

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej ČEBULJ

**VPLIV ZAŠČITE IN ORIENTACIJA LETEV PREZRAČEVANE
LESENE FASADE NA NJIHOVO VLAŽNOST**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**INFLUENCE OF PROTECTION AND ORIENTATION OF FACADE
ELEMENTS ON THEIR MOISTURE CONTENT**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2016

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

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja imenoval prof. dr. Miho HUMARJA ter za somentorja asist. dr. Nejca Thalerja. Za recenzenta je bil imenovan doc. dr. Boštjan Lesar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

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.

Matej Čebulj

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*842
KG	vpliv zaščite/orientacija letev/lesena fasada/vlažnost
AV	ČEBULJ, Matej
SA	HUMAR, Miha (mentor)/LESAR, Boštjan (recenzent)/THALER, Nejc (somentor)
KZ	SI-1000, Ljubljana, Rožna dolina, c VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	VPLIV ZAŠČITE IN ORIENTACIJA LETEV PREZRAČEVANE LESENE FASADE NA NJIHOVO VLAŽNOST
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	IX, 56 str., 14 pregl., 23 sl., 41 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Cilj naloge je bil ugotoviti vpliv orientacije, impregnacije oziroma modifikacije elementov na vlažnost različnih vrst lesa. Uporabili smo 8 najpomembnejših domačih lesnih vrst: smreka (<i>Picea abies</i>), macesen (<i>Larix decidua</i>), bukev (<i>Fagus sylvatica</i>), hrast (<i>Quercus</i> sp.), kostanj (<i>Castanea sativa</i>), rdeči bor (<i>Pinus sylvestris</i>), lipa (<i>Tilia</i> sp.) in jesen (<i>Fraxinus</i> sp.), štiri postopke zaščite: baker-etanolaminski biocidni proizvod, montanski vosek, tankoslojni akrilni premaz ter termično modifikacijo. Na vzorcih, ki se nahajajo na testnem stojalu smo izvajali meritve vlažnosti lesa z uporovnim merilnikom Gigamodul z zapisovalnikom Thermofox proizvajalca Scanntronik. Meritve smo izvajali v obdobju od decembra 2015 do junija 2016. Pridobljene podatke smo statistično obdelali in jih grafično prikazali. Meritve in analize so pokazale, da ima orientacija fasadnih elementov značilen vpliv na vlažnost lesa. Hipotezo, da s termično modifikacijo ne izboljšamo odpornosti na vpijanje vode smo potrdili pri lipovini, ovrgli pa pri vseh ostalih vzorcih. Obdelava z vodnimi emulzijami voskov učinkovito zmanjša prodiranje vode v les. Analiza podatkov je potrdila našo hipotezo, da med vpijanjem, sposobnostjo lesa da ostane suh in vlažnostjo lesa obstaja tesna povezava.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*842
CX influence of protection/orientation of facade/wooden facade/moisture
AU ČEBULJ, Matej
AA HUMAR, Miha (supervisor)/LESAR, Boštjan (co-advisor)/ THALER, Nejc (co-supervisor)
PP University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2016
TI INFLUENCE OF PROTECTION AND ORIENTATION OF FACADE ELEMENTS ON THEIR MOISTURE CONTENT
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO IX, 56 p., 14 tab., 23 fig., 41 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The goal of the study was to determine the influence of orientation, impregnation or the modification of wooden elements on the moisture content of different types of wood. Eight, the most important domestic wood species were used in respective research, namely: Norway spruce (*Picea abies*), European larch (*Larix decidua*), common beech (*Fagus sylvatica*), oak (*Quercus* sp.), sweet chestnut (*Castanea sativa*), scots pine (*Pinus sylvestris*), lime (*Tilia* sp.) and ash (*Fraxinus* sp.). Four wood preservation methods were applied: copper-ethanolamine based biocide, montan wax, thin acrylic coating and thermal modification. Wood moisture measurements on the samples located on the test stand were performed using a Gigamodule resistance meter with a Thermofox logger manufactured by Scanntronik. The measurements were carried out in the period between December 2015 and June 2016. The collected data was statistically analyzed and visualized. Measurements and analysis showed that the orientation of facade elements has a significant influence on the wood moisture content. The hypothesis that the thermal modification does not improve the water exclusion efficacy was confirmed at lime wood and rejected at all other samples. Treatment with aqueous emulsions of waxes can effectively reduce the water uptake. The data analysis has confirmed our hypothesis that there is a strong correlation between absorption, the ability of wood to remain dry and wood moisture content.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
1 UVOD.....	1
1.1 CILJI NALOGE	1
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	1
2 ZAŠČITA LESA	2
2.1 NEBIOCIDNA ZAŠČITA LESA	2
2.1.1 Konstrukcijska zaščita lesa	3
2.1.2 Termična modifikacija lesa	3
2.1.3 Voski	4
2.1.4 Montanski vosek	5
2.2 BIOCIDNA ZAŠČITA LESA	5
2.2.1 Impregnacija z baker-etanolaminskim biocidnim premazom	6
2.2.2 Tankoslojni akrilni premazi lazure	6
2.3 DEJAVNIKI KI VPLIVAJO NA RAZKROJ LESA	7
2.3.1 Naravna odpornost lesa	8
2.4 METODE DOLOČANJA VLAŽNOSTI LESA	10
2.4.1 Električni merilniki lesne vlažnosti	11
2.4.2 Uporovni merilnik	11
2.4.3 Dielektrični ali kapacitivnostni merilnik	12
2.5 POMEMBNEJŠE DOMAČE LESNE VRSTE	12
2.5.1 Smreka (<i>Picea abies</i> Karst.)	12
2.5.2 Macesen (<i>Larix decidua</i> Mill.)	13
2.5.3 Rdeči bor (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	14
2.5.4 Domači kostanj (<i>Castanea sativa</i> Mill.)	14
2.5.5 Hrast (<i>Quercus</i> sp.)	15

2.5.6	Bukev (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	16
2.5.7	Lipa (<i>Tilia</i> ssp.)	17
2.5.8	Jesen (<i>Fraxinus</i> sp.)	17
3	MATERIALI IN METODE	19
3.1	IMPREGNACIJA Z BAKER-ETANOLAMINSKIM BIOCIDNIM PROIZVODOM	20
3.2	IMPREGNACIJA Z MONTANSKIM VOSKOM	21
3.3	POSTOPEK TERMIČNE MODIFIKACIJE	22
3.4	POVRŠINSKA OBDELAVA S TANKOSLOJNIM AKRILNIM PREMAZOM NA VODNI OSNOVI	22
3.5	OPIS OPREME ZA SPREMLJANJE VLAŽNOSTI LESA	22
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	25
4.1	KLIMATOLOŠKI PODATKI	25
4.2	VLAŽNOSTI VZORCEV MED IZPOSTAVITVIJO	27
5	SKLEPI	49
6	POVZETEK	51
7	VIRI.....	52
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

str.

Preglednica 1: Razvrstitev lesnih vrst v 5 odpornostih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v 5. razred odpornosti (SIST EN 350-2 1994).	9
Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesenih izdelkov škodljivcem glede na mesto uporabe (po standardu SIST EN 335-1,2 2009).....	10
Preglednica 3: Sestava biocidnega pripravka Silvanolin.....	20
Preglednica 4: Priprava suspenzije voska za impregnacijo	21
Preglednica 5: Vremenski pogoji – Ljubljana – Bežigrad 299 m nadmorske višine, (ARSO 2016).....	25
Preglednica 6: Povprečna temperatura in povprečna relativna zračna vlažnost na testnem polju v obdobju izvajanja meritev (december 2015 – junij 2016).....	26
Preglednica 7: Meritve vlažnosti vzorcev na testnem stojalu za izbran les iglavcev	28
Preglednica 8: Meritve vlažnosti vzorcev na testnem stojalu za termično modificirane in/ali z voski obdelane smrekovine	32
Preglednica 9: Meritve vlažnosti vzorcev na testnem stojalu za smrekovino obdelano s Silvanolinom, voskom oziroma smrekovino premazano z lazuro	35
Preglednica 10: Meritve vlažnosti vzorcev na testnem stojalu za izbrane termično modificirane lesne vrste. Za primerjavo so vzporedno navedeni tudi podatki za nemodificiran les.....	38
Preglednica 11: Meritve vlažnosti vzorcev na testnem stojalu za najpomembnejše predstavnike listavcev	41
Preglednica 12: Meritve vlažnosti vzorcev na testnem stojalu za termično modificirano in z voski obdelano bukovino.....	44
Preglednica 13: Razvrstitev horizontalno orientiranih vzorcev po lestvici od najboljšega do najslabšega	47
Preglednica 14: Razvrstitev vertikalno orientiranih vzorcev po lestvici od najboljšega do najslabšega.....	48

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Testno stojalo z vzorci (Avtor: Matej Čebulj)	19
Slika 2: Merilnik lesne vlažnosti Gigamodul in oprema za beleženje podatkov (Humar in sod., 2015b)	24
Slika 3: Prikaz standardne pritrditve elektrod za spremljanje vlažnosti v lesu (Humar in sod., 2015b).....	24
Slika 4: Grafični prikaz količine padavin v izbranih mesecih v obdobju izvajanja meritev	26
Slika 5: Grafični prikaz gibanja temperature in relativne zračne vlažnosti.....	27
Slika 6: Grafični prikaz gibanja vlažnosti za izbran les iglavcev.....	29
Slika 7: Grafični prikaz deleža meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 % za izbran les iglavcev.....	30
Slika 8: Grafični prikaz mediane vlažnosti za izbran les iglavcev	31
Slika 9: Grafični prikaz gibanja vlažnosti lesa za termično modificirane in/ali z voski obdelane smrekovine.....	33
Slika 10: Grafični prikaz deleža meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 % za termično modificirane in/ali z voski obdelane smrekovine	33
Slika 11: Grafični prikaz mediane vlažnosti lesa za termično modificirane in/ali z voski obdelane smrekovine.....	34
Slika 12: Grafični prikaz gibanja vlažnosti za smrekovino obdelano s Silvanolinom, voskom oziroma smrekovino premazano z lazuro.....	36
Slika 13: Grafični prikaz deleža meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 % za smrekovino obdelano s Silvanolinom, voskom oziroma smrekovino premazano z lazuro	36
Slika 14: Grafični prikaz mediane vlažnosti lesa za smrekovino obdelano s Silvanolinom, voskom oziroma smrekovino premazano z lazuro	37
Slika 15: Grafični prikaz gibanja vlažnosti lesa za izbrane termično modificirane lesne vrste. Za primerjavo so vzporedno navedeni tudi podatki za nemodificiran les	39

Slika 16: Grafični prikaz deleža meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 % za izbrane termično modificirane lesne vrste. Za primerjavo so vzporedno navedeni tudi podatki za nemodificiran les	39
Slika 17: Grafični prikaz mediane vlažnosti lesa za izbrane termično modificirane lesne vrste. Za primerjavo so vzporedno navedeni tudi podatki za nemodificiran les	40
Slika 18: Grafični prikaz gibanja vlažnosti lesa za najpomembnejše predstavnike listavcev	42
Slika 19: Grafični prikaz deleža meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 % za najpomembnejše predstavnike listavcev	42
Slika 20: Grafični prikaz mediane vlažnosti lesa za najpomembnejše predstavnike listavcev	43
Slika 21: Grafični prikaz gibanja vlažnosti lesa za termično modificirano in z voski obdelano bukovino	45
Slika 22: Grafični prikaz deleža meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 % za termično modificirano in z voski obdelano bukovino	45
Slika 23: Grafični prikaz mediane vlažnosti lesa za termično modificirano in z voski obdelano bukovino	46

1 UVOD

Lesene fasadne obloge so vedno pogostejša rešitev za zunanje sloje individualnih objektov, ki se vedno bolj uveljavljajo tudi na javnih zgradbah. Lesene obloge smo v preteklosti pogosto premazovali s premazi, danes se zaradi nižjih stroškov vzdrževanja stranke vedno pogosteje odločajo za obloge, ki niso površinsko obdelane. Še posebej popularne so macesnove obloge. Lesene fasadne obloge predstavljajo prvi stik z objektom. Eden od razlogov za nezadovoljstvo strank je dejstvo, da se barva lesenih fasadnih oblog zelo hitro spremeni, tako zaradi biotskih, kot tudi abiotskih dejavnikov. Projektanti se pogosto ne odločajo za lesene fasadne obloge, ker nimajo podatkov o življenjski dobi in stroških vzdrževanja. Te podatke je relativno zahtevno pridobiti, saj so odvisni od izvedbe fasade, izbrane lesne vrste in klimatskih pogojev. Tako teh podatkov ne moremo preprosto prepisati z nemških ali skandinavskih spletnih strani. Zato smo se odločili za posredno določanje življenjske dobe na podlagi spremljanja vlažnosti lesa. Aktualni modeli kažejo, da se na smrekovem lesu pokažejo prvi znaki razkroja po 300 vlažnih dneh. Pojav razkroja na ostalih lesnih vrstah je odvisen še od odpornosti lesa. Na odpornih lesnih vrstah se pojavi kasneje, na neodpornih pa prej.

1.1 CILJI NALOGE

Oceniti vpliv orientacije fasadnih elementov na vlažnost lesa med uporabo na prostem.

Določiti vpliv impregnacije s hidrofobnimi pripravki in termične modifikacije na vlažnost fasadnih elementov.

Določiti vpliv lesne vrste na vlažnost fasadnih elementov.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Orientacija fasadnih elementov ima značilen vpliv na vlažnost lesa. S termično modifikacijo ne izboljšamo odpornosti lesa proti vpijanju vode. Obdelava lesa z vodnimi emulzijami voskov in olj je bolj učinkovita. Med sposobnostjo lesa, da ostane suh in vlažnostjo lesa na prostem obstaja tesna povezava.

2 ZAŠČITA LESA

Področje zaščite lesa je doživelo več sprememb v zadnjih dvajsetih letih in je napredovalo bolj kot prej v dvesto letih. Poglaviti razlog za spremembe je okoljska ozaveščenost. Les in njegova uporaba v gradbeništvu se povečuje v primerjavi z drugimi materiali saj je to edini obnovljiv gradbeni material, ki je cenovno dostopen. S tem se tudi povečuje pomen zaščite lesa, ki podaljšuje življenjsko dobo lesa in zmanjšuje tveganja zaradi biotskih škodljivcev (Humar, 2004).

Konstruksijska in nebiocidna zaščita lesa vedno bolj pridobiva na pomenu. Z vrsto različnih ukrepov želimo napraviti les bolj vodo-odbojen, manj higroskopen ter ga za glive in insekte tako strukturno spremeniti, da ga ne bodo več prepoznali kot možen vir hrane (Humar, 2008). To je možno doseči na več načinov. Eden izmed najpomembnejših je modifikacija lesa. S komercialnega vidika je najpomembnejša termična modifikacija. Tudi v Sloveniji imamo dve podjetji, ki že proizvajata termično modificiran les in sicer podjetje Silvaproduct in Omorika proizvodnja vrtno opreme d.o.o..

2.1 NEBIOCIDNA ZAŠČITA LESA

Preventivno zaščito lesa je treba izvajati že ob začetku poseka drevesa. Za naše področje je najbolj primeren čas sečnje od oktobra do konca marca. Takrat narava miruje, prav tako lesni škodljivci. Vedno pa teh priporočil ni moč upoštevati, predvsem zaradi drage opreme za spravilo lesa. Zelo pomembno je pregledovanje dreves pred posekom, kjer ugotavljamo morebitne poškodbe od primarnih ksilofagnih insektov ali ksilofagnih gliv. Le tako lahko ocenimo zdravstveno stanje dreves pred posekom. Velik pomen ima tudi pravilno varovanje hlodovine v gozdu, način zlaganja do čimprejšnjega spravila iz gozda na urejeno skladišče hlodovine. Kar je tudi eden najboljših preventivnih nebiocidnih ukrepov (Kervina-Hamović, 1990).

2.1.1 Konstrukcijska zaščita lesa

Če zagotovimo izdelkom, da so večino časa zračno suhi bodo tudi popolnoma varni pred okužbo z lesnimi glivami in napadom insektov vlažnega lesa. To zagotovimo tako, da izberemo pravilne konstrukcijske rešitve in pravočasno skrbno vzdrževanje. Uporaba jedrovine odpornejših drevesnih vrst v objektih in izdelkih nam zagotovi varnost pred napadom večine lesnih insektov, ki napadajo suh les (Pohleven in Petrič, 1992). Kakorkoli, konstrukcijska zaščita pred glivami je veliko enostavnejša, kot zaščita pred insekti.

2.1.2 Termična modifikacija lesa

Postopek termične modifikacije se uvršča med postopke zaščite lesa. Pri termični modifikaciji ne uporabljamo biocidov. Trg z lesom že skoraj 20 let omogoča dostop do termično modificiranega lesa, v zadnjem času tudi acetiliran les (accoya) in les obdelan s furfuril alkoholom (kebony), razvoj gre v smeri številnih novih metod za izboljšanje odpornosti lesa. Relativno visoka cena modificiranega lesa s številnimi prednostmi žal preprečuje širšo dostopnost (Preston, 2000).

Termična modifikacija lesa se v zadnjem času vedno bolj uveljavlja. Z modifikacijo celuloze, hemiceluloze ali lignina želimo izboljšati relevantne lastnosti lesa kot so: dimenzijska stabilnost lesa, odpornost proti glivam, sorpcijske lastnosti ... Termično modificiran les ima bistveno manjše krčenje, nabrekanje in pikanje kot neobdelan les. Manjše pikanje prispeva k daljši življenjski dobi lesa saj v razpokah ne zastaja voda. Površinski premazi na termično modificiranem lesu so zaradi manjšega delovanja lesa obstojnejši kot pri običajnem nemodificiranem lesu. Na odpornost proti lesnim glivam vpliva nižja ravnovesna vlažnost modificiranega lesa. Les se manj navlaži in ga glive velikokrat ne morejo razkrajati. Odpornost lesa smreke ali topola lahko z izbiro ustreznega postopka modifikacije dvignemo na vrednost, primerljivo z jedrovino macesna, hrasta ali bora. S postopkom termične modifikacije se večini lesa poslabšajo mehanske lastnosti, kar omejuje njegovo uporabo v gradnji. Zato je zelo uporaben za stenske obloge, ograje, vrtno pohištvo, savne, zvočne bariere ... (Humar, 2008).

2.1.3 Voski

Človek uporablja voske že od prazgodovinskih časov dalje. To so relativno stabilne netoksične spojine. V današnjem času se voski večinoma uporabljajo kot aktivne učinkovine in aditivi. Zaradi njihovih ugodnih toksikoloških in okoljskih lastnosti bo uporaba najverjetneje še naraščala. V mednarodnih bazah podatkov je na področju znanosti zaščite lesa z voski, moč zaslediti vedno več objav s tega področja.

Uporaba voskov je možna v različne namene in tako temelji na posnemanju njihove naravne funkcije. V lesarstvu to še posebno izkoriščamo in voske uporabljamo za povečevanje vodo-odbojnosti površine oziroma kot sredstva za preprečevanje navlaževanja lesa. Voske uporabljamo kot dodatek pripravkom (laki, lazure) za površinsko obdelavo lesa ali samostojno za površinsko zaščito lesa. Voski se v proizvodnji premaznih sredstev uporabljajo predvsem v obliki vodnih emulzij (Lesar in sod., 2009).

Prednost voskov je enostavna uporaba, pri nanašanju ni potrebna zahtevna oprema. Delo z njimi je enostavno. Ni potrebnih investicij v drago novo opremo za delo s tovrstnimi pripravki. Večina voskov, ki jih uporabljamo je naravnega izvora, kar vpliva na verjetnost izbire okoljsko ozaveščenih kupcev. Največja prednost teh rešitev je, da tako zaščiten les v celotni življenjski dobi ne predstavlja nikakršne nevarnosti za okolje in ta les po koncu uporabe enostavno predelamo v kompozite ali uporabimo za energetske namene (Humar, 2015).

V zadnjem obdobju uveljavljena definicija razvršča voske glede na osnovi fizikalnih lastnosti. Wolfmeier (2003) navaja, da so voski snovi, ki:

- jih lahko poliramo pod nizkim tlakom, gostota in topnost sta zelo odvisni od temperature,
- so pri 20 °C dobro gnetljive oziroma nedrobljive, imajo kristalno strukturo grobo do fino, lahko so transparentne do motne vendar neprozorne oziroma močno viskozne.
- se pri temperatur nad 40 °C talijo, pri tem pa se ne razgradijo,
- imajo nad točko tališča viskoznost v negativni odvisnosti od temperature,

- imajo tališče med 50 °C in 90 °C (izjemoma tudi nad 200 °C),
- običajno gorijo s sajastim plamenom,
- so slabi prevodniki toplote ter električne energije (so dobri izolatorji), tvorijo paste oziroma gele (Lesar in sod., 2009).

2.1.4 Montanski vosek

Montanski vosek je naravni fosiliziran rastlinski vosek. Pridobiva se z ekstrakcijo iz rjavega premoga oziroma lignita. Komercialno najpomembnejše nahajališče se nahaja v Nemčiji, vzhodno od reke Elbe. Montanski vosek je mešanica voskov, asfaltnih snovi in smol. Surov montanski vosek je sestavljen iz prostih višjih kislin in estrov višjih karboksilnih kislin z višjimi alkoholi. Druge sestavine, kot so prosti alkoholi ali ketoni, terpeni in parafini, so prisotne le v manjših količinah (Matthies, 2001). Rafiniran montanski vosek je sestavljen v glavnem iz višjih karboksilnih kislin z dolžino verig med 22 in 34 ogljikovih atomov in je bledorumene barve. Takšen delno sintetičen produkt ni strupen za sesalce je izjemno trd in se zelo dobro polira (Basson in Reynhardt, 1988; Matthies, 2001; Heinrichs, 2003). Montanski vosek ima to lastnost oziroma sposobnost, da tvori tanek odporen film (Warth, 1959). Vosek je še posebno dobro topen v aromatskih in kloriranih ogljikovodikih in v številnih drugih organskih topilih, celo pri nizkih temperaturah (Heinrichs, 2003). Vosek se tali pri temperaturi med 82 °C in 95 °C. Uporablja se kot enakovreden nadomestek za karnauba vosek (ChemCor, 2008). Poleg uporabe v lesarstvu se montanski vosek uporablja še za maziva v proizvodnji plastike in v papirni industriji ter za polirne paste avtomobilov, čevljev in električnih izolacij (Cyberlipid, 2008).

2.2 BIOCIDNA ZAŠČITA LESA

Z biocidnimi ukrepi zaščitimo les oziroma ga umetno konzerviramo. Pred uporabo lesa vanj vnesemo potrebno količino biocidnih snovi, ki les varujejo pred škodljivimi dejavniki. Za številne lesne škodljivce je les hrana in bivališče, ki ga z biocidno zaščito zastrepimo. Tako les postane za škodljivce strupen ali vsaj odbijajoč (Kervina – Hamović, 1990).

2.2.1 Impregnacija z baker-etanolaminskim biocidnim premazom

Pripravki na osnovi bakra se za zaščito lesa uporabljajo že več kot 200 let. Danes sodijo med najpomembnejšo skupino fungicidov za zaščito lesa v najtežjih pogojih uporabe. Ti pripravki se bodo v zaščiti lesa uporabljali še v prihodnosti, saj se zanje še išče ustrezna alternativa (Humar in Pohleven, 2005).

Pripravki iz bakra učinkujejo že v relativno nizkih koncentracijah na glive, bakterije in alge, nimajo pa vpliva na višje rastline; celo nujno so potrebni za rast in razvoj le teh vendar v nizkih koncentracijah (Gupta, 1979). Med zaščitnimi pripravki so bakreni pripravki sorazmerno varni in cenovno ugodni (Richardson, 1997).

V evropski uniji so bakrove spojine edini preostali klasični biocid, ki jih še vedno uporabljamo v zaščiti lesa. Ker se bakrove učinkovine izpirajo iz lesa jih kot biocid ne uporabljamo samostojno. Zato so jih v preteklosti kombinirali s kromovimi spojinami, v današnjem času pa zagotovimo vezavo z amini, najpogosteje z etanolaminom. V Evropi se pojavljajo izolati gliv, ki so odporni na učinke bakra. Zaradi izboljšanja fungicidnih lastnosti baker-etanolaminskim pripravkom dodajamo kvartarne amonijeve spojine ali triazole. Za les na prostem, ki je zaščiten z baker-etanolaminski pripravki je to najprimernejša rešitev. Bakrovi pripravki obarvajo les v značilno zeleno barvo le ta pa sčasoma izzveni (Humar, 2008).

2.2.2 Tankoslojni akrilni premazi lazure

V zaščiti lesa so postala zelo popularna kemična sredstva za površinsko zaščito lesa, tako imenovani lazurni premazi. Nekateri vsebujejo tudi biocide raztopljene v organskih topilih ali v vodi, posebne proti svetlobi odporne raznobarvne pigmente, umetne smole in druge dodatke. Lazurni premazi imajo to lastnost, da ne preprečujejo difuzije vodne pare. Če se les navlaži, se lahko posuši. Na nek način delujejo kot Gore-tex membrana. S tem preprečujejo naknadno pokanje lesa in »delovanje« lesa zaradi atmosferskih vplivov (Kervina-Hamović, 1990).

Lazure so iz zahodne oziroma severne Evrope prišle na naše tržišče in v relativno kratkem času popolnoma osvojile potrošnike. Njihova uporaba se je dobro uveljavila v industriji stavbnega pohištva, predvsem v proizvodnji oken in vrat, za površinsko obdelavo lesenih konstrukcij, lesenih ograj, opažev ter vseh ostalih izdelkov, ki so izpostavljeni vremenskim vplivom (Kričej, 1976). Enostavna površinska obdelava, videz in enostavno obnavljanje so dejavniki, ki so pripomogli k množični uporabi teh premazov. Lazure so v primerjavi z lakemajli manj pigmentirani premazi in na lesu tvorijo tanek film. Obarvana površina lesa je transparentna tako, da je vidna njegova tekstura. Premazani izdelki ne delujejo kot plastika ampak ohranijo videz lesa. Na obstojnost lazur močno vpliva količina ustreznih pigmentov. Večja količina pigmentov v lazuri zagotavlja daljše vzdrževalne intervale. Osnovna lastnost lazur je, da odbijajo tekočo vodo. Imajo izrazito vodo-odbojno površino. Zaradi tega se najbolje obnesejo na vertikalnih površinah, slabše pa na horizontalnih. Lesu zaradi svoje velike permeabilnosti omogočajo »dihanje« s tem se vlaga v lesu ne akumulira. To pa ima slabo stran saj vlažnost lesa mnogo bolj niha kot pri malo oziroma neprepustnih premazih. Lazure pod atmosferskimi dejavniki počasi erodirajo, debelina filma se tanjša, debelejši sloji postajajo krhki, pokajo in se luščijo. Prednost lazur je predvsem v preprostosti njihovega obnavljanja, saj površine pred ponovnim nanosom običajno samo skrtamo in očistimo prahu, z enim ali dvema nanosoma pa že osvežimo površino (Pečenko, 1987).

Alkidne in akrilne lazure na osnovi organskih topil so bile najbolj poznane v preteklosti in jih danes imenujemo kot konvencionalni lazurni premazi. Njihova uporaba se zaradi okoljske osveščenosti močno zmanjšala, zaradi velikega deleža organskih topil (VOC – Volatile Organic Compounds). Nadomestili so jih premazi z visoko vsebnostjo suhe snovi (High solids stains) in lazure, ki temeljijo na vodi kot topilu (Martin, 1996; Dongen in sod., 1998). Zanje lahko rečemo, da so to premazi kateri se bodo uporabljali v prihodnosti (Pavlič in Mihevc, 2016).

2.3 DEJAVNIKI KI VPLIVAJO NA RAZKROJ LESA

Izpostavljenost lesa abiotskim in biotskim vplivom povzroča na lesu različne poškodbe. Padavine, visoke in nizke temperature ter sončno svetlobo prištevamo med abiotske

dejavnike. Poškodbe, ki jih povzročajo abiotiski dejavniki so sorazmerno majhne v primerjavi z poškodbami gorenja in so vidne šele po nekaj letih. Te poškodbe so vidne v obliki barvnih sprememb, razpok, kosmatosti in reliefnosti površja lesa. V naših klimatskih pogojih naj bi les zaradi delovanja abiotiskih dejavnikov v desetih letih izgubil okoli 1 mm površine. Biotski ali biološki dejavniki povzročajo hitre in drastične poškodbe lesa in lahko v kratkem času nekaj tednov ali mesecev močno poškodujejo les ali ga celo uničijo. Ti dejavniki so predvsem lesne glive in insekti.

Ugodni pogoji kot so primerno vlažen les in temperatura vplivajo na okužbo lesa s trosi lesnih gliv. Iz trosa požene podgobje, ki prodre v notranjost lesa in s pomočjo encimov razgradi sestavine lesa. Plesni in glive modrivke na lesu povzročijo le barvne spremembe medtem, ko prave razkrojevalke les popolnoma uničijo tu govorimo o trohnobi. Poškodbe lesa z vrtanjem rogov v lesu povzročajo lesni insekti. Suh les pa kljub temu ni odporen proti navadnemu trdoglavcu in hišnemu kozličku (Pohleven, 2008).

2.3.1 Naravna odpornost lesa

Kemična sestava in anatomska zgradba lesa preprečuje napad lesnih škodljivcev. Proti napadu lesnih škodljivcev ima les določeno naravno odpornost, ki je odvisna od kemične in anatomske zgradbe lesa. Naravna odpornost je lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stadiju in nakazuje dovzetnost za škodljivce. Z izbiro drevesne vrste, lokacije rastišča in časa sečnje zelo vplivamo na odpornost lesa. Les, ki je posekan v zimskem obdobju je najbolj odporen saj se v lesu izrabijo rezervne hranljive snovi (Pohleven, 2008).

Ekstraktivne snovi imajo velik vpliv na naravno odpornost lesa (preglednica 1). Poleg ekstraktivov na naravno odpornost vpliva še hidrofobnost sestavin celične stene, zgradba lesa, gostota idr. Naravna odpornost lesa iste drevesne vrste variira tako v samem drevesu kot tudi med posameznimi drevesi. Zaradi velike variabilnosti naravne odpornosti lesa se močno razlikuje tudi njegova življenjska doba, ki je močno odvisna od mesta vgradnje in načina uporabe. Življenjska doba lesa je za uporabnika lesa pomembnejša od same naravne odpornosti, saj nam pove, koliko časa bo les opravljal svojo funkcijo. Zato je pomembno, da pri testiranju naravne odpornosti dobimo čim bolj natančno oceno življenjske dobe lesa,

da lahko na podlagi podatkov izberemo pravo lesno vrsto za določen namen uporabe (Lesar in sod., 2008).

Elementi lesenih fasadnih in talnih oblog se v večini primerov nahajajo v 2 (na prostem pod streho), 3.1 (na prostem, odmaknjeno od tal, onemogočeno zastajanje vode) in 3.2 (na prostem, odmaknjeno od tal, voda lahko zastaja) razredu uporabe, kot ga definira standard (SIST EN 350-2 1994). Les razvrščen v teh razredih v našem podnebnem pasu najpogosteje razvrednotijo glive modrivke, kasneje pa še glive razkrojevalke. Na terenskem polju oddelka za lesarstvo smo v oktobru 2013 postavili modelni objekt za spremljanje življenjske dobe lesa in v ta namen opravili raziskavo kaj se dogaja z različnimi lesnimi materiali.

Na modelnem objektu se preizkuša dvaindvajset različnih lesnih materialov, ki so izpostavljeni v različnih položajih. Pri vseh dvaindvajsetih lesnih materialih spremljamo vlažnost lesa, temperaturo, pojav gliv modrivk in razkrojevalk, prehod toplote, kondenzacijo vode, barvo ... Na celotnem objektu v enem letu pridobimo približno en milijon podatkov (Humar in sod., 2015a).

Preglednica 1: Razvrstitev lesnih vrst v 5 odpornostih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v 5. razred odpornosti (SIST EN 350-2 1994).

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

Glede na ogroženost lesnih izdelkov so z evropskim standardom opredeljeni razredi izpostavitve škodljivcem (SIST EN 335-1,2,3 2009). Najbolj so pred škodljivci varni izdelki prvega razreda, izjemno pa so ogroženi v razredu 4 in 5 (vgrajeni v zemljo ali sladko vodo oziroma v morje (preglednica 2).

Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesenih izdelkov škodljivcem glede na mesto uporabe (po standardu SIST EN 335-1,2 2009)

Razred izpostavitve (SIST EN 335-1,2)		Mesto uporabe	Vlažnost lesa
1		znotraj, pod streho	suh
2		znotraj ali pod streho	občasno vlažen
3	3.1	na prostem, nad zemljo, z ustrezno konstrukcijsko zaščito	občasno vlažen
	3.2	na prostem, nad zemljo, brez konstrukcijske zaščite	pogosto vlažen
4		na prostem, v stiku s tlemi in/ali sladko vodo	pogosto ali stalno vlažen
5		v slani vodi	stalno vlažen

Izdelki uvrščeni v prvi izpostavitveni razred so vgrajeni v notranje prostore in so ves čas zračno suhi. Kot na primer notranji stenski opaži, pohištvo, podstrešje ... V drugi razred so uvrščeni izdelki, ki so bolj ogroženi. Ti izdelki se nahajajo nad tlemi vendar so pokriti, zunaj in so občasno izpostavljeni vlaženju kot so: fasadni opaži, okna, brunarice, kozolci... V tretjem izpostavitvenem razredu pa so izdelki, ki so močno ogroženi. To so nepokriti in izpostavljeni padavinam kot na primer skodle in nepokrite balkonske ograje. Tretji razred je razdeljen v dve kategoriji, prva je konstrukcijsko zaščitena, druga pa ne. Izdelki četrtega in petega razreda so izpostavljeni vlagi v tleh ali vodi (drogovi, pragovi, stebri) in zato, če niso izdelani iz ustreznega lesa, oziroma niso ustrezno zaščiteni, v nekaj letih propadejo (Pohleven, 2008).

2.4 METODE DOLOČANJA VLAŽNOSTI LESA

Vlažnost lesa lahko določamo na več kot 15 načinov, od katerih je le nekaj komercialno uporabnih:

- gravimetrična metoda,
- električni merilniki lesne vlažnosti,
- destilacijska metoda,
- titracijska (Karl-Fischerjeva metoda),

- z β delci ali žarki,
- z nevtroni z visoko energijo,
- z nuklearno magnetno resonanco
- idr.

V praksi največkrat uporabljamo električne merilnike (merjenje upornosti in merjenje dielektrične konstante) in gravimetrično metodo (metoda tehtanja) (Metode določevanja vlažnosti lesa, 2015). Vlažnost lesa v okviru te raziskave smo določali z električnimi merilniki upornosti, zato je ta metoda podrobneje opisana v nadaljevanju.

2.4.1 Električni merilniki lesne vlažnosti

Električne metode merjenja lesne vlažnosti so v primerjavi z večino drugih metod trenutne in nedestruktivne. Ločimo dva poglavitna tipa: uporovni na istosmerni tok in dielektrični ali kapacitivnostni na izmenični tok (Gorišek in sod., 1994).

2.4.2 Uporovni merilnik

Uporovni merilnik vlage deluje na dejstvu, da logaritem specifične upornosti lesa v območju od absolutno suhega stanja do TNCS pada približno linearno, odvisno od vlažnosti lesa. Pri sušenju lesa od 30 % do 0 % naraste upornost za približno 1.000.000-krat, nad TNCS pa se zmanjša le 50-krat. Uporovni merilnik se uporablja predvsem za merjenje nižje vlažnosti lesa in kot za kontrolo lesa v uporabi (Gorišek in sod., 1994).

Pri merilnikih, ki delujejo na principu meritev upornosti se uporabljajo različno oblikovane elektrode. Za merjenje vlage v furnirjih uporabljamo ploščate, z veliko površino in majhno medsebojno razdaljo. Za merjenje vlage v debelejših lesovih pa uporabljamo igelne elektrode. Uporovni merilniki so zanesljivi v območju lesne vlažnosti med 7 in 25 %. Zaradi visoke upornosti je merjenje pod 7 % nerealno, na meritve nad TNCS pa vplivajo trije faktorji:

- zaradi majhne spremembe specifične upornosti je občutljivost majhna,

- variacije v vsebnosti elektrolitov vode v celičnih lumnih med različnimi lesovi in na različnih lokacijah pri isti drevesni vrsti povzročajo velike razlike v specifični upornosti,
- specifična upornost se znatno spreminja s časom (Gorišek in sod., 1994).

V naši raziskavi smo uporabljali uporovne merilnike, ki so opremljeni z opremo za beleženje podatkov. Na ta način smo v največji možni meri skušali avtomatizirati sistem merjenja. Za vsako lesno vrsto oziroma modifikacijo je treba izbrati primerno umeritveno krivuljo, ki je funkcija dveh spremenljivk, električne upornosti in temperature.

2.4.3 Dielektrični ali kapacitivnostni merilnik

Kapacitivnostni merilniki so predvsem občutljivi na spremembe v gostoti lesa. Ti merilniki delujejo na osnovi dielektrične konstante lesa, ki je pri dani frekvenci odvisna od gostote, vlažnosti in temperature lesa. Pogosti so tudi merilniki, ki delujejo na principu dielektrične konstante in faktorja izgub ($\tan \delta$) lesa pri določeni frekvenci (Gorišek in sod., 1994).

2.5 POMEMBNEJŠE DOMAČE LESNE VRSTE

Za izdelavo vzorcev smo uporabili slovenski les, ki je močnejše zastopan v naših gozdnih sestojih. Podrobnejši opisi lesa domačih drevesnih vrst so opisani v nadaljevanju.

2.5.1 Smreka (*Picea abies* Karst.)

Beljava in jedrovina smrekovine se barvno ne ločita. Les je rumenobel s posameznimi smolnimi kanali, ki so majhni in vidni s pomočjo povečevalnega stekla. Smolni žepki so vidni na večjih vzorcih lesa. Ima razločne branike od ozkih do zelo širokih. Smrekovina je srednje gost in mehak les z gostoto 300...430...640 kg/m³.

Les je komajda aktiven zaradi nizke vsebnosti ekstraktivov. Ne obarva se ob stiku z vodo, kislinami, bazami, alkoholom, maščobami, olji, bakrom ali medenino. Ob stiku z železom se obarva sivkasto, kovina ne korodira. Les je zmerno odporen proti abiotskim dejavnikom

in neodporen proti biotskim dejavnikom. Bistveno slabše se impregnira v primerjavi z borovino. Beljava svežega lesa se z vodotopnimi pripravki v kotlih pod pritiskom zadovoljivo impregnira. Suha beljava pa s pripravki na osnovi organskih topil, zato je mogoče tudi ob neugodnih pogojih doseči ustrezno odpornost na lesne glive.

Ker je smrekovina zelo dostopen les je dokaj množično in raznovrstno uporabna. Kot gradbeni in konstrukcijski les je primerna za visoke in nizke gradnje ter notranjo opremo. Uporablja se za najrazličnejše namene od pohištva, raznovrstne konstrukcije, embalažo, igrače, za proizvodnjo lesnih tvoriv, (furnir, iverne in vlaknene plošče, vezane plošče, sredice mizarских plošč...), celulozo in papir. Tako imenovani resonančni les je uporaben za izdelavo glasbenih inštrumentov (Čufar, 2006).

2.5.2 Macesen (*Larix decidua* Mill.)

Jedrovina macesnovine je rdečkastorjava, sčasoma potemni do rdeče-rjave oziroma temnorjave barve. Beljava je rumenkasta in precej ozka. Smolni kanali so posamični in majhni. Branike so zelo razločne med njimi je oster prehod iz ranega v kasni les, ki je večinoma širok. Sveža macesnovina ima močan aromatičen vonj. Les je srednje gost in trši od smrekovine in borovine.

Gostota macesnovine je 400...550...820 kg/m³. Krči se zmerno in je dimenzijsko stabilna. Za les z 2 do 3 mm širokimi branikami velja, da je srednje gost in srednje trd. Macesnovina je odporna proti glivam, precej odporna proti atmosferilijam in kislinam. Les je zelo trajen v sladki vodi.

Les macesna se uporablja za najrazličnejše namene v splošnem in stavbnem mizarstvu predvsem za zunanje in notranje konstrukcije kot so: okna, vrata, pohištvo, rezan furnir, stenske in stropne obloge, podi, les za rezljanje in struženje. Rudniški les, železniški pragovi, jambori in drogovi, vodne konstrukcije, mostovi, ladjedelništvo, sodi, les za kemično predelavo, za proizvodnjo vlaknenih in ivernih plošč (Čufar, 2006).

2.5.3 Rdeči bor (*Pinus sylvestris* L.)

Les rdečega bora ima večinoma široko in rumenkasto do rdečkasto-belo beljavo in obarvano jedrovino rdečkastorumene barve, ki sčasoma potemni do rjavkaste oziroma rdečerjave barve. Borovina ima razločne branike s temnejšim kasnim lesom. Ima številne in razločne smolne kanale, ki so večji kot pri smrekovini in macesnovini. Svež les ima prijeten aromatičen vonj. Je zmerno trd in srednje gost z gostoto 300...490...860 kg/m³.

Nabrekanje in krčenje borovine je zmerno vendar močnejše kot pri smrekovini, zvija se v manjši meri. Trdnostne lastnosti precej variirajo z gostoto. Zaželen je za rudniške podpornike saj ob preobremenitvi oddaja zvočni signal. Les je zmerno odporen proti atmosferilijam. Jedrovina sodi med zmerno odporne lesne vrste (3 razred odpornosti), beljava je neodporna, vendar se z lahkoto impregnira. Glive modrivke dokaj hitro okužijo neodporno beljavo tak les je bolj higroskopen v primerjavi neokuženim, to pa poveča nevarnost nadaljnje okužbe. Zato les ki je izpostavljen vlagi zaščitimo s fungicidi.

Borovina je uporabna v splošnem in stavbenem mizarstvu. Uporablja se v najrazličnejše namene za okvire (okna, vrata), podi, parket, pohištvo, furnir, vezan les, stenske in stropne obloge, embalaža, vlaknene in iverne plošče. Skorja in iglice so vir terpentina in eteričnih olj (Čufar, 2006).

2.5.4 Domači kostanj (*Castanea sativa* Mill.)

Kostanj ima umazanobelo do rumenkasto ozko beljavo in obarvano jedrovino, ki je v svežem stanju sivo-rumena, kasneje potemni do svetlo oziroma temnorjave barve. Je venčasto porozna drevesna vrsta z dobro razločnimi branikami. Traheje ranega lesa so grobe, otiljene. Na radialni površini ima progast, na tangencialni pa plamenast videz. Traheje kasnega lesa so precej manjše od trahej ranega lesa in tvorijo radialno usmerjena polja. Trakovi so nerazločni in zelo ozki. Kostanjevina je podobna lesu doba in gradna vendar se od njiju loči po zelo ozkih trakovih. Les je dokaj trd in gost z gostoto 530...590 kg/m³.

Občasno ga zamenjujejo s hrastom. Žagan les je treba pazljivo zlagati ob uporabi svežih letev. Jedrovina sodi med najbolj odporne vrste lesa pri nas (2 razred odpornosti). V morski vodi les zelo hitro propade. Ob stiku s kovino in vodo lahko pride do obarvanja. Les je biološko aktiven in lahko povzroča dermatitis.

Kostanjev les je uporaben v splošnem mizarstvu, okvirji (okna, vrata), železniški pragovi, jambori, vodne konstrukcije, v ladjedelništvu, podi, opaži, stopnice, parket, sodi, pohištvo, furnirji, les za rezljanje in struženje, za pridobivanje taninov. Kostanjev les je še posebej cenjen v Italiji za izdelavo talnih oblog. Pri nas se uporablja kot gradbeni les, za drogeve in pridobivanje tanina (Čufar, 2006).

2.5.5 Hrast (*Quercus* sp.)

Hrast ima rumeno-belo ozko beljavo in svetlorjavo do rumenkastorjavo jedrovino. Jedrovina je svetlo-rjava do sivkasto-rjava, ki s časoma potemni. Sveža je pogosto tudi z rdečkastim nadihom. Traheje ranega lesa so zelo velike v ranem lesu jedrovine so otiljene. Traheje kasnega lesa so bistveno manjše in tvorijo radialne nize. Med ranim in kasnim lesom je prehod večinoma oster. Poleg komaj vidnih trakov se neenakomerno pojavljajo zelo široki in do več mm visoki trakovi. Les hrastovine je zelo trd, gost in težak, gostota zelo variira od 390...650...930 kg/m³.

Lastnosti hrastovine so, da se znatno krči ima odlične trdnostne in elastične lastnosti ter dobro upogibno trdnost. Naravna odpornost hrasta je nekoliko slabša od odpornosti kostanja a boljša od macesnovine. Beljava se po bistvenih fizikalnih in tehnoloških lastnosti le malo loči od jedrovine, je neodporna in jo pogosto odstranijo, ali pa jo ustrezno zaščitijo. Hrastovina je nagnjena k zvijanju in pokanju zato je treba v začetni fazi izvajati sušilni proces zelo previdno v nasprotnem primeru lahko pride do nezaželenih deformacij in obarvanj.

Uporabnost hrastovine je dokaj raznolika. »Mehka« se uporablja za dekorativne namene, kot masiven les ali furnir za notranjo opremo kot tudi za rezbarske in stružene izdelke ter za luksuzno pohištvo. Masivna hrastovina se uporablja za najrazličnejše pohištvene stile in

pode. »Trda« hrastovina je uporabna za gradben in konstrukcijski les pri visokih in nizkih gradnjah, za mostove, vodne in jamske konstrukcije tam, kjer je zaželena predvsem njena visoka trdnost, trdota in dolga življenjska doba. Primerna je za okvirne konstrukcije, vrata, stopnice, parket in pode iz kock, ročaje orodij in za poljedelsko orodje. Zaradi enakomernega otiljenja so traheje nepropustne za tekočine zato je zaželena za izdelavo sodov in korit. (Čufar, 2006).

2.5.6 Bukev (*Fagus sylvatica* L.)

Les bukve je rdečkasto bel, z neobarvano jedrovino. Bukovina ima občasno prisoten rdečerjavo obarvan diskoloriran les. Parjen les je rdečkast do rdečerjav. Branike se dobro razločijo, kasni les je temnejši z manj trahejami. Majhne difuzno razporejene traheje v vseh prerezih so s prostim očesom komaj vidne. Trakovi dveh različnih velikosti: dobro vidni, zelo široki in visoki se izmenjujejo z ozkimi trakovi, ki jih vidimo le s povečevalnim steklom. Široki trakovi so v večjih razmakih od 0,5 mm do 1,0 mm. Na letnicah v prečnem prerezu so trakovi razširjeni. Trakovi v radialnem prerezu so kot bleščeča zrcala. V tangencialnem prerezu pa kot značilna 2 do 4 mm visoka temna vretena. Les ni dekorativen je trd in gost z gostoto 490...680...880 kg/m³.

Bukovina ima visoko gostoto, je trda, se zelo krči in nabreka. Glede na gostoto so trdnostne lastnosti nadpovprečno visoke. Dimenzijsko je nestabilna. Je zelo žilava in trdna ter malo elastična. Dobro se cepi, po parjenju se zelo dobro upogiba. Nezaščitena bukovina je povsem neodporna in je podvržena okužbi z glivami in insekti, zato je potrebna hitra in pravilna manipulacija po poseku. Je dobro permeabilna z izjemo rdečega srca. S kreozotnim oljem impregnirani bukovi železniški pragovi dosegaajo srednjo življenjsko dobo najmanj 40 let. V Hočah lahko vidimo pragove, ki so stari že več kot 80 let. Možen je obilnejši pojav tenzijskega lesa medtem, ko je delež juvenilnega lesa zanemarljiv. Notranje napetosti so lahko znatne, kar ima za posledico pokanje in zvijanje lesa.

V prodaji je na voljo parjena in neparjena bukovina, prav tako je na voljo kot hlodovina, žagan les, furnir, vezan les in različni polizdelki. Uporabna je za gradbeno mizarstvo, stopnice, opaže, parket, pohištvo, pri čemer se uporablja masiven, krivljen ali vezan les.

Ustrezno impregnirana bukovina je odlična za izdelavo železniških pragov. Bukovina je zaradi dobrih obdelovalnih lastnosti primeren material za proizvodnjo oplemenitenih lesnih tvoriv, za furnirske in mizarske plošče, za proizvodnjo ivernih plošč. Uporablja se za delavniške mize, ročaje orodij, za gospodinjske pripomočke, za igrače, embalažo, za pridobivanje oglja, za stružene izdelke, za proizvodnjo palet in zabojev, za ohišja in v strojni industriji. Skupaj z drugimi lesnimi vrstami se uporablja tudi za pridobivanje celuloze. V preteklosti so bukovino predvsem uporabljali za kurjavo, danes zopet narašča uporaba v ta namen (Čufar, 2006).

2.5.7 Lipa (*Tilia* ssp.)

Les lipovine je belkast do rumenkast, pogosto rdečkast ali svetlo rjavo toniran, včasih z zelenimi progami ali madeži, z motnim leskom. Beljava in jedrovina se barvno ne ločita. Lahko je prisoten tudi diskoloriran les, ki je temnejši. Letnice niso izrazite. Traheje in trakovi so enakomerno porazdeljeni z dokaj širokimi razmaki. Na vzdolžnih površinah so vidne fine raze. Trakovi v radialnem prerezu so pogosto kot očitna temnejša zrcala. Les je svetel, mehak in srednje gost z gostoto 320...490...560 kg/m³.

Kot pri večini drevesnih vrst gostota precej niha zaradi vrste in rastišča. Les lipovca je približno 10 % gostejši v primerjavi z lipovino in s tem trdnejši. Les se zelo krči, po sušenju je dokaj stabilen je mehak, dokaj elastičen, žilav in se zmerno lahko krivi.

Lipovina je uporabna v splošnem mizarstvu kot vezan les za sredice, les za rezljanje in struženje, svinčniki, embalaža in vžigalice. Lipovo oglje je odlično, posebno za risanje. Večina lesenih kipov in zlatih oltarjev izdelanih pri nas je iz lipovine (Čufar, 2006).

2.5.8 Jesen (*Fraxinus* sp.)

Včasih se beljava in jedrovina jesena barvno ne ločita, priložnostno pa je prisoten diskoloriran les, ki je svetlorjav, pogosto blede-rjavo progast, tudi olivne barve. Beljava je zelo široka, belkasta ali rumenkasta. V ranem lesu so traheje velike in razporejene v večrednih vencih. Radialni prerez ima progast, tangencialen pa plamenast videz. Z

aksialnim parenhimom obdane traheje temnejšega kasnega lesa so enakomerno razporejene in vidne kot svetle pike. Trakovi so ozki in vidni s prostim očesom. Les je zelo dekorativen, trd in gost z gostoto 410...650...820 kg/m³.

Jesenovina je trda, trdna in žilava, krči se zmerno in ima dobro dimenzijsko stabilnost. Les ima dobre dinamične trdnostne lastnosti in je zelo elastičen. Jesenovina iz siromašnih rastišč je bolj krhka in ima krajša vlakna iz dobrih rastišč pa je izredno elastična in ima daljša vlakna. Zato se pogosto uporablja za ročaje orodij in telovadno opremo. Jesenovina je neodporna proti atmosferilijam in povsem neodporna proti biološkim škodljivcem.

Les jesena je uporaben v splošnem mizarstvu za srednje obremenjene, predvsem notranje konstrukcije, podi, parket, struženi in rezbarski izdelki, pohištvo, furnir, v ladjedelništvu, karoserije, v strojogradnji za orodja (ročaji ipd.), lestve in športna orodja (Čufar, 2006).

3 MATERIALI IN METODE

Testno stojalo z 22 različnimi materiali se nahaja na testnem polju Oddelka za lesarstvo. Orientirano je v smeri vzhod – zahod, torej je glavna testna površina obrnjena na sever. Ob njem na vzhodni strani stoji modelni objekt. Z zahodne in južne strani ga obdajajo drevesa. Drevesa na severni strani so bolj oddaljena. Na južni in vzhodni strani poteka pot, ki je oddaljena nekaj metrov. Na vzhodni in južni strani se nahajajo stavbe, ki stojijo čez pot. Testno stojalo ima najbolj zračno severno stran. Na stojalu so z galvaniziranimi vijaki pritrjeni vzorci različnih drevesnih vrst. Orientirani so vertikalno in horizontalno kot je razvidno iz slike 1.



Slika 1: Testno stojalo z vzorci (Avtor: Matej Čebulj)

Na stojalu se nahaja 22 različnih materialov. Uporabili smo 8 najpomembnejših domačih lesnih vrst: smreka (*Picea abies*), macesen (*Larix decidua*), bukev (*Fagus sylvatica*), hrast (*Quercus* sp.), kostanj (*Castanea sativa*), rdeči bor (*Pinus sylvestris*), lipa (*Tilia* sp.) in jesen (*Fraxinus* sp.), 4 postopke zaščite (impregnacija z baker-etanolaminskim biocidnim proizvodom, impregnacija z montanskim voskom, površinska obdelava s tankoslojnim akrilnim premazom na vodni osnovi ter termična modifikacija). Postopke zaščite smo v

celoti aplicirali le na smrekove, delno pa še na bukove vzorce. Dimenzije vzorcev so prilagojene posameznim eksperimentom. Na posebej izdelanem stojalu so pritrjeni fasadni elementi standardnih dimenzij $2,5 \times 5,0 \times 50$ cm. Na vzorcih lesa so nameščeni senzorji, ki 2 krat dnevno določijo upornost lesa. Rezultate meritev bomo statistično obdelali in grafično predstavili.

3.1 IMPREGNACIJA Z BAKER-ETANOLAMINSKIM BIOCIDNIM PROIZVODOM

V naši raziskavi smo uporabili Silvanolin, ki je anorganski zaščitni komercialni biocidni proizvod na osnovi bakra, slovenskega proizvajalca Silvaproduct. Sestavljen je iz petih aktivnih učinkovin, to so bakrov hidroksid, etanolamin, kvartarne amonijeve spojine, borova kislina in oktanojska kislina (Humar in Pohleven, 2006). Voda je uporabljena kot topilo, ki je prijazno okolju (Preglednica 3). Silvanolin ima fungicidne in insekticidne lastnosti. Biocidni proizvod je primeren za nanašanje na les s potapljanjem, premazovanjem, oblivanjem ali brizganjem. Med standardnimi načini je najučinkovitejši dolgotrajnejše potapljanje lesa ter kotelski postopek impregnacije (Grlj, 2013).

Preglednica 3: Sestava biocidnega pripravka Silvanolin

Sestavine	Kemijska formula	Proizvajalec	Čistost	Molska masa (g/mol)	Oznaka
Bakrov(II) karbonat	CuCO_3	MERCK	PA	123,6	Cu
Etanolamin	$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	MERCK	PA	61,1	Ea
Kvartarna amonijeve spojina	$\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CINR}$	MERCK	PA	169,4	Q
Borova kislina	H_3BO_3	MERCK	PA	61,8	B
Oktanojska kislina	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	MERCK	PA	144,2	O
Destilirana voda	H_2O	BF	PA	18,0	DV

Vzorci smo impregnirali s standardno koncentracijo bakra 0,25 %. Impregnacijo vzorcev smo izvedli v laboratorijski vakuumsko-tlačni komori Kambič. Potek impregnacije je potekal v več stopnjah. Najprej smo vzorce izpostavili 20 minut podtlaku -0,8 bar, temu je sledilo 180 min nadtlaka 8-10 bar. Po izpostavitvi nadtlaku smo vzorce za 10 min ponovno izpostavili podtlaku -0,8 bar. Nato so se vzorci namakali še 10 min (Korošec, 2015). Postopek sušenja vzorcev je potekal tako, da smo impregnirane vzorce zložili in izpostavili zračnemu sušenju na prostem za okoli 3 do 4 tedne. V tem času se je baker dobro vezal oziroma fiksiral v les (Kolmanič, 2015).

3.2 IMPREGNACIJA Z MONTANSKIM VOSKOM

Pripravili smo pripravek na osnovi naravnega voska s 5 % koncentracijo izhodiščne raztopine. Stehtali smo določeno količino voska in dolili destilirano vodo. Raztopine smo naredili 4 litre. V raziskavi smo uporabili komercialno suspenzijo voska proizvajalca Romonta (Nemčija). Suspenzija voska je svetlo rjava gosta raztopina, ki vsebuje okoli 50 % suhe snovi. Suspenzija se uporablja v komercialne namene kot dodatek betonu in hidrofolni dodatek pri izdelavi ivernih plošč (preglednica 4) (Zupančič, 2015).

Preglednica 4: Priprava suspenzije voska za impregnacijo

suspenzija	masa (g) pri koncentraciji 5 %
vosek	200
destilirana voda	do 4000 ml

Vzorci smo najprej potopili v suspenzijo voska in jih postavili v laboratorijsko komoro za vakuumsko-tlačno impregnacijo Kambič. Postopek impregnacije je potekal po naslednjem razporedu: 30 min podtlaka -0,1 bar, 40 min nadtlaka pri 10 bar in 10 min podtlaka -0,15 bar. Po končanem postopku so vzorci še 2 uri ostali v emulziji. Zračno sušenje impregniranih vzorcev je trajalo 3 tedne. Nato smo impregnirane vzorce postavili v sušilno komoro in jih 4 ure sušili na 140 °C. Po tem smo vzorce stehtali jim določili maso in izračunali suhi navzem (Zupančič, 2015).

3.3 POSTOPEK TERMIČNE MODIFIKACIJE

Termična modifikacija je potekala tako, da smo v več fazah segrevali komoro do želene temperature 230 °C. Ko smo dosegli ciljno temperaturo, je pričela potekati sama modifikacija lesa, ki traja približno 3 ure. Vseskozi je potrebno spremljati temperaturo in tlak v komori, ter ju po potrebi uravnavati. Po končani fazi modifikacije, je sledilo ohlajanje z lastnimi toplotnimi izgubami komore na sobno temperaturo. Celoten postopek od segrevanja, modifikacije in ohlajanja je trajal približno en dan in je bil krmiljen preko krmilnega sistema. Podoben proces poteka tudi v industrijske namene v podjetju Silvaproduct (Pohleven in Rep, 2004).

3.4 POVRŠINSKA OBDELAVA S TANKOSLOJNIM AKRILNIM PREMAZOM NA VODNI OSNOVI

Vzorci so bili zaščiteni z dvakratnim premazovanjem z lazuro proizvajalca Silvaproduct – Silvanol lazura B, rjave nianse. Pred uporabo smo lazuro temeljito pretresli jo nanесли na suhe, čiste in obrušene vzorce. Med posameznimi nanosi smo vzorce obrusili s finim brusnim papirjem. Zaščiten les lahko izpostavimo vremenskim vplivom najmanj 6 ur po zadnjem nanosu (Silvaproduct, 2016).

3.5 OPIS OPREME ZA SPREMLJANJE VLAŽNOSTI LESA

Za spremljanje vlažnost lesa na stojalu, smo namestili opremo proizvajalca Scanntronik in sicer merilec Gigamodul in zapisovalnik podatkov Thermofox. Na Gigamodul so preko koaksialnih kablov pritrjene elektrode, ki so pritrjene na osem izbranih merilnih mest.

Thermofox Universal je zapisovalnik podatkov (data logger) in termometer s tremi temperaturnimi senzorji. Prvi je vgrajen v sam modul in deluje v temperaturnem razponu od -10 °C do +50 °C, drugi in tretji pa sta zunanja senzorja z razponom od -30 °C do +120 °C. Ločljivost senzorjev je 0,1 °C, napaka pa je manjša od ±1 °C.

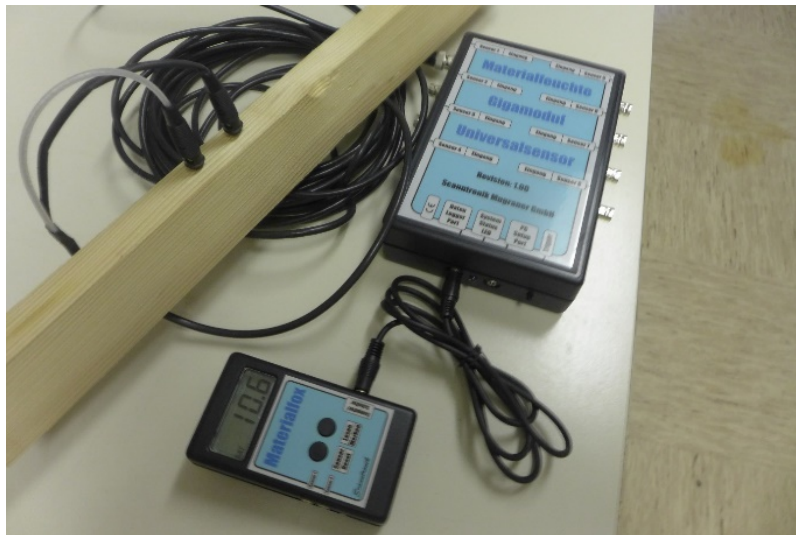
Osnovna verzija Thermofoxa lahko shrani 4000 zapisov, z nakupom dodatnega EEPROM spomina pa je mogoče kapaciteto razširiti na 64000 zapisov. Interval zapisovanja je prosto nastavljen (od enkrat na sekundo do enkrat na dan) preko programske opreme SoftFOX, ki se uporablja tudi za obdelavo zbranih podatkov. Na stojalu beležimo podatke vlažnosti lesa dvakrat dnevno, predvsem zaradi omejitev povezanih s spremljanjem vlažnosti lesa. Če vlažnost merimo prepogosto, pride do omejene elektrolize, kar vpliva na rezultat meritev. Če se zgodi, da modulu zmanjka spomina, se najstarejši podatki prepíšejo z novimi. Modul za napajanje uporablja 2 AAA bateriji, s katerima lahko deluje do dve leti. Zunanje dimenzije modula so $100 \times 60 \times 20$ mm, teža z baterijama pa je 100 g.

Material Moisture Gigamodule ni samostojna enota, ampak se uporablja kot razširitev Thermofoxa, ki merjenju temperature doda še merjenje vlažnosti materiala. Merjenje se izvaja na podlagi električne upornosti materiala (večja kot je upornost, nižja je vlažnost). Gigamodul ima 8 mest za merjenje upornosti z razponom od 10 k Ω do več kot 100 G Ω , s čimer lahko merimo vlažnost lesa od 6 % do 90 % (m/m) (vlažnost). Veliko merilno območje omogoča uporabo na raznolikih materialih v veliko različnih okoljih, od proizvodnih prostorov do laboratorijev. Modul lahko podatke vrača kot odčitano upornost, ali pa prilagojene na določen material (Humar in sod., 2015b).

Pregled lastnosti Gigamodula:

- podpira do 8 parov elektrod, povezanih preko BNC konektorjev,
- zelo veliko merilno območje,
- ločljivost sistema 0,1% Wg,
- preko programske opreme prosto nastavljen interval zajemanja podatkov,
- zapisovanje neobdelanih podatkov (izmerjena upornost) ali pa obdelanih glede na material (% Wg smreke, bora ...),
- LED indikator stanja sistema,
- gumb za shranjevanje podatkov izven nastavljenega intervala,
- mogoče ga je uporabljati z različnimi zapisovalniki podatkov,
- nastavljiva funkcija alarma ob določenih vrednostih meritev (alarm preko SMS, zvoka ...),

- spremljanje minimalnih in maksimalnih meritev,
- podatki se shranjujejo v zapisovalniku in ne v Gigamodulu,
- napajanje preko 6 AA baterij, ki omogočajo delovanje do dve leti,
- dimenzije 180 x 140 x 40 mm (Humar in sod., 2015b).



Slika 2: Merilnik lesne vlažnosti Gigamodul in oprema za beleženje podatkov (Humar in sod., 2015b)

Elektrode se na les navadno pritrdi z nerjavnimi jeklenimi vijaki, ki delujejo kot elektrode. Hkrati se ne morejo iztakniti iz lesa, ker so dobro pritrjeni.



Slika 3: Prikaz standardne pritrditve elektrod za spremljanje vlažnosti v lesu (Humar in sod., 2015b)

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 KLIMATOLOŠKI PODATKI

Aprila 2014 smo ob modelnem objektu postavili amatersko vremensko postajo Davis, ki podaja vremenske podatke točno na lokaciji kjer stoji tudi testno stojalo. Tako so podatki o temperaturi in zračni vlažnosti bolj točni glede na mikro lokacijo. Iz te merilne naprave so podatki o padavinah nezanesljivi, zato smo pridobili podatke iz arhiva Agencije Republike Slovenije za Okolje, ARSO. Uradno vremensko postajo Ljubljana-Bežigrad smo izbrali, ker je našemu testnemu stojalu najbližja.

Preglednica 5: Vremenski pogoji – Ljubljana – Bežigrad 299 m nadmorske višine, (ARSO 2016)

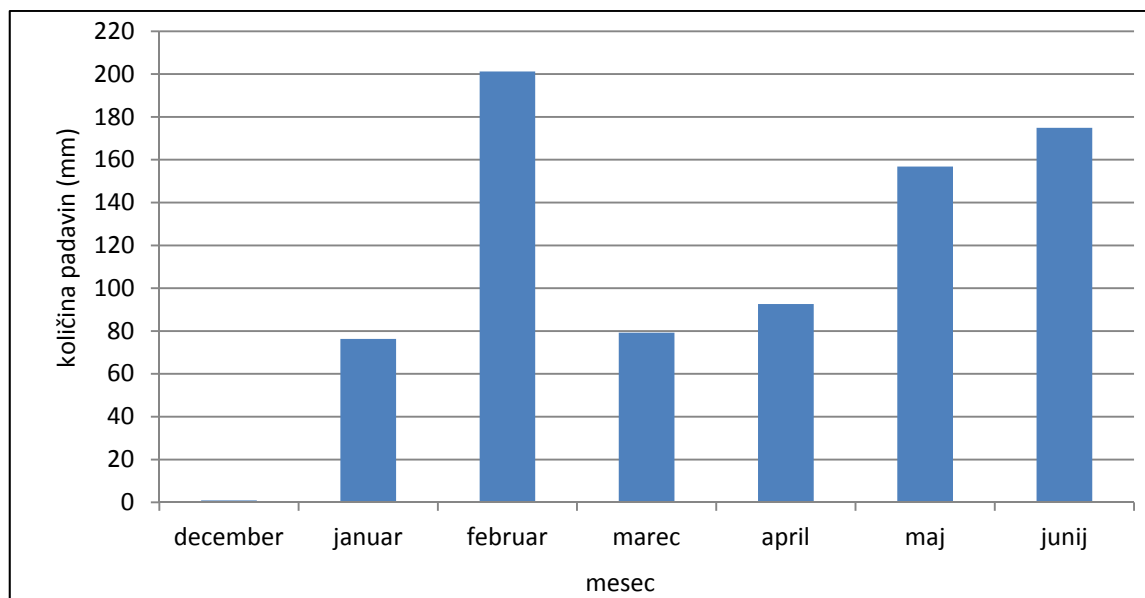
Ljubljana-Bežigrad	povp. T (°C)	povp. rel. vlažnost (%)	količina padavin (mm)	št. dni z dežjem >0.1 mm	št. dni s snežno odejo
2015/12	2,6	92	0,9	1	0
2016/01	1,1	85	76,3	10	9
2016/02	5,5	86	201,2	20	5
2016/03	7,5	73	79,2	13	0
2016/04	12,5	70	92,6	11	3
2016/05	15,3	71	156,8	19	0
2016/06	20	73	174,9	19	0

Merjenje temperature in vlažnosti zraka je potekalo od druge polovice decembra 2015 do prve polovice junija 2016. Vsega skupaj 189 dni od tega je bilo 89 dni s padavinami več kot 0,1 mm in 17 dni s snežno odejo. Iz teh podatkov je razvidno, da je bilo obdobje meritev zelo vlažno, kar polovico dni je bilo deževnih. Največ padavin je bilo meseca februarja. Najmanj padavin je bilo v mesecu decembru in marcu. Najvišja zračna vlažnost je bila v decembru, januarju in februarju. Najnižja zračna vlažnost je bila v mesecu aprilu. Najvišja izmerjena povprečna vlažnost v decembru je bila 95 %.

Preglednica 6: Povprečna temperatura in povprečna relativna zračna vlažnost na testnem polju v obdobju izvajanja meritev (december 2015 – junij 2016)

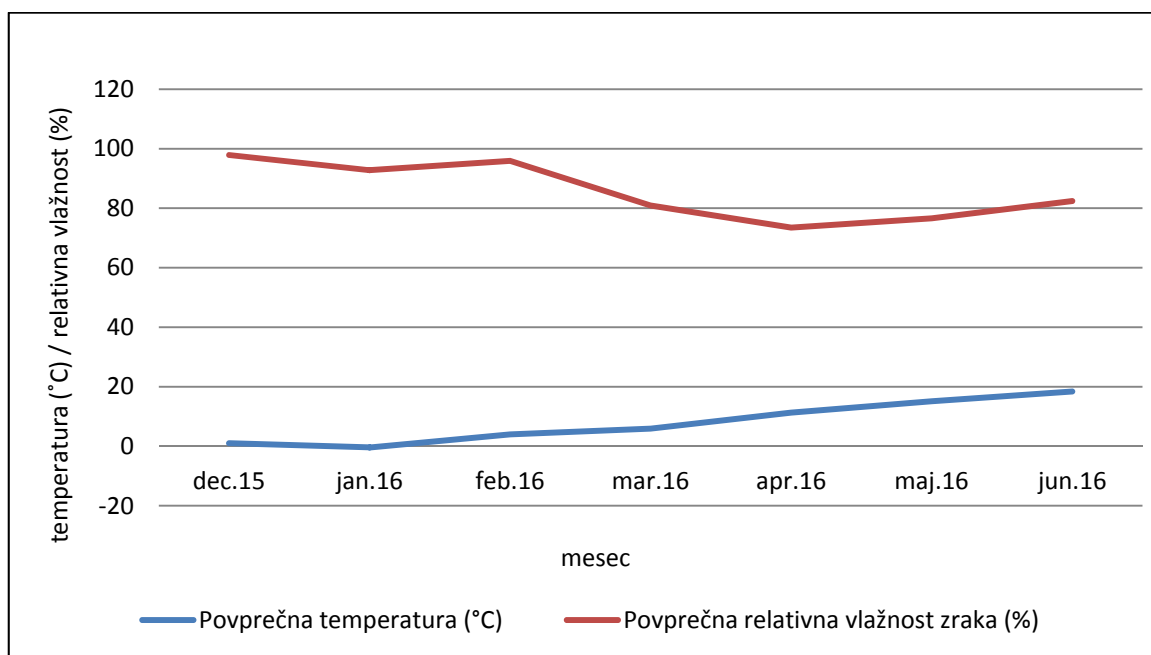
merilna postaja Davis	povprečna temperatura (°C)	povprečna relativna vlažnost zraka (%)
dec. 2015*	1,0	97,9
jan. 2016	-0,4	92,8
feb. 2016	4,0	95,9
mar. 2016	5,9	80,9
apr. 2016	11,3	73,5
maj. 2016	15,1	76,6
jun. 2016*	18,4	82,4

(preglednica 6) podatek velja za * meritve v drugi polovici meseca (dec. 2015*) od 15 december do 31 december 2015 in v prvi polovici meseca (jun. 2016*) od 1 junij do 16 junij 2016.



Slika 4: Grafični prikaz količine padavin v izbranih mesecih v obdobju izvajanja meritev

Iz grafičnega prikaza (slika 4) je razvidno, da v mesecu decembru skoraj ni bilo padavin. V mesecu februarju jih je bilo čez 200 mm. Marca in aprila je bilo blizu 100 mm padavin. V maju in juniju pa spet nekoliko več oziroma malo manj kot februarja.



Slika 5: Grafični prikaz gibanja temperature in relativne zračne vlažnosti

Na sliki 5 prikazujemo potek relativne zračne vlažnosti. V decembru, januarju in februarju je bila zelo visoka, kar so-upada z veliko padavinami in nizkimi temperaturami. Meseca aprila je bila slabih 74 %. V maju in juniju se je spet nekoliko približala 80-im odstotkom. Povprečna temperatura v decembru in januarju se je gibala v območju ničle. Februarja pa se je začela enakomerno dvigovati iz 4 °C do junija, ko je bila izmerjena povprečna temperatura 18,4 °C. Iz podatkov je razvidno, da je bilo obdobje meritev precej vlažno. Temperature so bile hladne in ni bilo negativnih temperatur, najvišje temperature so se povzpele do 19 °C.

4.2 VLAŽNOSTI VZORCEV MED IZPOSTAVITVIJO

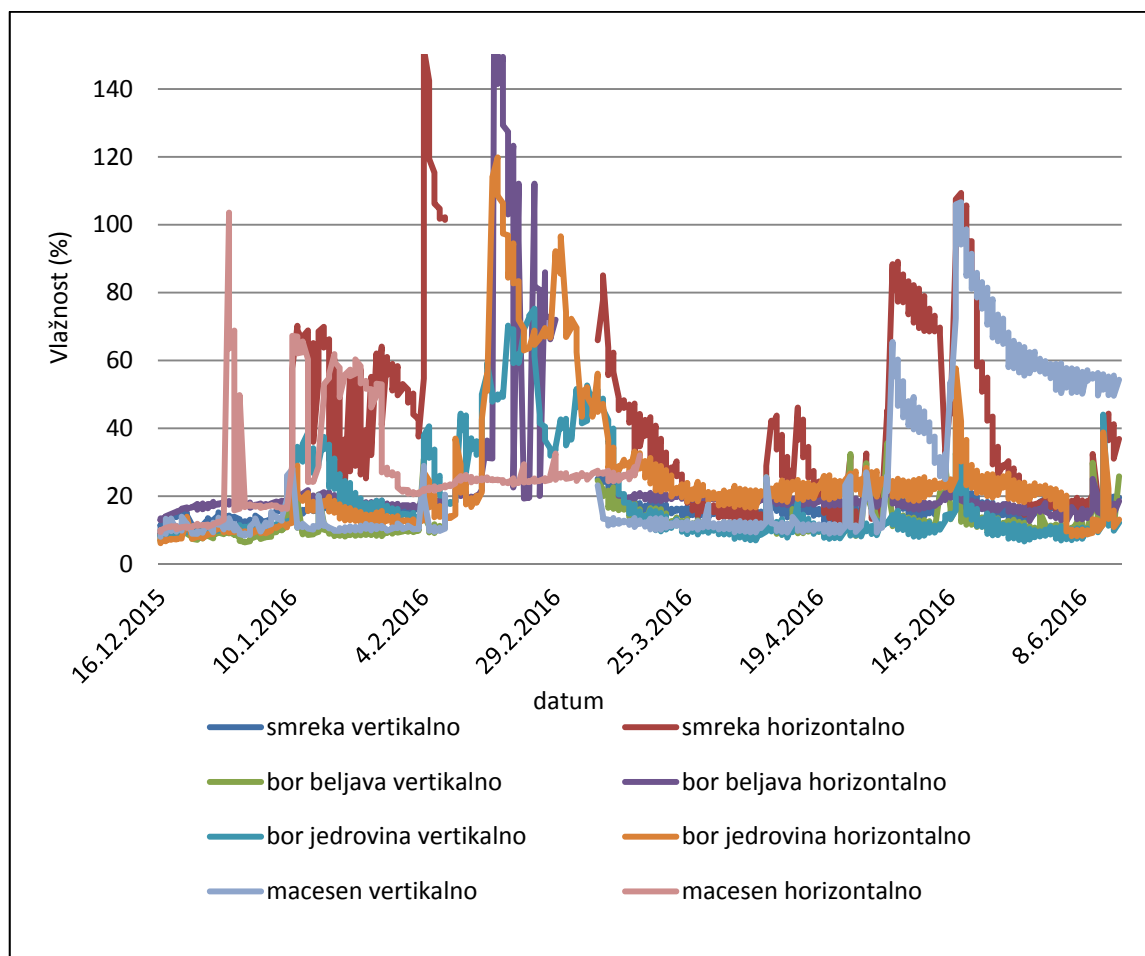
Na vzorcih, ki se nahajajo na testnem stojalu smo izvajali meritve vlažnosti lesa z uporovnim merilnikom Gigamodul z zapisovalnikom Thermofox proizvajalca Scantronik.

Meritve smo izvajali v obdobju od druge polovice decembra 2015 do prve polovice junija 2016. Vsak dan v razmiku 12 ur smo izvedli po dve meritvi temperature in vlažnosti lesa. V času pridobivanja podatkov nam iz neznanih tehničnih vzrokov manjka nekaj podatkov o vlažnosti nekaterih vzorcev. Pridobljene podatke smo statistično obdelali in jih grafično prikazali.

Preglednica 7: Meritve vlažnosti vzorcev na testnem stojalu za izbran les iglavcev

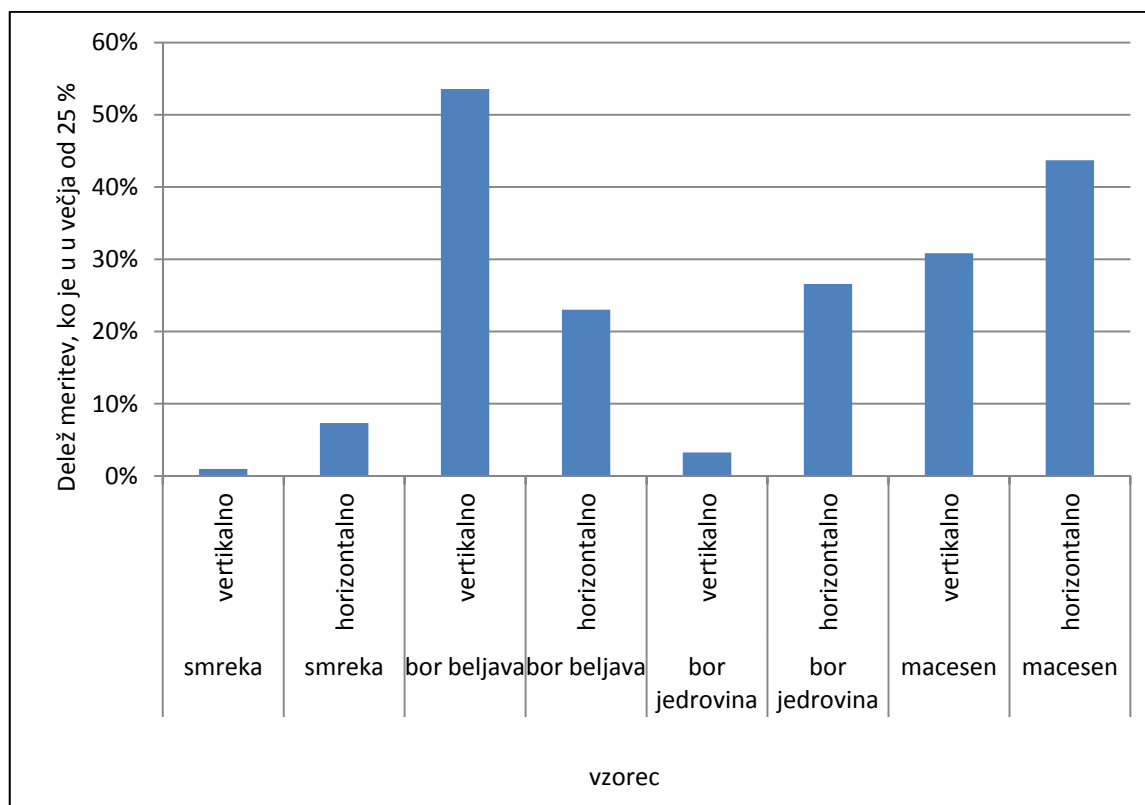
vzorec	smreka vertikalno	smreka horizontalno	bor beljava vertikalno	bor beljava horizontalno	bor jedrovina vertikalno	bor jedrovina horizontalno	macesen vertikalno	macesen horizontalno
št. meritev	308	341	308	365	308	365	308	183
MIN	8,8	12,5	7,0	6,7	6,4	6,1	8,0	9,3
MAX	26,6	415,6	151,8	75,2	35,6	119,8	106,6	103,5
povprečje	16,4	23,5	36,0	19,2	11,9	25,7	25,2	28,2
mediana	16,2	18,3	26,3	12,2	10,3	20,5	12,0	24,5
u > 20	32,0	73,0	181,0	96,0	22,0	193,0	101,0	137,0
u > 25	3,0	25,0	165,0	84,0	10,0	97,0	95,0	80,0
delež u > 25	1 %	7 %	54 %	23 %	3 %	27 %	31 %	44 %
u > 30	-	21,0	140,0	75,0	4,0	60,0	84,0	36,0

Na sliki 6 in v preglednici 7 so prikazani podatki o navlaževanju vzorcev izdelanih iz najpomembnejših lesov iglavcev. Vse te lesne vrste se uporabljajo tudi za izdelavo fasad in izdelavo konstrukcij na prostem. Borova beljava je uporabljena kot referenca. Med posameznimi vzorci je prihajalo do razlik, ki so podrobneje komentirane v nadaljevanju. Pri večini vzorcev izpostavljenih v horizontalnem položaju je vlažnost višja od vzporednih vzorcev, ki so orientirani vertikalno. Rezultat je pričakovan, z vertikalnih vzorcev voda hitreje odteče, kot iz horizontalno postavljenih elementov. Najnižjo srednjo vlažnost med vzorci neobdelanih iglavcev je imel vzorec jedrovine bora postavljen vertikalno (10,3 %). Ta podatek je pričakovan, saj je za jedrovino iglavcev znano, da ima aspirirane piknje, ki ovirajo prodiranje vode v les. Zato je les bolj suh.



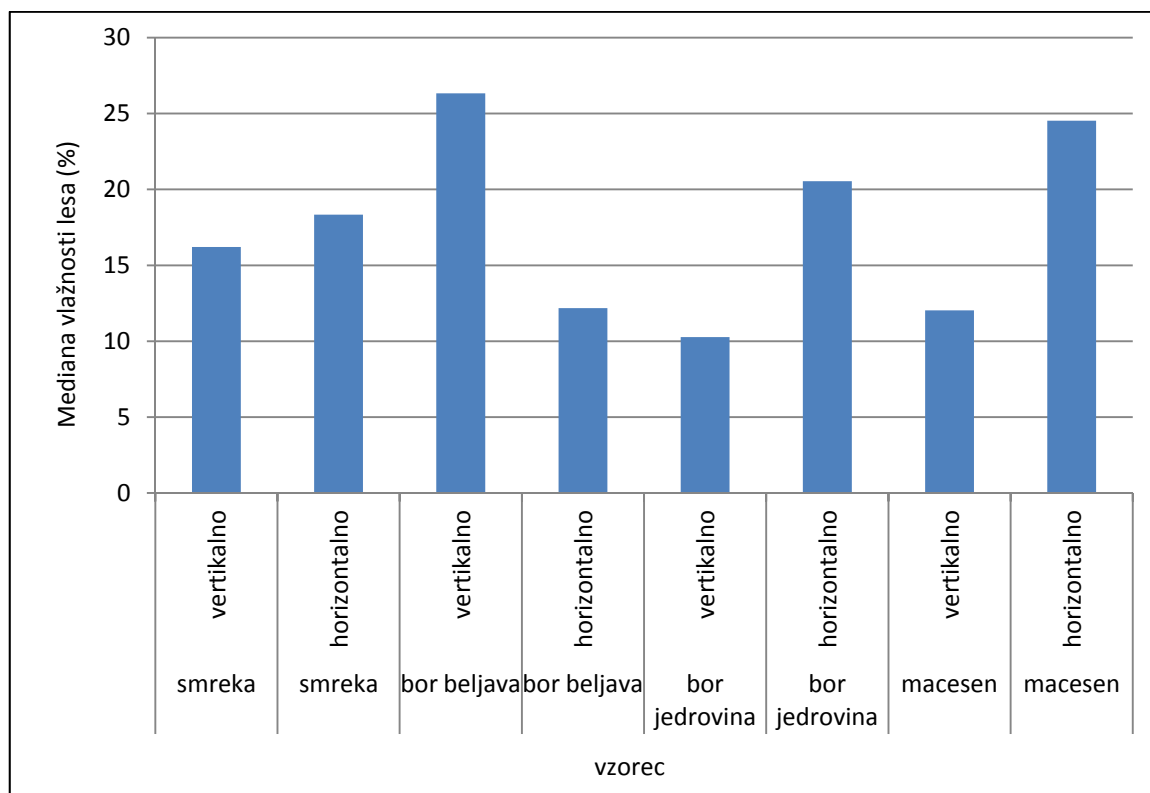
Slika 6: Grafični prikaz gibanja vlažnosti za izbran les iglavcev

Slika 6 prikazuje potek vlažnosti vzorcev skozi celotno obdobje meritev. Izrazito se vidi, da je bilo v obdobju februarskih meritev v vzorcih ogromno vode, kar je posledica velikih količin padavin, še posebej v obliki snega. Ko se sneg tali, voda ne odteka v celoti temveč počasi povsem prepoji les, kar se odraža v visokih vlažnostih. Zaradi nizkih temperatur pa sušenje pozimi poteka počasneje. Nekoliko manj padavin je bilo v mesecu maju in juniju. Meritve v decembru, marcu in aprilu pa kažejo na vlažnost lesa med 10 % in 25 %. Del maksimalnih vrednosti meritev smo izločili iz grafičnega prikaza, ker je v tem območju uporovna merilna tehnika nezanesljiva. Ker smo za statistični prikaz uporabili mediano, te vrednosti nimajo izrazitega vpliva na to statistično mero sredine.



Slika 7: Grafični prikaz deleža meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 % za izbran les iglavcev

Grafikon (slika 7) prikazuje delež meritev, ko je imel les vlažnost višjo od 25 %. Najmanjši delež z 1 % je imel vzorec smreke, ki je bil orientiran vertikalno. Sledi mu vzorec bor jedrovina orientiran vertikalno z 3 %. To nakazuje, da imata tako smrekovina in jedrovina bora primerljivo odpornost proti navlaževanju. Vzorec smreka horizontalno ima v sedmih odstotkih merjenih dni od skupaj 341-ih meritev vlažnost višjo od 25 %. Bor beljava horizontalno s 23 % ima nekoliko manjšo vrednost kot bor jedrovina v horizontalnem položaju 27 %. Macesen vertikalno z 31 % in macesen horizontalno 44 %. Največji delež dni z meritvami vlažnosti nad 25 % pa je imel vzorec beljave bora izpostavljen v vertikalnem položaju. Beljava bora se je v horizontalnem položaju obnesla polovico bolje kot v vertikalnem položaju. Vzrok za te razlike je verjetno nehomogenost lesa. Jedrovina bora ima boljše rezultate v vertikalnem položaju. Macesen in smreka prav tako v vertikalnem položaju. Bor beljava in bor jedrovina imata podobne rezultate v horizontalnem položaju.



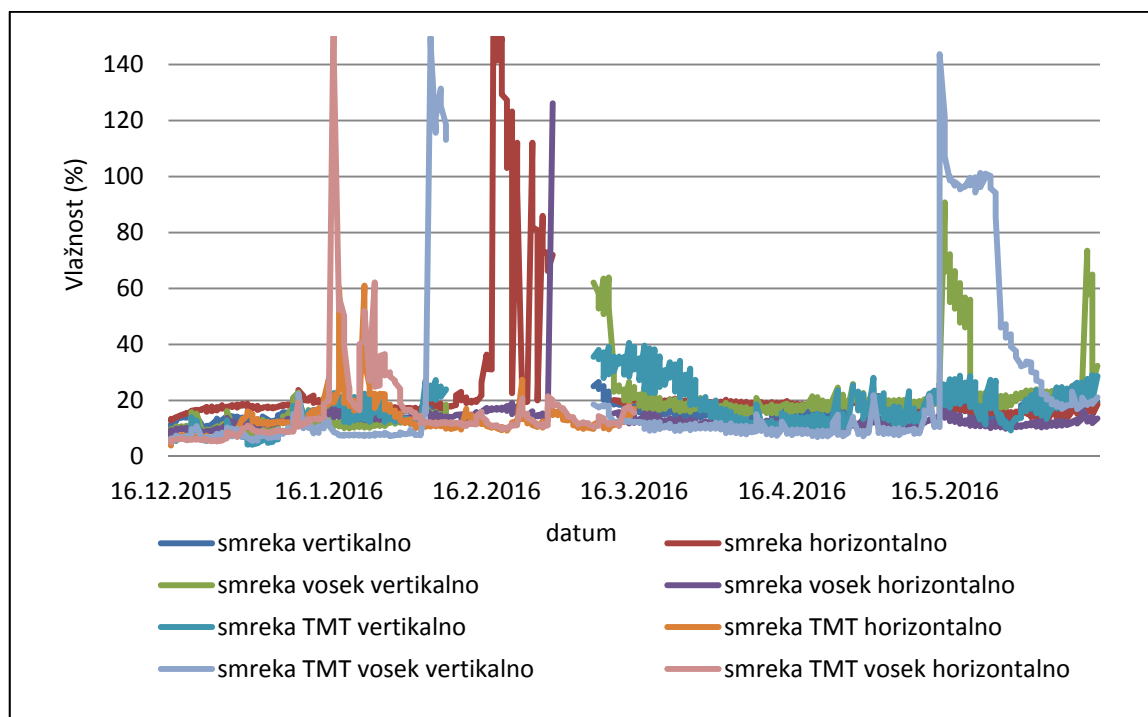
Slika 8: Grafični prikaz mediane vlažnosti za izbran les iglavcev

Iz grafičnega prikaza (slika 8) mediane vlažnosti lesa je razvidno, da imajo vzorci beljave bora v horizontalni legi, jedrovina bora - vertikalno in macesen - vertikalno najnižjo mediano, ki znaša okoli 12 % vlage v lesu. Sledijo jim smreka - vertikalno z 17 %, smreka - horizontalno z 18,3 %. Macesen - horizontalno in bor beljava - vertikalno imata mediano vlažnosti približno 25 %. Razloga za boljše obnašanje bora v horizontalnem, kot vertikalnem položaju ne znamo v celoti pojasniti. Morebiti je vzrok nehomogenost lesa.

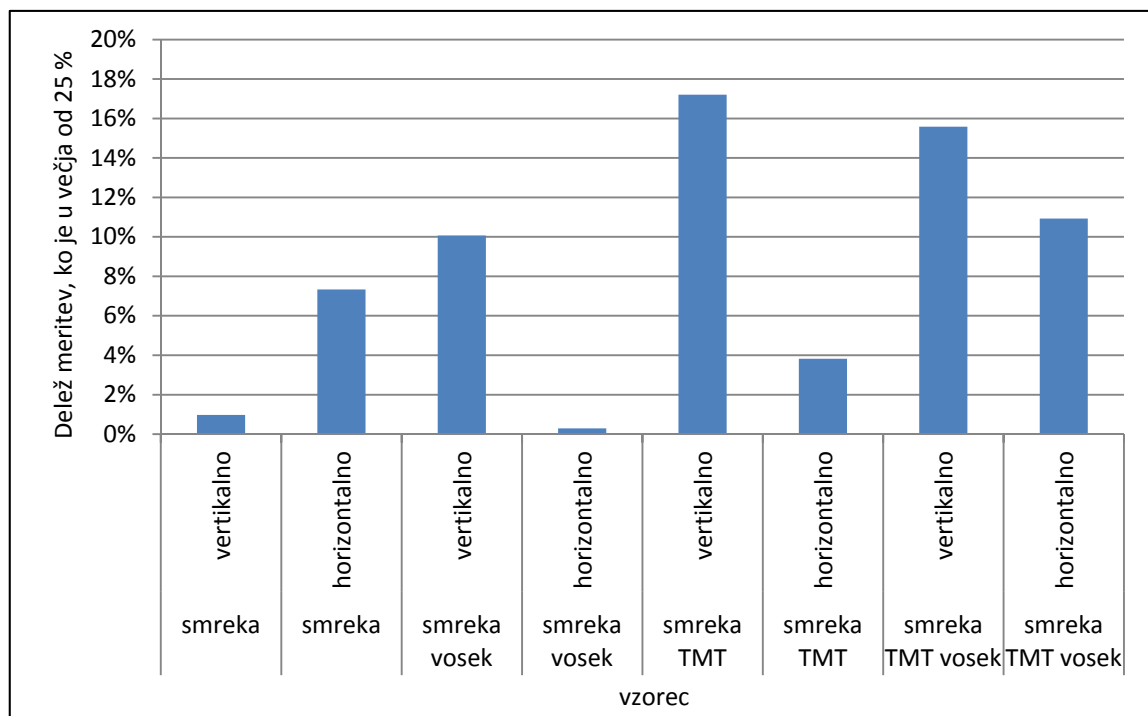
Preglednica 8: Meritve vlažnosti vzorcev na testnem stojalu za termično modificirane in/ali z voski obdelane smrekovine

vzorec	smreka vertikalno	smreka horizontalno	smreka vosek vertikalno	smreka vosek horizontalno	smreka TMT vertikalno	smreka TMT horizontalno	smreka TMT vosek vertikalno	smreka TMT vosek horizontalno
št. meritev	308	341	308	341	308	183	308	183
MIN	8,8	12,5	7,0	4,8	4,1	3,9	5,4	5,0
MAX	26,6	415,6	90,8	126,2	40,6	61,0	149,8	169,4
povprečje	16,4	23,5	19,9	13,1	17,4	13,4	21,8	16,1
mediana	16,2	18,3	17,6	12,7	16,1	12,0	9,9	11,9
u > 20	32,0	73,0	99,0	2,0	106,0	16,0	58,0	28,0
u > 25	3,0	25,0	31,0	1,0	53,0	7,0	48,0	20,0
delež u > 25	1 %	7 %	10 %	0 %	17 %	4 %	16 %	11 %
u > 30	-	21,0	23,0	1,0	23,0	3,0	45,0	14,0

V preglednici 8 so prikazani podatki o navlaževanju vzorcev, izdelanih iz lesa smreke. Del smrekovine je termično modificiran in/ali obdelan z voski. Orientirani so vertikalno in horizontalno, kot opisano v prejšnjih odstavkih. Uporabljene so različne vrste zaščite. Vzorec smreka TMT + vosek v obeh položajih ima srednjo vrednost vlažnosti najnižjo med primerljivimi vzorci. To potrjuje dejstvo, da ima termično modificiran les in impregniiran z voski nižji navzem vode. Voski imajo hidroforen učinek, termično modificiran les pa izboljšane sorpcijske lastnosti. Vzorec smreka impregniirana z voskom ima v vertikalnem položaju višji delež vlažnih dni z vlažnostjo lesa nad 25 % kot neobdelana smreka. Pri termično modificirani smreki v vertikalnem položaju ta vsebuje več meritev vlage nad 25 % kot termično modificirana smreka v horizontalnem položaju.

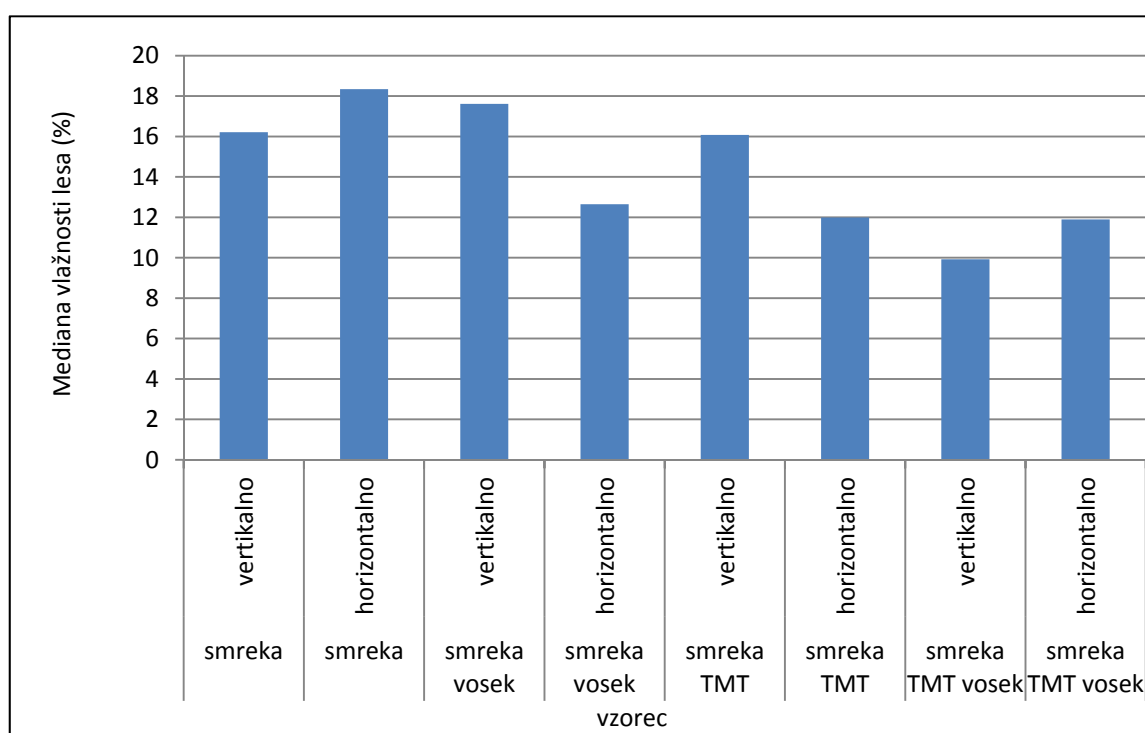


Slika 9: Grafični prikaz gibanja vlažnosti lesa za termično modificirane in/ali z voski obdelane smrekovine



Slika 10: Grafični prikaz deleža meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 % za termično modificirane in/ali z voski obdelane smrekovine

Slika 10 prikazuje delež meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 %. Največji delež vlažnih dni ima vzorec smreka TMT orientiran vertikalno, kjer smo zabeležili kar 17 % vlažnih dni. Termično modificirani smrekovini se z modifikacijo poveča permeabilnost. Med modifikacijo se razgradijo aspirirane piknje, ki preprečujejo prodiranje vode v les. Najmanjši delež vlažnih dni ima neobdelan vzorec smreke orientiran v vertikalni smeri in horizontalno orientiran vzorec smreka impregniran z voskom. Ta podatek kaže na to, da voski učinkovito preprečujejo prodiranje vode v les.



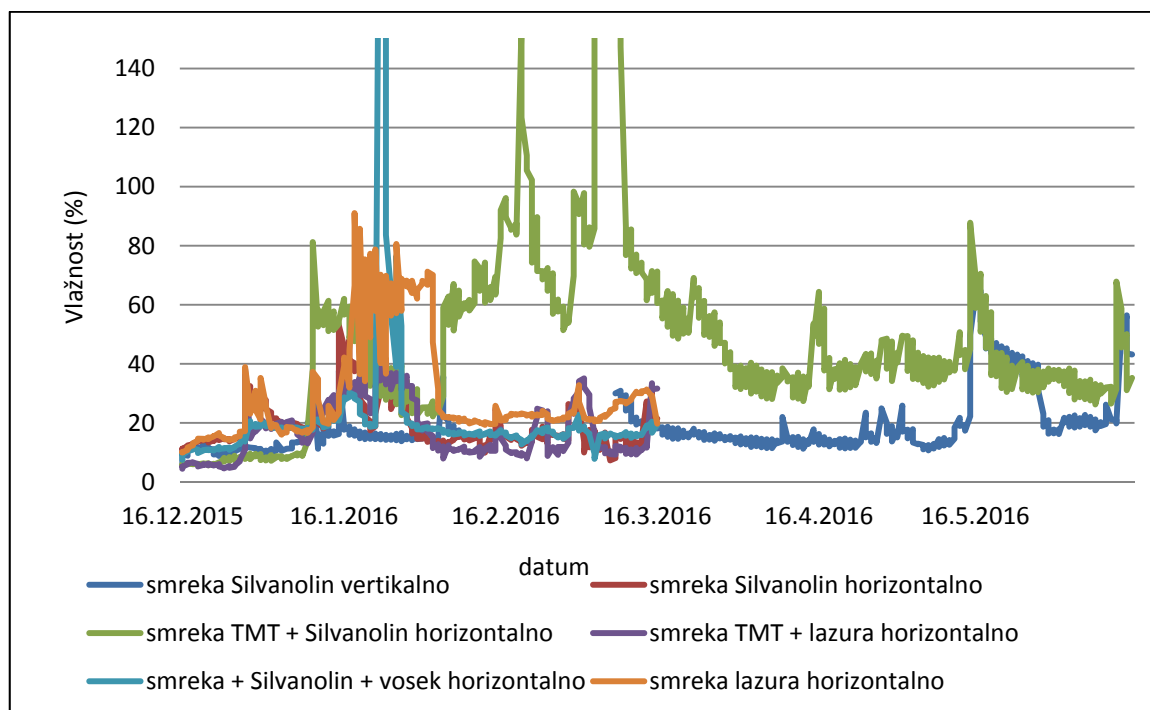
Slika 11: Grafični prikaz mediane vlažnosti lesa za termično modificirane in/ali z voski obdelane smrekovine

Slika 11 prikazuje grafikon na katerem prikazujemo mediano vlažnosti lesa. Najnižjo povprečno vlažnost ima vzorec smreka TMT impregniran z voskom v vertikalni postavitvi, kjer smo določili le 9,9 % mediano vlažnosti. S termično modifikacijo in voskom dosežemo sinergistične lastnosti (Zupančič, 2015). Največji odstotek vlage v lesu ima smreka postavljena horizontalno in smreka impregnirana z voskom vertikalno (17,6 %). Sledi TMT smreka postavljena vertikalno (16,1 %) in vzorca orientirana horizontalno smreka TMT in smreka TMT vosek z 12 % vlage v lesu.

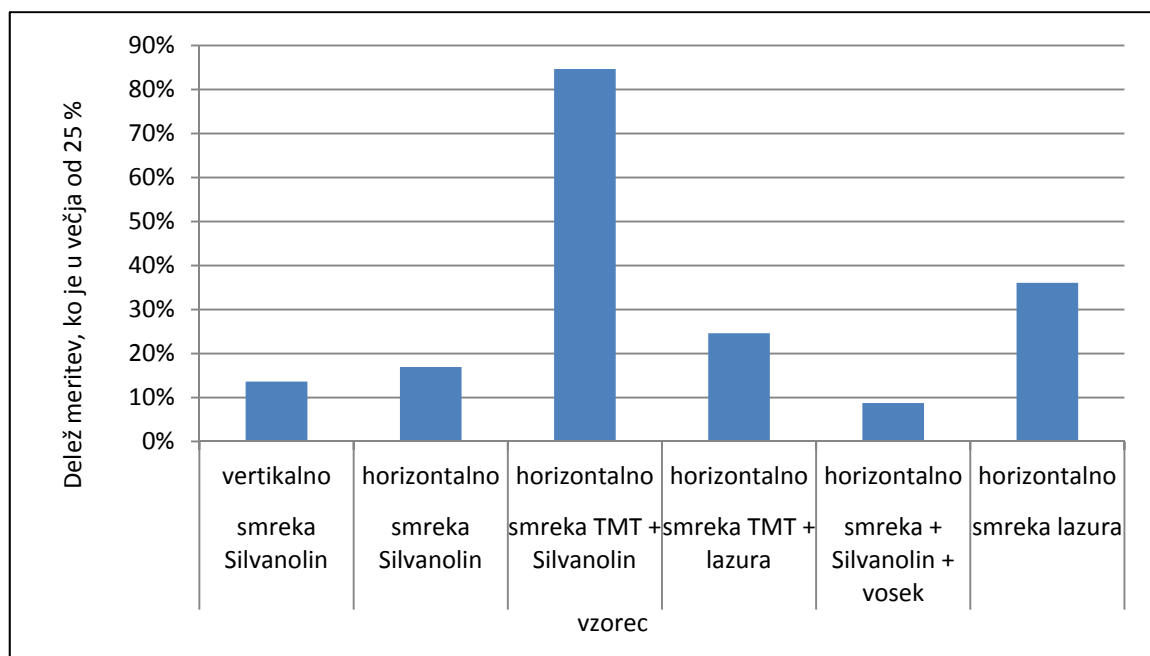
Preglednica 9: Meritve vlažnosti vzorcev na testnem stojalu za smrekovino obdelano s Silvanolinom, voskom oziroma smrekovino premazano z lazuro

vzorec	smreka Silvanolin vertikalno	smreka Silvanolin horizontalno	smreka TMT + Silvanolin horizontalno	smreka TMT + lazura horizontalno	smreka Silvanolin + vosk horizontalno	smreka lazura horizontalno
št. meritev	308	183	365	183	183	183
MIN	6,6	7,3	5,3	4,5	7,5	9,9
MAX	64,7	53,1	200,6	38,4	306,4	91,0
povprečje	18,9	18,9	47,7	17,6	23,0	29,4
mediana	15,4	16,0	40,1	14,7	17,2	22,6
u > 20	72,0	57,0	315,0	63,0	33,0	134,0
u > 25	42,0	31,0	309,0	45,0	16,0	66,0
delež u > 25	14 %	17 %	85 %	25 %	9 %	36 %
u > 30	37,0	16,0	283,0	30,0	10,0	49,0

Na sliki 12 in preglednici 9 so prikazani podatki o navlaževanju vzorcev izdelanih iz lesa smreke, ki smo jih zaščitili s Silvanolinom ali premazali z lazuro. Iz podatkov je razvidno, da ima termično modificiran vzorec smreke impregniran s Silvanolinom horizontalno, visok navzem vlage v celotnem obdobju meritev. Rezultat je pričakovan, les impregniran s Silvanolinom se hitreje navlaži, saj bakrove spojine in kvartarne amonijeve spojine povečajo hidrofilnost lesa. Najbolje se je izkazal vzorec smreka TMT + lazura horizontalno, ima najnižji odstotek vlažnosti v lesu. Lazura ima paropropustni učinek na površini lesa ter vsaj na začetku deluje hidrofobno.

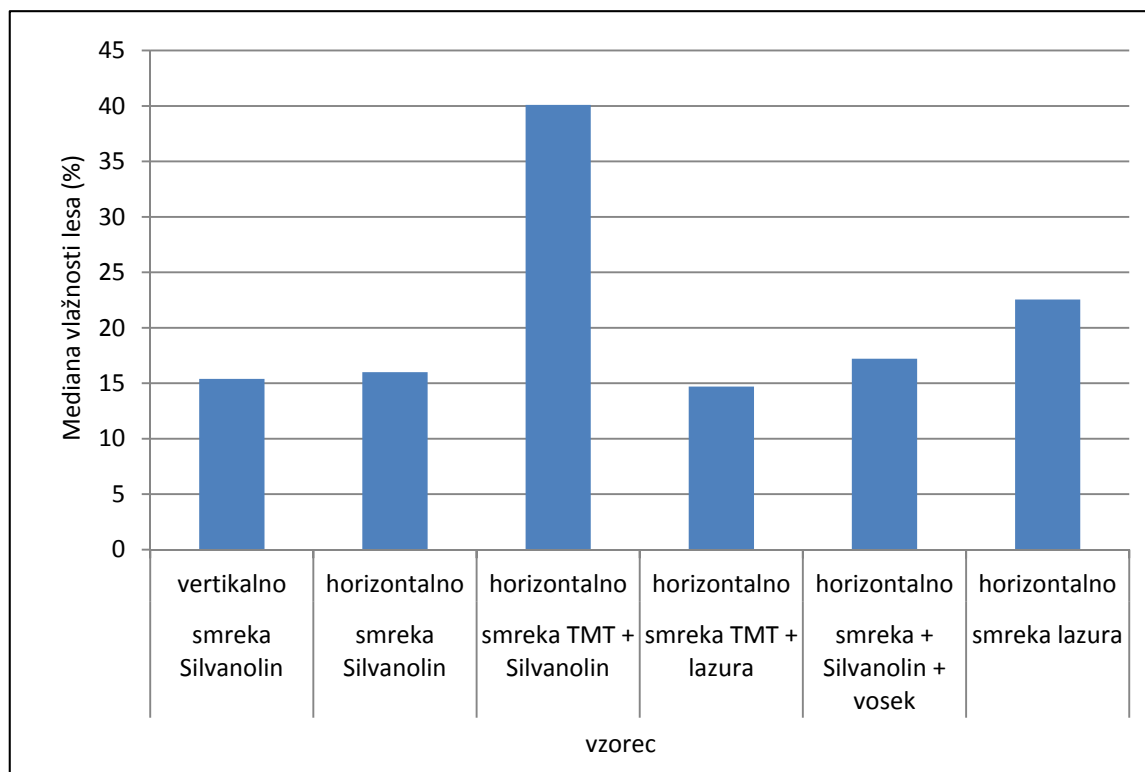


Slika 12: Grafični prikaz gibanja vlažnosti za smrekovino obdelano s Silvanolinom, voskom oziroma smrekovino premazano z lazuro



Slika 13: Grafični prikaz deleža meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 % za smrekovino obdelano s Silvanolinom, voskom oziroma smrekovino premazano z lazuro

Slika 13 prikazuje delež meritev, ko je imel smrekov les obdelan na različne načine vlažnost višjo od 25 %. Najvišji delež vlažnih dni smo zaznali pri TMT smrekovini obdelani s Silvanolinom v horizontalni legi, kjer smo zaznali, da je kar 85 % obdobja izvajanja meritev vlažnost presegala 25 %. Sledi z lazuro premazan smrekov vzorec izpostavljen horizontalno s 36 % vlažnih dni. Smreka TMT obdelana z lazuro v horizontalni legi je imela 25 % časa vlažnost nad 25 %. Smreka zaščitena s Silvanolinom v horizontalni legi 17 % časa, smreka impregnirana s Silvanolinom v vertikalni legi 14 % časa. Najnižji delež časa z vlažnostjo nad 25 % je imel vzorec smreke impregniran s Silvanolinom in voskom (9 %). Ta podatek nakazuje na pozitiven učinek voska na hidrofobnost.



Slika 14: Grafični prikaz mediane vlažnosti lesa za smrekovino obdelano s Silvanolinom, voskom oziroma smrekovino premazano z lazuro

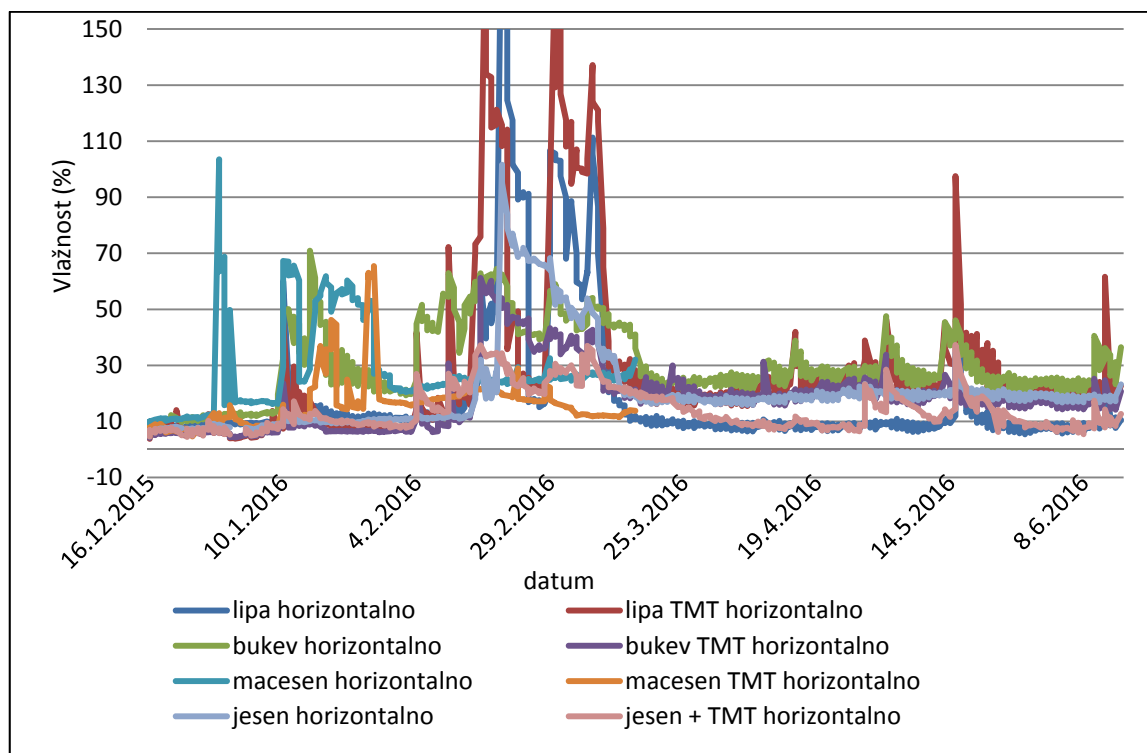
Slika 14 prikazuje grafikon iz katerega je razviden prikaz srednje vlažnosti lesa v odstotkih. Najvišjo mediano vlažnosti lesa ima vzorec termično modificirane smreke TMT impregnirane s Silvanolinom (40,1 %). Sledi vzorec smreke premazan z lazuro v

horizontalnem položaju z 22,6 % vlažnostjo. Vzorca smreka impregnirana s Silvanolinom v vertikalni in horizontalni legi imata primerljivo mediano vlažnosti lesa, ki znaša približno 15 %. Vzorec smreka impregniran s Silvanolinom in voskom ima mediano vlažnosti 17,2 %. Vzorec TMT smreke premazan z lazuro pa ima 14,7 % mediano vlažnosti lesa.

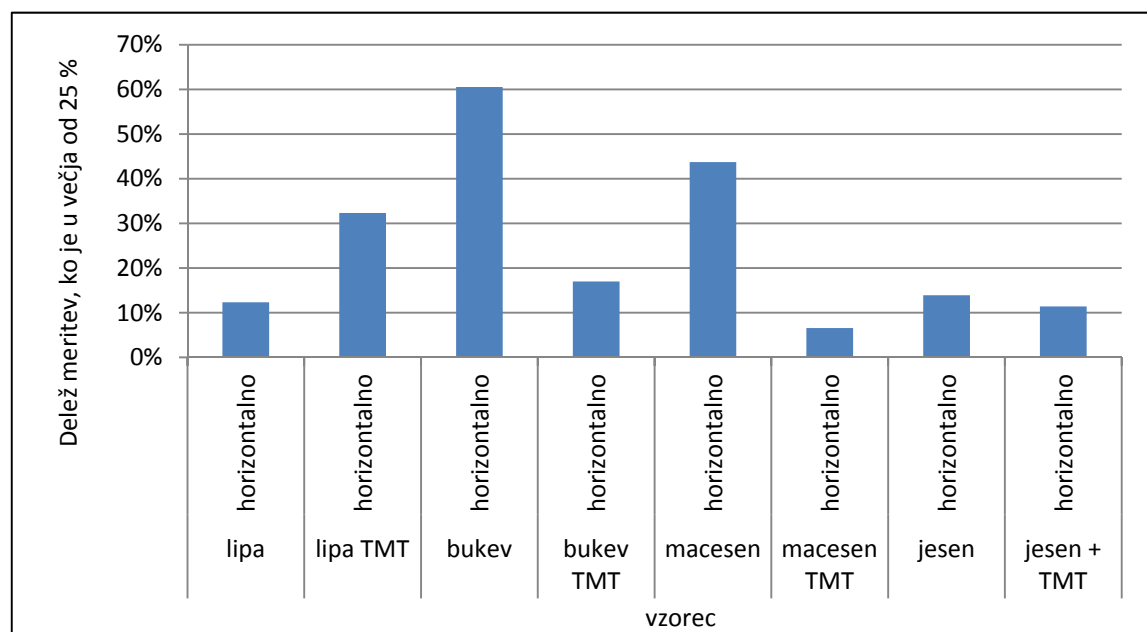
Preglednica 10: Meritve vlažnosti vzorcev na testnem stojalu za izbrane termično modificirane lesne vrste. Za primerjavo so vzporedno navedeni tudi podatki za nemodificiran les

vzorec	lipa horizontalno	lipa TMT horizontalno	bukev horizontalno	bukev TMT horizontalno	macesen horizontalno	macesen TMT horizontalno	jesen horizontalno	jesen + TMT horizontalno
št. meritev	365	365	365	365	183	183	359	359
MIN	5,4	3,8	8,3	4,1	9,3	4,6	6,0	4,5
MAX	213,8	198,6	70,9	61,2	103,5	65,4	101,5	37,3
povprečje	19,0	28,6	30,6	18,5	28,2	16,2	20,9	14,2
mediana	9,8	21,0	26,5	17,8	24,5	15,2	18,1	11,1
u > 20	53,0	203,0	311,0	125,0	137,0	33,0	102,0	78,0
u > 25	45,0	118,0	221,0	62,0	80,0	12,0	50,0	41,0
delež u > 25	12 %	32 %	61 %	17 %	44 %	7 %	14 %	11 %
u > 30	44,0	74,0	137,0	50,0	36,0	10,0	47,0	19,0

Na sliki 15 in preglednici 10 so prikazani podatki o navlaževanju vzorcev izdelanih iz najpomembnejših lesov domačih listavcev. Primerjamo neobdelan les s termično modificiranim lesom. Les vseh vzorcev je orientiran horizontalno. Iz rezultatov je razvidno, da imajo vsi termično modificirani lesovi nižjo vlažnost lesa. Pri vseh modificiranih vzorcih je bila minimalna in maksimalna izmerjena vlažnost nižja kot pri neobdelanem lesu. Pri modificirani lipovini so rezultati deleža vlažnih dni z vlažnostjo nad 25 % višji kot pri neobdelani lipovini. Na vzorcih bukke, macesna in jesena je delež vlažnih dni pri modificiranem lesu nižji od vlažnosti nemodificiranega lesa.

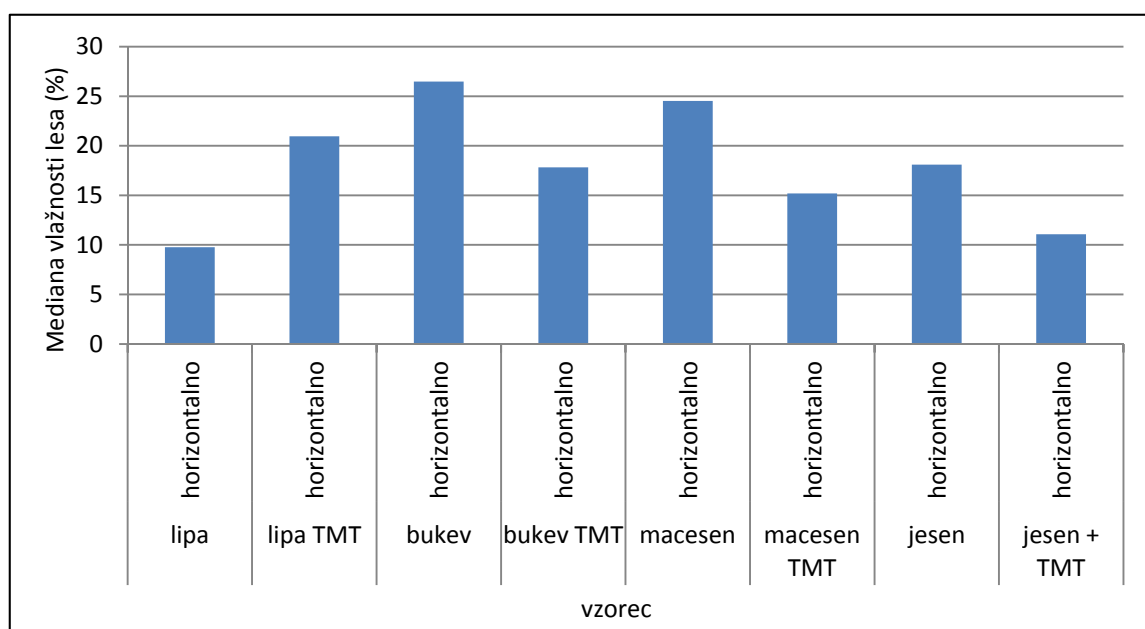


Slika 15: Grafični prikaz gibanja vlažnosti lesa za izbrane termično modificirane lesne vrste. Za primerjavo so vzporedno navedeni tudi podatki za nemodificiran les



Slika 16: Grafični prikaz deleža meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 % za izbrane termično modificirane lesne vrste. Za primerjavo so vzporedno navedeni tudi podatki za nemodificiran les

Slika 16 prikazuje delež meritev, ko je imel les vlažnost višjo od 25 %. Pri termično modificirani lipovini je delež meritev iz 12 % narasel na 32 %. Termično modificirani bukovini se je zmanjšal delež iz 61 % na 17 %. Termično modificiranemu macesnu pa iz 44 % na 7 %. Pri termično modificiranemu jesenu pa iz 14 % na 11 %. Termična modifikacija lipovine je potekala pri višji temperaturi kot pri ostalih materialih. Tako je imela termična modifikacija manjši vpliv na permeabilnost pri ostalih lesnih vrstah, v primerjavi z lipovino. Termično modificirana lipovina se je obnašala podobno kot termično modificirana smrekovina.



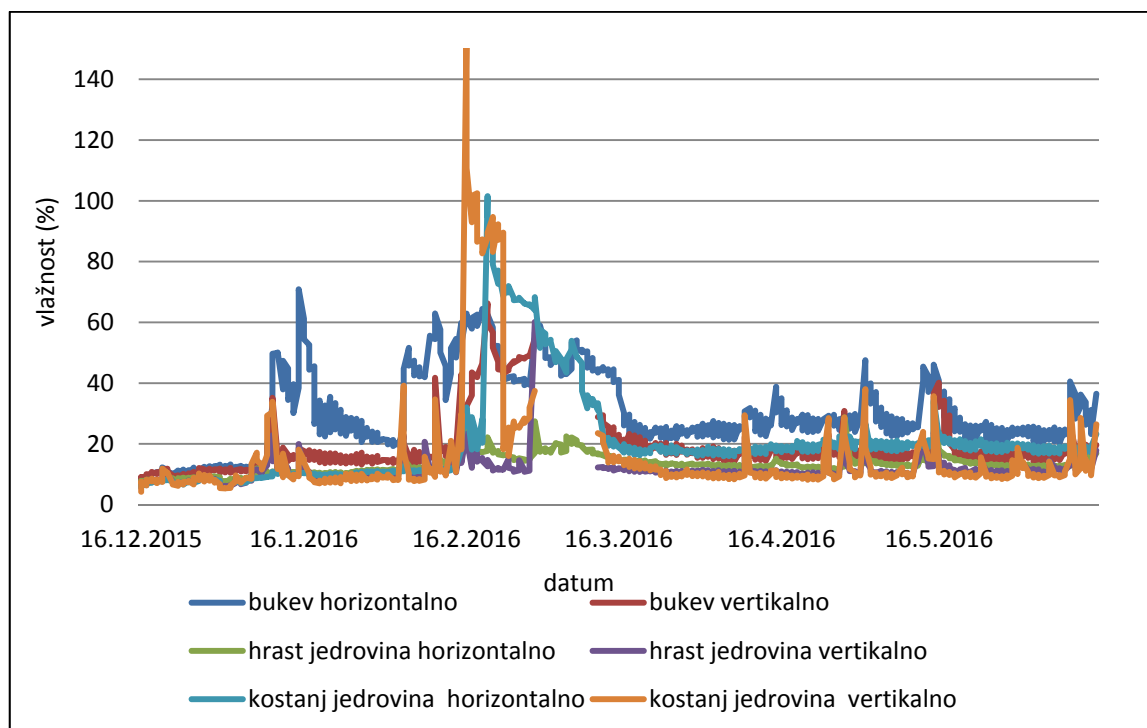
Slika 17: Grafični prikaz mediane vlažnosti lesa za izbrane termično modificirane lesne vrste. Za primerjavo so vzporedno navedeni tudi podatki za nemodificiran les

Slika 17 prikazuje grafični prikaz vpliva termične modifikacije na sredinske vrednosti vlažnosti lesa lipe, bukke, macesna in jesena. Srednja vrednost pri vzorcu lipe se je iz 9,8 % povešala na 21 %, pri ostalih lesnih vrstah, pa se je zmanjšala. Neobdelan vzorec bukke ima mediano 26,5 %, termično modificirana bukev pa 17,8 %. Pri macesnovini se je s termično modifikacijo srednja vrednost vlage v lesu znižala iz 24,5 % na 15,2 %, pri jesenu iz 18,1 % na 11,1 %. Ta podatek jasno kaže na pozitivni učinek termične modifikacije na les.

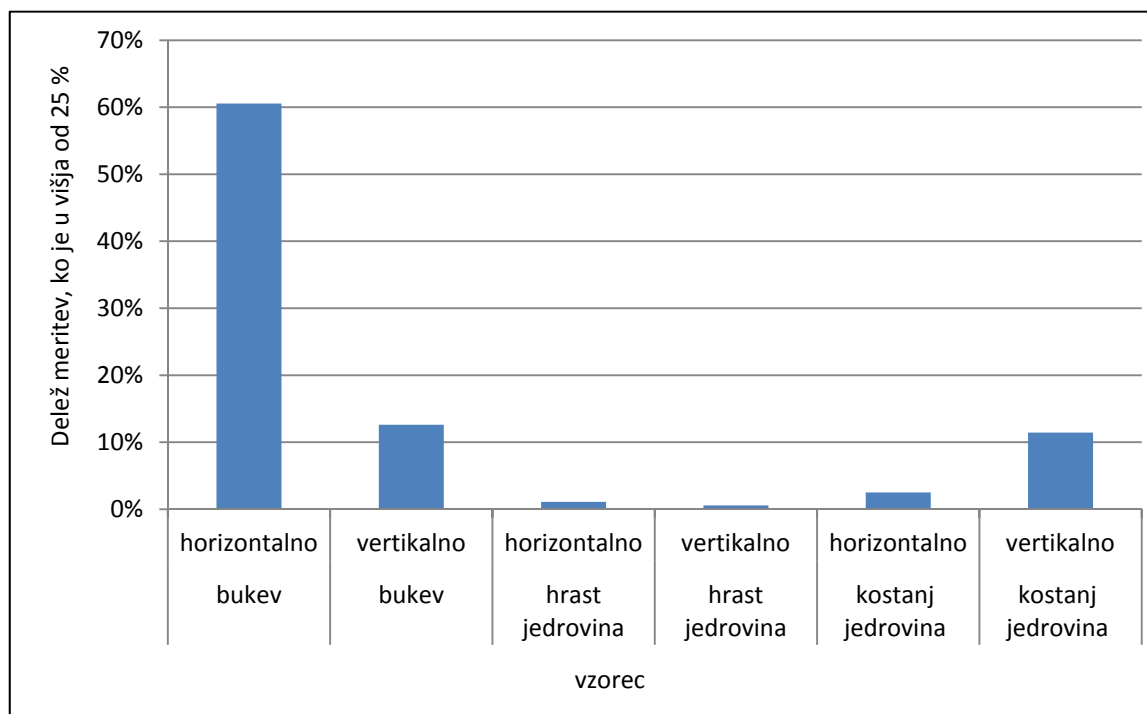
Preglednica 11: Meritve vlažnosti vzorcev na testnem stojalu za najpomembnejše predstavnike listavcev

vzorec	bukev horizontalno	bukev vertikalno	hrast jedrovina horizontalno	hrast jedrovina vertikalno	kostanj jedrovina horizontalno	kostanj jedrovina vertikalno
št. meritev	365	341	364	341	359	341
MIN	8,3	7,5	7,0	5,5	6,2	4,2
MAX	70,9	66,2	33,8	60,1	60,2	158,5
povprečje	30,6	19,1	13,3	11,4	11,7	15,7
mediana	26,5	16,9	12,9	10,9	10,4	10,0
u > 20	311,0	63,0	12,0	15,0	10,0	46,0
u > 25	221,0	43,0	4,0	2,0	9,0	39,0
delež u > 25	61 %	13 %	1 %	1 %	3 %	11 %
u > 30	137,0	35,0	1,0	1,0	6,0	24,0

Na sliki 18 in preglednici 11 so prikazani podatki o navlaževanju vzorcev izdelanih iz lesov domačih listavcev. Tu primerjamo neobdelane lesove bukke, hrasta in kostanja v horizontalnem in vertikalnem položaju. Za bukke velja, da spada med dobro permeabilne lesne vrste. Hrast in kostanj pa veljata za odporne lesne vrste. Bukke orientirana horizontalno ima zelo velik delež meritev z vlažnostjo nad 25 %. V vertikalnem položaju manj, saj voda hitreje odteče. Pri vzorcu hrasta orientacija ne kaže bistvenega vpliva na vpijanje vlage. Jedrovina kostanja v vertikalnem položaju zadržuje manj vlage, kot v horizontalnem položaju.

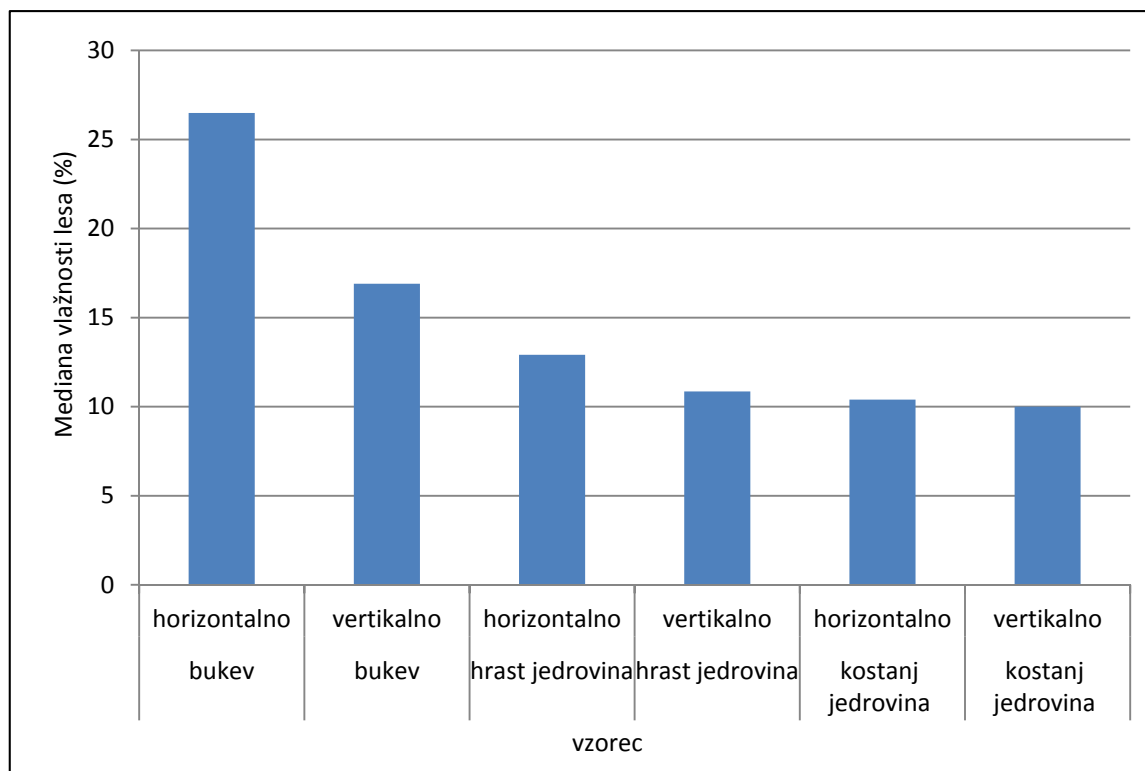


Slika 18: Grafični prikaz gibanja vlažnosti lesa za najpomembnejše predstavnike listavcev



Slika 19: Grafični prikaz deleža meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 % za najpomembnejše predstavnike listavcev

Na sliki 19 grafikon prikazuje delež meritev, ko je imel les najpomembnejših slovenskih listavcev vlažnost višjo od 25 %. Les vzorca bukke horizontalno je bil kar 61 % časa vlažnejši od 25 %. V vertikalni smeri ima bukev podoben odstotek meritev kot vzorec kostanj jedrovina približno 12 %. Vzorec kostanj jedrovina horizontalno in hrast jedrovina v vertikalni in horizontalni smeri imajo najmanj meritev vlažnosti nad 25 odstotki.



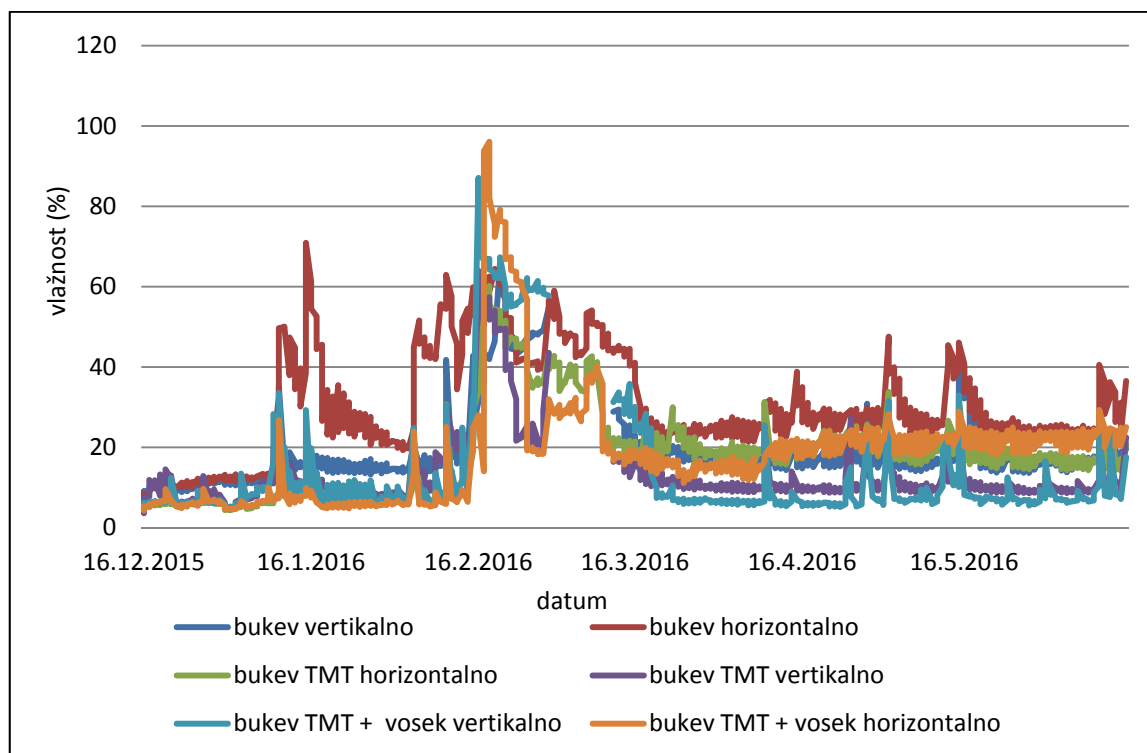
Slika 20: Grafični prikaz mediane vlažnosti lesa za najpomembnejše predstavnike listavcev

Slika 20 prikazuje grafični prikaz sredinske vrednosti vlažnosti lesa za najpomembnejše predstavnike listavcev. Iz grafikona je razvidno, da imajo vzorci v vertikalni smeri nižji odstotek vlage v lesu kot v horizontalni. Vzorec bukkev horizontalno ima 26,5 % v vertikalni smeri pa 16,9 % vlažnost. Vzorec hrast jedrovina horizontalno 12,9 % v vertikalni smeri 10,9 %. Kostanj horizontalno ima povprečno (mediana) vlažnost 10,4 %, v vertikalni legi le polovico odstotne točke manj. Pri lesu, ki ima slabo permeabilnost, se vpliv lege na povprečno vlažnost manj odraža, kot pri dobro permeabilnem lesu bukke.

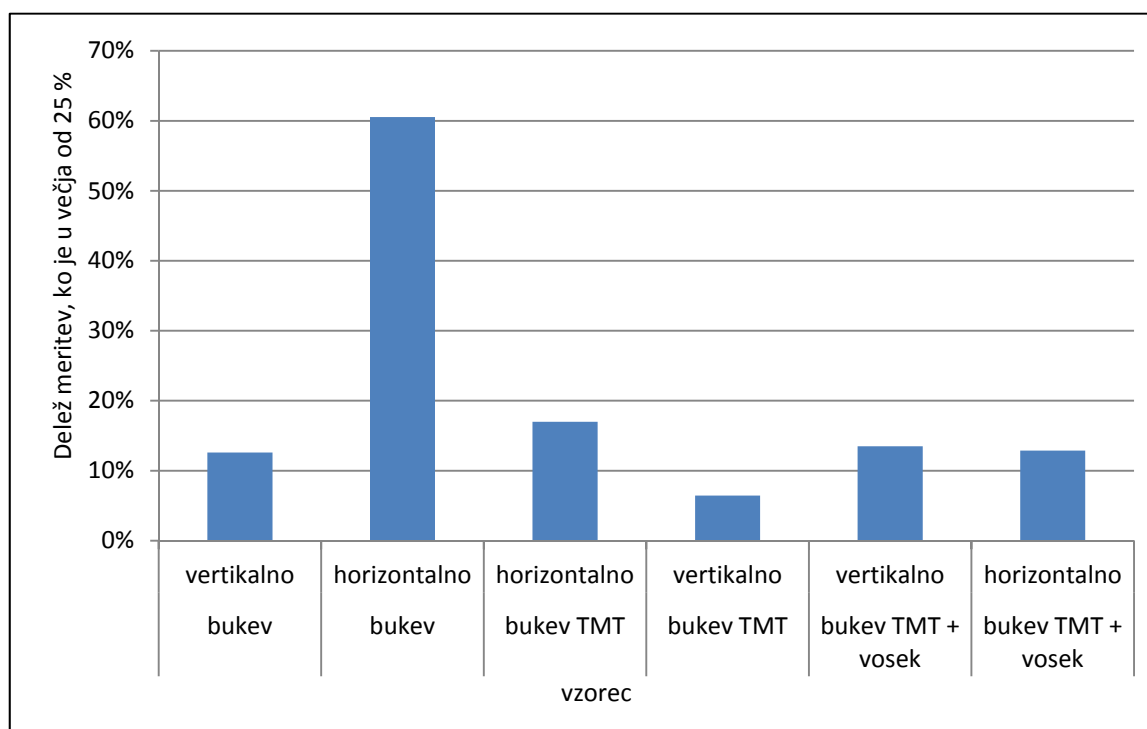
Preglednica 12: Meritve vlažnosti vzorcev na testnem stojalu za termično modificirano in z voski obdelano bukovino

vzorec	bukev vertikalno	bukev horizontalno	bukev TMT horizontalno	bukev TMT vertikalno	bukev TMT + vosek vertikalno	bukev TMT + vosek horizontalno
št. meritev	341	365	365	341	341	365
MIN	7,5	8,3	4,1	3,6	4,4	4,3
MAX	66,2	70,9	61,2	63,9	87,1	96,1
povprečje	19,1	30,6	18,5	13,4	13,9	18,5
mediana	16,9	26,5	17,8	10,4	7,3	18,1
u > 20	63,0	311,0	125,0	44,0	59,0	135,0
u > 25	43,0	221,0	62,0	22,0	46,0	47,0
delež u > 25	13 %	61 %	17 %	6 %	13 %	13 %
u > 30	35,0	137,0	50,0	17,0	38,0	26,0

Na sliki 21 in preglednici 12 primerjamo vzorce lesa buke v vertikalnem in horizontalnem položaju. Različnih postopkov zaščite neobdelane, z termično modifikacijo in dodatno impregnacijo voska. Neobdelana bukev ima v horizontalnem položaju precej visok delež meritev z vlažnostjo nad 25 %, v horizontalnem manjši delež, saj voda hitreje odteče z vertikalnih površin. S termično modifikacijo in impregnacijo voska zmanjšamo vpijanje vlage, zato je rezultat pričakovan. Podatki meritev kažejo, da ima vzorec bukev termično modificirana z impregnacijo voska v vertikalnem položaju najbolj suh les. Bukov s termično modifikacijo vertikalno se bolje obnese kot bukev s termično modifikacijo horizontalno. Vzorec buke termično modificiran in impregniran z voskom se bolje obnese v vertikalnem položaju.

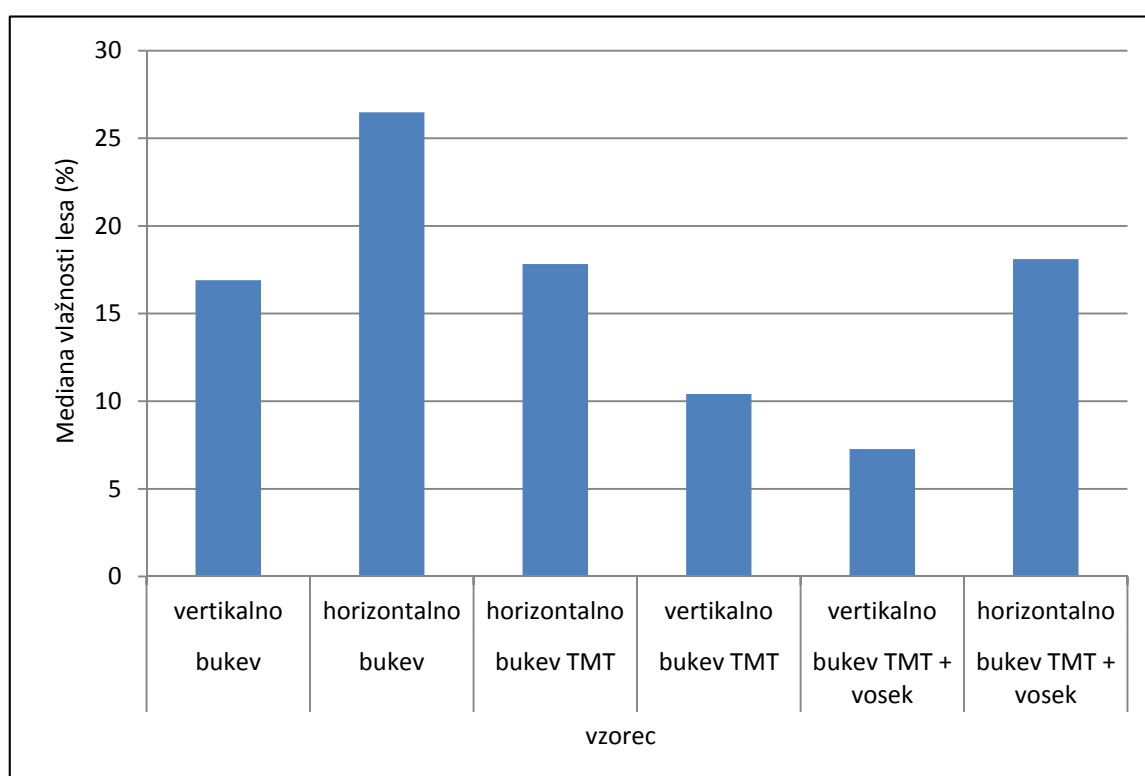


Slika 21: Grafični prikaz gibanja vlažnosti lesa za termično modificirano in z voski obdelano bukovino



Slika 22: Grafični prikaz deleža meritev, ko je vlažnost lesa večja od 25 % za termično modificirano in z voski obdelano bukovino

Slika 22 prikazuje delež meritev, ko je imel les termično modificirane bukovine vlažnost višjo od 25 %. Najvišji delež vlažnih dni je imel po pričakovanju vzorec bukke v horizontalnem položaju (61 %), sledi termično modificirana bukev - horizontalno s 17 % vlažnimi dni. Vzorci bukev - horizontalno, TMT bukovina obdelana z voskom - vertikalno in TMT bukovina impregnirana z voskom - horizontalno so bili okoli 13 % časa bolj vlažni od 25 %. Najmanjši delež meritev v vlažnostjo nad 25 % ima vzorec TMT bukovine v vertikalnem položaju.



Slika 23: Grafični prikaz mediane vlažnosti lesa za termično modificirano in z voski obdelano bukovino

Slika 23 prikazuje grafični prikaz sredinske vrednosti vlažnosti različno modificiranega lesa bukke. Neobdelan les v vertikalnem položaju ima v povprečju 16,9 % vlažnost. Horizontalno orientiran les bukke pa 26,5 % vlažnost. Horizontalno orientiran vzorec termično modificiranega lesa bukke ima povprečno (mediana) vlažnost 17,8 %. Podoben odstotek ima horizontalni vzorec, ki je termično modificiran in impregniran z voskom (18,1 %). Najnižjo povprečno vlažnost ima les bukke v vertikalni smeri s termično modifikacijo in impregniran z voskom 7,3 %.

V preglednici 13 so prikazani Horizontalno orientirani vzorci. Razvrščeni so po lestvici od najboljšega proti najslabšemu po mediani vlage v lesu. Tretji stolpec prikazuje število dni z vlažnostjo lesa višjo od 25 %. Vzorci so označeni z barvno skalo, kjer zelena barva prikazuje najnižjo, rumeni odtenki srednjo vlažnost, rdeča barva pa je znak najvišjih vlažnosti. Upoštevati je treba, da je bil test relativno kratkotrajen. Najnižjo vlažnost smo določili pri lipovini. Kar je presenetljiv rezultat. Očitno nizka gostota lipi omogoča, da se hitro posuši, druga značilnost lipovine pa je, da v kolikor upoštevamo razvrstitev po številu vlažnih dni, se lipovina ne obnese tako dobro. Poleg tega se relativno dobro obnese še kostanjevina in kombinacija termične modifikacije in impregnacije z voski.

Preglednica 13: Razvrstitev horizontalno orientiranih vzorcev po lestvici od najboljšega do najslabšega

vzorec	mediana	(rang)	št. meritev nad 25 %	(rang)
lipa	9,8	1	45	11
kostanj jedrovina	10,4	2	9	4
jesen TMT	11,1	3	41	10
smreka TMT + vosek	11,9	4	20	7
bor beljava	12,2	5	84	18
smreka TMT	12,7	6	7	3
hrast jedrovina	12,9	7	4	2
smreka TMT + lazura	14,7	8	45	12
macesen TMT	15,2	9	12	5
smreka Silvanolin	16	10	31	9
smreka Silvanolin + vosek	17,2	11	16	6
bukev TMT	17,8	12	62	15
bukev TMT + vosek	18,1	13	47	13
jesen	18,1	14	50	14
smreka vosek	18,3	15	1	1
smreka	18,3	16	25	8
bor jedrovina	20,5	17	97	19
lipa TMT	21	18	118	20
smreka lazura	22,6	19	66	16
macesen	24,5	20	80	17
bukev	26,5	21	221	21
smreka TMT + Silvanolin	40,1	22	309	22

V preglednici 14 so prikazani vertikalno orientirani vzorci. Razvrščeni so po lestvici od najboljšega proti najslabšemu po mediani vlage v lesu. Tudi tu smo uporabili isto barvno skalo kot v preglednici 13. Pri tej izpostavitvi se je najboljše obnesel termično modificiran les, obdelan z voski, najslabše pa beljava bora kar je pričakovano. Voda je iz povoskane površine enostavno odtekla, in zato se les ni navlažil.

Preglednica 14: Razvrstitev vertikalno orientiranih vzorcev po lestvici od najboljšega do najslabšega

vzorec	mediana	(rang)	št. meritev nad 25 %	(rang)
bukev TMT + vosek	7,3	1	46	9
smreka TMT + vosek	9,9	2	48	10
kostanj jedrovina	10	3	39	6
bor jedrovina	10,3	4	10	3
bukev TMT	10,4	5	22	4
hrast jedrovina	10,9	6	2	1
macesen	12	7	95	12
smreka Silvanolin	15,4	8	42	7
smreka TMT	16,1	9	53	11
smreka	16,2	10	3	2
bukev	16,9	11	43	8
smreka vosek	17,6	12	31	5
bor beljava	26,3	13	165	13

Iz primerjave obeh interpretacij (mediane in števila vlažnih dni) je razvidno, da je en način interpretacije premalo. Vprašanje pa je, katera interpretacija je bolj indikativna pri vrednotenju življenjske dobe lesa.

5 SKLEPI

Cilj naloge je bil ugotoviti vpliv orientacije elementov na vlažnost lesa. Določiti vpliv impregnacije s hidrofobnimi pripravki in termične modifikacije na vlažnost fasadnih elementov. Določiti vpliv lesne vrste na vlažnost fasadnih elementov.

Pri večini vzorcev izpostavljenih v horizontalnem položaju je vlažnost višja od vzporednih vzorcev, ki so orientirani vertikalno. Z vertikalnih elementov voda hitreje odteče, kot iz horizontalno postavljenih elementov.

Vsi termično modificirani lesovi imajo nižjo vlažnost lesa. Pri vseh modificiranih vzorcih je bila minimalna in maksimalna izmerjena vlažnost nižja kot pri neobdelanem lesu. Razen pri termično modificirani lipovini se je sposobnost vpijanja vlage povečala.

Termično modificiran les impregniran z voski je imel največjo hidrofbnost (sposobnost, da ostane suh). Voski imajo hidrofoben učinek, termično modificiran les pa izboljšane sorpcijske lastnosti.

Termično modificiran les in impregniran s Silvanolinom ima visok navzem vlage saj bakrove in kvartarne amonijeve spojine povečajo hidrofilnost lesa.

Les obdelan z lazuro ima nižji navzem vlage in vsaj na začetku deluje hidrofbno.

Pri lesu, ki ima slabo permeabilnost, se vpliv lege na povprečno vlažnost manj odraža, kot pri dobro permeabilnem lesu bukve. Zato pri vzorcu hrasta orientacija elementa ne kaže bistvenega vpliva na vpijanje vlage. Jedrovina kostanja v vertikalnem položaju zadržuje manj vlage, kot v horizontalnem položaju.

V obdobju meritev je bilo polovico dni s padavinami. Količina padavin posledično vpliva na visoko vlago v lesu, kar zelo vpliva na rezultate.

Meritve in analize so pokazale, da ima orientacija fasadnih elementov značilen vpliv na vlažnost lesa. Hipotezo, da s termično modifikacijo ne izboljšamo odpornosti na vpijanje vode smo potrdili pri lipovini, ovrgli pa pri vseh ostalih vzorcih saj so vsi vzorci imeli nižji odstotek vlage v lesu kot neobdelani vzorci. Obdelava z vodnimi emulzijami voskov je bolj učinkovita v primerjavi z neobdelanim lesom. Analiza podatkov je potrdila našo hipotezo, da med vpijanjem, sposobnostjo lesa da ostane suh in vlažnostjo lesa obstaja tesna povezava saj slabo permeabilen les vpije manj vlage zato je tudi bolj suh in obratno.

Pol leta meritev je relativno kratko obdobje. Še posebej, ker je del meritev v tem obdobju izpadel kar zagotovo vpliva na rezultat. Za objektivno oceno bi bilo smiselno pridobiti podatke iz daljšega obdobja meritev.

6 POVZETEK

Lesene fasadne obloge so vedno pogostejša rešitev za zunanje sloje individualnih objektov. Zaradi nižjih stroškov vzdrževanja se stranke vedno pogosteje odločajo za obloge, ki niso površinsko obdelane. Projektanti se pogosto ne odločajo za lesene fasadne obloge, ker nimajo podatkov o življenjski dobi in stroških vzdrževanja. Odločili smo se za posredno določanje življenjske dobe na podlagi spremljanja vlažnosti lesa. Cilj naloge je bil ugotoviti vpliv orientacije elementov na vlažnost lesa. Določiti vpliv impregnacije s hidrofobnimi pripravki in termične modifikacije na vlažnost fasadnih elementov. Določiti vpliv lesne vrste na vlažnost fasadnih elementov. Uporabili smo 8 najpomembnejših domačih lesnih vrst: smreka (*Picea abies*), macesen (*Larix decidua*), bukev (*Fagus sylvatica*), hrast (*Quercus* sp.), kostanj (*Castanea sativa*), rdeči bor (*Pinus sylvestris*), lipa (*Tilia* sp.) in jesen (*Fraxinus* sp.), 4 postopke zaščite (impregnacija z baker-etanolaminskim biocidnim proizvodom, impregnacija z montanskim voskom, površinska obdelava s tankoslojnim akrilnim premazom na vodni osnovi ter termična modifikacija). Postopke zaščite smo v celoti aplicirali le na smrekove, delno pa še na bukove vzorce. Na vzorcih, ki se nahajajo na testnem stojalu smo izvajali meritve vlažnosti lesa z uporovnim merilnikom Gigamodul z zapisovalnikom Thermofox proizvajalca Scanntronik. Meritve smo izvajali v obdobju od decembra 2015 do junija 2016. Pridobljene podatke smo statistično obdelali in jih grafično prikazali. Meritve in analize so pokazale, da ima orientacija fasadnih elementov značilen vpliv na vlažnost lesa. Hipotezo, da s termično modifikacijo ne izboljšamo odpornosti na vpijanje vode smo potrdili pri lipovini, ovrgli pa pri vseh ostalih vzorcih. Obdelava z vodnimi emulzijami voskov je bolj učinkovita v primerjavi z neobdelanim lesom. Analiza podatkov je potrdila našo hipotezo, da med vpijanjem, sposobnostjo lesa da ostane suh in vlažnostjo lesa obstaja tesna povezava. Pol leta meritev je relativno kratko obdobje. Še posebej, ker je del meritev v tem obdobju izpadel, kar zagotovo vpliva na rezultat. Za objektivno oceno bi bilo smiselno pridobiti podatke iz daljšega obdobja meritev.

7 VIRI

ARSO: Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor. <http://www.arso.gov.si/> (avgust 2016)

Basson I., Reynhardt E.C. 1988. An investigation of the structures and molecular dynamics of natural waxes: III. Montan wax. J. Phys. D: Appl. Phys., 21: 1434 - 1437

ChemCor. 2008. About wax.

<http://www.chemcor.net/wax%20types,vegetable%20wax.htm> (29. 8. 2008).

Cyberlipid 2008. Waxes. <http://www.cyberlipid.org/wax/wax0001.htm#top> (19. 8. 2008).

Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, oddelek za lesarstvo: 185 str.

Dongen J., Boekee D., Klaasen R., Bakker P. 1998. Development and Performance of New Generation Stains. V: Advances in Exterior Wood Coatings and CEN Standardization. PRA Conference, Brussels, 19 - 21 oct 1998. Teddington, PRA 1998: Paper 24

Gorišek Ž., Geršak M., Velušček V., Čop T., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 242 str.

Grilj K. 2013. Odpornost borovine zaščitene z baker-etanolaminskimi pripravki na glive mehke trohnobe in bakterije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/lesarstvo/du1_grilj_klemen.pdf (avgust 2016)

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

Heinrichs F.L. 2003. Montan wax. V: Ullman's encyclopedia of industrial chemistry, Vol. 39, 3. izdaja (Ur.), Bhonet M. Wiley-VCH, Weinheim: 154 - 159

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

Humar M. 2008. Gradnja z lesom. Zaščita lesa - kam gremo? Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 312 str.

Humar M. 2015. Olja in voski za zaščito lesa. Lesarski utrip, 21, 2: 42 - 43

Humar M., Kržišnik D., Lesar B., Thaler N. 2015a. Lesena fasada in terasa - kako izbrati pravo vrsto lesa. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. http://www.varcnahiša.si/vh09_clanek_04.html

Humar M., Pohleven F. 2005. Bakrovi pripravki in zaščita lesa. Les 57, 3: 57 - 62

Humar M., Pohleven F. 2006. Solution for wood preservation: no. WO 2006/031207 A1. Geneva: World intellectual property organization, 23.3.2006

Humar M., Thaler N., Lesar B. 2015b. Kratko poročilo spremljanja vlažnosti lesa v Partizanski bolnici Franja. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 5 str.

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

Kolmanič K. 2015. Vpliv impregnacije z baker-etanolaminskimi biocidnimi proizvodi na vodoodbojnost in sorpcijske lastnosti lesa. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/lesarstvo/dv1_kolmanic_klemen.pdf

Korošec T. 2015. Izpiranje baker-etanolaminskih pripravkov iz venčasto poroznih lesnih vrst. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/lesarstvo/du2_korosec_tjasa.pdf

- Kričej B. 1976. Umetno pospešeno staranje lazurnih in impregnacijskih premazov. Les, 28, 9 - 10: 179 - 184
- Lesar B., Humar M., Oven P. 2008. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegova trajnost. Les, 60, 11-12: 408 - 414
- Lesar B., Petrič M., Kričelj B., Humar M. 2009. Voski in njihova uporaba v lesarstvu. Les, 61, 5: 188 - 194
- Martin CS. 1996. Exterior wood stains and lasures for the future. Pigment & Resin Technology, 25, 5: 29 - 33
- Matthies, L. 2001. Natural montan wax and its raffinates. European Journal of Lipid Science and Technology, 103: 239 - 248
- Metode določevanja vlažnosti lesa. 2015. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
http://les.bf.uni.lj.si/uploads/media/3_METODE_DOLOCEVANJA_VLAZNOSTI_LESA.pdf (avgust 2015)
- Pavlič M., Mihevc V. 2016. Zaščita lesa pred vremenskimi vplivi. http://les.bf.uni.lj.si/fileadmin/datoteke_asistentov/mpavlic/POVRSINSKA_VAJE/Zascita_lesa.pdf
- Pečenko G. 1987. Lazurni premazi za les. Les, 39, 11 - 12: 335 - 337
- Pohleven F., Petrič M. 1992. Ekološke perspektive zaščite lesa pred škodljivci, Nova proizvodnja, 3: 94 - 97
- Pohleven F. 2008. Konstrukcijska zaščita lesa pred škodljivci. V: Gradnja z lesom. Ur. Kuzman M. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 312 str.

- Pohleven F., Rep G. 2004. Postopek termične modifikacije lesa v vakuumu: številka patentne prijave P-200400064. Ljubljana, Urad Republike Slovenije za intelektualno lastnino: 6 str.
- Preston A. 2000. Wood preservation - Trends of today that will influence the industry tomorrow. Forest products journal: 50, 12 - 19
- Richardson H.W. 1997. Handbook of copper compounds and applications. New York, M. Dekker: 93 - 122
- Silvaproduct d. o. o. Premazi za les Silvanol, Lazura B. Ljubljana.
http://www.silvaproduct.si/data/file/Silvanol-lazura-B_navodila.pdf (avgust 2016)
- SIST EN 335-1, 2009: Trajnost lesa in lesnih materialov - definicija razredov ogroženosti zaradi biološkega napada; 1 del: splošno 4 str.
- SIST EN 335-2, 2009: Trajnost lesa in lesnih materialov - definicija razredov ogroženosti zaradi biološkega napada; 2 del: za masivni les, 13 str.
- SIST EN 335-3, 2009: Trajnost lesa in lesnih materialov - definicija razredov ogroženosti zaradi biološkega napada; 3 del: za plošče iz lesnih tvoriv, 10 str.
- SIST EN 350-2, 1994: Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood - Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe.
- Warth A.H. 1959. The chemistry and Technology of Waxes. Reinhold Publishing cooperation, New York (USA): 2 str.
- Wolfmeier U. 2003. Waxes. V: Ullman's encyclopedia of industrial chemistry, Vol. 39, 3. izdaja (Ur.), Bhonet M. WileyVCH, Weinheim: 136 - 141

Zupančič K. 2015. Lastnosti z voski impregnirane termično modificirane smrekovine.
Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/lesarstvo/du2_zupancic_klemen.pdf

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, prof. dr. Mihi Humarju, za pomoč in usmerjanje pri pisanju diplomskega dela.

Hvala doc. dr. Boštjanu Lesarju za opravljeno recenzijo diplomskega dela.

Hvala tudi somentorju asist. dr. Nejc Thalerju.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Matej ČEBULJ

**VPLIV ZAŠČITE IN ORIENTACIJA LETEV
PREZRAČEVANE LESENE FASADE NA NJIHOVO
VLAŽNOST**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2016