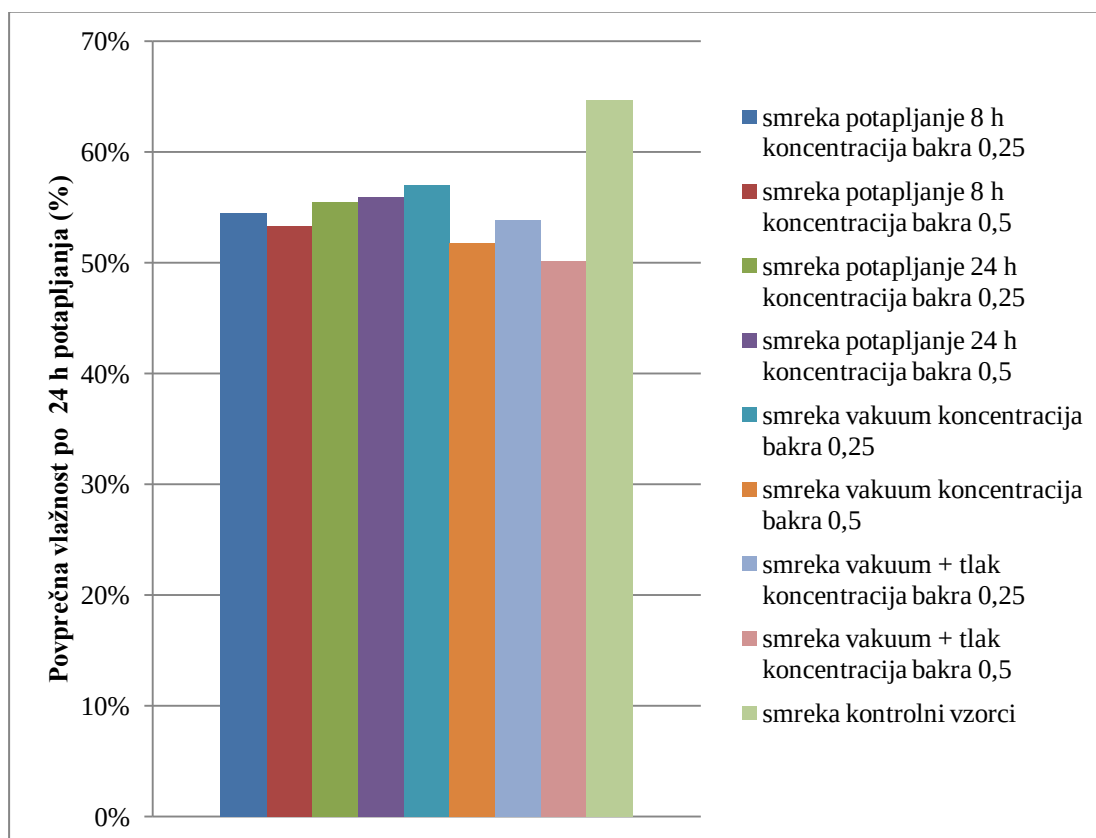
sledijo borovi vzorci, najbolj se je spremenila vlažnost pri smrekovih vzorcih. Prav tako lahko trdimo, da se ti podatki skladajo z navzemom bakrovih učinkovin v les (preglednica 5): najvišji navzemi so bili pri borovih vzorcih, najnižji pa pri macesnovih.

4.4. VLAŽNOST LESA, KI JE BIL V VODO POTOPLJEN DALJ ČASA

Po uravnovešanju v komori nad silikagelom je sledilo določanje vlažnosti lesa po celodnevem namakanju v vodo. Namakanje vzorcev v vodo, je potekalo 24 ur, nakar smo vzorce vzeli iz vode, ter jih ponovno stehali. Rezultate smo prikazali grafično in tabelarično (preglednica 8 in slike 27-29).

Preglednica 8: Vpliv impregnacije in lesne vrste na povprečne vlažnosti lesa po 24 h urah namakanja v destilirani vodi.

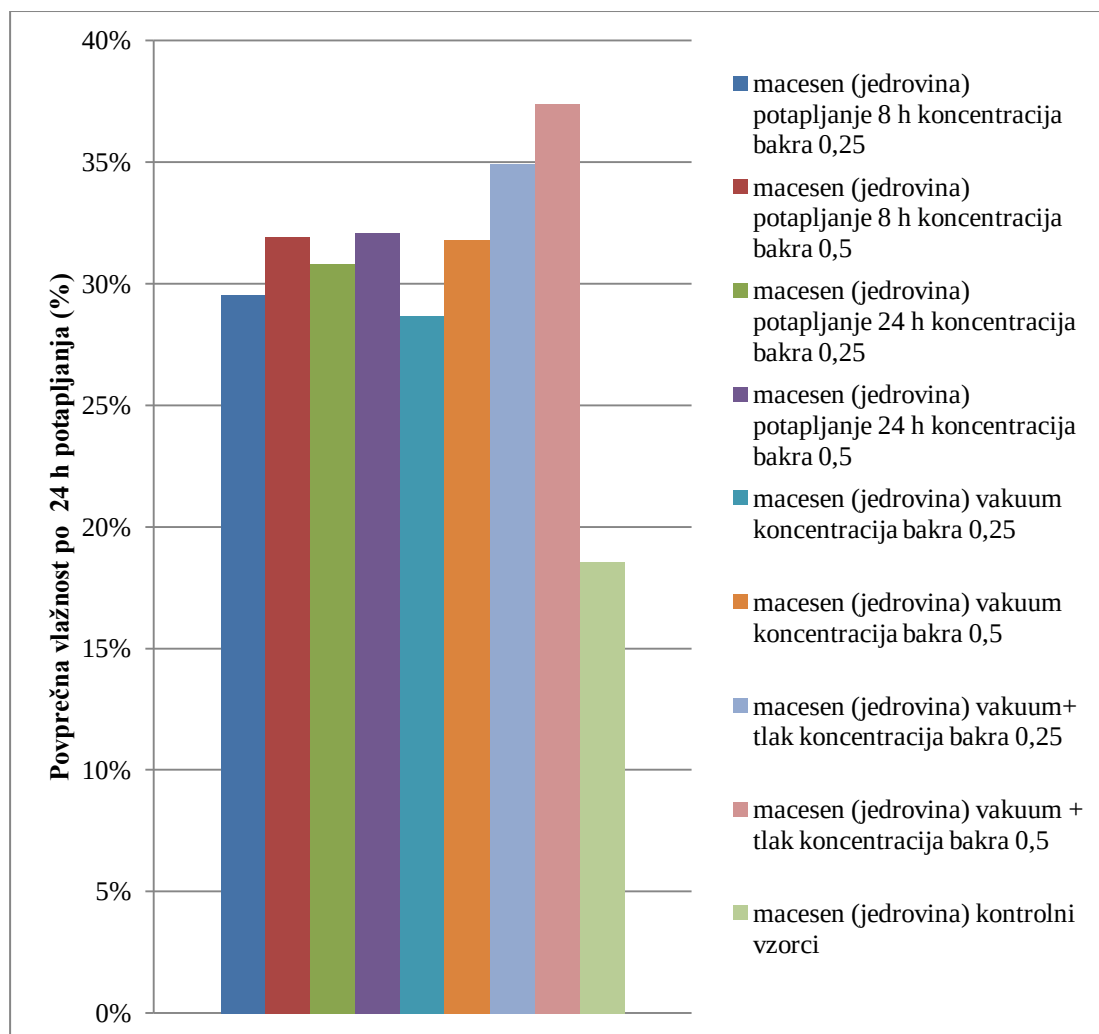
lesna vrsta	koncentracija bakra (%)	postopek impregnacije	povprečen navzem biocidnega sredstva (kg/ m ³)	povprečna gostota lesa (kg/ m ³)	povprečna vlažnost lesa po 24 h namakanja (%)	standardni odklon (%)
smreka	kontrola	/	/	445	64,7 %	7,0 %
smreka	0,25	potop 8 h	246	429	54,5 %	3,3 %
smreka	0,50	potop 8 h	237	422	53,3 %	9,9 %
smreka	0,25	potop 24 h	316	428	55,4 %	5,6 %
smreka	0,50	potop 24 h	312	422	55,9 %	5,0 %
smreka	0,25	vakuum	548	418	57,0 %	5,0 %
smreka	0,50	vakuum	575	450	51,7 %	1,5 %
smreka	0,25	vakuum + tlak	612	443	53,8 %	1,4 %
smreka	0,50	vakuum + tlak	636	448	50,01 %	0,9 %
macesen	kontrola	/	/	579	18,6 %	0,9 %
macesen	0,25	potop 8 h	65	531	29,5 %	1,0 %
macesen	0,50	potop 8 h	74	520	31,9 %	0,8 %
macesen	0,25	potop 24 h	103	518	30,8 %	1,0 %
macesen	0,50	potop 24 h	106	548	32,1 %	0,7 %
macesen	0,25	vakuum	99	538	28,7 %	1,4 %
macesen	0,50	vakuum	120	526	31,8 %	1,1 %
macesen	0,25	vakuum + tlak	432	532	34,9 %	1,0 %
macesen	0,50	vakuum + tlak	400	546	37,4 %	0,4 %
bor	kontrola	/	/	596	42,4 %	3,4 %
bor	0,25	potop 8 h	140	551	49,5 %	3,5 %
bor	0,50	potop 8 h	171	546	54,0 %	4,5 %
bor	0,25	potop 24 h	224	557	48,1 %	5,7 %
bor	0,50	potop 24 h	230	554	53,2 %	6,0 %
bor	0,25	vakuum	475	561	50,6 %	3,9 %
bor	0,50	vakuum	514	565	53,1 %	3,0 %
bor	0,25	vakuum + tlak	539	558	56,8 %	1,7 %
bor	0,50	vakuum + tlak	554	576	52,8 %	2,6 %



Slika 27: Vpliv impregnacije z bakrovimi pripravki na povprečne vlažnosti vzorcev smrekovine po potopu v vodo za 24 h.

Na sliki 27 so prikazane vlažnosti po 24 urah potapljanja smrekovih vzorcev v vodo. Iz teh podatkov se lepo vidi, da so se najbolj navlažili kontrolni vzorci, ki so dosegli povprečno vlažnost 64,7 %. (slika 27 in preglednica 8), zatem jim sledijo vzorci, kjer smo uporabili postopek impregnacije vakuum in potopa z uporabljenno nižjo koncentracijo bakra v zaščitnem pripravku. Vlažnosti ostalih vzorcev so bile primerljive. Vprašanje je, kaj je razlog za nižje vlažnosti z bakrom impregniranega lesa. Na to vprašanje bo lažje odgovoriti, po analizi rezultatov določanja navzema vode s kratkotrajnim postopkom izpostavitve in določanja hitrosti vpijanja vodnih kapljic v les. V vsakem primeru pa je iz analize

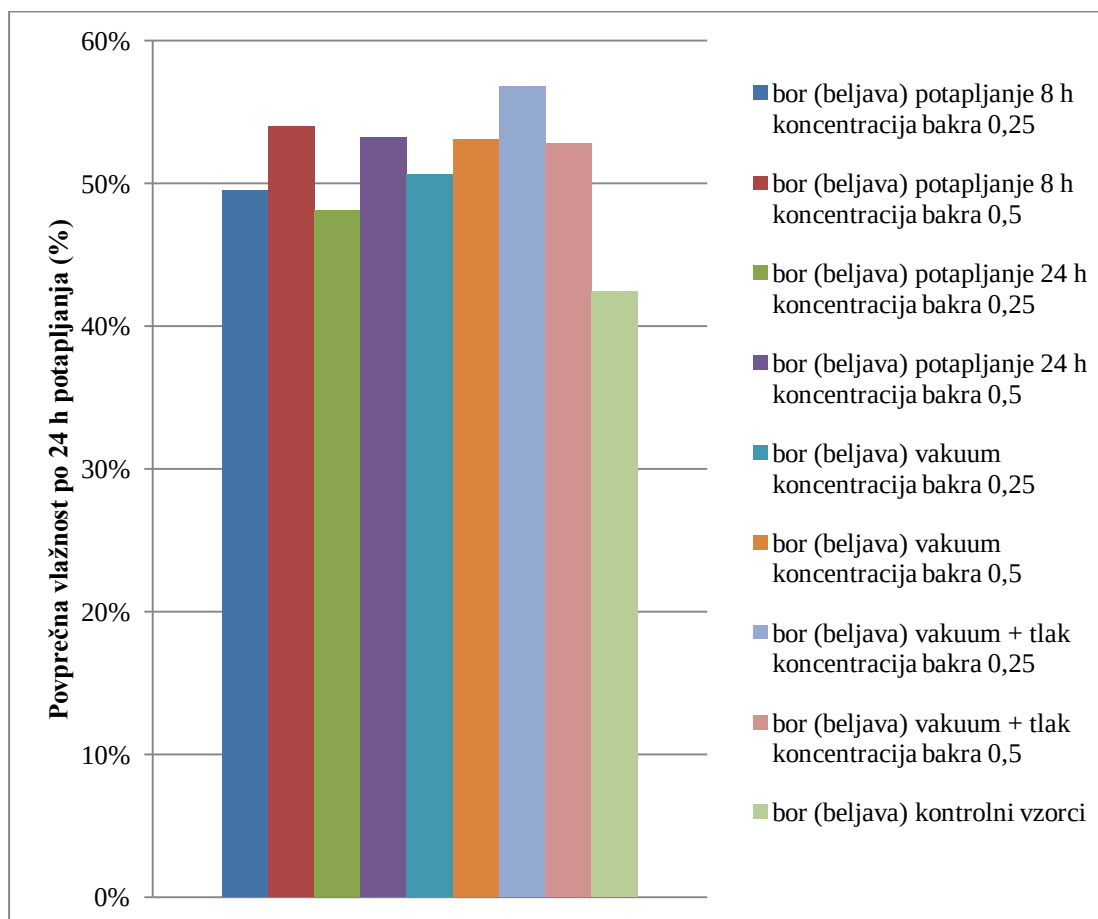
dosedanjih rezultatov razvidno, da vlažnost vzorcev pri izpostavitvi tekoči vodi in vodni pari ni povezana.



Slika 28: Vpliv impregnacije z bakrovimi pripravki na povprečne vlažnosti vzorcev jedrovine macesna po potopu v vodo za 24 h.

Iz podatkov o 24 urnem namakanju macesnovih vzorcev (slika 28) lahko vidimo, da so bili za razliko od smrekovih vzorcev, najvlažnejši impregnirani vzorci. Še posebej izstopa macesnovina, ki je bila impregnirana po vakuumsko tlačnem postopku, s pripravkom višje

koncentracije. Pri teh vzorcih smo zabeležili povprečno vlažnost 37,4 %. Za primerjavo smo pri kontrolnih vzorcih opazili bistveno nižje vrednosti (18,6 %). Kakorkoli, vlažnosti macesnovine so v splošnem nižje od vlažnosti smrekovine, kar nakazuje na slabo permeabilnost macesnovine.



Slika 29: Vpliv impregnacije z bakrovimi pripravki na povprečne vlažnosti vzorcev beljave bora po potopu v vodo za 24 h.

Borova beljava je relativno dobro permeabilna. Zato so vlažnosti lesa po 24 urnem namakanju relativno visoke v primerjavi s smrekovino in macesnovino. Tudi pri borovini opazimo (slika 29), da so se najbolj navlažili vzorci, ki so bili impregnirani z vakuumsko

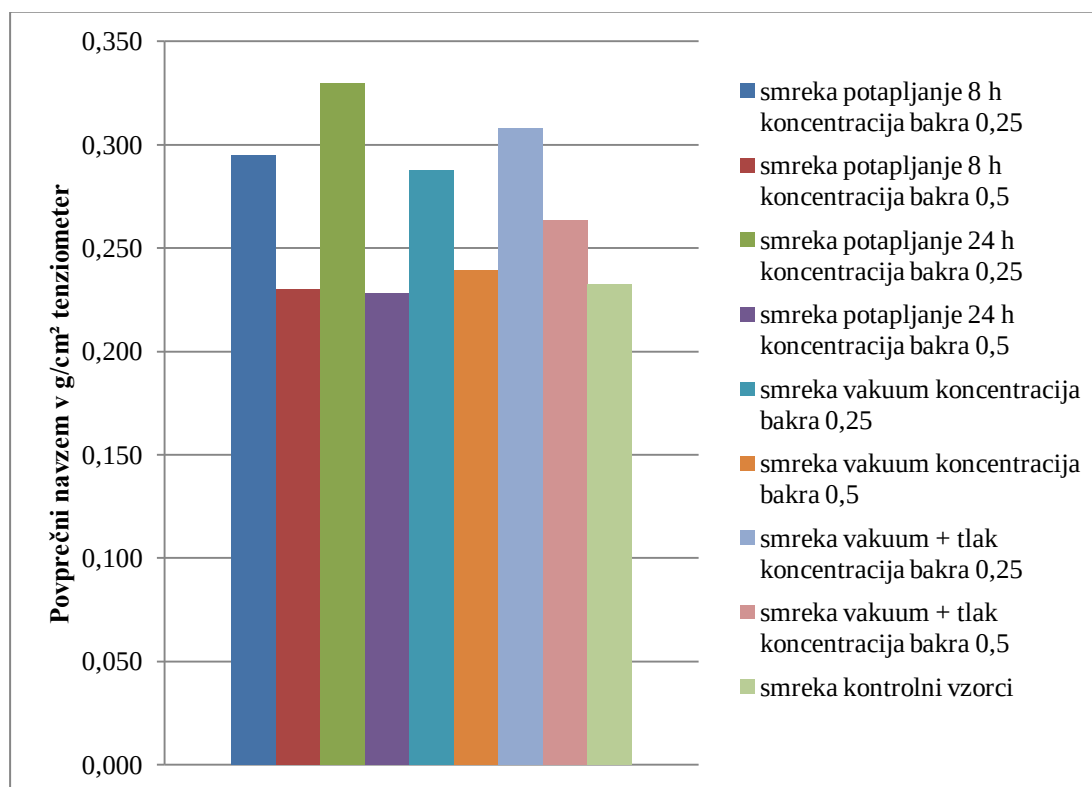
tlačnim postopkom, kjer smo določili povprečno vlažnost, kar 56,8 %, kar je bistveno več od vlažnosti kontrolnih vzorcev. Pri teh smo po celodnevem namakanju določili povprečno vlažnost 42,4 %, kar je bistveno manj od vlažnosti smrekovine 64,7 % in več od macesnovine 18,6 %.

4.5 DOLOČANJE NAVZEMA VODE S TENZIOMETROM, S KRATKIM ČASOM IZPOSTAVITVE VZORCEV TEKOČI VODI

Drugi del impregniranih in neimpregniranih (kontrolnih) vzorcev je služil za določanje navzema vode po kratkotrajni izpostavitvi. Podatki navzema, določenega po tem postopku, nakazujejo kaj se dogaja z lesom med kratkotrajnimi padavinskimi dogodki na čelih, ki so najbolj izpostavljeni navzemu vode in s tem tudi glivnemu razkroju. Rezultate navzema po kratkotrajni izpostavitvi vodi (200 s omočitve) smo prikazali v preglednici 9 in na slikah 30-32.

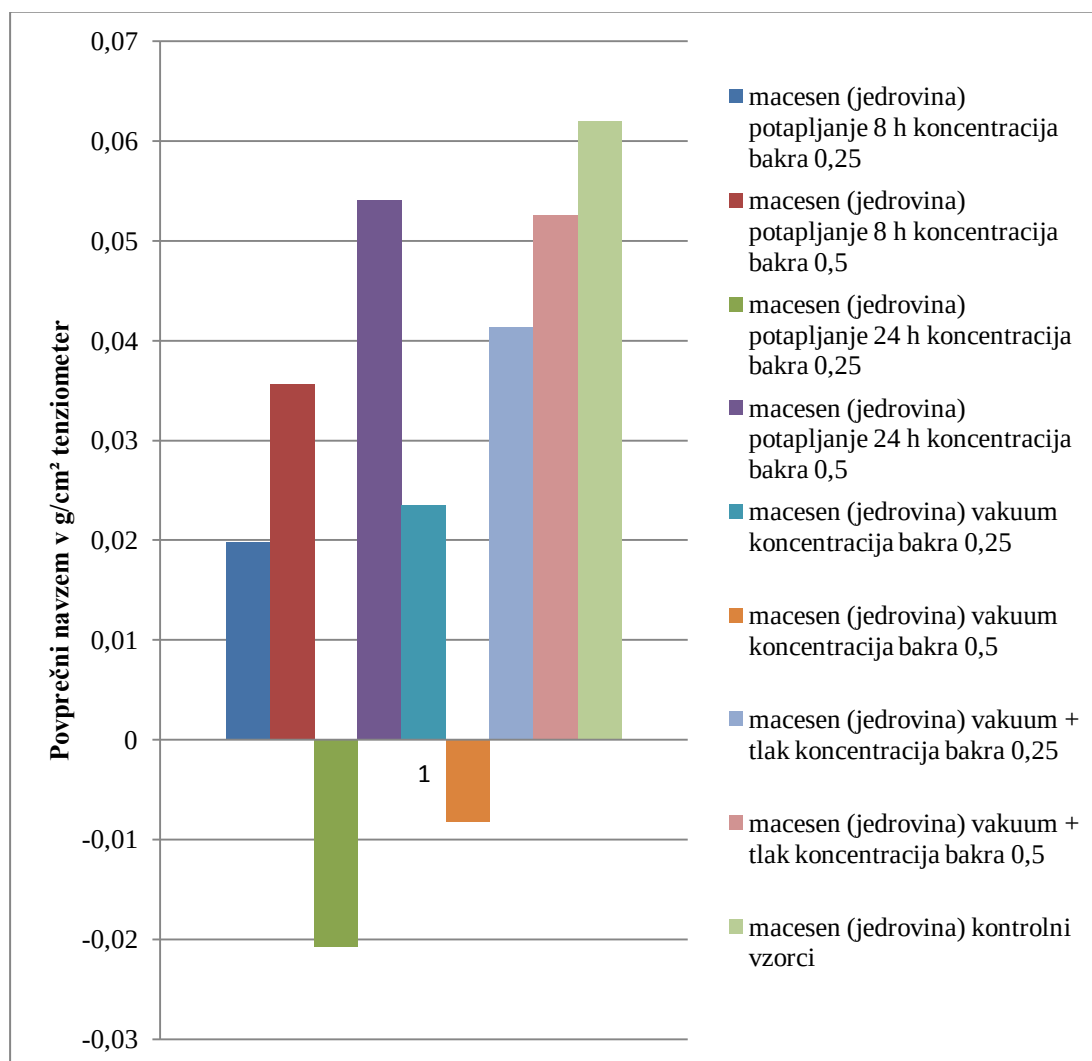
Preglednica 9: Vpliv impregnacije in lesne vrste na povprečni navzem vode po 200 s stika čelne površine s tekočo vodo, določen s tenziometrom.

lesna vrsta	koncentracija bakra (%)	postopek impregnacije	povprečni navzem biocidnega sredstva (kg/m ³)	povprečna gostota lesa (kg/m ³)	povprečni navzem vode v les (g/cm ²)	standardni odklon (%)
smreka	kontrola	/	/	445	0,232	0,048
smreka	0,25	potop 8 h	246	429	0,295	0,128
smreka	0,50	potop 8 h	237	422	0,230	0,067
smreka	0,25	potop 24 h	316	428	0,329	0,017
smreka	0,50	potop 24 h	312	422	0,228	0,056
smreka	0,25	vakuum	548	418	0,288	0,063
smreka	0,50	vakuum	575	450	0,239	0,053
smreka	0,25	vakuum + tlak	612	443	0,308	0,010
smreka	0,50	vakuum + tlak	636	448	0,263	0,082
macesen	kontrola	/	/	579	0,062	0,010
macesen	0,25	potop 8 h	65	531	0,020	0,014
macesen	0,50	potop 8 h	74	520	0,036	0,019
macesen	0,25	potop 24 h	103	518	-0,021	0,081
macesen	0,50	potop 24 h	106	548	0,054	0,036
macesen	0,25	vakuum	99	538	0,024	0,012
macesen	0,50	vakuum	120	526	-0,008	0,074
macesen	0,25	vakuum + tlak	432	532	0,041	0,006
macesen	0,50	vakuum + tlak	400	546	0,053	0,021
bor	kontrola	/	/	596	0,214	0,048
bor	0,25	potop 8 h	140	551	0,047	0,128
bor	0,50	potop 8 h	171	546	0,088	0,067
bor	0,25	potop 24 h	224	557	0,125	0,017
bor	0,50	potop 24 h	230	554	0,104	0,056
bor	0,25	vakuum	475	561	0,088	0,063
bor	0,50	vakuum	514	565	0,146	0,053
bor	0,25	vakuum + tlak	539	558	0,129	0,010
bor	0,50	vakuum + tlak	554	576	0,085	0,082



Slika 30: Povprečni navzem vode v čela smrekovih vzorcev po 200 s omočitve.

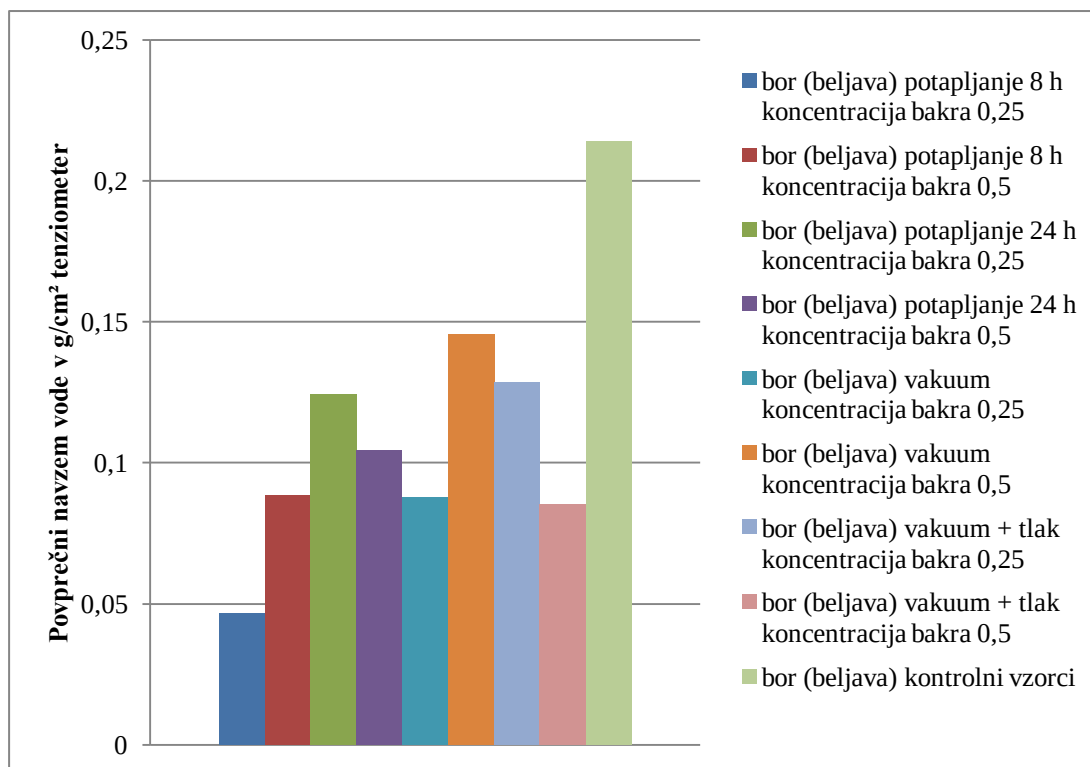
Na sliki 30, kjer so prikazani podatki o kratkotrajnem navzemu vode za smrekove vzorce, lahko vidimo, da smo določili najvišji povprečni navzemi pri vzorcih, ki so bili za 24 ur potopljene v biocidni proizvod nižje koncentracije. V tem primeru povprečni navzem vode znaša $0,329 \text{ g/cm}^2$. Iz slike 31 lahko razberemo, da ima na kratkotrajni navzem vode velik vpliv koncentracija pripravka. Tako smo najvišje navzeme določili pri vzorcih, ki so bili impregnirani s pripravkom nižje koncentracije. Pri višjih koncentracijah se površina impregnirane smrekovine obnaša nekoliko manj hidrofilno. Podobno opažajo tudi drugi raziskovalci (Starček 2012; Šprinzar, 2014).



Slika 31: Povprečni navzem vode v čela macesnovih (jedrovina) vzorcev po 200 s omočitve.

Na sliki 31, kjer so prikazani podatki o navzemu vode po 200 s stika macesnovih vzorcev s površino vode, lahko vidimo, da je bil najvišji povprečni navzem pri vzorcih, ki so bili za 24 ur potopljeni v biocidni proizvod višje koncentracije: v tem primeru povprečni navzem vode znaša $0,036 \text{ g/cm}^2$. Še višji povprečni navzem vode smo določili pri kontrolnih suhih vzorcih. Prav tako lahko ugotovimo, da ima na navzem vode, določen s kratkotrajnim postopkom, velik vpliv koncentracija pripravka, saj se izkaže, da so višji povprečni navzemi

pri vzorcih, ki so bili impregnirani s pripravkom višje koncentracije. Pri macesnovih vzorcih se pokaže ravno obratno kot pri smrekovih vzorcih, saj nam površina impregnirana z nižjo koncentracijo vpije precej manj vode, kot pri smrekovih vzorcih.



Slika 32: Povprečni navzem vode v čela borovih (bejjava) vzorcev po 200 s omočitve.

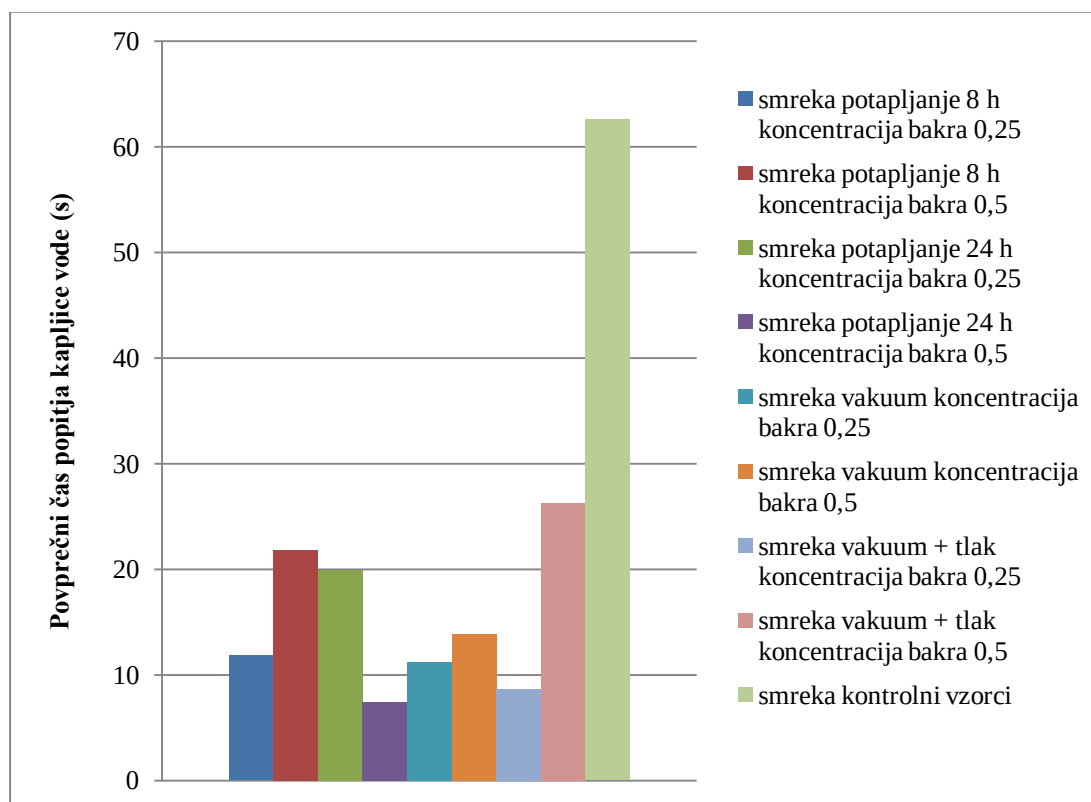
Na sliki 32, kjer so prikazani podatki o navzemu vode za borove vzorce, ki so bili v stiku z gladino vode 200 s, lahko vidimo, da smo določili najvišji povprečni navzem pri vzorcih, ki so bili impregnirani po postopku vakuum z biocidnim proizvodom višje koncentracije. V tem primeru povprečni navzem znaša $0,146 \text{ g/cm}^2$. Tudi tukaj smo najvišji povprečni navzem določili pri kontrolnih vzorcih, saj je bejjava bora zelo impregnabilna.

4.6 MERJENJE HITROSTI VPIJANJA VODE V LES Z INSTRUMENTOM ZA DOLOČANJE KONTAKTNIH KOTOV

Pri vzorcih, ki smo jih uporabili za določanje navzema vode s tenziometrom, smo v naslednjem koraku predvideli določanje kontaktnega kota. Ker so bili koti relativno majhni in je kapljica v večini primerov zelo hitro izginila, oz. se je vpila v les, smo se odločili, da bomo rajši beležili čas, v katerem se kapljica povsem vpije v podlago. Podatke smo obdelali in jih grafično in tabelarično prikazali (preglednica 10 in slike 33-35).

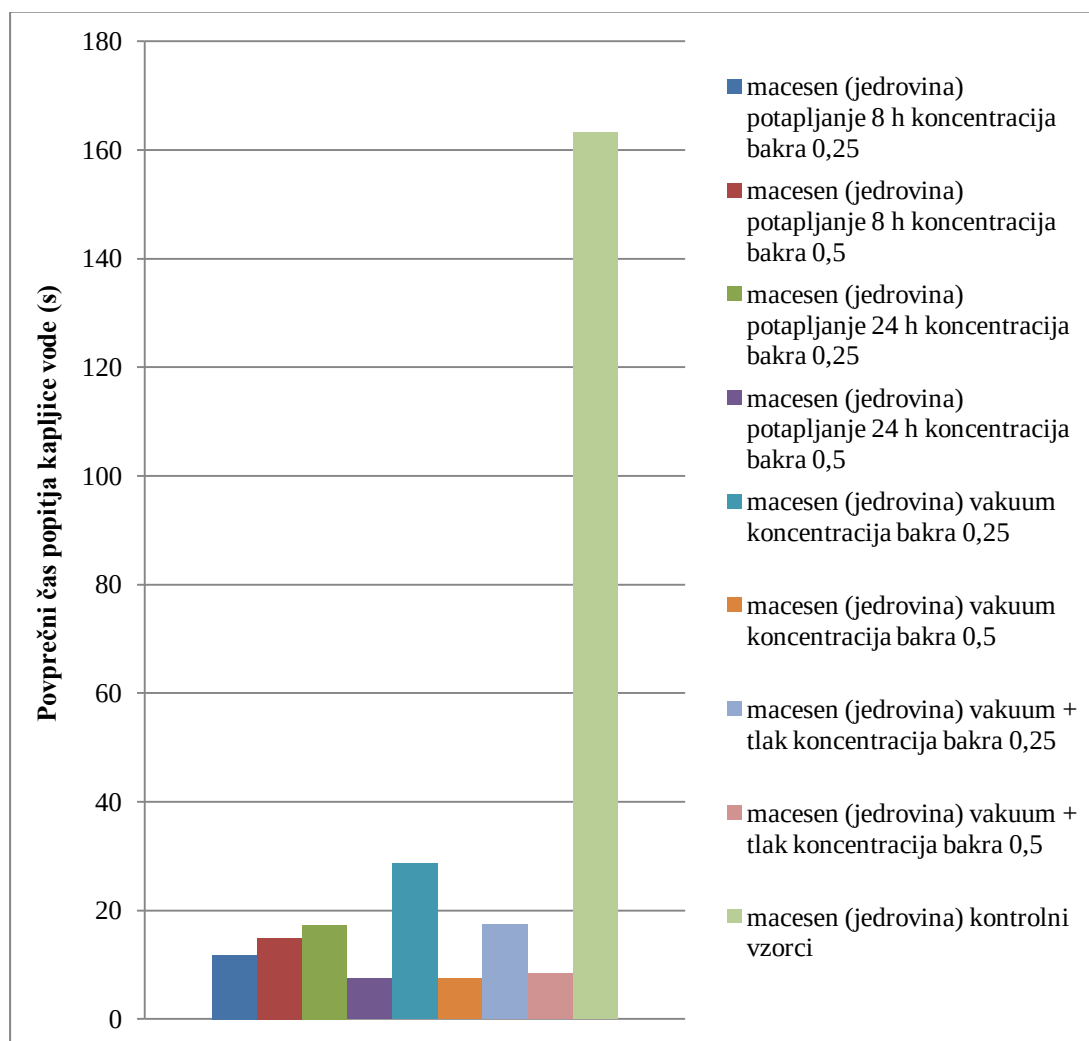
Preglednica 10: Vpliv lesne vrste in postopka impregnacije na povprečni čas vpitja kapljic vode v površino lesa v sekundah.

lesna vrsta	koncentracija bakra (%)	postopek impregnacije	povprečni navzem biocidnega sredstva (kg/m ³)	povprečna gostota lesa (kg/m ³)	povprečni čas vpitja kapljice v les (s)	standardni odklon (s)
smreka	kontrola	/	/	445	62,6	12,4
smreka	0,25	potop 8 h	246	429	11,9	5,5
smreka	0,50	potop 8 h	237	422	21,8	4,0
smreka	0,25	potop 24 h	316	428	19,9	5,0
smreka	0,50	potop 24 h	312	422	7,4	3,7
smreka	0,25	vakuum	548	418	11,2	2,2
smreka	0,50	vakuum	575	450	13,9	8,3
smreka	0,25	vakuum + tlak	612	443	8,7	3,3
smreka	0,50	vakuum + tlak	636	448	26,3	6,0
macesen	kontrola	/	/	579	163,2	19,4
macesen	0,25	potop 8 h	65	531	11,7	7,6
macesen	0,50	potop 8 h	74	520	14,9	9,7
macesen	0,25	potop 24 h	103	518	17,3	10,7
macesen	0,50	potop 24 h	106	548	7,5	3,8
macesen	0,25	vakuum	99	538	28,6	1,4
macesen	0,50	vakuum	120	526	7,5	1,6
macesen	0,25	vakuum + tlak	432	532	17,5	10,4
macesen	0,50	vakuum + tlak	400	546	8,4	5,0
bor	kontrola	/	/	596	62,6	12,4
bor	0,25	potop 8 h	140	551	11,9	5,5
bor	0,50	potop 8 h	171	546	21,8	4,0
bor	0,25	potop 24 h	224	557	19,9	5,0
bor	0,50	potop 24 h	230	554	7,4	3,7
bor	0,25	vakuum	475	561	11,2	2,2
bor	0,50	vakuum	514	565	13,9	8,3
bor	0,25	vakuum+ tlak	539	558	8,7	3,3
bor	0,50	vakuum + tlak	554	576	26,3	6,0



Slika 33: Povprečni čas vpitja kapljic vode v les izražene v sekundah (smreka).

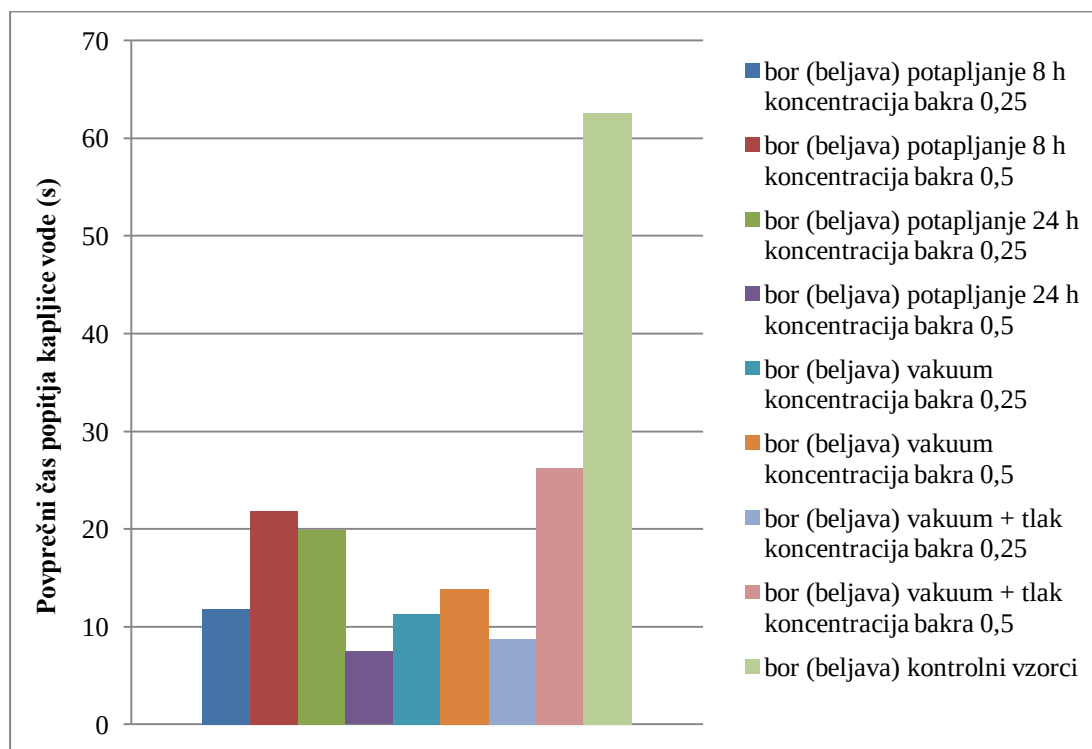
Na sliki 33 lahko vidimo čas, v katerem je les vpil kapljico, ki smo jo kanili na površino. Najhitreje je kapljica izginila pri vzorcih, ki so bili impregnirani z 8 urnim potapljanjem s pripravkom višje koncentracije. Pri teh vzorcih znaša povprečni čas, v katerem se je kapljica vpila v podlago le 7,4 sekunde. Pri ostalih impregniranih površinah je kapljica izginila v največ 20 s. Za primerjavo lahko navedemo, da je ta čas pri kontrolnih vzorcih veliko daljši in znaša kar 64,4 s (slika 33). Razlog za tako hidrofilno površino je v tem, da baker-etanolaminski pripravki vsebujejo tudi površinsko aktivne snovi, kot so na primer kvartarne amonijeve spojine, ki vplivajo tudi na lastnosti površine. Drugi razlog za hidrofilno površino bi lahko pripisali samemu vplivu etanolamina v biocidnem sredstvu saj nam le - ta, na površini lesa naredi mikro razpoke, in nam tako sami vzorci posledično hitreje površinsko vpijejo vodo (Humar, 2006).



Slika 34: Povprečni čas vpitja kapljice vode v les izražene v sekundah (macesen-jedrovina).

Pri macesnovih vzorcih smo zabeležili podobne podatke, kot pri smrekovih vzorcih (sliki 33 in 34). Najhitreje je kapljica izginila pri vzorcih, ki so bili impregnirani s pripravkom višje koncentracije pripravka, še posebej pri tistih, ki smo jih zaščitili s postopkom namakanja. Ta rezultat je po eni strani pričakovan. Površina lesa je bila bistveno dlje v stiku z zaščitnim pripravkom pri vzorcih, ki smo jih zaščitili s postopkom potapljanja, kot pri tistih, ki smo jih le dve uri impregnirali v komori. Za primerjavo, kapljica na kontrolnih vzorcih je izginila

še le po 163,2 s, kar je skoraj trikrat dlje kot pri smrekovih vzorcih, kar kaže na odlične hidrofozne lastnosti macesnovega lesa.

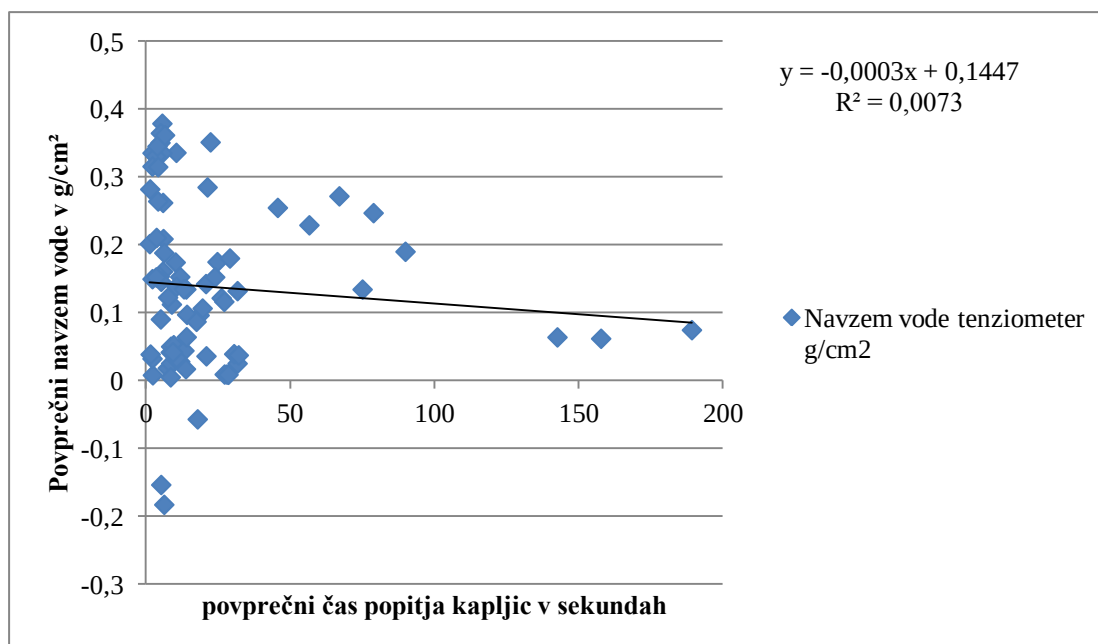


Slika 35: Povprečni čas vpitja kapljic vode v les izražene v sekundah (bor-beljava).

Podobno kot pri macesnovini in smrekovini, smo tudi pri vzorcih, izdelanih iz beljave bora, opazili, da s površine kapljica najhitreje izgine pri vzorcih, ki smo jih zaščitili s postopki potapljanja v pripravke višje koncentracije. Tako je pri vzorcih, ki smo jih potopili v pripravke višje koncentracije za 24 ur, kapljica izginila po 7,4 sekunde, pri kontrolnih vzorcih pa je kapljica izginila po 62,6 sekunde.

4.7 POVEZAVA MED REZULTATI RAZLIČNIH MERITEV

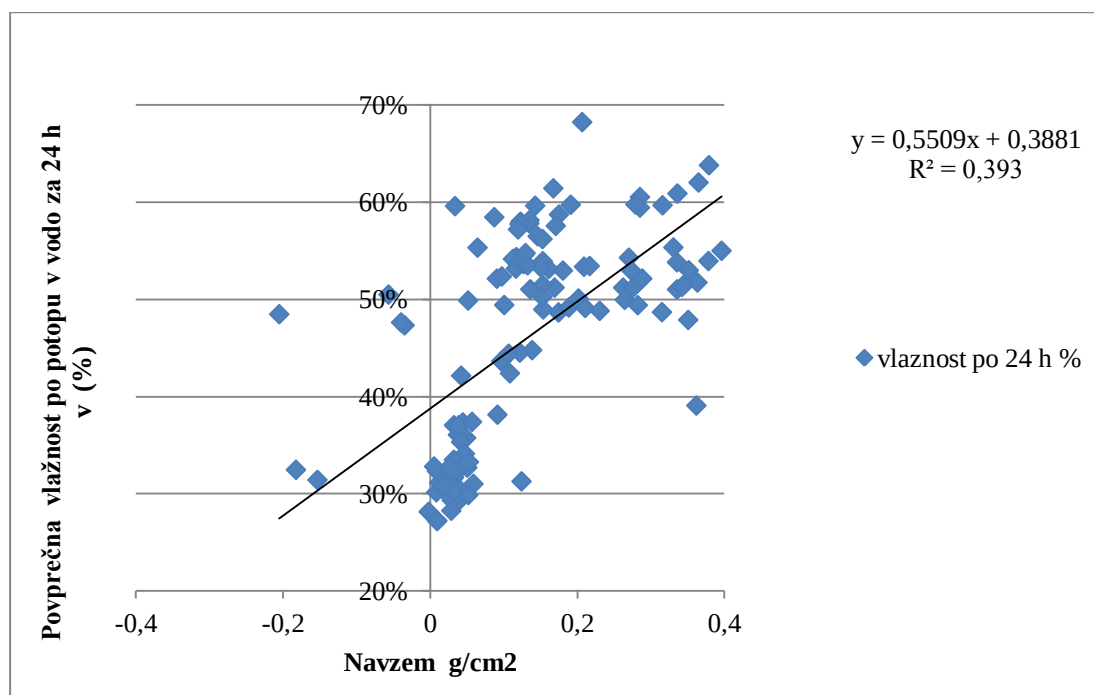
Na koncu smo želeli poiskati povezave med rezultati posameznih testov. Osredotočili smo se na povezavo med navzemom vode, določenim s tenziometrom in povprečnim časom vpitja kapljic vode v podlago, v povezavo med navzemom vode, določenim s tenziometrom in vlažnostjo določeno s potopom vzorcev v vodo za 24 h, in na povezavo med vlažnostjo vzorcev po uravnovešanju v komori nad silikagelom in ravnovesno vlažnostjo vzorcev po uravnovešanju v komori z 100 % relativno zračno vlažnostjo. Rezultate smo prikazali na slikah 36-38.



Slika 36: Povezava med povprečnim navzemom vode v g/cm² in povprečnim časom potopa kapljic vode v les izražene v sekundah.

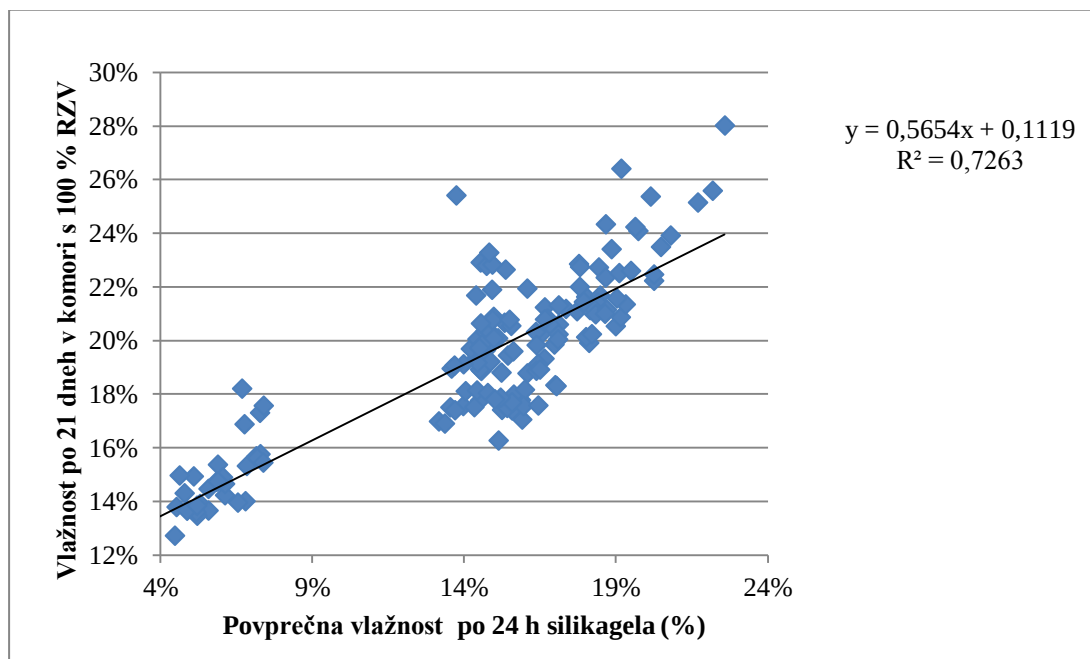
Iz slike 36 je razvidno, da med časom vpitja vodnih kapljic v les in navzemom vode, določenim z 200 s stikom vzorcev z vodno gladino (s tenziometrom) ni nobene povezave. Očitno je, da lastnosti, ki smo jih določali na čelnih površinah, niso v tesni povezavi s

lastnostmi aksialnih in radialnih površin lesa. Poleg tega je treba upoštevati, da na količino vpitje vode v les v 200 s ne vpliva le površina temveč tudi permeabilnost, aspiriranost pikenj, depoziti v celicah, ...



Slika 37: Povezava med povprečnim navzemom vode v g/cm^2 in vlažnostjo vzorcev po potopu v vodo za 24 h v %.

Za razliko od primerjave rezultatov določanja navzema vode s kratkotrajnim postopkom in časom vpitja vodnih kapljic v les, smo ugotovili, da obstaja povezava med navzemom vode, določenim s kratkotrajnim testom s tenziometrom in med vlažnostjo vzorcev po potopu v vodo za 24 ur.



Slika 38: Povezava med vlažnostjo vzorcev po uravnovešanju v komori nad silikagelom v % in vlažnostjo vzorcev po uravnovešanju v komori s 100 % relativno zračno vlažnostjo.

Najtesnejšo povezavo smo opazili med vlažnostjo po uravnovešanju pri 100 % RZV in po naknadnem sušenju nad silikagelom. Iz slike 39 je jasno razvidno, da med tema parametroma obstaja relativno tesna povezava. Vzorci, ki so imeli nižjo vlažnost med uravnovešanjem nad 100 % RZV so se tudi hitreje posušili in obratno. To pokaže, da so sorpcijske lastnosti, ki nakazujejo procese adsorpcije in desorpcije pri impregniranem lesu povezani. Po drugi strani pa šibke povezave, opažene pri ostalih kazalnikih nakazujejo, da je interakcija vode z impregniranim lesom zelo kompleksna in se je ne da opisati le z enim kazalnikom (Humar, 2006).

5 SKLEPI

Koncentracija bakra v zaščitnem pripravku bistveno ne vpliva na moker navzem. Mokri navzem je bolj odvisen od vrste lesa in postopka zaščite. Najvišje povprečne mokre navzeme smo opazili pri borovih vzorcih, nekoliko nižje pri smrekovih vzorcih in najnižje pri macesnovih vzorcih. Za macesen je značilna slaba permeabilnost, ki se odraža v nizkih navzemih.

Če pogledamo rezultate raziskav z metodami, ki smo jih uporabili v tem delu, lahko ugotovimo, da so se v povprečju bolj navlažili vzorci, ki so bili impregnirani s pripravki z višjimi koncentracijami bakra. Torej lahko sklepamo, da na vlažnost vzorcev bistveno vpliva koncentracija pripravka.

Pri merjenju časa, v katerem les vpije kapljico vode, ki smo jo kanili na površino, se pokaže, da najhitreje vpijejo vodo vzorci, ki so bili impregnirani s pripravki z višjo koncentracijo bakra. Med postopki impregnacije, pa je najbolj povečal hidrofilnost lesa postopek, kjer je bila površina lesa med impregnacijo najdaljši čas v stiku z impregnacijskim sredstvom. Med kontrolnimi vzorci je bil najbolj hidroforen macesnov les, borovina in smrekovina pa sta izkazala primerljive lastnosti.

Iz rezultatov, ki smo jih dobili v posameznih metodah lahko sklepamo, da na vzorce precej vpliva koncentracija aktivnih učinkovin v zaščitnem pripravku, saj smo ugotovili, da so v večini primerov višje vrednosti vlažnosti tistih vzorcev, pri katerih smo za impregnacijo uporabili pripravek višje koncentracije.

Študija povezave v tej nalogi izmerjenih oz. določenih lastnosti je pokazala, da med časom vpitja vodne kapljice v les in med navzemom vode, določenim s kratkotrajnim testom s tenziometrom, ne obstaja nobena povezava. Pri povezavi med vlažnostjo določeno z daljšim

potopom v vodo in navzemom vode, določenim s kratkotrajnim testom s tenziometrom, obstaja povezava, vendar je potrebno opozoriti, da je korelacijski koeficient še vedno dokaj nizek. Za zadnjo povezavo, kjer smo primerjali vlažnost po uravnovešanju v komori s 100 % RZV in vlažnost po sušenju nad silikagelom pa lahko rečemo, da je med tema parametroma najtesnejša povezava.

7 VIRI

Cao J, Kamdem DP. 2004. Moisture adsorption characteristics of copper-ethanolamine (Cu-EA) treated Southern yellow pine (*Pinus spp.*). *Holzforschung*, 58: 32–38

Čufar K. 2006. Anatomija lesa: univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.

EN 1609 (1997): *Thermal insulating products for building applications - Determination of short term water absorption by partial immersion*. CEN (European Committee for Standardisation), Brussels, Belgium.

EN 350 (2015): *Durability of wood and wood-based products - Testing and classification of the resistance to biological agents, the permeability to water and the performance of wood and wood-based materials*. European Committee for Standardization.

Gupta U. 1979. Copper in the environment. Part 1. New York, John Wiley & Sons: 215 str.

Gorišek Ž. 2009. Les – zgradba in lastnosti: njegova variabilnost in heterogenost. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.

Humar M., Petrič M. 2000. Etanolamin v zaščitenem lesu. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 61: 143-159

Humar M. 2008b. Absorpcija baker-etanolaminskih zaščitnih pripravkov v les. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 85: 47-54

Humar M. 2009. Kako zaščititi les? Lesena gradnja v Sloveniji. http://www.lesena-gradnja.si/html/img/pool/Kako_zaititi_les_Humar.pdf (28.7.2011)

Humar M. 2004. Zaščita lesa danes – jutri. *Les*, 56, 6: 184-188

Humar M. 2006. Sorpcijske lastnosti lesa zaščenega s pripravki na osnovi bakra in etanolamina. *Les*, 58, 11/12: 348-352

Humar M. 2008a. Zaščita lesa - Kam gremo. V: *Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo*. Kitek – Kuzman M. (ur) Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 102-107

Kervina- Hamovič L. 1990. Zaščita lesa. Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 126 str.

Lesar B., Straže A., Humar M. 2010. Sorption Properties of Wood Impregnated with Aqueous Solution of Boric Acid and Montan Wax Emulsion. Journal of applied polymer science, ISSN 0021-8995, 2011, vol. 120, no. 3, str. 1337-1345.

Richardson H. W. 1997. Handbook of copper compounds and applications. New York, M. Dekker: 93-122

SIST EN 113. Preskusna metoda za ugotavljanje preventivne učinkovitosti zaščitnih sredstev proti glivam odprtotrošnicam – Ugotavljanje toksičnih vrednosti. 2006: 36 str.

SIST EN 350-2 (1995). Trajnost lesam in lesnih izdelkov - naravna trajnost masivnega lesa - 2. del: Naravna trajnost in možnost impregnacije izbranih, v Evropi pomembnih vrst lesa

Starček, N. 2012. Vpliv biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja na odpornost, mehanske in sorpcijske lastnosti lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biotehnologijo: 68 str.

Šprinzar, A. 2014. Mehanske in sorpcijske lastnosti starega lesa impregniranega z baker-etanolaminskimi pripravki. Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 28 str.

Thaler, N. 2010. Izboljšanje impregnabilnosti smrekovine z biovrezovanjem. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biotehnologijo: 52 str.

Vranjek M. 2009. Površinska obdelava in zaščita lesa. Ljubljana. Konzorcij višjih strokovnih šol za izvedbo projekta IMPLETUM. Zavod IRC: 59 str.

Vavkman, M. 2006. Sorpcijske lastnosti lesa zaščitene z bakrovimi pripravki ali termično modifikacijo v vakuumu. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 58 str.

Zhang J., Kamdem D.P. 2000. Interactions of copper-amine with southern pine: retention and Migration. Wood and Fiber Science, 32: 332-339

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Mihi Humar, za vso izkazano pomoč in vodenju pri diplomskem projektu in recenzentu prof. dr. Marku Petrič za strokovno opravljeno recenzijo, zahvalil bi se tudi somentorju dr. Boštjanu Lesar za vse nasvete in strokovni pregled diplomske naloge.

Rad bi se zahvalil mladima raziskovalcema Davorju Kržišniku in Mojci Žlahtič, ki sta mi bila skozi eksperimentalni del diplomskega projekta v veliko pomoč. Hkrati gre zahvala tudi vsem ostalim zaposlenim na Oddelku za lesarstvu, ki so mi na kakšen koli način pomagali.

Še posebej bi se rad zahvalil svojim najbližjim za vso podporo in potrpežljivost.