

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Rok POSAVEC

**UVAJANJE KONTINUIRANEGA SPREMLJANJA
VLAŽNOSTI IMPREGNIRANEGA LESA V ZUNANJIH
POGOJIH**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Rok POSAVEC

**UVAJANJE KONTINUIRANEGA SPREMLJANJA VLAŽNOSTI
IMPREGNIRANEGA LESA V ZUNANJIH POGOJIH**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**INTRODUCTION OF CONTINUOUS MOISTURE CONTENT
MONITORING OF IMPREGNATED WOOD IN OUTDOOR
CONDITIONS**

Graduation Thesis
Higher professional studies

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Delo je bilo opravljeno na testnem polju in v laboratorijih Delovne skupine za patologijo in zaščito lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval izr. prof. dr. Miha Humarja za recenzenta pa izr. prof. dr. Željka Goriška.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Rok Posavec

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*84
KG	les/merjenje vlažnosti/zaščita/hidrofobni pripravki/uporovni merilniki
AV	POSAVEC, Rok
SA	HUMAR, Miha (mentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2012
IN	UVAJANJE KONTINUIRANEGA SPREMLJANJA VLAŽNOSTI IMPREGNIRANEGA LESA V ZUNANJIH POGOJIH
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	X, 69 str., 3 pregl., 44 sl., 27 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Les je organska snov. Ena izmed lastnosti lesa je sposobnost sprejemanja in oddajanja vlažnosti. Vlažnost lesa je pomembna z več vidikov. Eden najpomembnejših je, da je suh les varen pred delovanjem večine lesnih gliv. Vlažnost lesa zato pogosto spremljamo na ogroženih lesnih konstrukcijah. Lesu vlažnost določamo na različnih stopnjah obdelave. Simulirali smo 2 primera uporabe lesa v 3. razredu uporabe. Les smo prepojili z različnimi hidrofobnimi sistemi in spremljali upornost lesa. Upornost lesa in vlažnost lesa sta v določenem območju tesno povezana. Spremljali smo vlažnost hrastovih, kostanjevih, smrekovih, bukovih, macesnovih in borovih (jedrovina) vzorcev, ki so bili impregnirani z različnimi hidrofobnimi pripravki (tungovo olje, parafinsko olje, silikonska emulzija, rustikal olje, polietilenski vosek, baker-etanolaminski pripravek). Vzorci so bili 8 mesecev izpostavljeni v zunanjih pogojih v ležečem in visečem položaju. Uporovni merilnik je vsak dan ob polnoči izmeril upornost lesa v danem trenutku. Med vsemi testiranimi vzorci se je v obdobju izpostavitve v zunajnih pogojih najbolj obneslo tungovo olje na vseh impregniranih vzorcih, najslabše pa baker-etanolaminski pripravek na smrekovini in bukovini. Podnebje je v najmanjši meri vplivalo na vlažnost lesa borove jedrovine, najvišje vlažnosti pa smo določili pri neimpregnirani smrekovini.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
 DC UDC 630*84
 CX wood/moisture content /preservation/hydrophobic solutions/resistance moisture content metres
 AU POSAVEC, Rok
 AA HUMAR, Miha (supervisor)/GORIŠEK, Željko (co-advisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
 PY 2012
 TI INTRODUCTION OF CONTINUOUS MOISTURE CONTENT MONITORING OF IMPREGNATED WOOD IN OUTDOOR CONDITIONS
 DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
 NO X, 69 p., 3 tab., 44 fig., 27 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB Wood is an organic substance. One of the properties of wood is the ability to receive and emit moisture. Wood moisture is important from several aspects, one of the most important ones being that dry wood is resistant to most fungal infestations. Wood moisture content is thus often monitored on endangered wooden structures. Wood moisture content is measured at different stages of wood treatment. We simulated 2 real case scenarios of wood usage in the 3rd use class. The electrical resistance of wood was monitored on wood samples impregnated with various hydrophobic systems. Electrical resistance of wood and wood moisture is very closely related in certain areas. We monitored wood moisture content of oak, chestnut, spruce, beech, larch and pine (heartwood) samples that were impregnated with various hydrophobic coatings (tung oil, paraffin oil, silicone emulsion, *rustikal* oil, polyethylene wax, copper-ethanolamine solution). The samples were exposed for 8 months in outdoor conditions in horizontal and vertical positions. Resistance metre measured the momentary electrical resistance of wood every day at midnight. During the period of exposure in outdoor conditions, the most effective on all impregnated samples was tung oil coating; the least effective was copper-ethanolamine preparation on spruce and beech timber. The climate had the least effect on pine heartwood moisture, maximum moisture content was determined on raw spruce.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI).....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD.....	1
2 PREGLED LITERATURE	2
2.1 TRAJNOST, ODPORNOST, ŽIVLJENJSKA DOBA.....	2
2.1.1 Lesna vlažnost	2
2.1.2 Naravna odpornost beljave in jedrovine.....	3
2.2 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA S POUČARKOM NA LESNIH GLIVAH	4
2.2.1 Lesne glive	5
2.3 RAZREDI IZPOSTAVITVE LESA	8
2.4 ZAŠČITA LESA.....	9
2.5 ZAŠČITA LESA S HIDROFOBNIMI PRIPRAVKI.....	11
2.5.1 Tungovo olje	11
2.5.2 Laneno olje	11
2.5.3 Rustikal olje.....	12
2.5.4 Silikonska emulzija	12
2.5.5 Protektin	12
2.5.6 Montanski vosek.....	13
2.5.7 Polietilenski vosek WE 1.....	13
2.6 METODE DOLOČANJA VLAŽNOSTI LESA	14
2.6.1 Električni merilniki lesne vlažnosti	14
3 MATERIALI IN METODE	16
3.1 MATERIALI	16
3.1.1 Lesni vzorci.....	16
3.1.2 Impregnacijski pripravki	18
3.2 METODE.....	19
3.2.1 Priprava vzorcev	19
3.2.2 Kondicioniranje, impregnacija in vstavljanje sond za merjenje vlažnosti	20
3.2.3 Izpostavitvev zunanjim pogojem in določanje vlažnosti lesa	22
4 REZULTATI IN RAZPRAVA.....	25

4.1 VPLIV IMPREGNACIJE S HIDROFOBNI MI PRIPRAVKI NA ELEKTRIČNO UPORNOST VISEČIH VZORCEV	26
4.1.1 Vlažnost visečih neimpregniranih smrekovih vzorcev.....	26
4.1.2 Vpliv impregnacije s silikonsko emulzijo na vlažnost impregniranega smrekovega lesa.	27
4.1.3 Vpliv impregnacije s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 na vlažnost impregniranega smrekovega lesa	27
4.1.4 Vpliv impregnacije s sintetičnim polietilenskim voskom WE1 50 na vlažnost impregniranega smrekovega lesa	29
4.1.5 Vpliv impregnacije z lanenim oljem na vlažnost impregniranega smrekovega lesa	30
4.1.6 Vpliv impregnacije s tungovim oljem na vlažnost impregniranega smrekovega lesa	31
4.1.7 Vpliv impregnacije z rustikal oljem na vlažnost impregniranega smrekovega lesa.....	32
4.1.8 Vpliv impregnacije s protektinom na vlažnost impregniranega smrekovega lesa	32
4.1.9 Vpliv impregnacije z baker-etanolaminskim pripravkom (CuE) na vlažnost impregniranega smrekovega lesa.....	33
4.1.10 Vlažnost visečih neimpregniranih bukovih vzorcev.....	34
4.1.11 Vpliv impregnacije s silikonsko emulzijo na vlažnost impregniranega bukovega lesa	36
4.1.12 Vpliv impregnacije s tungovim oljem na vlažnost impregniranega bukovega lesa	37
4.1.13 Vpliv impregnacije s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 na vlažnost impregniranega bukovega lesa	38
4.1.13 Vpliv impregnacije z lanenim oljem na vlažnost impregniranega bukovega lesa	39
4.1.15 Vpliv impregnacije s protektinom na vlažnost impregniranega bukovega lesa	40
4.1.16 Vpliv impregnacije z rustikal oljem na vlažnost impregniranega bukovega lesa.....	41
4.1.17 Vpliv impregnacije z baker-etanolaminskim pripravkom (CuE) na vlažnost impregniranega bukovega lesa	43
4.1.18 Vlažnost visečih neimpregniranih kostanjevih vzorcev	43
4.1.19 Vlažnost visečih neimpregniranih hrastovih vzorcev	44
4.1.20 Vlažnost visečih neimpregniranih vzorcev jedrovine borovine	45
4.1.21 Primerjava vlažnosti vseh visečih neimpregniranih vzorcev	47
4.2 VPLIV IMPREGNACIJE S HIDROFOBNI MI PRIPRAVKI NA ELEKTRIČNO UPORNOST LEŽEČIH VZORCEV	48
4.2.1 Vlažnost ležečih neimpregniranih smrekovih vzorcev.....	48
4.2.2 Vpliv impregnacije s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 na vlažnost impregniranega smrekovega lesa	49
4.2.3 Vpliv impregnacije s silikonsko emulzijo na vlažnost impregniranega smrekovega lesa	50
4.2.4 Vpliv impregnacije s protektinom na vlažnost impregniranega smrekovega lesa	51
4.2.5 Vpliv impregnacije z oljem rustikal na vlažnost impregniranega smrekovega lesa.....	53
4.2.6 Vpliv impregnacije z baker-etanolaminskim pripravkom (CuE) na vlažnost impregniranega smrekovega lesa.....	53
4.2.7 Vpliv impregnacije s sintetičnim polietilenskim voskom WE1 50 na vlažnost impregniranega bukovega lesa	54
4.2.8 Vpliv impregnacije s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 na vlažnost impregniranega bukovega lesa	56
4.2.9 Vpliv impregnacije s silikonsko emulzijo na vlažnost impregniranega bukovega lesa	57
4.2.10 Vpliv impregnacije s protektinom na vlažnost impregniranega bukovega lesa	58
4.2.11 Vpliv impregnacije z rustikal oljem na vlažnost impregniranega bukovega lesa.....	59
4.2.12 Vpliv impregnacije z baker-etanolaminskim pripravkom (CuE) na vlažnost impregniranega bukovega lesa	60
4.2.13 Primerjava vpliva impregnacije z oljem rustikal na vlažnost impregnirane bukovine in smrekovine.....	61

4.2.14 Primerjava vpliva impregnacije s tungovim oljem na vlažnost impregnirane bukovine in smrekovine.....	62
5 RAZPRAVA IN SKLEPI.....	63
6 POVZETEK.....	66
7 VIRI.....	68

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Razredi izpostavitve lesa (SIST EN 335/1,2 2006)	8
Preglednica 2: Lastnosti hidrofobnih pripravkov.....	19
Preglednica 3: Vpliv vrste impregnacijskega pripravka in lesne vrste na povprečno električno upornost in število dni z izrazito povišano električno upornostjo	64

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Dimenzije vzorcev lesa za izpostavitve.....	18
Slika 2: Oštevilčenje lesnih vzorcev.....	19
Slika 3: Prikaz izvrtin na vzorcih	20
Slika 4: Mešanje epoksi smole in grafita.....	21
Slika 5: Grafit in izolirana jeklena žica	21
Slika 6: Vzorci z vstavljeno jekleno žico povezani z baterijami in čitalcem podatkov	22
Slika 7: Zavarovanje baterij in čitalcev podatkov pred vlago.....	23
Slika 8: Viseči vzorci na terenski izpostavi Odd. za lesarstvo na BF.....	23
Slika 9: Nameščanje ležeče izpostavljenih vzorcev (enoslojni test).....	24
Slika 10: Upornost neimpregnirane smrekovine (viseči vzorec).....	26
Slika 11: Upornost smrekovine impregnirane s silikonsko emulzijo (viseči vzorec).....	27
Slika 12: Upornost smrekovine impregnirane s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 (viseči vzorec).....	28
Slika 13: Upornost smrekovine impregnirane s sintetičnim polietilenskim voskom WE1 50 (viseči vzorec).....	29
Slika 14: Upornost smrekovine impregnirane z lanenim oljem (viseči vzorec)	30
Slika 15: Upornost smrekovine impregnirane s tungovim oljem (viseči vzorec).....	31
Slika 16: Upornost smrekovine impregnirane z rustikal oljem (viseči vzorec)	32
Slika 17: Upornost smrekovine impregnirane s protektinom (viseči vzorec).....	33
Slika 18: Upornost smrekovine impregnirane z baker-etanolaminskim pripravkom (cue) (viseči vzorec).....	34
Slika 19: Upornost neimpregnirane bukovine (viseči vzorec).....	35
Slika 20: Upornost bukovine impregnirane s silikonsko emulzijo (viseči vzorec).....	36
Slika 21: Upornost bukovine impregnirane s tungovim oljem (viseči vzorec).....	37
Slika 22: Upornost bukovine impregnirane s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 (viseči vzorec)....	38
Slika 23: Upornost bukovine impregnirane z lanenim oljem (viseči vzorec).....	40
Slika 24: Upornost bukovine impregnirane s protektinom (viseči vzorec).....	41
Slika 25: Upornost bukovine impregnirane z rustikal oljem (viseči vzorec).....	42
Slika 26: Upornost bukovine impregnirane z baker-etanolaminskim pripravkom (cue) (viseči vzorec).....	43
Slika 27: Upornost neimpregnirane kostanjevine (viseči vzorec)	44
Slika 28: Upornost neimpregnirane hrastovine (viseči vzorec).....	45
Slika 29: Upornost neimpregnirane borove jedrovine (viseči vzorec)	46
Slika 30: Upornost vseh visečih neimpregniranih vzorcev.....	47

Slika 31: Upornost neimpregnirane smrekovine (ležeči vzorec)	48
Slika 32: Upornost smrekovine impregnirane s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 (ležeči vzorec)	49
Slika 33: Upornost smrekovine impregnirane s silikonsko emulzijo (ležeči vzorec)	51
Slika 34: Upornost smrekovine impregnirane s protektinom (ležeči vzorec)	52
Slika 35: Upornost smrekovine impregnirane z rustikal oljem (ležeči vzorec)	53
Slika 36: Upornost smrekovine impregnirane z baker-etanolaminskim pripravkom (cue) (ležeči vzorec)	54
Slika 37: Upornost bukovine impregnirane s sintetičnim polietilenskim voskom WE1 50 (ležeči vzorec)	55
Slika 38: Upornost bukovine impregnirane s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 (ležeči vzorec)	56
Slika 39: Upornost bukovine impregnirane s silikonsko emulzijo (ležeči vzorec)	57
Slika 40: Upornost bukovine impregnirane s protektinom (ležeči vzorec)	58
Slika 41: Upornost bukovine impregnirane z rustikal oljem (ležeči vzorec)	59
Slika 42: Upornost bukovine impregnirane z baker-etanolaminskim pripravkom (cue) (ležeči vzorec)	60
Slika 43: Upornost z rustikal oljem impregnirane smrekovine in bukovine (ležeča vzorca)	61
Slika 44: Upornost s tungovim oljem impregnirane smrekovine in bukovine (ležeča vzorca)	62

1 UVOD

Vlažnost lesa je eden izmed ključnih podatkov pomembnih za rabo lesa v konstrukcijske namene. Le suh les je varen pred glivnim razkrojem. Preden vgradimo oziroma uporabimo kos lesa za izdelek ali polizdelek, je smiselno poznati njegovo vlažnost. Le to lahko določimo z bolj ali manj zahtevnimi destruktivnimi in nedestruktivnimi metodami, mojstri pa le to lahko grobo ocenijo že z občutkom. Vlažnost lesa mora biti primerljiva z ravnovesno vlažnostjo.

Kontinuirano spremljanje vlažnosti impregniranega lesa v zunanjih pogojih nam koristi, saj lahko večkrat dnevno, glede na potrebe in namen raziskav, ocenimo vlažnost preizkušane vzorca. V okviru naše naloge nas je zanimalo, kateri od uporabljenih zaščitnih oziroma hidrofobnih pripravkov je najbolje zaščitl les pred navlaževanjem v zunanjih pogojih (3. razred izpostavitve). Spremljanje vlažnosti nam pomaga, da se lahko odločimo za ustrezno drevesno vrsto, hidrofbni pripravek in postopek zaščite, da bo les oziroma konstrukcija čim manj dovzetna za glivno okužbo. S praktičnega stališča je pomembno, da je vlažnost lesa nižja od 20 %, tj. od meje, ki odgovarja večini lesnih gliv.

Eden od namenov kontinuiranega spremljanja vlažnosti lesa v okviru te naloge je možnost razvoja opozorilnega sistema za leseno infrastrukturo, kot so na primer leseni mostovi, ki bi nas opozoril na zvišano vlažnost lesa in nam s tem omogočil pravočasno ukrepanje.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 TRAJNOST, ODPORNOST, ŽIVLJENJSKA DOBA

Naravna odpornost lesa je lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in pomeni dovzetnost za biotske dejavnike razkroja lesa (škodljivce) (Pohleven, 2008). Naravno odpornost lesa lahko izboljšamo z raznimi zaščitnimi pripravki.

Les spada med materiale, ki med pridobivanjem oz. obdelavo manj obremenjujejo okolje kot drugi materiali (kovine, plastične mase ...). Pri lesu je zelo cenjena naravna odpornost, saj je ključnega pomena za dolgo uporabo nezaščitenega lesa. Žal pa ima večina slovenskih lesnih vrst naravno neodporen les, ki ga moramo na takšen ali drugačen način zaščititi, če ga želimo uporabiti v ogrožajočih okoljih. Pri tem velja poudariti, da imajo biocidni ukrepi zaščite prednost pred nebiocidnimi.

2.1.1 Lesna vlažnost

Lesna vlažnost je odvisna od zračne vlažnosti, količine padavin (dež, sneg), sprejema vode iz tal ipd. Ustrezna vlažnost lesa je eden glavnih predlogojev za glivni razkroj. Zato nekateri nebiocidni postopki zaščite temeljijo na zniževanju vlažnosti lesa.

Rast oziroma razvoj gliv je v tesni povezanosti z vodnim potencialom v lesu. Micelij ne more sprejeti vode, ki je vezana v celični steni. Zaželeno vsebnost vlage v lesu za glivni razkroj mora biti nad TNCS (točka nasičenosti celičnih sten) (Schmidt, 2006, cit. po Brischke in sod., 2006). Glive nujno potrebujejo vlažno okolje za delovanje ekstracelularnih encimov.

Parcialni tlak izhlapevanja vode znotraj podlage (substrata) je mera za količino vlage, ki je na voljo glivam in je običajno izražena kot vodna aktivnost (a_w). Vodna aktivnost je pomembna za razvoj in rast gliv. Pod minimalno vrednostjo le te ne morejo rasti. Vodna aktivnost je odvisna tudi od temperature: bolj ko temperatura odstopa od optimalnih

vrednosti (od 20 °C do 30 °C), višja mora biti vodna aktivnost, da lahko pride do rasti micelija (Vitanen, 1996 in Schwants, 1996, cit. po Brische in sod., 2006).

2.1.2 Naravna odpornost beljave in jedrovine

Beljava je po združenju lesnih anatomov (IAWA, 1964, cit. po Lesar in sod., 2008) periferni del debla ali veje z živim parenhimom, ki vsebuje rezervne snovi (npr. škrob). Beljava rastočega drevesa vsebuje žive parenhimske celice, rezervno hrano in ima visoko vlažnost. Jedrovina je notranji del, kjer je parenhim odmrl, rezervne snovi (npr. škrob) v njem pa so se odstranile ali transformirale v jedrovinske snovi. Ojedritev je starostni, genetsko programiran pojav, ki nastopi pri večini drevesnih vrst. V procesu ojedritve žive parenhimske celice začnejo odmirati, ob tem se običajno biokemijske poti presnove spremenijo in nastajati začnejo predhodniki jedrovinskih snovi ali ekstraktivi.

Glavni razlog za naravno odpornost posamezne drevesne vrste so biološko aktivni ekstraktivi v jedrovini (Lesar in sod., 2008). Beljava vseh lesnih vrst ni odporna proti biološkim dejavnikom razkroja, zaradi pomanjkanja ekstraktivov, ki zavirajo rast mikroorganizmov. Ekstraktivne snovi so v stenah in lumnih celic in predstavljajo zelo širok spekter kemijskih spojin. Najvažnejši so polifenoli, ki vključujejo tanine, antocianine, flavone, katehine, lignone itd. Lesni ekstrakti poleg odpornosti povečujejo tudi gostoto, trdoto in trdnost lesa (Čufar, 2002). Poleg jedrovinskih snovi je zelo pomembna koncentracija hranilnih snovi. Dušik igra pomembno vlogo, saj glive, kot tudi insekti, potrebujejo dušik za sintezo aminokislin in hitina (Panshin in De Zeeuw, 1980, cit. po Lesar in sod., 2008).

Poleg ekstraktivov na naravno odpornost lesa vpliva tudi hidrofobnost lesa. Hidrofobnost povečujejo snovi odložene v lumnih celic (tile, gumozni depoziti, smole) (Gerardin in sod., 2004, cit. po Lesar in sod., 2008). Tile zmanjšujejo mobilnost vode v lesu, kar pripomore k zmanjšanju izpiranja ekstraktivov iz hrasta (Aloui in sod., 2004, cit. po Lesar in sod., 2008).

Zgradba celične stene vpliva na naravno odpornost lesa proti glivam. Celično steno sestavljajo veliki kompleksi netopnih polimerov z visoko molekulsko maso. Sestavljena je iz celuloze, hemiceluloze in lignina (Čufar, 2002). Glive in mikroorganizmi morajo te spojine s svojimi encimi spremeniti v enostavne produkte, da jih kasneje lahko presnovijo. Lignifikacija celične stene fizično preprečuje dostop encimom do polisaharidov (celuloza, hemiceluloza). Delovanje glivnih encimov je v glavnem omejeno le na nekrystalinične (amorfne) dele celuloze (Panshin in De Zeeuw, 1980, cit. po Lesar in sod., 2008).

Gostota prav tako vpliva na naravno odpornost lesa, vendar gost les ne pomeni nujno dobre naravne odpornosti. Bukovina je veliko manj odporna od jedrovine bora ali rdeče cedre (Panshin in De Zeeuw, 1980 in SIST EN 350-2, 1994, cit. po Lesar in sod., 2008), kljub temu da je bukovina gostejša. Širina branik vpliva pri hrastu – širše so, višja je gostota (Čufar, 2006). Lesar in sodelavci (2008) so ugotovili, da širina branik pomembno vpliva na naravno odpornost jedrovine hrasta, širše kot so branike, bolj odporen je les. Odpornost vzorcev jedrovine hrasta z zelo ozkimi branikami (0,7 mm) proti ogljeni kroglici (*Hypoxylon fragiforme*) je bila primerljiva z odpornostjo bukovine (Lesar in sod., 2008).

2.2 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA S POUDARKOM NA LESNIH GLIVAH

Les je organska snov, ki zaradi različnih dejavnikov razpada v anorgansko snov. V naravi je razpadanje koristno, saj organske snovi za svojo rast potrebujejo anorganske. Vendar pa človek stremi k temu, da bi bil les čim dalj časa uporaben, da ne bi izgubljal svojih tehničnih in vizualnih lastnosti. Prav tako želimo, da bi bila naravna odpornost lesa čim daljša, to pa dosežemo z ustrezno zaščito lesa.

Razkroj lesa povzročajo biotični in abiotični dejavniki. Med biotične dejavnike žive narave štejemo glive in insekte, abiotični dejavniki nežive narave pa so vremenski vplivi (visoke in nizke temperature) in kemični vplivi. Med najhujše uničevalce lesa pri nas in v svetu pa spada ogenj.

2.2.1 Lesne glive

V našem podnebnem pasu les najpogosteje razvrednotijo lesni insekti in glive.

Za obstoj in razvoj gliv so zelo pomembni fizikalni in kemični dejavniki. Med dejavnike obstoja in razvoja gliv uvrščamo hrano, vlago, temperaturo zraka, svetlobo, pH ... Vsi ti dejavniki morajo biti čim bolj optimalni, da se glive normalno razvijejo in preživijo. Če nam uspe, da se vsaj eden ali več od teh dejavnikov ne zagotovi, glivo zatremo, oziroma začne hirati in kmalu odmre.

Glive nimajo klorofila. To pomeni, da same ne morejo sintetizirati organskih snovi in se z njimi samostojno **prehranjevati**. Preživljajo se kot zajedavke (paraziti) ali kot gniloživke (saprofiti), ki se hranijo s snovmi mrtvih organizmov.

Prehranjevalni ali vegetativni del sestavljajo zelo tanke niti ali hife. Lastnost hif je, da nenehno rastejo in prodirajo v podlago (substrat), jo razkrajajo in črpajo iz nje hranljive snovi. Preplet hif tvori podgobje ali micelij. S podgobjem gliva črpa hrano iz lesa, dovaja vodo in se širi iz okuženega v zdrav les. Ločimo površinsko in notranje podgobje. Površinsko podgobje se veliko bolj razrašča kot notranje podgobje, ima debelejšše hife, ki pogosto tvorijo skupke hif ali rizomorfe, vendar seže v les le nekaj mm. Notranje podgobje pa se razvija v notranjosti lesa. Okužba na lesu se vidi ponavadi šele takrat, ko se razvije razmnoževalni del. Glive se razmnožujejo s trosi (sporami), ki se razvijejo v trosovnici, ki je sestavni del trosnjaka. Trosnjak pri večini gliv imenujemo »goba«. Pri nižjih glivah je razmnoževalni del steljke majhen in ga imenujemo trosišče. V trosovnici se oblikujejo trosi. Trosi se ob dozoritvi odcepijo in sprostijo v ozračje. Prenaša jih veter, žuželke, človek in divjad. Trosi so v ozračju celo leto, kalivost ohranjajo daljši čas, kar pomeni, da je možna okužba z njimi v vsakem letnem času.

Lesne ali epiksilne glive lahko okužijo vse materiale, ki vsebujejo celulozo. Celuloza je za večino gliv glavna hrana. Lesne glive pa lahko najdemo tudi na tkaninah, papirju, premogu in drugje.

Glive zajedavke les okužijo, ko je živ – rastoč. V rastočih drevesih glive okužijo predvsem jedrovino, v posekanih pa jih najpogosteje najdemo v beljavi (Benko in sod., 1987).

Nekatere glive razkrajajo les iglavcev in listavcev, nekatere samo iglavce ali listavce, lahko pa so tudi specializirane samo za določeno drevesno vrsto (npr. brezo, bor ipd.).

Lesne glive prodirajo v les skozi odprtine, piknje, mehansko ali kemično s pomočjo encimov. Vsesajo se v celično steno, ki se zaradi encimskih reakcij začne razkrajati oziroma tanjšati, dokler ne izgubi vseh svojih lastnosti. Celuloza kot glavna hrana glive in kot gradnik celične stene predstavlja pomemben delež trdnosti lesa. S tem ko gliva razgradi celulozo, poslabša stabilnost celice, zmanjša njeno trdnost, kar pomeni, da les izgubi svoje lastnosti.

Poleg celuloze se lesna gliva prehranjuje še z ligninom, hemicelulozo, aromatskimi snovmi idr. Nekatere glive so se sposobne prehranjevati samo s celulozo, nekatere samo z ligninom. To lahko opazimo na lesu, saj je les, v katerem se razgrajuje celuloza, temno rjav in poka v obliki pravih prizem, les, v katerem se razgrajuje lignin, pa je svetel (svetlejši od naravne barve) in se vlaknasto cepi.

Nekatere glive (modrivke, plesni) pa je znano, da se ne hranijo z elementi, ki so gradniki celične stene, temveč z vsebino živih celic. Teh gliv ne štejemo med prave razkrojevalke lesa.

Vlaga v zraku in lesu je poleg hrane eden najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na kalitev trosov in razvoj gliv. Če je vlaga v lesu prenizka ali previsoka, delno ali popolnoma preprečuje razvoj gliv. Glive se v zračno suhem lesu ne morejo razvijati in razmnoževati. Les mora vsebovati več kot 20 % vlage glede na suho težo lesne snovi. Če je vlažnost lesa nižja od 20 %, je les varen pred okužbo z glivami zaradi pojava plazmolize. Plazmoliza je prehajanje vode iz hif v les, kar povzroči odmiranje gliv. Sušenje lesa pod 20 % vlage je eden od temeljnih ukrepov za zaščito lesa. Če je les prepojen z vodo, tudi preprečuje razvoj gliv. Zato je potapljanje oziroma stalno vlaženje lesa z vodo eden izmed sorazmerno poceni ukrepov za zaščito lesa pred glivami na lesnopredelovalnih skladiščih.

Večina znanstvenikov meni, da se glive lahko razvijejo v lesu le, če ta vsebuje od 20 % do 160 % vlage glede na težo suhega lesa. Optimalna količina vlage v lesu za razvoj gliv pa je med 35 % in 55 %.

Relativna zračna vlažnost je prav tako pomembna za razvoj gliv. Spodnja meja za nekatere glive je 65 %, optimalna vlažnost je 90 %.

Z zmanjšanjem količine vlage v zraku in lesu glive prenehajo rasti. Nekatere glive lahko ponovno začnejo rasti, tudi če se po več letih ponovno pojavijo ugodne razmere za rast, to je ustrezna količina vlage v lesu ali zraku.

Temperatura primerna za razvoj gliv je od 3 °C do 45 °C. Optimalna temperatura je med 20 °C in 30 °C. Termofilne glive rastejo bolje pri višjih temperaturah, do 50 °C. Nekatere glive pa rastejo pri nižjih temperaturah, do -20 °C. Večina gliv bolje prenaša nižje temperature, zato si pri zatiranju gliv lahko pomagamo z visokimi temperaturami (85 °C).

Zrak mora biti zagotovljen za obstoj gliv. Les, ki je prepojen z vodo, vsebuje manj zraka, to pa je razlog, da glive v njem ne morejo uspeti oziroma se razviti. Minimalna količina zraka v lesu za razvoj gliv je 15 % glede na prostornino por.

Svetloba vpliva na metabolizem gliv. Pri šibki svetlobi glive najboljše uspevajo. Neposredna svetloba škoduje razvoju in rasti gliv.

pH substrata, v katerem se glive razvijajo, je bolj v kislem območju, med pH 2 in 7,5. Večina gliv same proizvajajo različne kisline (oksalno, citrosnko, jabolčno itd.) in si same ustvarjajo optimalne razmere za svoj razvoj. (Benko in sod., 1987)

Glavne posledice razkroja lesa zaradi delovanja gliv so:

- zaradi encimske razgradnje lesa pride do razkroja olesenele celične stene,
- mehanske lastnosti in kalorična vrednost lesa se zmanjšuje,
- barva in vonj lesa se spremenita (Benko in sod., 1987).

Lesne glive delimo po večih kriterijih. Najbolj uveljavljena je delitev glede na barvne in anatomske spremembe lesa po okužbi. Glede na spremembe lesa ločimo naslednje skupine gliv:

- glive plesni, povzročiteljice površinskih sprememb barv,
- glive modrivke, obarvajo predvsem beljavo,
- glive mehke trohnobe (*soft rot*),
- glive povzročiteljice rjave destruktivne trohnobe,

- glive bele korozivne trohnobe in piravosti.

Največ škode na lesu povzročajo glive bele in rjave trohnobe.

2.3 RAZREDI IZPOSTAVITVE LESA

Glede na ogroženost lesnih izdelkov so z evropskim standardom opredeljeni razredi izpostavitve škodljivcem. Višji kot je razred, višja je ogroženost lesa. Les v 1. razredu je bistveno manj ogrožen, kot les v 3. ali 4. razredu izpostavitve. Hidrofobni pripravki tako niso primerni za zaščito lesa v 4. ali 5. razredu izpostavitve. Ogroženost v teh razredih je previsoka. Menimo pa, da bi hidrofobne pripravke lahko uporabili v 2. ali 3. razredu.

Glede na mesto uporabe in vrsto zaščitnega pripravka ločimo pet evropskih razredov izpostavitve (SIST EN 335/1,2 2006) (preglednica 1).

Preglednica 1: Razredi izpostavitve lesa (SIST EN 335/1,2 2006)

Razred uporabe	Splošne razmere na mestu uporabe	Opis vlažnosti zaradi izpostavljenosti navlaževanju na mestu uporabe	Lesni škodljivci	Prisotnost termitov
1	Znotraj, pod streho	Suh	Lesni insekti	V primeru, da so na tem območju termiti, se ta razred označi z 1T
2	Zunaj, pod streho	Občasno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke	V primeru, da so na tem območju termiti, se ta razred označi z 2T
3	3.1 Na prostem, nad zemljo z ustrežno konstrukcijsko zaščito	Občasno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke, plesni, glive razkrojevalke	V primeru, da so na tem območju termiti, se ta razred označi s 3.1T oziroma 3.2T
	3.2 Na prostem, nad zemljo, brez konstrukcijske zaščite	Pogosto vlažen		
4	4.1 Na prostem, v stiku s tlemi in/ali	Pogosto ali stalno vlažen	Lesni insekti, glive modrivke,	V primeru, da so na tem območju

	sladko vodo		plesni, glive razkrojevalke, glive mehke trohnobe	prisotni termiti, se ta razred označi s 4.1T oziroma 4.2T
	4.2 Na prostem, v stiku s tlemi (ostri pogoji) in/ali sladko vodo	Stalno vlažen		
5	V stalnem stiku z morsko vodo	Stalno vlažen	Glive razkrojevalke, glive mehke trohnobe, morski lesni škodljivci	A Ladijske svedrovke, lesne mokrice B Ladijske svedrovke, lesne mokrice, kreozotno olje, tolerantne lesne mokrice C Ladijske svedrovke, lesne mokrice, kreozotno olje, tolerantne lesne pholade

2.4 ZAŠČITA LESA

Les je organska snov, za katere je značilno, da po določenem času pričnejo razpadati. Da bi razpadanje preprečili oz. zaustavili, so ljudje že od nekdaj uporabljali različne načine zaščite lesa. Kitajci so pred 2000 leti potapljali gradbeni les v morsko vodo, Rimljani so uporabljali olivno olje za zaščito lesa. Eden najstarejših postopkov je poogljjevanje lesa. Poznamo tudi zaščito lesa z apnom (bazično okolje onemogoča razvoj glivam). Da upočasnimo razpadanje lesa, ga moramo ustrezno zaščititi. Les lahko zaščitimo na različne načine. Zaščita lesa zajema zaščito lesa v gozdu, skladiščih in na končnih izdelkih.

Poznamo preventivno in kurativno zaščito lesa. Preventivna zaščita lesa je lahko kemična in nekemična.

Preventivna nebiocidna zaščita lesa se prične v gozdu, kjer moramo biti pozorni na pregled dreves pred posekom in po njem, čas poseka, lupljenje, čiščenje gozda po poseku, pravilno skladiščenje, premazovanje čel hlodovine, takojšnje splavilo hlodovine.

Na skladiščih moramo strokovno pregledati prispelo hlodovino, izbrati pravilen kraj za skladiščenje, poskrbeti za izsušitev terena, lupljenje, pravilno zlaganje lesa, sušenje lesa, higieno skladišča, potapljanje lesa v bazene oziroma brizganje z vodo, uporaba lovnihi pasti, zaščita pred požarom, ...

Zaščita končnih izdelkov je sestavljena iz lesnih proizvodov in lesa, ki ga uporabljamo na različnih mestih. Pri zaščiti in izbiri lesa moramo upoštevati razrede ogroženosti. Glede na mesto uporabe določenega lesa lahko že s pravilno izbiro določene drevesne vrste uporabimo bolj odporno drevesno vrsto. Za pravilno vgradnjo določenega izdelka iz lesa pa je zelo pomembna konstrukcijska zaščita lesa (npr.: vgradnja lesene okenske police z utorom na spodnji strani ter nagnjena rahlo proti tlom zaradi iztekanja vode s površine police, leseni kozolci imajo betonski podstavek na katerega je oprt leseni steber).

Biocidna zaščita lesa se lahko uporablja **preventivno** in **kurativno**. Poznamo anorganske in organske kemične zaščite, topljive v vodi in v organskih sredstvih, po delovanju insekticide, fungicide in sredstva s kombiniranim delovanjem ter antipirene.

Kvaliteta zaščite lesa je odvisna od globine penetracije zaščitnega sredstva. Penetracija je odvisna od vrste lesa, deleža ranega in kasnega lesa, širine branik, smeri vlaken, deleža beljave, hrapavosti površine, vlage lesa, lastnosti in koncentracije kemičnega sredstva, temperature sredstva, postopka zaščite. Najboljša zaščita za les pa je zračno suh les, saj je takšen les varen pred okužbami z glivami in pred napadi večine insektov.

Postopki zaščite lesa so: premazovanje, brizganje, oblivanje, potapljanje, osmozni postopek, postopek Boucherie, kotelski postopki (postopek polnih celic, postopek praznih celic ali ekonomični Rupingov psotopek).

Kurativna zaščita lesa pa je uničevanje insektov in škodljivcev z vročim zrakom. Zelo okužen les z glivami, insekti pa je najboljše zažgati, saj se škodljivci lahko razvijejo naprej in nam uničujejo zdrav les. Insekte v lesu lahko uničimo tudi z visokofrekvenčnim tokom, infrardečo svetlobo in z ultrazvokom.

2.5 ZAŠČITA LESA S HIDROFOBNI MI PRIPRAVKI

V lesarstvu, gradbeništvu in drugih sorodnih panogah se uporabljajo različni hidrofobni pripravki. Namen teh pripravkov je ohranjati les čim bolj suh in s tem preprečiti ali vsaj upočasniti njegovo navlaževanje.

2.5.1 Tungovo olje

Tungovo olje je naravno olje rastlinskega izvora, ki je v plodovih drevesa tungovca (*Fordi* *Aleurites* Hemsl.). Plodovi v povprečju vsebujejo od 14 % do 20 % olja, od tega 53 % do 60 % olja prispeva seme, preostali del plodu pa prispeva od 30 % do 40 %. Tungovo olje uvrščamo med sušeča olja. Barva čistega tungovega olja je svetle ali temne barve, odvisno od postopka pridobivanja. Če tungovo olje stiskajo v lesenih stiskalnicah, dobimo olje svetle barve, v primeru uporabe vročega stiskanja pa je tungovo olje temno (Gettens in Stout, 1966). Tungovo olje je zelo reaktivno sušeče olje (Knothe, 2002). V primeru površinskih nanosov po utrjevanju tvori zamrežen površinski premaz. Film, ki ga tvori premaz, zagotavlja trd, hkrati pa žilav in fleksibilen premaz, ki je slabo prepusten za vodo, utrjena plast olja je odlično odporna proti obrabi (Gettens in Stout, 1966; McElroy, 1987). Dobra je odpornost proti alkoholu, acetonu ter proti alkalijam, prav tako proti prahu in umazaniji (Guidice, 2001; McElroy, 1987). Ker je tungovo olje zelo fleksibilno, dobro prenaša raztezanje in krčenje lesa zaradi temperaturnih in vlažnostnih sprememb, ki jim je izpostavljen lesen izdelek (Budija, 2008).

2.5.2 Laneno olje

Laneno olje spada med najstarejša in najbolj poznana olja za površinsko obdelavo lesa in ga prištevamo med sušeča olja. Za sušeča olja je značilno, da se sušijo zaradi reakcije kisika iz zraka. Proces utrjevanja pri lanenem olju je kemičen. Sušenje je zelo počasno,

odvisno je od temperature. Poleti se suši približno 4 dni, pozimi pa 6 dni. Laneno olje pridobivajo s stiskanjem ali ekstrakcijo zrelih semen lana (*Linum usitatissimum* L.) (Bolta, 2007). Laneno olje je v obliki tekočine in je transparentno rumenkaste barve. Njegova gostota pri 20 °C je 0,94 g/cm³—0,95 g/cm³. Laneno olje se ne meša z vodo. Je okolju prijazno olje, prav tako ne škoduje človeku.

2.5.3 Rustikal olje

Rustikal olje je sestavljeno iz lanenega olja, estrov kolofonije, palminega voska, olja citrusov, sikativov in sljuda.

2.5.4 Silikonska emulzija

Silikonska emulzija je brezbarvna. Ima nizko viskoznost. Nizka molekularna teža ji omogoča globoko prodiranje molekul v materiale. Njena gostota je med 1 g/cm³ in 1,04 g/cm³. Silikonsko emulzijo je možno redčiti z vodo, ni vnetljiva in je okolju prijazna. Na površini ne povzroča barvnih sprememb, omogoča pa dobro izparevanje pare.

2.5.5 Protektin

Protektin je vodna emulzija različnih smol. Kombinacija smol ima lastnost zelo dobre odpornosti na UV-žarke in delovanje atmosferilij. Emulzija nima vpliva na videz površine, prav tako ne vpliva na paropropustnost. Dobro odbija vodo in olje. Protektin izdelujejo v podjetju SAMSON iz Kamnika.

2.5.6 Montanski vosek

Montanski vosek uvrščamo med rastlinske voske. Pridobivajo ga z ekstrahiranjem iz lignita oziroma premoga. Montanski vosek je mešanica voskov, smol in asfaltnih snovi. Rafiniran montanski vosek je blede rumen, sestavljen v glavnem iz višjih karboksilnih kislin z dolžino verig med 22 in 34 ogljikovih atomov. Zaradi zgradbe – delno sintetičen produkt, ima lastnosti, kot so: izjemna trdota, dobro se polira, ni toksičen za sesalce. Ena od najbolj pomembnih lastnosti tega voska je tudi sposobnost tvorjenja tankega filma. Montanski vosek je topen v številnih organskih topilih, še posebno v aromatskih in kloriranih ogljikovodikih, celo pri nizki temperaturi. Tališče voska je pri temperaturi med 82 °C in 95 °C. Uporablja se kot nadomestek karnauba vosku (ChemCor, 2008, cit. po Lesar in sod., 2009). Poleg lesarstva se montanski vosek uporablja še v avtomobilski industriji, kot polirna pasta, v elektro industriji, kot električna izolacija, v proizvodnji plastike za maziva in v papirni industriji.

2.5.7 Polietilenski vosek WE 1

Spada med sintetične voske. Proizvajajo jih iz etilena. Predvsem so polietilenski (tudi PE), visoke trdote (HDPE), polipropilenski (PP) in ostali ... Lastnost sintetičnih voskov je, da so cenejši in imajo v primerjavi z naravnimi boljšo uporabnost in konstantno kakovost. Sintetičnim voskom med sintezo prilagodijo lastnosti glede na njihov namen uporabe. Sintetičnim voskom lastnosti določa molska masa polimera, ki je odvisna od dolžine verig in njihove razvejanosti. Voski so brezbarvni, beli do prozorni in tvorijo čisto talino. Polietilenski sintetični voski do določene stopnje zavirajo razkrojne procese impregniranega lesa. Impregniran les z vodno emulzijo polietilenskega voska je dobro zaščiten pred delovanjem tramovke, sive hišne gobe, pisane ploskocevke in ostrigarjem. Manj učinkovito pa ščiti les pred ogljeno kroglico.

2.6 METODE DOLOČANJA VLAŽNOSTI LESA

Sušilni proces spremljamo in regulirano z merjenjem lesne vlažnosti. Poleg tega pa je spremljanje lesne vlažnosti pomembno tudi z vidika zaščite lesa. Če nam uspe les ohraniti suh, ga glive ne morejo razkrajati.

Lesno vlažnost merimo na več načinov. Poznamo gravimetrično metodo, merjenje z električnimi merilniki, destilacijsko metodo, KarlFischerjevo metodo, merjenje z Beta delci ali žarki, merjenje z Nevtroni z visoko energijo, Nuklearno magnetno resonanco idr.

2.6.1 Električni merilniki lesne vlažnosti

Metode merjenja lesne vlažnosti z električnimi merilniki spadajo med nedestruktivne metode. Poznamo uporovne merilnike (na istosmerni tok) in dielektrične ali kapacitivnostne merilnike na izmenični tok.

2.6.1.1 Uporovni merilniki

Uporovni merilniki delujejo na podlagi lastnosti lesa, da je vlažnost lesa v sorazmerju z logaritmom specifične upornosti lesa. V območju od absolutno suhega stanja do TNCS upornost pada približno linearno, odvisno od vlažnosti lesa. Pri sušenju od 30 % do 0 % naraste upornost za približno 1000000-krat, nad TNCS pa se zmanjša le 50-krat. Pri uporovnih merilnikih se uporabljajo elektrode različnih oblik: ploščate z veliko površino in majhno medsebojno razdaljo so primerne za merjenje vlažnosti furnirjev, igelne elektrode pa so primerne pri ugotavljanju vlažnosti debelejših materialov.

Natančnost merjenja z uporovno metodo je odvisna od:

- gostote, ki je obratno sorazmerna z električno upornostjo, vendar je njen vpliv v primerjavi z vlažnostjo zanemarljiv;

- temperature, ki se spreminja zaradi vrste lesa in vlažnosti, sprememba lesne vlažnosti se spremeni približno za 0,15 %; če se temperatura spremeni za 1 °C. Merilnike zato kalibriramo in temperaturo kompenziramo.
- istosmerni toka, ki se pretežno uporablja pri uporovnih merilnikih, pri daljšem učinkovanju povzroči ohmsko segrevanje lesa in s tem zmanjšanje upornosti; še važnejši pa je polarizacijski učinek na elektrodah in/ali v lesu, ki s časom upornost povečuje;
- pri visoki vlažnosti površine se morajo uporabiti izolirane elektrode (Gorišek in sod., 1994).

Uporabnost uporovnih merilnikov je v območju od 7 % do 25 % vlažnosti. Meritve, kjer je vlažnost preizkušanca pod 7 %, so nerealne, saj je upornost prevelika (nad 10^{11} ohm), pri vlažnosti nad TNCS pa na merjenje vplivajo naslednji 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 vrsti povzročajo velike razlike v specifični upornosti;
- specifična upornost se znatno spreminja s časom.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Lesni vzorci

3.1.1.1 Izpostavljene drevesne vrste

Smreka (*Picea abies*) spada med najpomembnejše drevesne vrste iglavcev. Smrekov les je mehak, srednje trden, neodporen, srednje žilav. Barva lesa je rdečkastobela. Gostota smrekovega lesa variira med 320 kg/m^3 in 420 kg/m^3 (Zierl, 2005). Smrekovi vzorci so bili narejeni iz lesa prve kvalitete. Branike so bile ozke, delež kasnega lesa velik, kar se odraža v visoki gostoti.

Rdeči bor (*Pinus sylvestris*) spada med drevesne vrste iglavcev. Gostota borovine je $\rho_{12...15} = 470 \text{ kg/m}^3$. Borovina je smolnat, mehak les, vsebuje beljavo in obarvano jedrovino. Barva beljave je svetlorumena, jedrovina pa je rdečkastorjava. Bor je iglavec z razločnimi branikami in jasnim prehodom iz ranega v kasni les (Čufar, 2006). Beljava je različno široka in rdečkastobela, črnjava rdečkastorumena, na zraku hitro potemni. Borovina je zmerno trda, trdna in elastična. Jedrovina je trajna, beljavo pa pogosto okužujejo glive (modrivke) in napadajo insekti (Čermak, 1998). Borovino kot odličen gradbeni les uporabljamo za hiše, mostove in podobne gradbene objekte. Poleg gradbenega lesa pa ga uporabljamo še kot masivni les, za izdelavo plošč in celuloze.

Macesen (*Larix decidua*) spada med drevesne vrste iglavcev. Gostota macesnovine je $\rho_{12...15} = 470 \text{ kg/m}^3$. Macesnov les je mehak, srednje trden, elastičen in cepljiv. Beljava je ozka in rumenkasta, jedrovina rdečerjava. Branike so izrazite, prehod iz ranega v kasni les je oster. Macesnovina vsebuje veliko smole. Jedrovina je naravno odporna (Čermak, 1998). Macesnovino uporabljamo kot gradbeni les, primeren je za vodne in mostne konstrukcije, za stavbno in masivno pohištvo, stopnice, obloge, furnir, skodle, pragove, jamski les ...

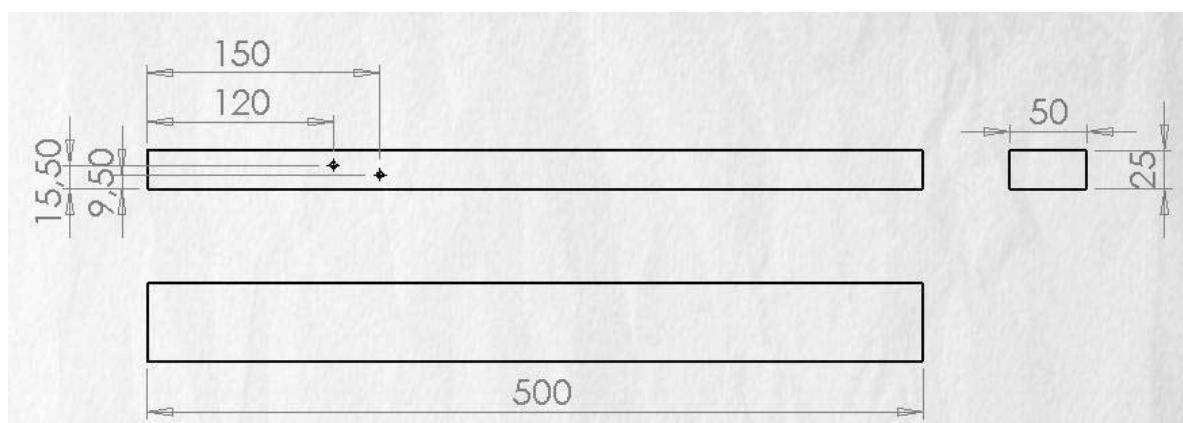
Hrast (*Quercus sp.*) spada med venčasto porozne vrste listavcev. Struktura prereza ima venec velikih trahej ranega lesa, radialno orientirane skupinice majhnih trahej v kasnem lesu. Gostota lesa je $\rho_{12...15} = 700 \text{ kg/m}^3$. Beljava je ozka in rumenkastobela ter se ostro loči od rumenkastorjave jedrovine. V radialni smeri vidimo večredne trakove kot svetlikajoče ploščice – zrcalca. Hrastov les je trden in trd, zelo elastičen, cepljiv. Kot pri vseh venčasto poroznih listavcih gostota lesa narašča z naraščajočo širino branik. Les hrasta je zaradi svojih lastnosti zelo cenjen in uporaben. Za furnir in pohištvo uporabljamo les z ožjimi branikami (manj kasnega lesa, manjša gostota), les s širšimi branikami (več kasnega lesa, bolj trd in trden) pa uporabljamo za konstrukcijski les – zgradbe, mostovi, piloti ... Hrastovino uporabljamo za parket, stopnice, drogeve, stavbno pohištvo, v sodarstvu, kolarstvu ... (Čermak, 1998).

Kostanj (*Castanea sativa*) spada med listavce – venčasto porozna vrsta. Gostota lesa je $\rho_{12...15} = 570 \text{ kg/m}^3$. Beljava je ozka in rumenkastobelega barve, črnjava pa je rumenkastorjava in na zraku potemni. Branike so izrazite. Les kostanja je srednje trd in srednje trden (vpliv gostote). Obarvana jedrovina je zelo trajna na prostem in v vodi, odporna proti glivam in insektom. Les uporabljamo za proizvodnjo rezanega furnirja, za izdelavo stilnega pohištva, za stopnice, obloge, parket ... Kostanjev les pa zaradi velike naravne odpornosti uporabljamo tudi za razne vodne konstrukcije, železniške pragove, doge za sode ... (Čermak, 1998).

Bukev (*Fagus sylvatica*) spada med listavce – difuzno porozna vrsta. Difuzno porozni listavci imajo približno enake traheje oziroma pore. Traheje pri bukvi so pogosto zatiljene. Gostota lesa je $\rho_{12...15} = 720 \text{ kg/m}^3$. Gostota kasnega lesa pri difuzno poroznih listavcih je do 1,6-krat večja kot gostota ranega lesa. Les je bolj homogen in manj variabilen. Bukov les ima razločne branike, fino rast ter široke trakove. Je rdečkastobelega barve, nima obarvane jedrovine, pri višji starosti pa se skoraj praviloma pojavi »rdeče srce«. Les je trd, trden, odporen proti obrabi, s parjenjem dosežemo upogljivost, je zelo plastičen ... Uporabljamo ga za rezan in luščen furnir, vezano ploščo, pohištvo, lameliran les, železniške pragove, ukrivljen les, stružene izdelke, celulozo, iverne plošče, ...

3.1.1.2 Dimenzije izpostavljenih vzorcev

Vzorci za testiranje so bili vsi enakih dimenzij (slika 1), dolžina vzorcev je bila 500 mm, širina 50 mm, debelina 25 mm. Vzorci so bili narejeni iz lesa smreke (*Picea abies*), rdečega bora (*Pinus sylvestris*), macesna (*Larix decidua*), bukve (*Fagus sylvatica*), kostanja (*Castanea sativa*), hrasta (*Quercus sp.*). Vzorci so bili mehansko obdelani, vse strani so bile poskobljane, vogali pa rahlo obrušeni.



Slika 1: Dimenzije vzorcev lesa za izpostavitve

3.1.2 Impregnacijski pripravki

Pri poizkusu smo uporabili naslednje hidrofozne pripravke (lastnosti posameznih pripravkov so predstavljene v preglednici 2):

- tungovo olje 100 %,
- laneno olje,
- rustikal olje,
- protektin,
- silikonsko emulzijo,
- baker etanolaminski pripravek,
- polietilenski vosek,
- parafinska emulzija.

Preglednica 2: Lastnosti hidrofobnih pripravkov

Zaščitno sredstvo/hidrofobn pripravek	Proizvajalec	Oblika	Gostota pri 20 °C [g/cm³]
Tungovo olje	Samson Kamnik	Tekočina	Ni določena
Laneno olje	Samson Kamnik	Tekočina	0.94—0.95
Rustikal olje	Samson Kamnik	Tekočina	Ni določena
Protektin	Samson Kamnik	Tekočina	Ni določena
Silikonska emulzija	Achite X	Tekočina	1—1.04
Polietilenski vosek	BASF	Tekočina	1
Baker-etanolaminski pripravek	Silvaproduct	Tekočina	Ni določena
Parafin	Lesna TIP Otiški Vrh	Tekočina	Ni določena

3.2 METODE

3.2.1 Priprava vzorcev

Vzorci smo najprej obrusili po robovih. Vse vzorce smo oštevilčili, kot prikazuje slika 2. Poleg ploščice, ki smo jo pribili po sušenju, smo vsak vzorec še posebej označili s kemičnim in grafitnim svinčnikom (slika 2).

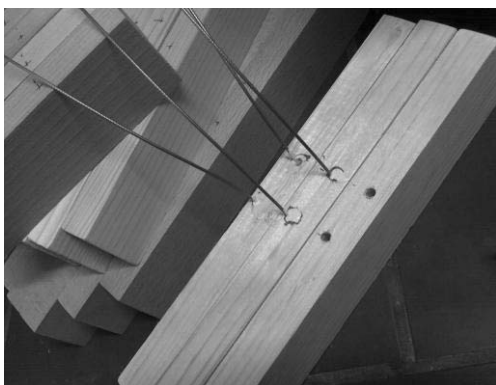


Slika 2: Oštevilčenje lesnih vzorcev

Vse vzorce smo sušili pri 103 °C 24 ur do absolutno suhega stanja. Ko smo imeli vse vzorce posušene na enako vrednost, smo jih oštevičili s številkami od 1 do 392.

3.2.2 Kondicioniranje, impregnacija in vstavljanje sond za merjenje vlažnosti

Vzorci smo po treh tednih uravnovešanja pri 20 °C in 65-odstotni relativni zračni vlažnosti (RH) impregnirali z izbranimi pripravki po vakuumsko tlačnem postopku (30 min –0,9 bar vakuum, 3 h nadtlak 8 bar, 10 min –0,8 bar vakuum). Ko so bili vsi vzorci zaščiteni z različnimi hidrofobnimi pripravki (tungovo olje, laneno olje, rustikal olje, protektin, silikonska emulzija, montanski vosek, polietilenski vosek), smo vanje na ustreznem mestu (kot prikazuje slika 3) navrtali luknje do polovice širine vzorcev (25 mm). Premer vrtanih lukenj je bil 3 mm. Nato smo narezali izolirano jekleno žico (premer = 2 mm). Na koncih vsakega kosa žice smo odstranili izolacijo v višini 5 mm.



Slika 3: Prikaz izvrtin na vzorcih

Po končani pripravi vzorcev in žice smo v steklenem kozarcu zmešali epoksi smolo – COLOR (10 enot smole, 1 enota trdilca), ter dodali grafit, ki omogoča prevodnost smole. Za dno lukenj smo najprej pripravili grafit in epoksi smolo. Z majhno žličko smo najprej epoksi smolo, pomešano z grafitom, nalili na dno luknje ter vstavili jekleno žico prevlečeno z izolacijo. Ko se je epoksi smola utrčila, smo luknjo, v katero je bila vstavljena jeklena žica, napolnili do vrha s čisto epoksi smolo. Vsak vzorec je imel vstavljeni po dve jekleni žici. V čelni del vzorca smo prav tako navrtali luknjo, v katero smo privijačili kovinski kavelj, ki nam je služil za obešanje vzorcev na stojalu.



Slika 4: Mešanje epoksi smole in grafita



Slika 5: Grafit in izolirana jeklena žica

Po utrditvi epoksi smole smo na 14 baterij (3,7 Am) zvezali po tri vzorce lesa, ki so bili zaščiteni z različnimi hidrofobnimi pripravki. Vse baterije smo napolnili. Po končani vezavi jeklene žice z baterijo smo nastavili čitalec podatkov tako, da je vsak dan ob 24^h prebral, zabeležil podatek o vlažnosti vzorca. Po trije vzorci skupaj so bili priključeni na en čitalec podatkov. Uporabili smo Material Fox Mini čitalec – beležnik podatkov, izdelovalca Scanntronik Mugrauer, Nemčija.



Slika 6: Vzorci z vstavljeno jekleno žico povezani z baterijami in čitalcem podatkov

3.2.3 Izpostavitvev zunanjim pogojem in določanje vlažnosti lesa

Vzorci smo obesili na stojalu v vertikalni in zložili v horizontalni položaj na terenski izpostavi Oddelka za lesarstvo na Biotehniški fakulteti. Izpostavljeni so bili zunanjim pogojem. To pomeni vsakršnemu vremenu, dežju, snegu, mrazu, soncu ..., zato smo baterije in čitalce obvarovali pred direktnimi padavinami in vlago s tem, da smo jih zaprli v plastične posode z ustreznim tesnjenjem, ki smo jih z vijaki pritrdili na stojalo.



Slika 7: Zavarovanje baterij in čitalcev podatkov pred vlago



Slika 8: Viseči vzorci na terenski izpostavi Odd. za lesarstvo na BF



Slika 9: Nameščanje ležeče izpostavljenih vzorcev (enoslojni test)

Vlažnost lesa smo izračunali po spodnjih formulah (za obe formuli velja, da je T = povprečna dnevna temperatura ($^{\circ}\text{C}$), R = električna upornost (ohm)):

- formula za izračun vlažnosti smrekovine (enačba 1) (Lampen, 2010):

$$U_{el} = + 236,262219 - 0,71639926 * T - 4,99823608 * R - 0,00067628 * T^2 + 0,02831729 * R^2 + 0,00783131 * T * R$$

... (1)

- formula za izračun vlažnosti bukovine (enačba 2) (Lampen, 2010):

$$U_{el} = 142,1055107 + 0,310569458 * T - 2,210628805 * R - 0,006374291 * T^2 + 0,008745525 * R^2 - 0,006478575 * T * R$$

... (2)

Zaradi preglednosti so podatki o vlažnostih prikazani kot električna upornost.

Na meritev pri uporovnih merilnikih vpliva več faktorjev, kateri se v grobem razdelijo na notranje in zunanje vplive. Med notranje vplive oziroma dejavnike prištevamo drevesno vrsto, temperaturo, kemijska zgradba les, orientacijo vlaken, gostoto lesa. Med zunanje dejavnike pa štejemo zgradba elektrod, kontaktni pritisk elektrod, oblika in dimenzija vzorca, elektrolitski učinki, obseg napetosti in trajanje uporabe – merjenje.

Merjenje vlažnosti pod 7 % je nerealno, saj je upornost lesa prevelika. Upornost lesa se zmanjša, ko je vlažnost v higroskopskem območju. Temperatura na upornost posledično na vlažnost lesa vpliva tako, da, ko se temperatura lesa viša, pada upornost lesa. Enako vlažen les pri različnih temperatura ima različno upornost. Orientacija vlaken ima zanemarljiv vpliv do vlažnosti lesa 15 %. Nad 15 % vlažnostjo lesa in do točke nasičenosti celičnih sten je vzdolžna prevodnost 1,9- do 3,2-krat večja od radialne in 2,1- do 3,9-krat od tangencialne. Prevodnost lesa z gostoto narašča. Les z višjo gostoto ima manjšo upornost. Pri kemični zgradbi moramo upoštevati osnovne lesne komponente, posredno preko sorpcijskih lastnosti. Nekoliko večja je prevodnost lignina. Vodotopni ekstraktivi prevodnost povečujejo, netopni zmanjšujejo. Zaščitna sredstva z elektroliti prevodnost povečujejo, organska sredstva pa zmanjšujejo prevodnost. Vrsta in oblika elektrod vplivata, tako, da ploščate elektrode uporabljamo za merjenje vlažnosti površine (furnir, obdelane površine), igelne elektrode merijo najvlažnejši sloj. Pri kontaktnem pritisku oziroma stičnem tlaku moramo zagotoviti doseganje minimalnega tlaka, upoštevati moramo čas vstavitve elektrod – med sušenjem lesa elektrodina kontaktna upornost narašča, kar kaže na videz bolj suh les, kot dejansko je, pri sveže vstavljenih elektrodah je kontaktna upornost manjša, zato se zdi, da je les bolj vlažen kot dejansko je. Električni fluks (pretok) je koncentriran na konicah elektrod. Na elektrolitski učinek ima vpliv polarizacija na stiku različnih snovi, mobilnost Na, K ionov zmanjšuje napetostni gradient, ohmsko segrevanje je zanemarljivo.

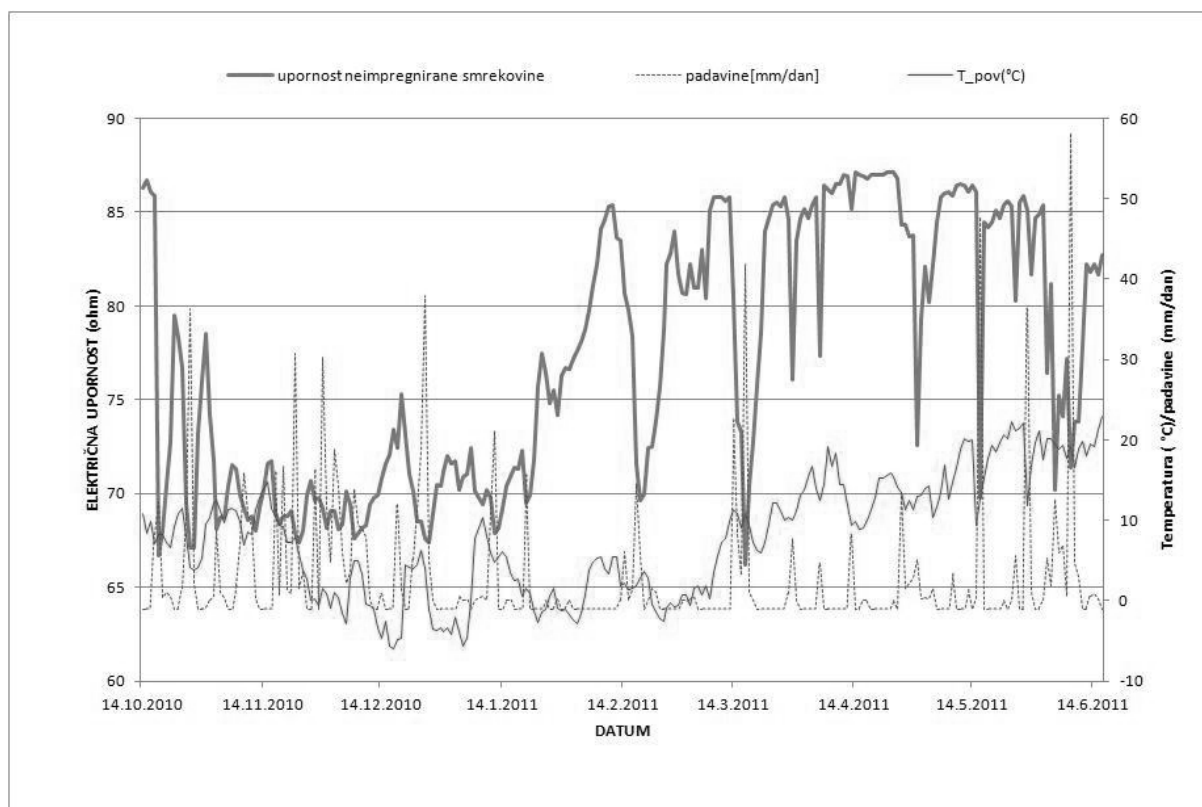
Vsi rezultati so prikazani kot upornost, po zgornjih enačbah pa lahko z upoštevanjem povprečne temperature in upornosti izračunamo vlažnost lesa.

Christen Skaar Wood-Water relations , to bom še uredil, sam tok, da veš kaj mi je dal za literaturo

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 VPLIV IMPREGNACIJE S HIDROFOBNI MI PRIPRAVKI NA ELEKTRIČNO UPORNOST VISEČIH VZORCEV

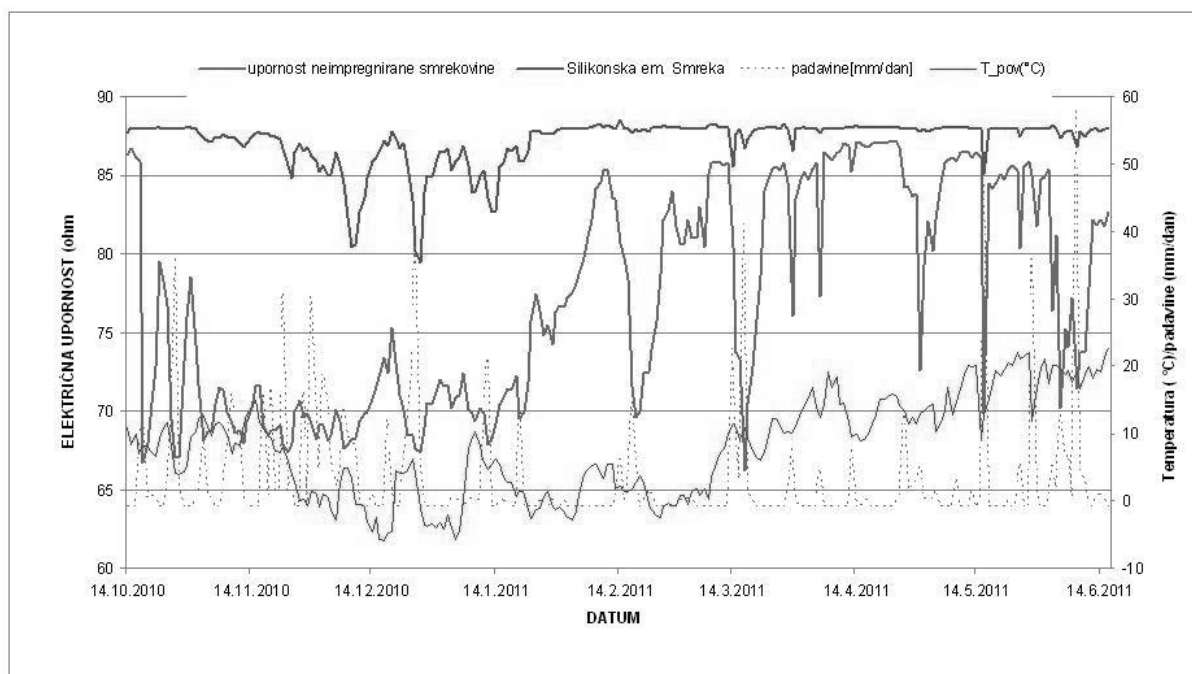
4.1.1 Vlažnost visečih neimpregniranih smrekovih vzorcev



Slika 10: Upornost neimpregnirane smrekovine (viseči vzorec)

V obdobju od 14. 10. 2010 do 14. 6. 2011 pri neimpregniranem (kontrolnem) smrekovem vzorcu opazimo izrazito nihanje upornosti skozi celotno obdobje izpostavitve. Vlažnost vzorca (posredno določena preko upornosti) se dobro ujema s podatkom o padavinah in temperaturi zraka. V mesecih od decembra do aprila lahko vidimo izrazito naraščanje temperature zraka (na vrednosti okoli 20 °C) ter izrazito povečanje padavin, kar se jasno odraža tudi na višjih vlažnostih kontrolnih, neimpregniranih smrekovih vzorcev.

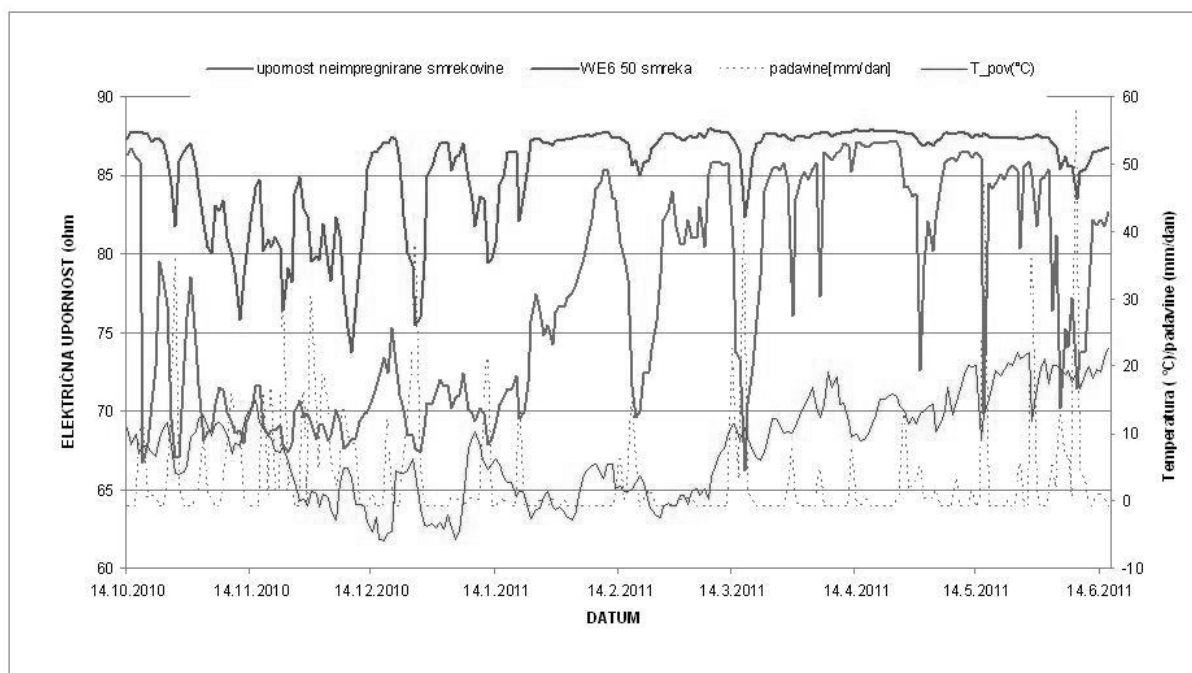
4.1.2 Vpliv impregnacije s silikonsko emulzijo na vlažnost impregniranega smrekovega lesa.



Slika 11: Upornost smrekovine impregnirane s silikonsko emulzijo (viseči vzorec)

Na vzorcih prepojenih s silikonsko emulzijo ne zaznamo izrazitejšega nihanja upornosti lesa, kar jasno nakazuje, da silikonska emulzija dobro zaščiti smrekove vzorce pred navlaževanjem. Silikonska emulzija ob manj intenzivnih padavinah dobro preprečuje prodiranje vode v les. Manj učinkovit je vpliv silikonske emulzije v obdobju, ko se je talila snežna odeja. Na primer v obdobju od 19. 12. 2010 do 23. 12. 2010 lahko iz podatkov agencije Arso opazimo, da se je sneg talil, kar se odraža tudi v povečani vlažnosti lesa. Očitno je, da silikonska emulzija lahko nekaj časa zadrži vpliv vlage, pri daljših obdobjih padavin ali po taljenju snega pa njen vpliv ni več tako izrazit, kar je razvidno v obdobju med 14. 3. 2011 in 18. 3. 2011, ko je bilo izrazito deževno obdobje.

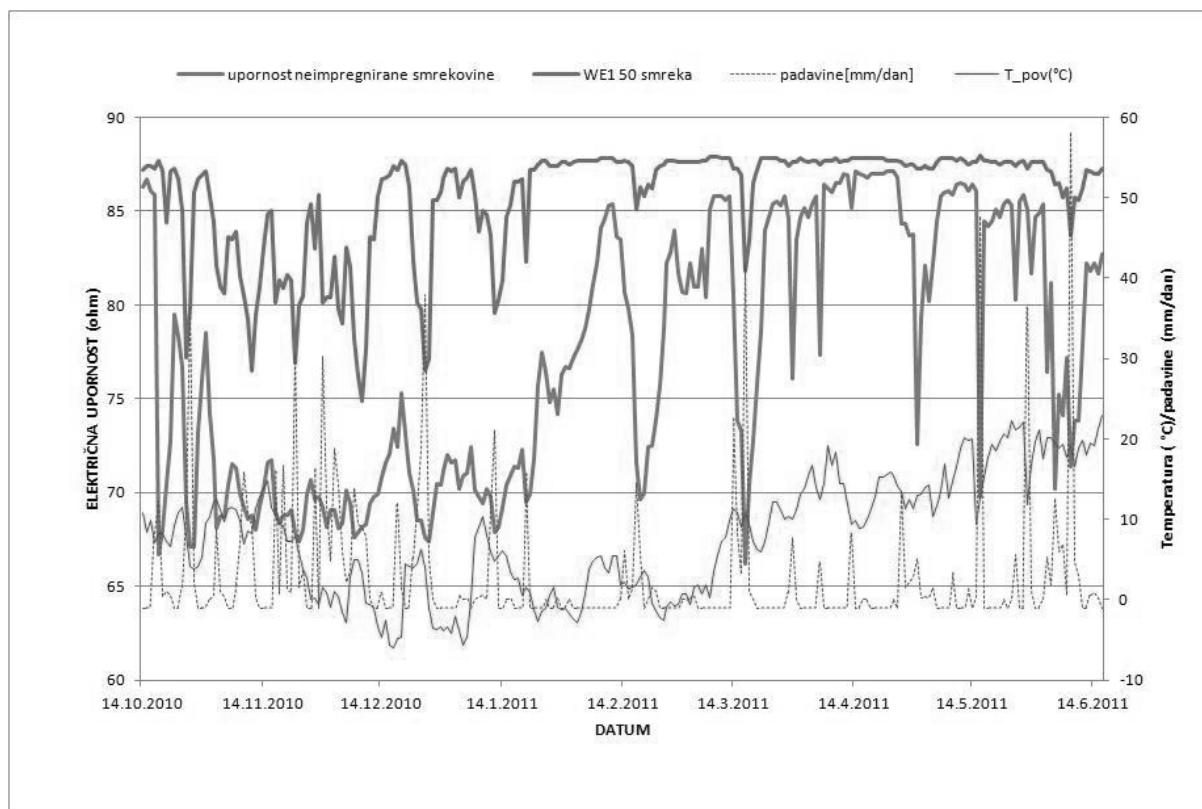
4.1.3 Vpliv impregnacije s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 na vlažnost impregniranega smrekovega lesa



Slika 12: Upornost smrekovine impregnirane s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 (viseči vzorec)

Polietilenski vosek uvrščamo med sintetične voske. Sintetičnim voskom se lahko med sintezo prilagodijo lastnosti. Upornost določena pri smrekovih vzorcih impregniranih z oksidiranim polietilenskim voskom je relativno malo nihala v obdobju, ko dalj časa ni bilo padavin oziroma je bila relativna zračna vlažnost nizka. Oksidiran polietilenski vosek s 50 % koncentracijo voska je ob padavinah izgubljal svojo funkcijo zaščite lesa pred vdorom vlage v les, saj lahko iz slike 12 zaznamo padec upornosti že po manjših padavinah. Obdobje med 14. 10. 2011 in 10. 12. 2010 je obdobje višjih temperatur in več deževnih dni, takrat lahko opazimo izrazito nihanje upornosti lesa. Očitno vodne emulzije voskov po večjem številu padavinskih ciklov izgubijo svojo funkcijo. Možnih razlogov zato je več. Verjetno površina lesa, obdelanega z vodnimi emulzijami voskov, zaradi temperaturnih razlik razpoka. Drobne razpoke na površini pa delujejo kot kapilare in dodano vlečejo vodo v les. O podobnem fenomenu med umetno pospešenim staranjem poroča tudi Lesar (Lesar, 2011). Tako lahko opazimo, da ko je bil v obdobju po 14. 3. 2011 deževen dan, je takoj upadla upornost lesa. Kakorkoli, kljub temu da je ta padec upornosti znaten, je še vedno manj izrazit, kot pri kontrolnih vzorcih (slika 10).

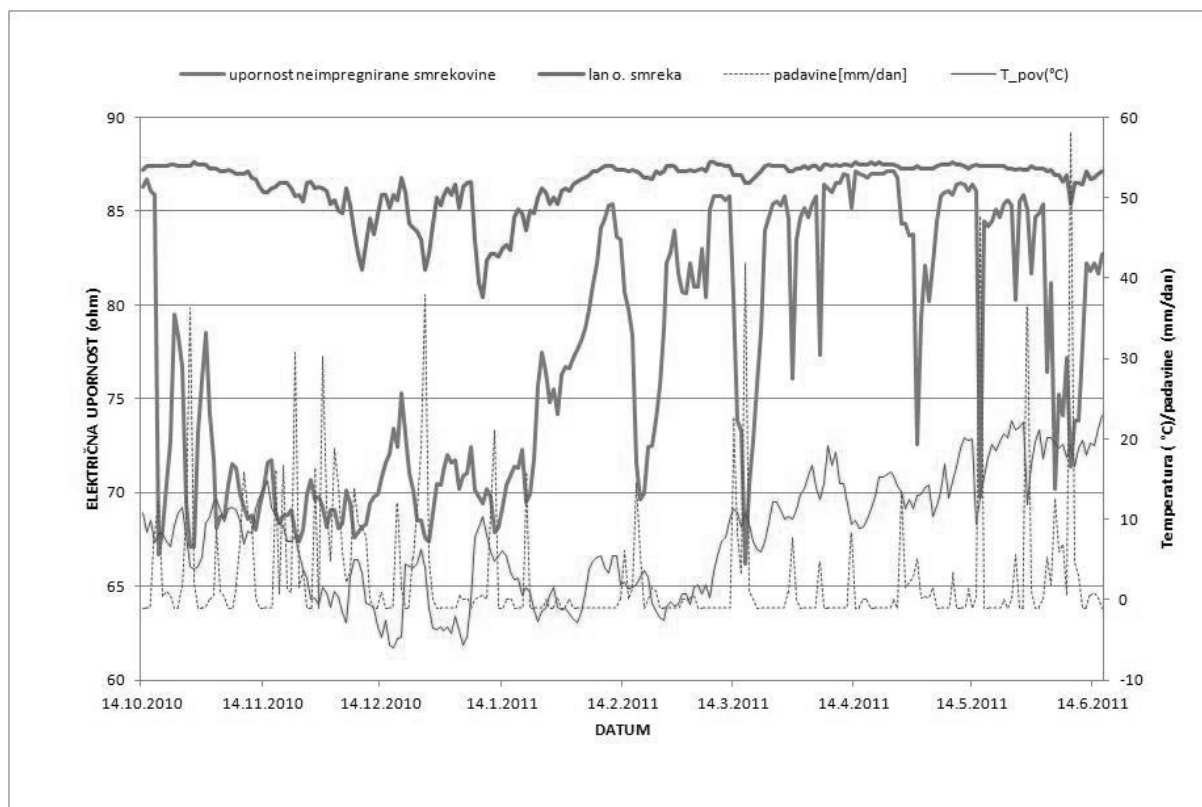
4.1.4 Vpliv impregnacije s sintetičnim polietilenskim voskom WE1 50 na vlažnost impregniranega smrekovega lesa



Slika 13: Upornost smrekovine impregnirane s sintetičnim polietilenskim voskom WE1 50 (viseči vzorec)

Pri vzorcih, zaščiteneh s polietilenskim voskom s 50 % koncentracijo emulzije, je bilo zaznati tesno povezanost med upornostjo pri vzorcih in padavinami oziroma visoko relativno zračno vlažnostjo. Na primer, 25. 12. 2010 je bilo veliko padavin in tudi upornost je upadla skoraj istočasno. Ta podatek jasno nakazuje, da impregnacija z vodno emulzijo voska po 2 mesecih izpostavitve ne deluje pretirano vodoodbojno. Kakorkoli, že na začetku izpostavitve je vlažnost vzorcev naraščala, saj je upornost tako v prvem mesecu, kakor tudi skozi celotno obdobje izpostavitve, močno nihala. Iz slike 13 lahko tako zaključimo, da je polietilenski vosek slabo ščitil les pred vdorom vlage v les. Vosek je uspešno zadrževal vlago zunaj lesa v obdobju, ko je bilo manj padavin (14. 3. 2011—20. 5. 2011). Močno nihanje upornosti pa je opazno v obdobju, ko je bilo več zaporednih deževnih dni in visoka temperatura (17. 10.—27. 10. 2010, 17. 11.—24. 11. 2010).

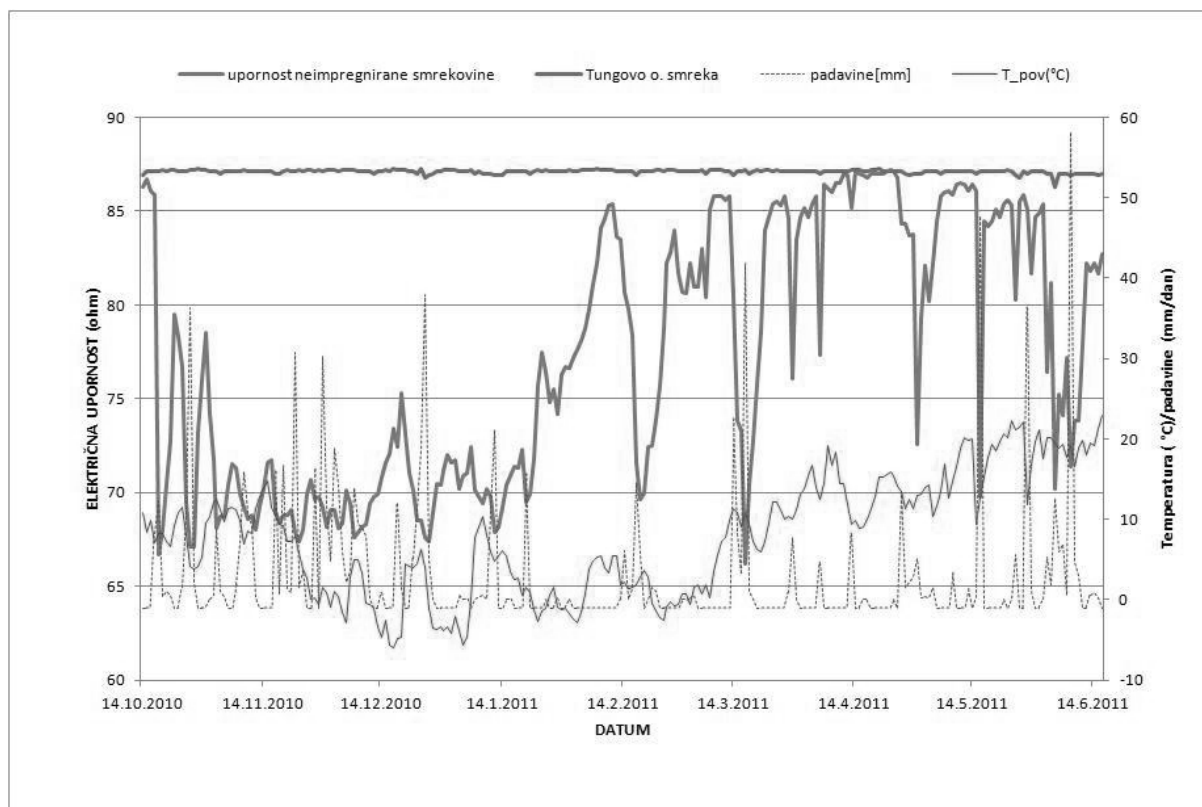
4.1.5 Vpliv impregnacije z lanenim oljem na vlažnost impregniranega smrekovega lesa



Slika 14: Upornost smrekovine impregnirane z lanenim oljem (viseči vzorec)

Vzorci, impregnirani z lanenim oljem, izkazujejo dobro vodoodbojnost. Na začetku izpostavitve je opaženo nekoliko večje nihanje upornosti, kot v kasnejših obdobjih. Laneno olje v obdobjih večjih padavin (17. 10.—27. 10. 2010, 17. 11.—24. 11. 2010) zaradi nizke temperature, ki preprečuje sušenje, in intenzivnih padavin ne more v celoti preprečiti navlaževanja lesa. Kakorkoli, upornost lesa, prepojenega z lanenim oljem je kljub vsemu večinoma višja, kot upornost neimpregnirane smrekovine. Iz podatov prikazanih na sliki 14 je tako dobro razvidno, da laneno olje v toplejšem obdobju, po 14. 2. 2011, dobro zaščiti les pred navlaževanjem. Laneno olje je dobra zaščita pred navlaževanjem za les, ki ni več dni zaporedoma izpostavljen večjim količinam vlage oz. obilnejših padavin, kar je razvidno tudi iz slike, saj v obdobju posamičnih padavin ni velikega nihanja upornosti.

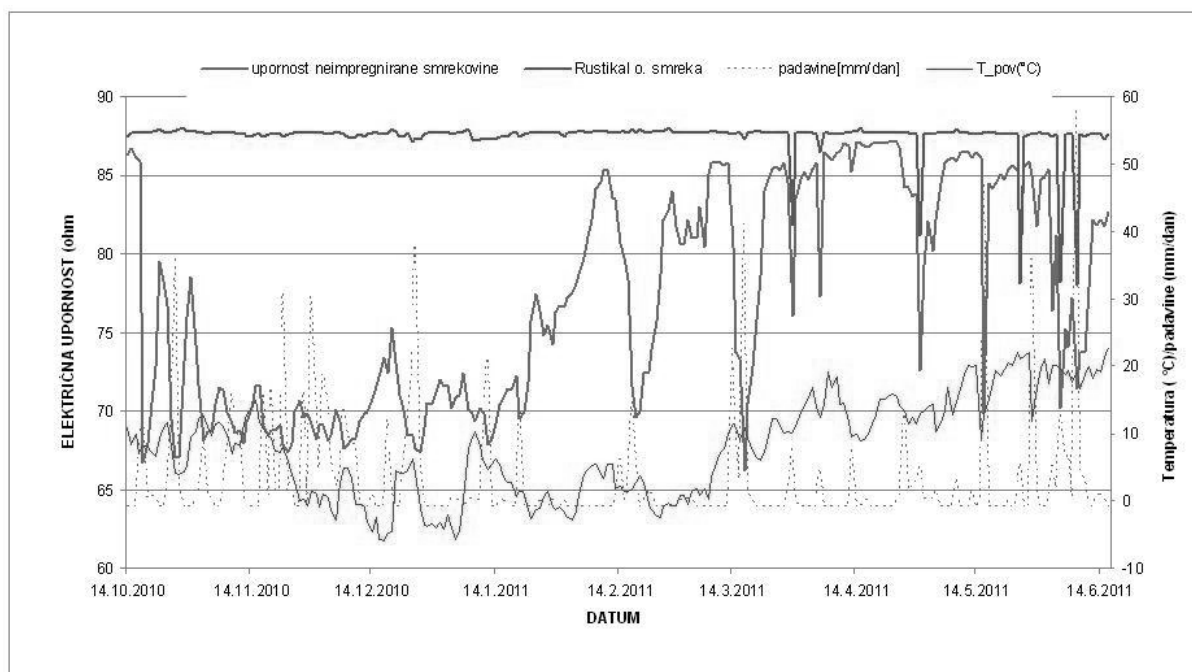
4.1.6 Vpliv impregnacije s tungovim oljem na vlažnost impregniranega smrekovega lesa



Slika 15: Upornost smrekovine impregnirane s tungovim oljem (viseči vzorec)

Tungovo olje med olji najbolj zaščiti les pred navlaževanjem. Iz slike 15 so lepo vidne zelo majhne spremembe električne upornosti ne glede na padavine. Upornosti ni povečalo niti obdobje večdnevni zaporednih deževnih dni (17. 10. 2010—27. 10. 2010, 17. 11. 2010—24. 11. 2010). Tungovo olje je svojo dobro vodoodbojnost obdržalo skozi celotno obdobje testiranja, kar je lepo razvidno iz slike 15. Po drugi strani pa se je treba zavedati, da so ti vzorci viseli in je zato voda relativno enostavno odtekla. Tungovo olje je zelo prožno in tako dobro prenaša raztezanje in krčenje lesa zaradi temperaturnih in dimenzijskih sprememb. Skozi celotno obdobje, tudi v obdobjih večdnevnega deževja ali sneženja, izkazuje tungovo olje zelo dobro zaščito za les.

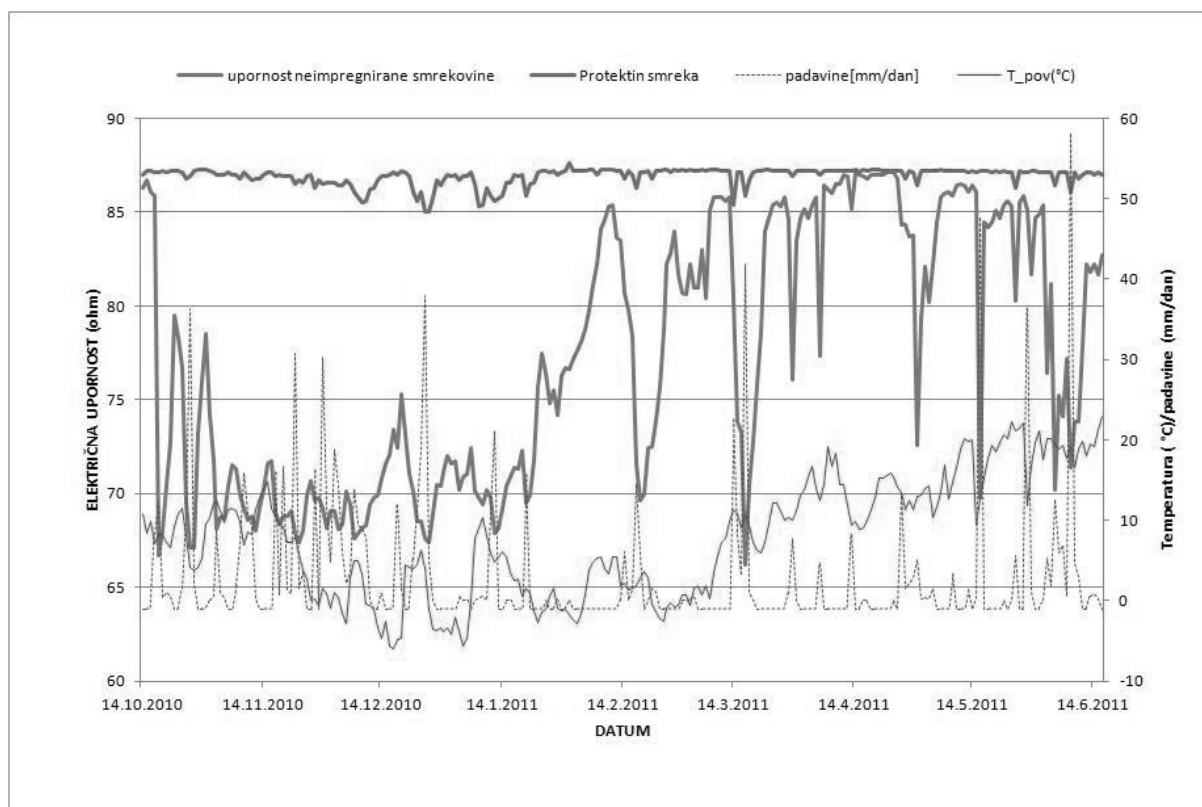
4.1.7 Vpliv impregnacije z rustikal oljem na vlažnost impregniranega smrekovega lesa



Slika 16: Upornost smrekovine impregnirane z rustikal oljem (viseči vzorec)

Sestava rustikal olja je zelo podobna sestavi tungovega olja. Rustikal olje je dobro ščitilo les pred navlaževanjem v začetnem obdobju izpostavitve (14. 10. 2010—20. 3. 2011). Iz slike 16 je opazno, da v začetnem obdobju tudi večdnne in obilne padavine niso vplivale na vlažnost smrekovine zaščitene z rustikal oljem. Po obdobju 6 mesecev od izpostavitve vzorcev pa delovanje rustikal olja ni bilo več tako učinkovito. Iz slike 16 je opazno večje nihanje upornosti v obdobjih obilnejših in zaporednih padavin (od začetka maja 2011). Iz tega primera je lepo razvidno, da je treba po določenem času obnavljati površine obdelane z različnimi olji oziroma voski. Pri rustikal olju se opazi, da je le-to določeno obdobje odbijalo vlago dobro, malo slabše od tungovega olja, medtem ko pa je po 14. 3. 2011 ob vsakem deževju upornost padla, kar pomeni, da se je les navlaževal.

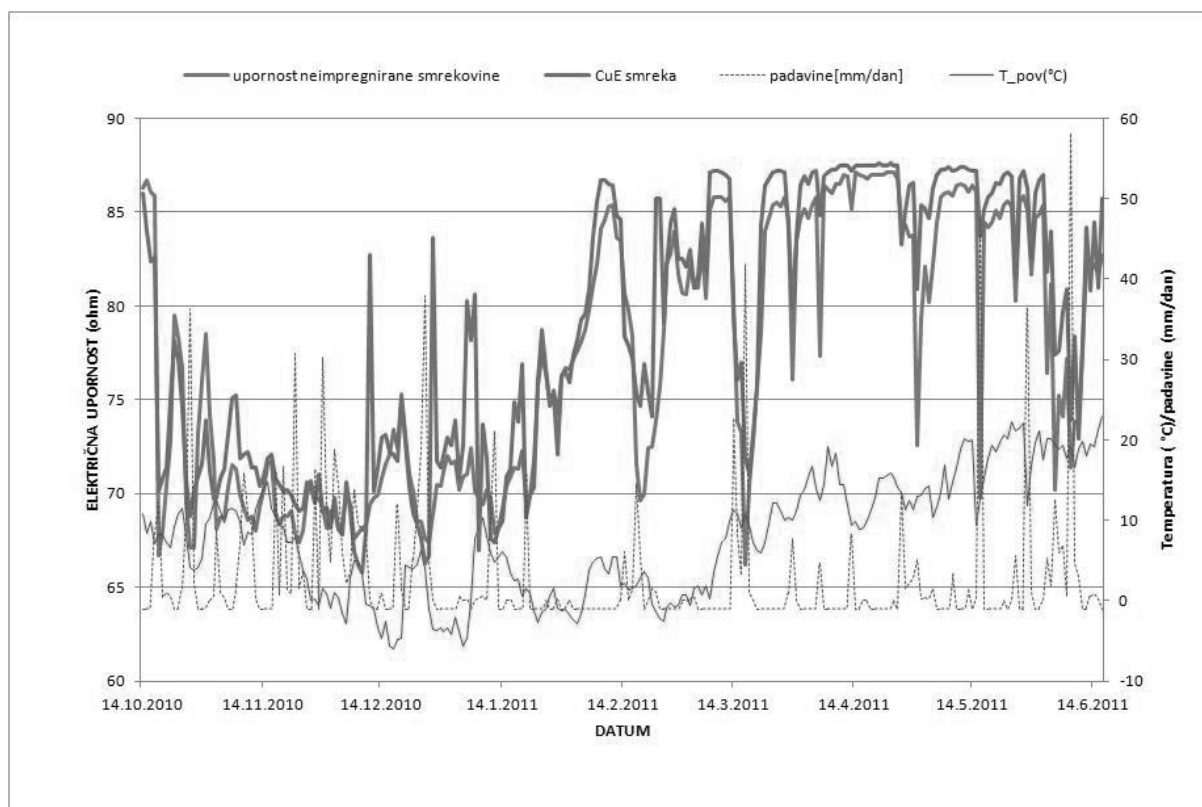
4.1.8 Vpliv impregnacije s protektinom na vlažnost impregniranega smrekovega lesa



Slika 17: Upornost smrekovine impregnirane s protektinom (viseči vzorec)

Smrekovi vzorci impregnirani s protektinom dobro odbijajo vodo. Vzorci so skozi celotno obdobje izpostavitve, tudi ob večjih padavinah oziroma ob povečani vlagi v zraku, preprečevali navlaževanje lesa. Upornost je padla le ob intenzivnejših padavinah (npr.: 18. 12. 2010, 14. 3. 2011). Iz slike 17 in podatkov o vremenu v času izpostavitve lahko potrdimo, da protektin v obdobju višjih temperatur in intenzivnejših padavinah dopušča navlaževanje.

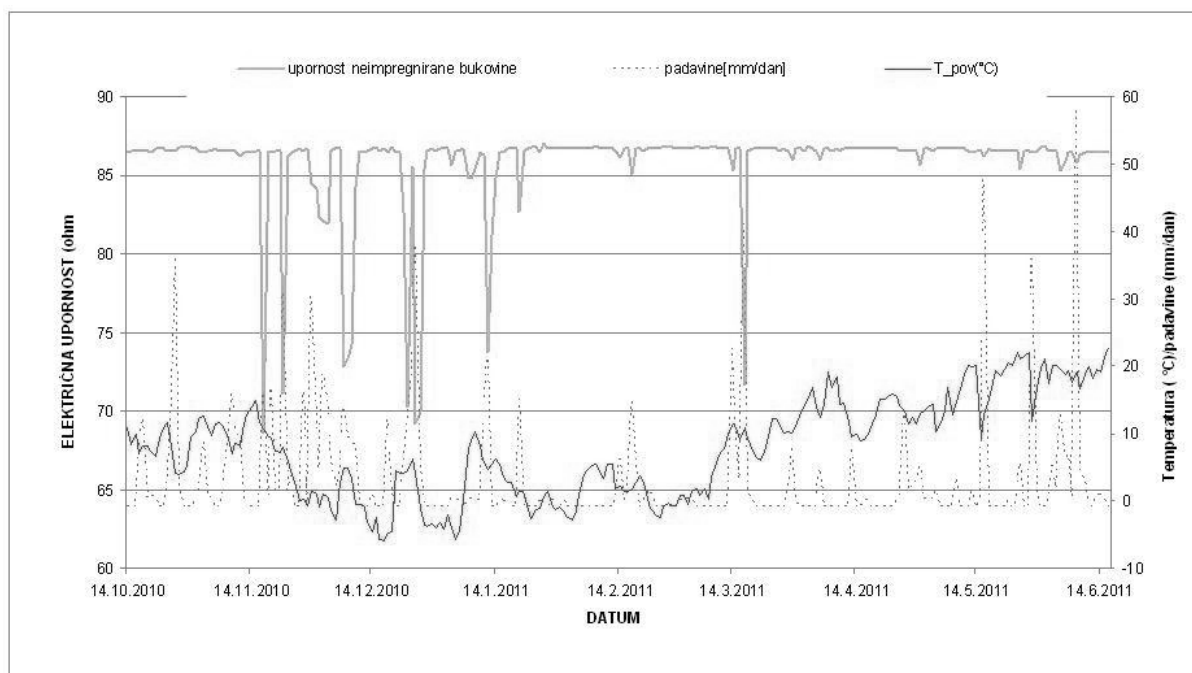
4.1.9 Vpliv impregnacije z baker-etanolaminskim pripravkom (CuE) na vlažnost impregniranega smrekovega lesa



Slika 18: Upornost smrekovine impregnirane z baker-etanolaminskim pripravkom (CuE) (viseči vzorec)

Baker-etanolaminski pripravek (CuE) se je pokazal kot slaba zaščita smrekovega lesa pred navlaževanjem. Iz slike 18 je skozi celotno obdobje vidno, da je krivulja električne upornosti pri lesu impregniranem s pripravki CuE primerljiva električni upornosti, ki smo jo določili pri neimpregniranih kontrolnih vzorcih. Ta rezultat je pričakovan, saj v baker-etanolaminskih pripravkih ni hidrofobnih učinkovin, ki bi preprečevale navlaževanje lesa. Iz slike 18 je razvidno, da imajo tako večdnevne padavine v obdobju od 17. 10. 2010 do 27. 10. 2010, kot tudi enodnevne, npr.: 28. 5. 2011, velik vpliv na vlažnost lesa zaščenega s pripravkom CuE.

4.1.10 Vlažnost visečih neimpregniranih bukovih vzorcev

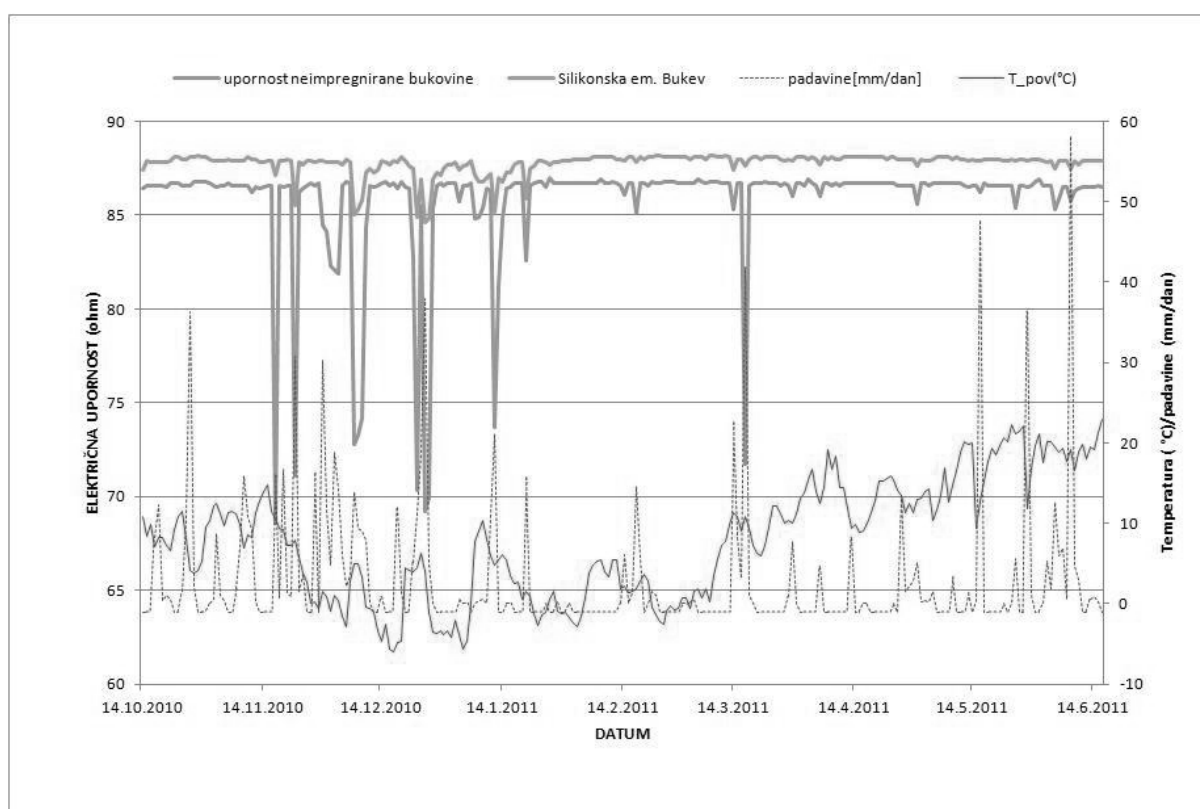


Slika 19: Upornost neimpregnirane bukovine (viseči vzorec)

Iz spremljanja vlažnosti na visečih vzorcih pri neimpregnirani bukovini opazimo, da se pojavi izrazitejše nihanje električne upornosti v obdobjih intenzivnejših in predvsem dolgotrajnejših padavin. V primerjavi z neimpregnirano smrekovino je opaziti manj izrazita nihanja lesne vlažnosti (sliki 10 in 19). Manjša nihanja kot pri smreki so po vsej verjetnosti vpliv drugačne anatomske zgradbe lesa, večje nagnjenosti smrekovine k pokanju in nenazadnje večje gostote bukovine. Difuzno porozni listavci imajo po celotnem preseku enakomerno razporejene in tudi približno enako velike traheje oziroma pore. Prodiranje vode v les pa do določene mere omejujejo tudi tile. Tile so mehurčaste tvorbe, ki lahko delno ali povsem blokirajo trahejo, to pomeni, da se prekrine transport vode, kar pa ni dobro za impregnacijo lesa, saj impregnacija ne prodre dovolj globoko. Manjši vpliv vlage na bukov les je tudi posledica manjšega premera trahejnih elementov ($100\ \mu\text{m}$) in večje gostote. Gostejši les se počasneje navlažuje kot redek les. Iz slike 19, na kateri je prikazana dinamika navlaževanja kontrolnega vzorca bukve, med 14. 11. 2010 in 14. 1. 2011 lahko vidimo močno nihanje upornosti, ki je posledica velike količine padavin, predvsem dežja. V zimskem času, med sneženjem, je vlažnost bukovine primerljiva z vlažnostjo smrekovine, ob ponovnem zvišanju temperatur in taljenju snega pa ponovno opazimo razlike v upornosti. Bukovini po taljenju snega upornost močnejše pade le 14. 3.

2011, pri smrekovem vzorcu pa je nihanje opazno skozi celotno obdobje. V primerjavi s smrekovim kontrolnim vzorcem je razlike v upornosti omenjenega datuma (14. 3. 2011) 5 ohmov, kar pomeni 2,5 odstotne točke večjo vlažnost smrekovega lesa. Skozi celotno obdobje pa so zabeležene še večje razlike med smrekovimi in bukovimi vzorci, največja je bila razlika v stopnji upornosti 18. 3. 2011, in sicer je bila tega dne upornost bukovine za 16,2 ohma višja od upornosti smrekovine, smrekov les je bil torej tega dne za 6,6 odstotne točke bolj navlažen kot bukovina.

4.1.11 Vpliv impregnacije s silikonsko emulzijo na vlažnost impregniranega bukevega lesa

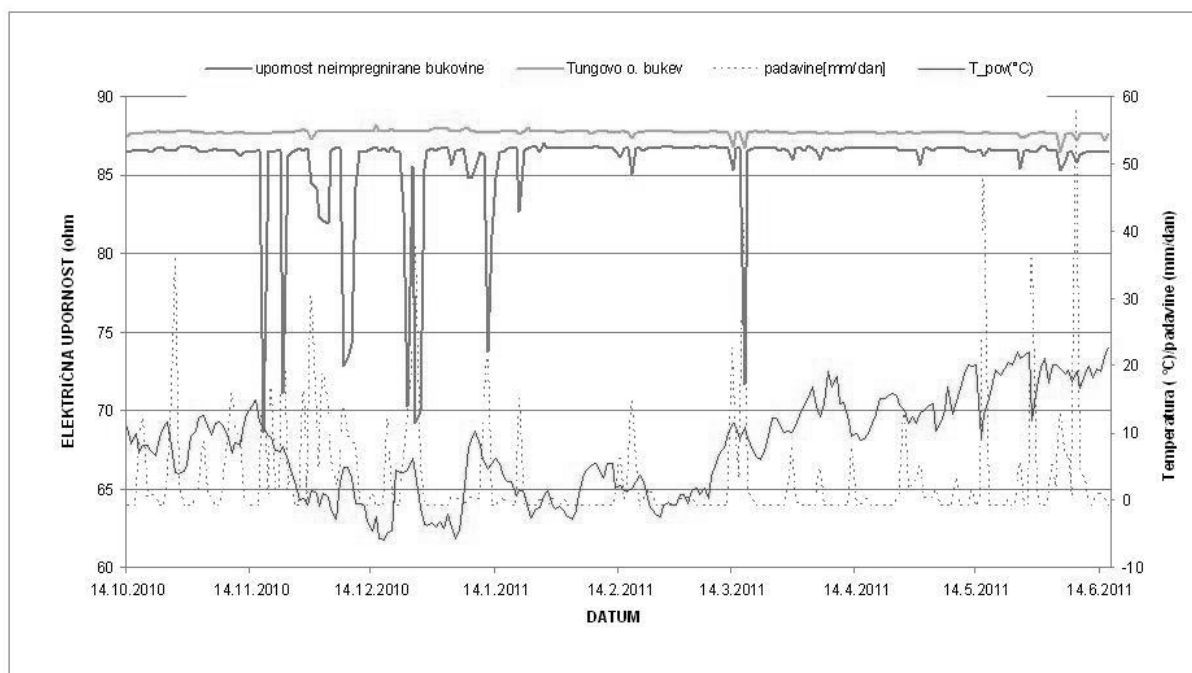


Slika 20: Upornost bukovine impregnirane s silikonsko emulzijo (viseči vzorec)

Silikonska emulzija na bukovih vzorcih relativno dobro ščiti les pred navzemom vlage, saj je električna upornost relativno neizrazito upadla/nihala tudi v obdobju daljšega deževja (17. 10. 2010–27. 10. 2010, 17. 11. 2010–24. 11. 2010, 22. 12. 2010–26. 12. 2010, 26. 4.

2011–30. 4. 2011). Opaziti je tudi veliko razliko med smrekovimi in bukovimi vzorci impregniranimi s silkonsko emulzijo, kjer lahko vidimo, da je pri bukovih vzorcih upornost upadla bistveno manj kot pri smrekovih vzorcih, tudi v obdobju daljšega deževja. Silikonska emulzija je relativno dobro ščitila les pred navlaževanjem skozi celotno obdobje, saj vidimo, da po osmih oziroma devetih mesecih kljub padavinam ni večjega nihanja upornosti. Eden izmed razlogov za boljšo vodoodbojnost impregnirane bukovine je povezan z boljšo impregnabilnostjo bukovine, zato smo bukovne vzorce lahko bolj prepojili z vodoodbojnim pripravkom kot vzporedne smrekove vzorce.

4.1.12 Vpliv impregnacije s tungovim oljem na vlažnost impregniranega bukovega lesa

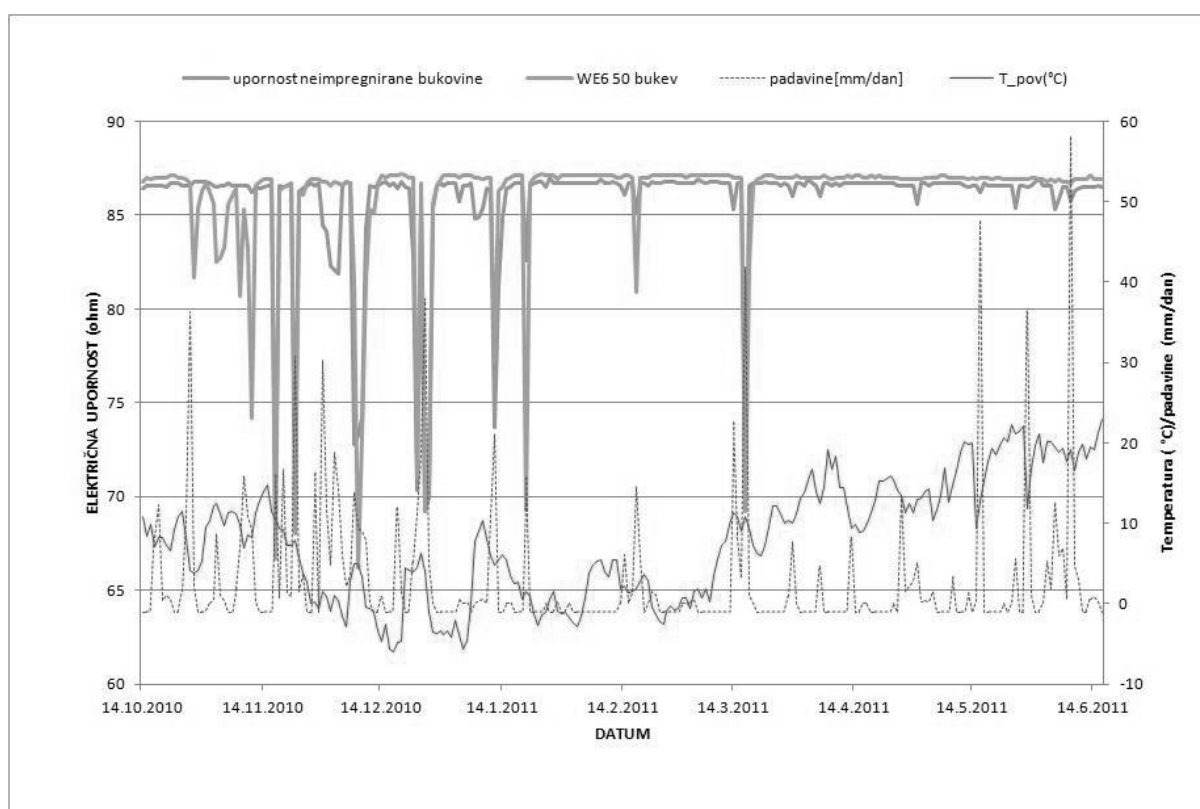


Slika 21: Upornost bukovine impregnirane s tungovim oljem (viseči vzorec)

Zelo dobra značilnost tungovega olja, globoko prodiranje v les, se je pokazala na bukovih vzorcih, saj iz slike 21 lahko vidimo, da je električna upornost skozi celotno obdobje skoraj konstantna. Tungovo olje je zelo fleksibilno, to pomeni, da dobro prenaša raztezanje in krčenje lesa zaradi temperaturnih in dimenzijskih sprememb. To se lepo odraža tudi pri

naših vzorcih, saj je tungovo olje dobro ščitilo les pred navlaževanjem skozi celotno obdobje izpostavitve vzorcev, kljub temu da bukev uvrščamo med bolj delujoče lesove. Zelo majhno nihanje upornosti se zazna le v obdobju višjih temperatur (nad 15 °C) ter v obdobju večjih količin padavin (nad 30 mm/m²). Kljub obdobjem večdnevnih padavin (17. 10. 2010–27. 10. 2010, 17. 11. 2010–24. 11. 2010, 22. 12. 2010–26. 12. 2010, 26. 4. 2011–30. 4. 2011) tungovo olje na bukovih vzorcih ni izgubilo svoje zaščitne vloge in je učinkovito ščitilo les.

4.1.13 Vpliv impregnacije s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 na vlažnost impregniranega bukovega lesa

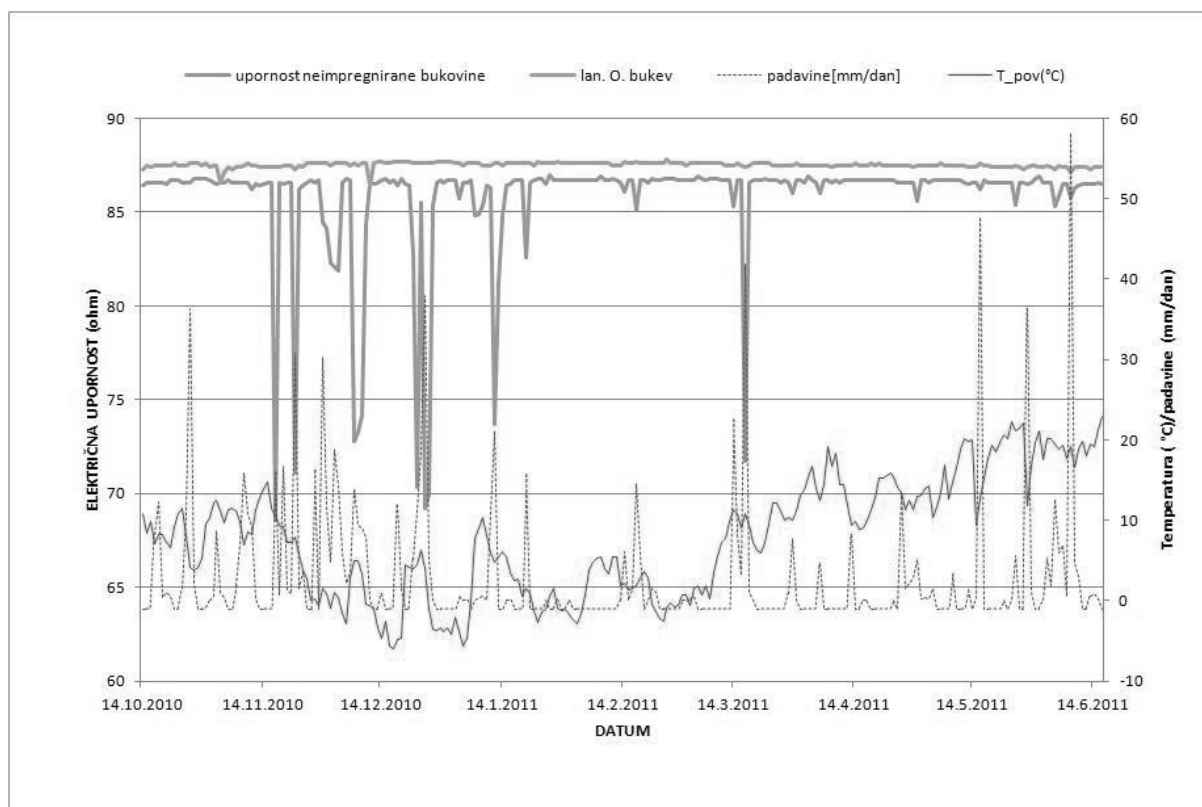


Slika 22: Upornost bukovine impregnirane s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 (viseči vzorec)

Ena izmed lastnosti polietilenskega voska je konstantna kakovost, ki jo zagotavlja kemijska proizvodnja voska. Primerjava bukovih in smrekovih vzorcev jasno pokaže, da polietilenski vosek bistveno bolje deluje na bukovini kot na smrekovini (sliki 22 in 12).

Najpomembnejši razlog za boljše delovanje je povezan z boljšo impregnabilnostjo bukovine, kar se odraža tudi v laboratorijskem merilu (Lesar, 2011). Upornost na bukovih vzorcih, impregniranih z oksidiranim polietilenskim voskom, je relativno malo nihala v obdobju, ko dalj časa ni bilo veliko padavin. Oksidiran polietilenski vosek s 50-odstotno koncentracijo emulzije je v obdobju intenzivnih padavin nekoliko slabše preprečeval prodiranje vode v les, kar lahko razberemo iz slike 22, kjer vidimo nekoliko močnejše nihanje upornosti v obdobju od 17. 10. 2010 do 27. 10. 2010 in od 17. 11. 2010 od 11. 12. 2010. Po drugi strani v obdobju po 14. 3. 2011 lahko iz slike 22 vidimo, da enodnevne padavine niso bistveno znižale upornosti lesa oz. zvišale njegove vlažnosti, kar nakazuje, da polietilenski vosek kljub vsemu deluje vodoodbojno. To nam potrjujejo naslednji podatki: 16. 5. 2011, 28. 5. 2011 in 8. 6. 2011, kjer lahko razberemo, da je v navedenih terminih padlo veliko padavin, tudi do 58 mm/m², vendar v upornosti ni zaznati večjega povečanja (slika 22).

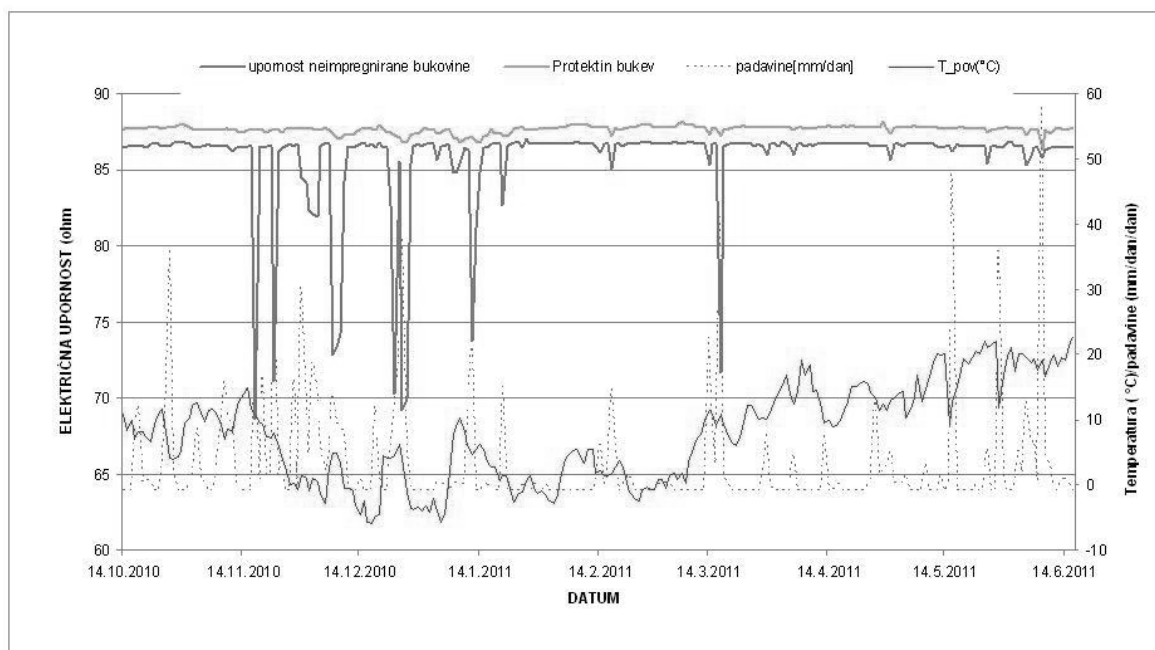
4.1.13 Vpliv impregnacije z lanenim oljem na vlažnost impregniranega bukovega lesa



Slika 23: Upornost bukovine impregnirane z lanenim oljem (viseči vzorec)

Vzorci impregnirani z lanenim oljem izkazujejo dobro odpornost na vlago, podobno kot vzorci prepojeni s tungovim oljem (sliki 23 in 21). Skozi celotno obdobje izpostavitve (8 mesecev) nihanje vlažnosti skoraj ni opazno. Kljub večdnevnim padavinam v obdobju 17. 10. 2010–27. 10. 2010, 17. 11. 2010–24. 11. 2010, 22. 12. 2010–26. 12. 2010 in enodnevnim velikim količinam padavin 16. 5. 2011, 28. 5. 2011 in 8. 6. 2011 električna upornost lesa ostaja skoraj konstantna. Pri bukovih vzorcih se je laneno olje izkazalo za najboljšo zaščito pred navlaževanjem.

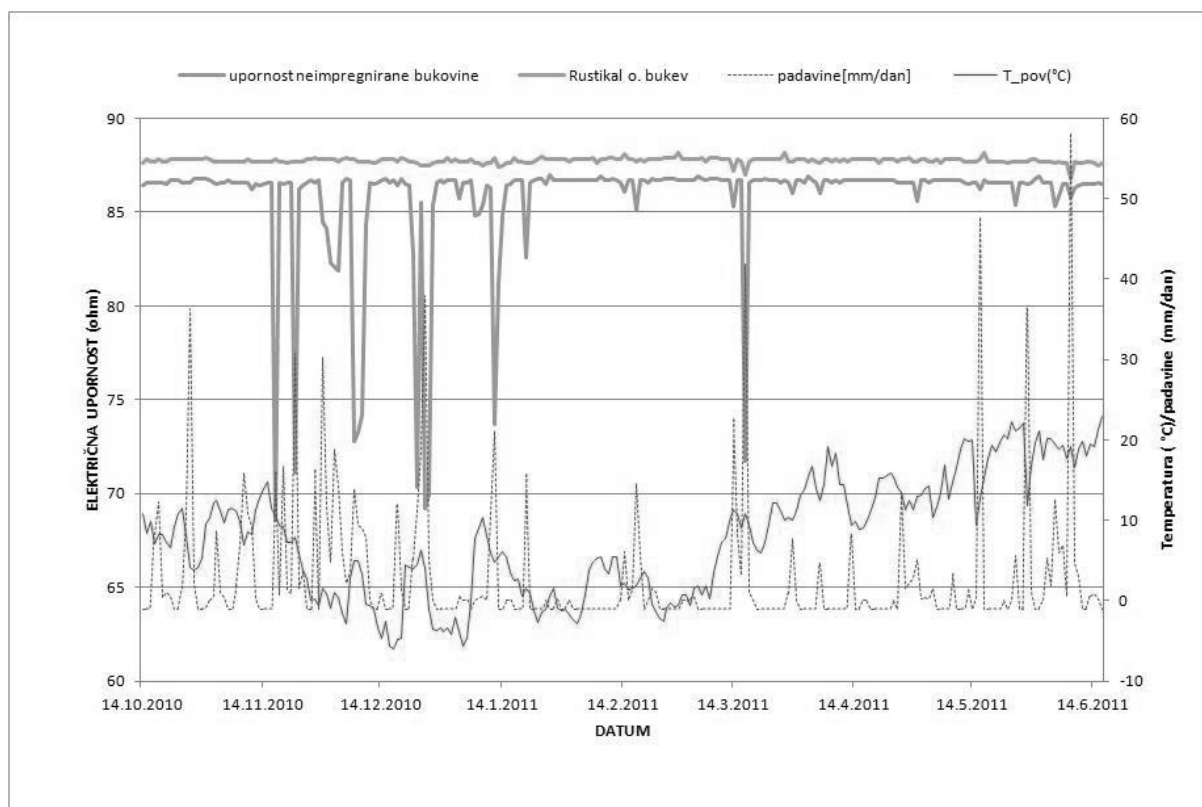
4.1.15 Vpliv impregnacije s protektinom na vlažnost impregniranega bukovega lesa



Slika 24: Upornost bukovine impregnirane s protektinom (viseči vzorec)

Bukovi vzorci premazani s protektinom dobro odbijajo vodo (slika 24). Impregnirani vzorci so skozi celotno obdobje izpostavitve, tudi ob večjih padavinah, zadrževali vodo na površini lesa. Upornost je minimalno upadla (le malo bolj kot pri bukovini impregnirani z lanenim oljem) le ob večjih količinah padavin (npr.: od 14. 11. 2010 do 14. 1. 2011, 8. 6. 2011).

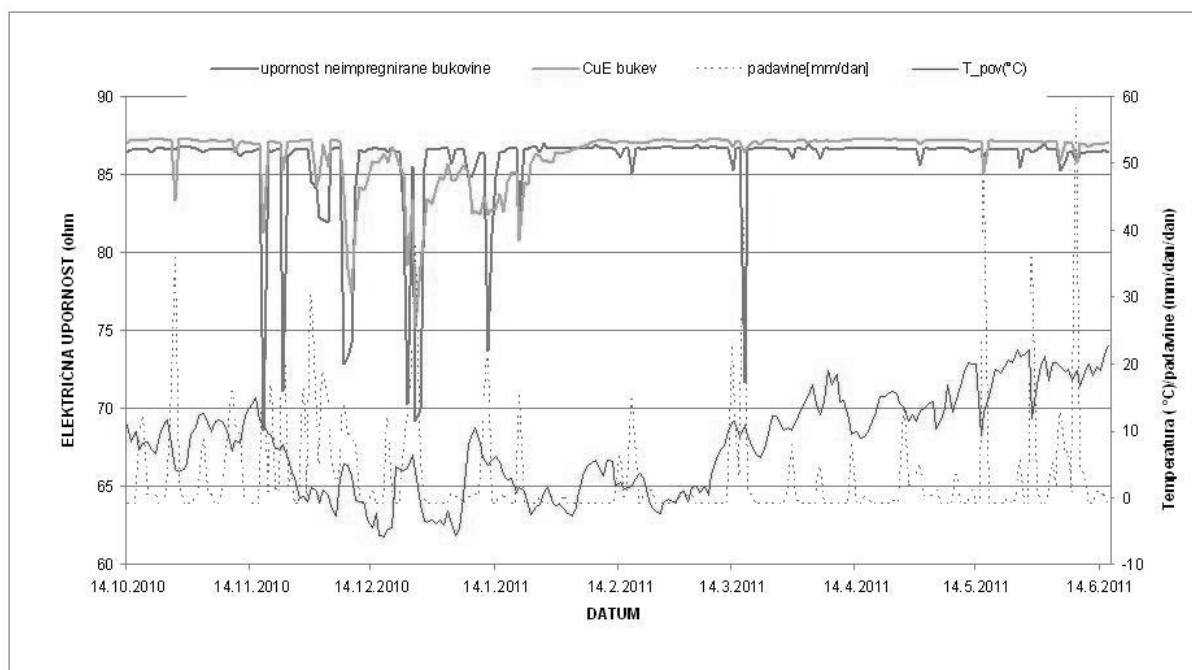
4.1.16 Vpliv impregnacije z rustikal oljem na vlažnost impregniranega bukovega lesa



Slika 25: Upornost bukovine impregnirane z rustikal oljem (viseči vzorec)

Rustikal olje je zelo dobro ščitilo bukovino pred navlaževanjem skozi celotno obdobje izpostavitve. Manjši padec električne upornosti je opazen v obdobju, ko je v kratkem časovnem obdobju več dni zapored padla večja količina dežja (nad 30 mm/m^2 – 13., 14. 3. 2011 ter 12., 13., 14. 6. 2011). Rustikal olje se je na bukovih vzorcih izkazalo za zelo dobro zaščito, saj lahko opazimo, da je preprečevalo vlaženje lesa skozi celotno obdobje izpostavitve. Rustikal olje lahko primerjamo s tungovim in lanenim oljem, saj je njihovo delovanje na les pri vseh treh primerljivo (slike 25, 21 in 23). Pri smrekovih vzorcih, impregniranih z rustikal oljem smo opazili, da je bila učinkovitost zašite proti koncu zmanjšana (slika 16). Po drugi strani pa pri bukovih vzorcih, prepojenih z rustikal oljem, zabeležimo drugačen, boljši rezultat, saj je les kvalitetno zaščiten pred vlago v celotnem obdobju izpostavitve.

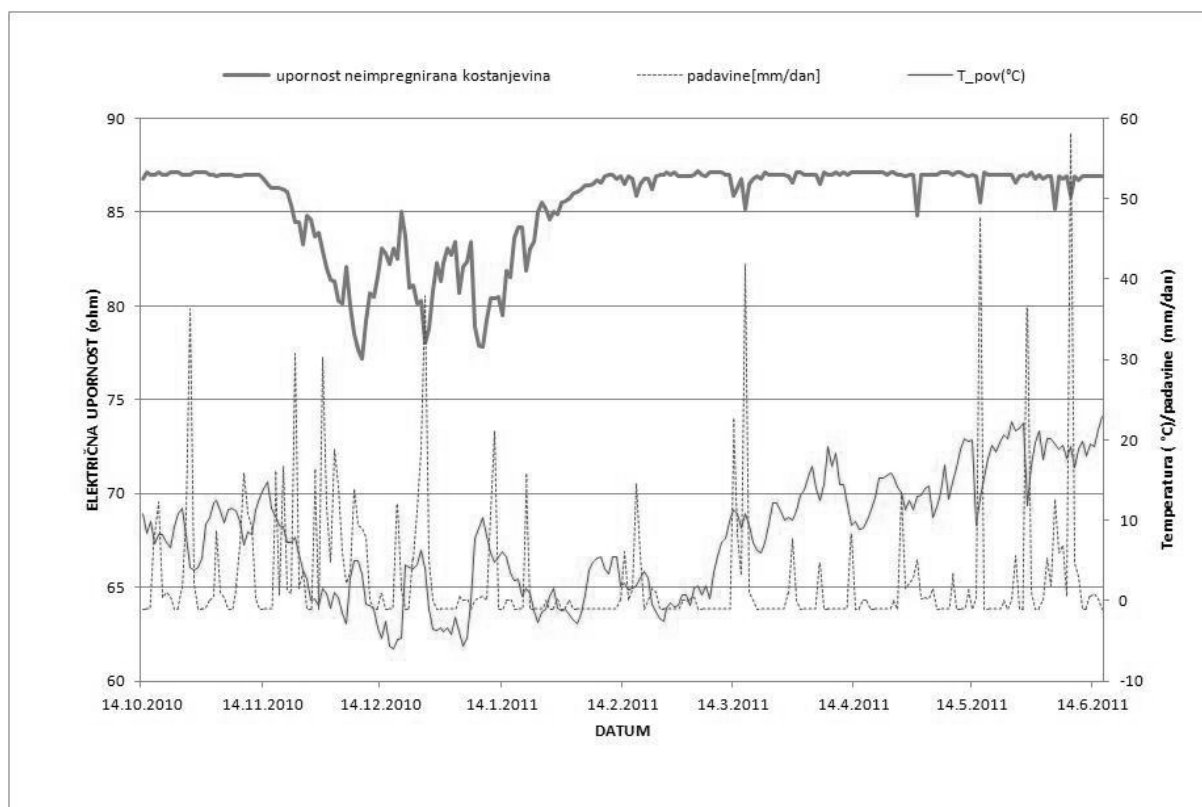
4.1.17 Vpliv impregnacije z baker-etanolaminskim pripravkom (CuE) na vlažnost impregniranega bukovega lesa



Slika 26: Upornost bukovine impregnirane z baker-etanolaminskim pripravkom (CuE) (viseči vzorec)

Baker-etanolaminski pripravek (CuE) resda ni namenjen za zaščito pred navlaževanjem, vendar je kljub temu do določene mere zaščitil bukovino pred vlaženjem v zunanjih pogojih. Na začetku izpostavitve vzorcev, predvsem v obdobju nižjih temperatur, lahko opazimo nekoliko večje nihanje upornosti, ki je trajalo nekje od 14. 11. 2010 do 14. 1. 2011, kar je verjetno posledica večdnevni padavin, v kasnejšem obdobju pa lahko opazimo, da je bila električna upornost dokaj konstantna, razen nihanja z dne 16. 5. 2011, ki je posledica obilnih padavin – $47,7 \text{ mm/m}^2$, ter 8. 6. 2011, ko je padlo kar $58,2 \text{ mm/m}^2$ dežja. To pomeni, da je biocidni pripravek dobro ščitil les pred navlaževanjem. V primerjavi s smrekovino je bukovina impregnirana z baker-etanolaminskim pripravkom bolje zaščitena pred navlaževanjem kot smrekovi vzorci (sliki 18 in 26).

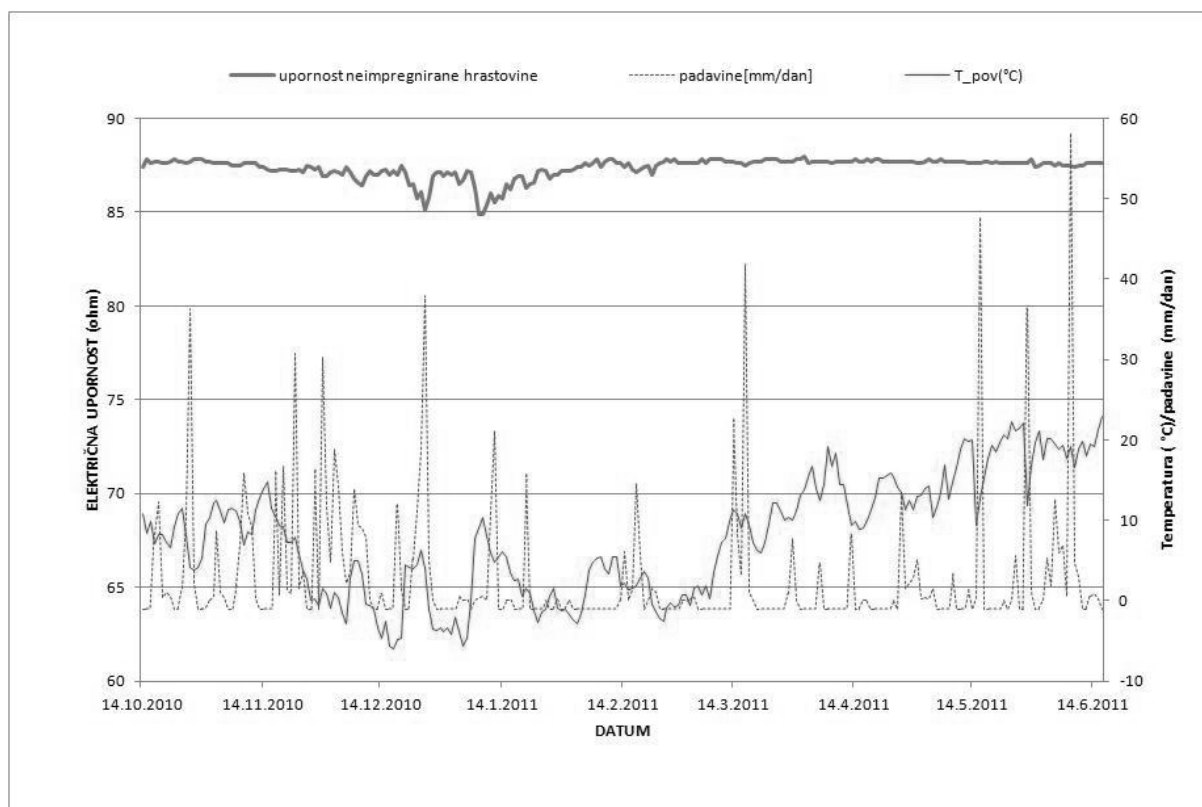
4.1.18 Vlažnost visečih neimpregniranih kostanjevih vzorcev



Slika 27: Upornost neimpregnirane kostanjevine (viseči vzorec)

Primerjava dinamike neimpregnirane kostanjevine z bukovino pokaže, da je vlažnost kostanjevega lesa praviloma nižja od vlažnosti bukovine. Eden od razlogov za nižjo vlažnost kostanjevine se skriva v dejstvu, da so pore (traheje) pri kostanju velike, vendar so v ranem lesu večinoma otiljene. Za kostanj je značilna visoka naravna trajnost in eden od razlogov za to dejstvo je verjetno tudi hidrofobnost lesa, kar lahko opazimo tudi na sliki 27, kjer kljub temu da v obdobju med 14. 11. 2010 in 14. 1. 2011 pade veliko padavin, električna upornost kostanja pade precej manj, kot smo zaznali pri bukovem, kaj šele smrekovem lesu. To nakazuje na to, da naravna odpornost ni povezana le z deležem ekstraktivov v lesu, temveč tudi z anatomsko in kompleksno kemijsko zgradbo. Iz slike 27 je dobro opazno, da šibke dnevne padavine na upornost kostanja vplivajo v manjši meri kot na upornost bukovega lesa.

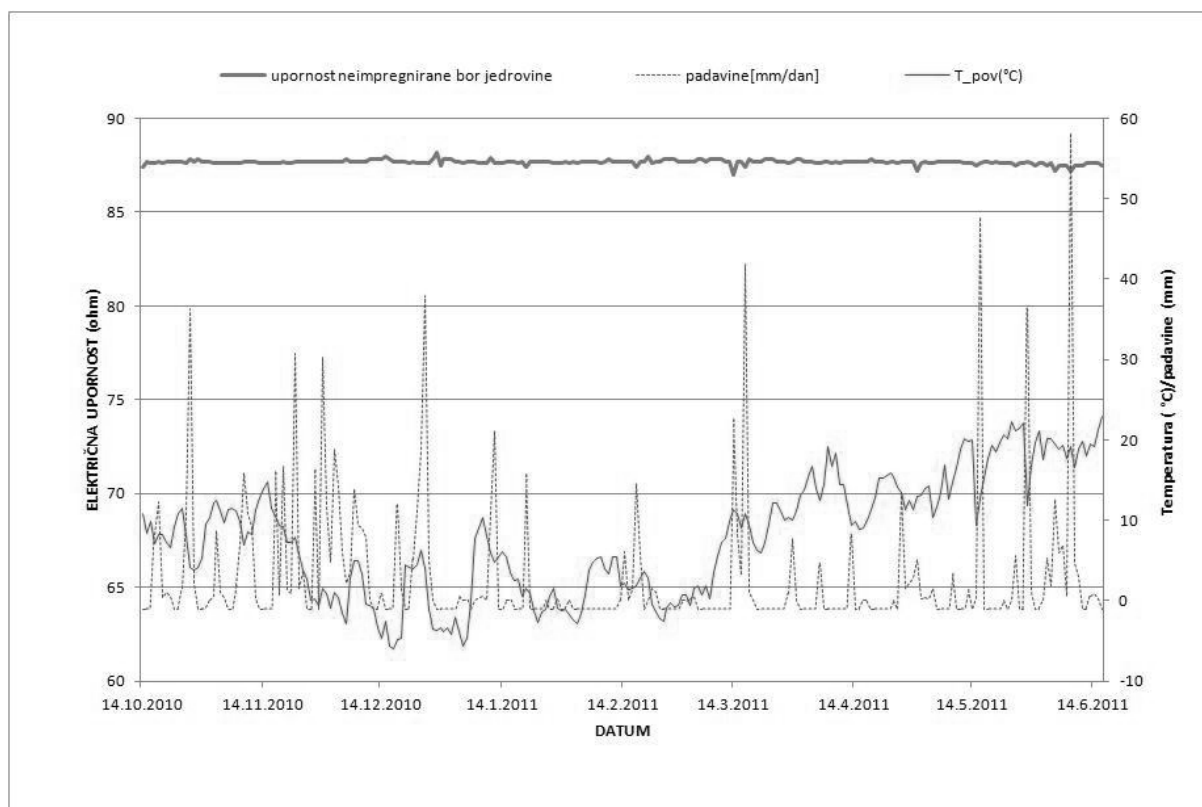
4.1.19 Vlažnost visečih neimpregniranih hrastovih vzorcev



Slika 28: Upornost neimpregnirane hrastovine (viseči vzorec)

Tudi hrastov les ima dobro naravno odpornost, kar dokazujejo številne hrastove konstrukcije. Podobno kot pri kostanjevem lesu je tudi vlažnost hrastovega lesa nižja ter manj nihajoča kot vlažnost bukovine. Razlogi za nižjo vlažnost hrastovine so primerljivi z razlogi opisanimi pri kostanjevem lesu. Če podrobneje analiziramo gibanje vlažnosti pri kostanjevem lesu, iz slike 28 lahko razberemo, da je upornost v hrastovem lesu izrazito padla v obdobju med 14. 12. 2010 in 14. 1. 2011. Vzrok za padec električne upornosti so intenzivne padavine v tem obdobju. Iz slike 28 je v razvidno, da padavine, ki so padle v kasnejšem obdobju, ne vplivajo tako izrazito na vlažnost kot te v hladnem zimskem obdobju. Razlog za to je po vsej verjetnosti temperatura. V toplejših mesecih je več možnosti, da se les posuši, kot v hladnejših mesecih.

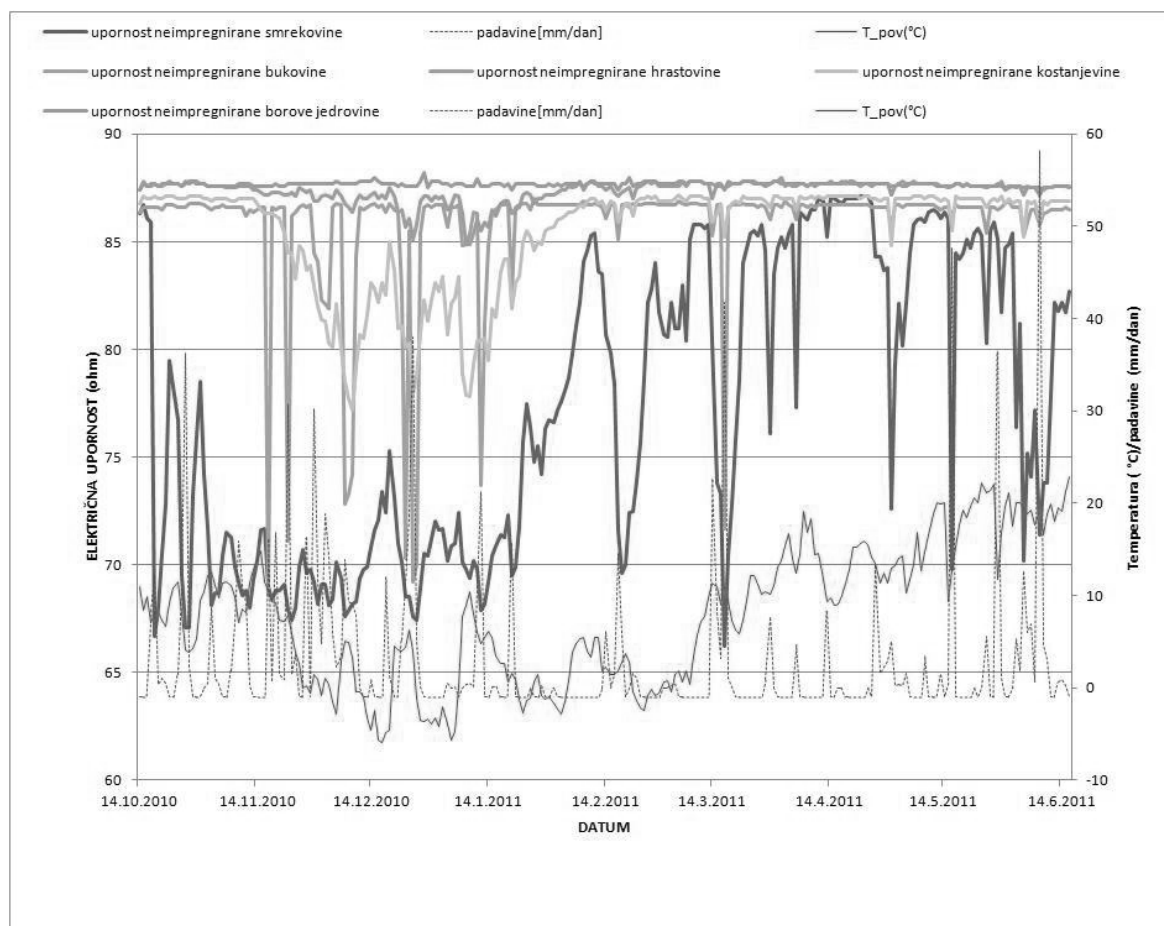
4.1.20 Vlažnost visečih neimpregniranih vzorcev jedrovine borovine



Slika 29: Upornost neimpregnirane borove jedrovine (viseči vzorec)

Borova jedrovina se je izkazala kot naravno najbolj odporen les na navlaževanje med opazovanimi vzorci, ki so bili daljše časovno obdobje izpostavljeni zunanjim vremenskim vplivom. Kot je razvidno iz slike 29, je ves čas izpostavitve zaznati zelo majhno nihanje električne upornosti. Večjih padcev električne upornosti niso povzročila niti daljša obdobja obilnejših padavin (npr.: 14. 3. 2011—18. 3. 2011), ki so sicer precej bolj izrazito vplivala na druge vrste lesa (največje nihanje upornosti je bilo opaziti pri smrekovini (slika 10)). Za borovo jedrovino je značilno, da so se parenhimske celice, kjer je škrob – hrana za lesne škodljivce, pretvorile v jedrovinske snovi. Celične stene v jedrovini so prepojene z ekstraktivi oz. jedrovinskimi snovmi (Čufar, 2006), ki se kopičijo v lumnih ter lesu povečujejo odpornost in trajnost. Majhno nihanje upornosti je tako posledica visokega deleža ekstraktivov in anatomske zgradbe jedrovine. Podobno, kot smo zapisali pri kostanjevih vzorcih, je iz teh podatkov jasno razvidno, da odpornost na glive ni povezana le z deležem in sestavo ekstraktivov, temveč na odpornost v praksi vplivajo tudi drugi dejavniki, kot na primer vodoodbojnost.

4.1.21 Primerjava vlažnosti vseh visečih neimpregniranih vzorcev



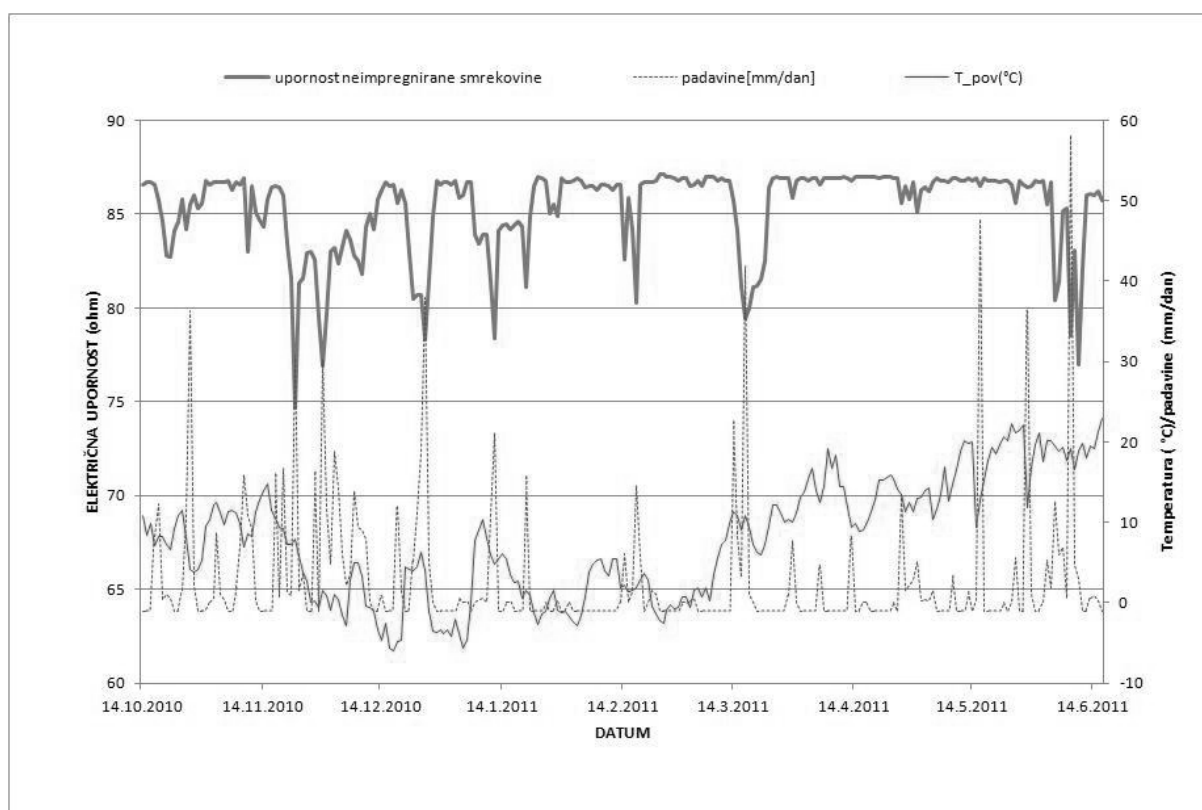
Slika 30: Upornost vseh visečih neimpregniranih vzorcev

Pri kontrolnih vzorcih lesa smreke, hrasta, kostanja, borove jedrovine in bukke opazimo, da se drevesne vrste, za katere je znano, da so bolj odporne, tudi manj navlažujejo v zunanjih pogojih. Hrastovina in borova jedrovina se med testiranimi vzorci izkažeta za drevesni vrsti, kjer je vlažnost najbolj konstantna. Kostanjevina je rahlo boljša od bukovine. Pri lesu kostanja opazimo nihanje upornosti v obdobju med 14. 11. 2010 in 14. 1. 2011, ko zabeležimo več zaporednih deževnih dni. Pri bukovini pa je v tem istem obdobju nihanje še bolj intenzivno, prav tako tudi v kasnejšem obdobju opazimo rahlo nihanje upornosti. Najslabše se je izkazala smrekovina, ki kaže zelo slabo naravno vodoodbojnost. Smrekovini je upornost med preizkušanimi vzorci najbolj intenzivno

nihala. Če pogledamo upornost na začetku izpostavitve, je pri skoraj vseh vzorcih nekje na 87 ohm, pri kostanju pade do 84 ohm, pri bukvi do 82 ohm, pri hrastu do 86 ohm in pri borovi jedrovini na 86,5 ohm, medtem ko je pri smreki upornost padla do 66 ohmov, kar v povprečju pomeni za 7 odstotnih točk višjo lesno vlažnost v primerjavi z ostalimi lesnimi vrstami.

4.2 VPLIV IMPREGNACIJE S HIDROFOBNI MI PRIPRAVKI NA ELEKTRIČNO UPORNOST LEŽEČIH VZORCEV

4.2.1 Vlažnost ležečih neimpregniranih smrekovih vzorcev

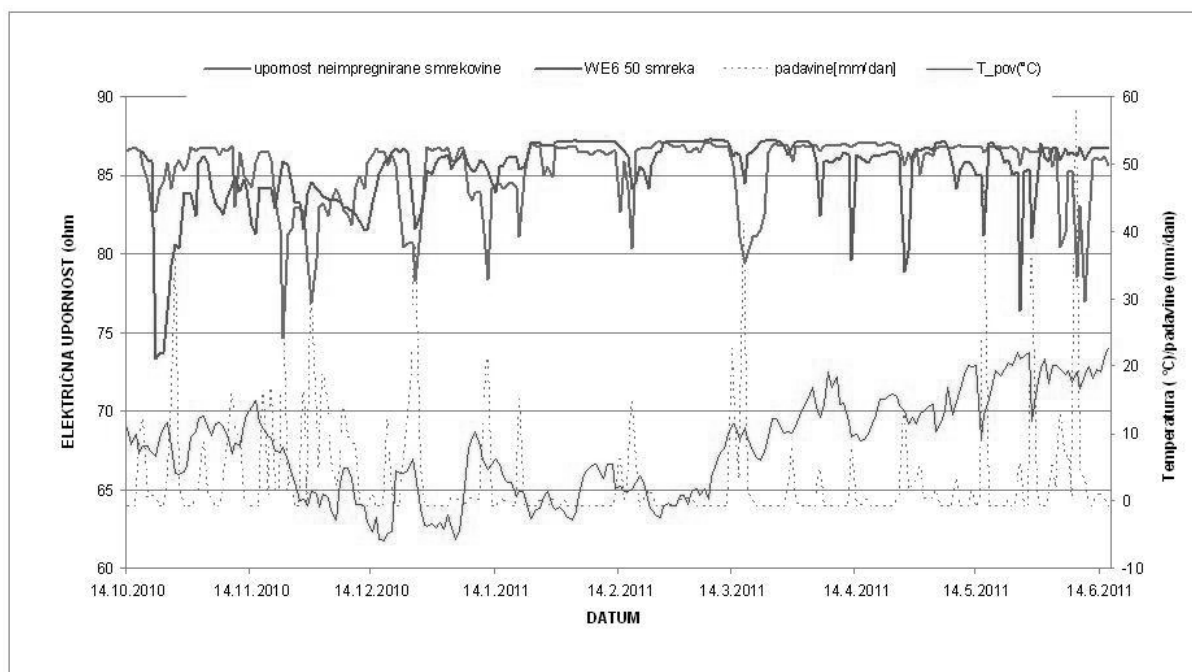


Slika 31: Upornost neimpregnirane smrekovine (ležeči vzorec)

V celotnem obdobju izpostavitve vzorcev opazimo izrazito nihanje upornosti, vlažnost vzorca se dobro ujema s podatkom o padavinah in temperaturi zraka. V mesecih od

decembra do aprila lahko opazimo izrazito naraščanje temperature zraka (na vrednosti okoli 20 °C) ter izrazito povečanje padavin, kar se jasno odraža tudi na vlažnosti neimpregniranih vzorcev. Na primer, v obdobju od 23. 12. 2010 do 26. 12. 2010 lahko iz podatkov agencije Arso opazimo, da se je v tem obdobju talil sneg, kar se odraža tudi v povečani vlažnosti lesa (slika 31). Nihanje električne upornosti je izrazito skozi celotno obdobje, vendar je v primerjavi s smrekovimi vzorci, ki so bili izpostavljeni vertikalno, pri horizontalno izpostavljenih vzorcih nihanje manj izrazito, kar je verjetno tudi odraz anatomske zgradbe lesa, saj les v prečni smeri najbolj vpija vodo. V primerjavi z neimpregnirano smrekovino, ki je bila izpostavljena vertikalno, je razlike v električni upornosti do 10 ohm, kar pomeni do 10 odstotnih točk višjo vlažnost lesa pri vertikalno izpostavljeni smrekovini.

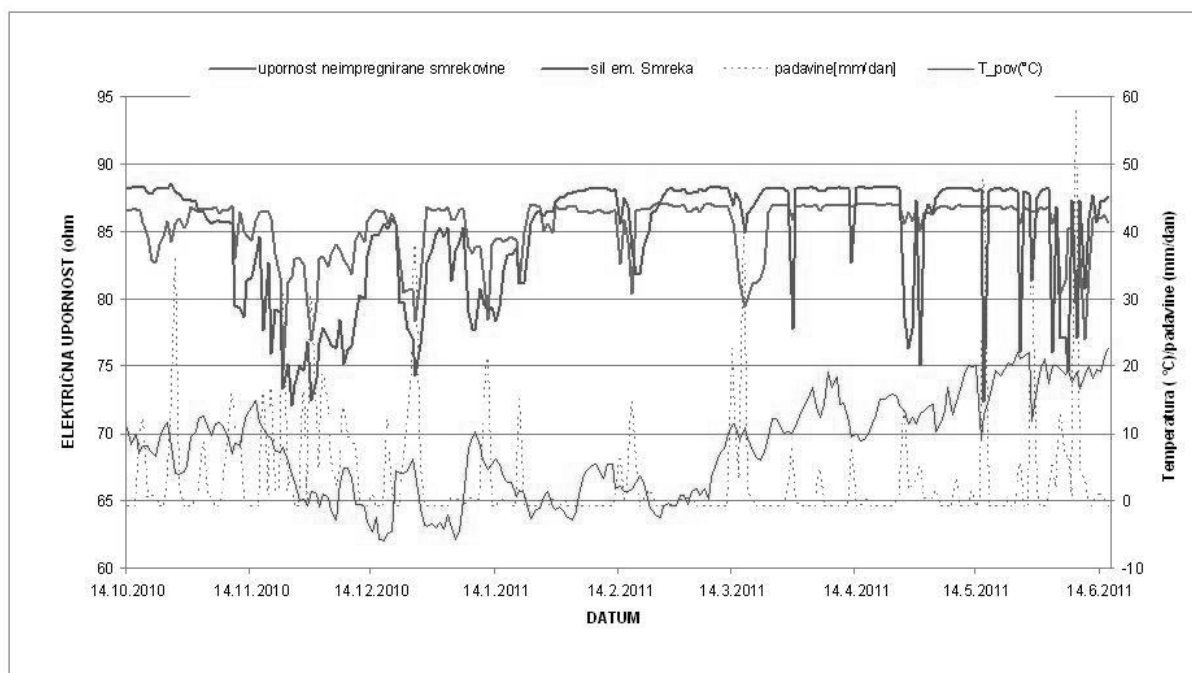
4.2.2 Vpliv impregnacije s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 na vlažnost impregniranega smrekovega lesa



Slika 32: Upornost smrekovine impregnirane s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 (ležeči vzorec)

Oksidiran polietilenski vosek s 50 % koncentracijo emulzije je ob padavinah izgubljal svojo funkcijo zaščite lesa pred vdorom vlage, saj lahko iz slike 32 zaznamo izrazit padec električne upornosti. Upornost je upadla že ob manjših padavinah (npr.: 15. 4. 2011, 12. 5. 2011). Padec upornosti je tudi rezultat tega, da voski na površini lesa ne reagirajo kemijsko, ampak tvorijo film, ki ščasoma izgublja svojo funkcijo, kar pomeni, da bi ga bilo potrebno obnoviti, v kolikor želimo obdržati les varen pred zunanjimi vplivi. Voski na površini po ponavljajočih se obilnejših padavinah in temperaturnih nihanjih močno razpokajo in ustvarijo številne kapilare, ki pospešijo prodiranje vode v les. Pri vzorcih, ki so bili izpostavljeni v ležečem položaju, je problematično to, da je voda na njih stala (ni odtekla), se pravi, da je lahko dlje časa navlaževala vosek, kasneje tudi les. Rezultat delovanja padavin je viden na sliki 32, ko lahko opazimo, da je bila okoli 14. 4. 2011 in tudi kasneje upornost pri impregniranem lesu precej nižja kot pri kontrolnem vzorcu, kar je posledica tega, da je voda na vosku stala, počasi prodirala v les in ga navlaževala, s tem pa mu je padala upornost. Po drugi strani, pa je zaradi voskov na površini voda iz lesa tudi težje izhlapela in tako izraziteje vplivala na vlažnost v sredini vzorcev.

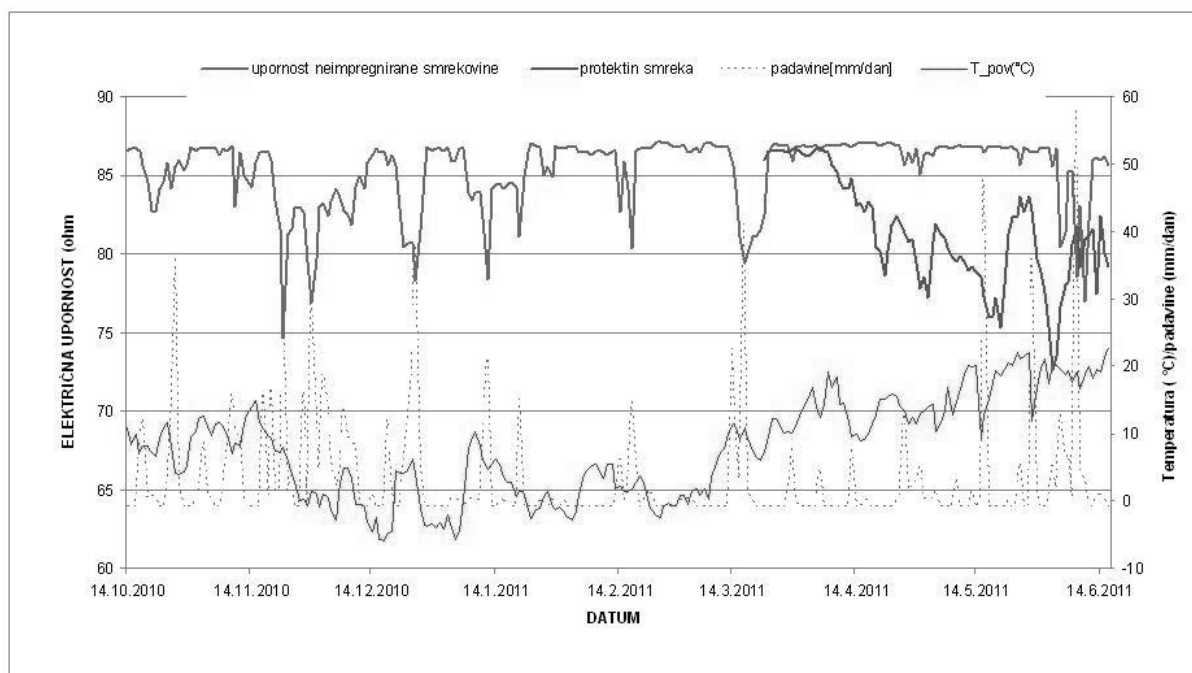
4.2.3 Vpliv impregnacije s silikonsko emulzijo na vlažnost impregniranega smrekovega lesa



Slika 33: Upornost smrekovine impregnirane s silikonsko emulzijo (ležeči vzorec)

Silikonska emulzija se je na smrekovih vzorcih izpostavljenih v ležečem stanju izkazala za relativno slabo zaščito lesa pred navlaževanjem. V primerjavi s kontrolnimi vzorci smrekovine je upornost s silikonsko emulzijo impregniranega lesa v nekaterih obdobjih (npr. od 10. 11. 2010 do 20. 12. 2010) še nižja, kar verjetno pomeni, da je voda prodrla preko sloja silikonske emulzije in počasi, a vidno, navlaževala les, hkrati pa v obdobju višjih temperatur voda ni mogla izhlapeti v ozračje, kot pri neimpregniranih vzorcih. V kasnejšem obdobju izpostavitve (12. 3. 2011, 15. 5. 2011, 28. 5. 2011, ...) so imele padavine zelo hiter vpliv na les. Relativno hitro po padavinah je padala tudi upornost lesa, kar pomeni, da je vlažnost lesa naraščala. V primerjavi z olji se je silikonska emulzija izkazala za bistveno slabšo zaščito.

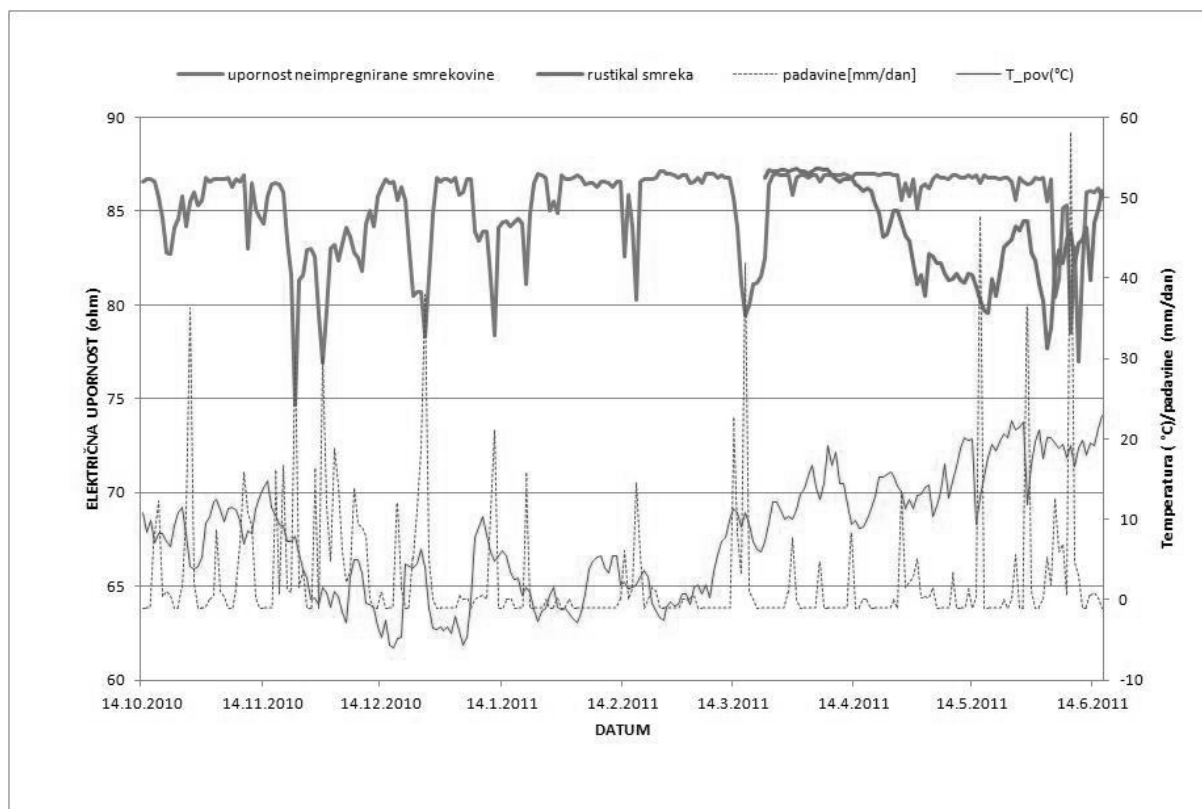
4.2.4 Vpliv impregnacije s protektinom na vlažnost impregniranega smrekovega lesa



Slika 34: Upornost smrekovine impregnirane s protektinom (ležeči vzorec)

Protektin (vodna emulzija različnih smol in voskov) na smrekovih vzorcih v ležečem položaju ni preprečil vdora vode v les. Protektin in ostala olja lesa ne varujejo pred navzemom vlage, v določenem pogledu pa delujejo vodoodbojno. Vodoodbojnost pride bolj do izraza pri visečih vzorcih, pri vzorcih, ki ležijo, pa ne pride do izraza, saj voda z njih ne odteka dovolj hitro. Iz slike 34 in podatkov o vremenu v času izpostavitve lahko potrdimo, da protektin v obdobju višjih temperatur in povečanem deležu vlage v zraku lesu dopušča navlaževanje horizontalnih vzorcev. Zaradi tehničnih težav smo podatke beležili le od 22. 3. 2011 naprej, vendar je iz slike 34 razvidno, da protektin slabo ščiti les, saj vsakršne padavine (13. 4. 2011, 26. 4. 2011–4. 5. 2011), v manjših ali večjih količinah, povzročajo precejšen padec električne upornosti lesa. Pri visečih smrekovih vzorcih se je protektin izkazal za enega boljših zaščitnih premazov, medtem ko vidimo, da je na ležečih smrekovih vzorcih protektinska zaščita zelo slaba. Tudi v tem primeru na slabši rezultat vpliva stoječa voda, ki omogoča dolgotrajnejše namakanje vzorcev.

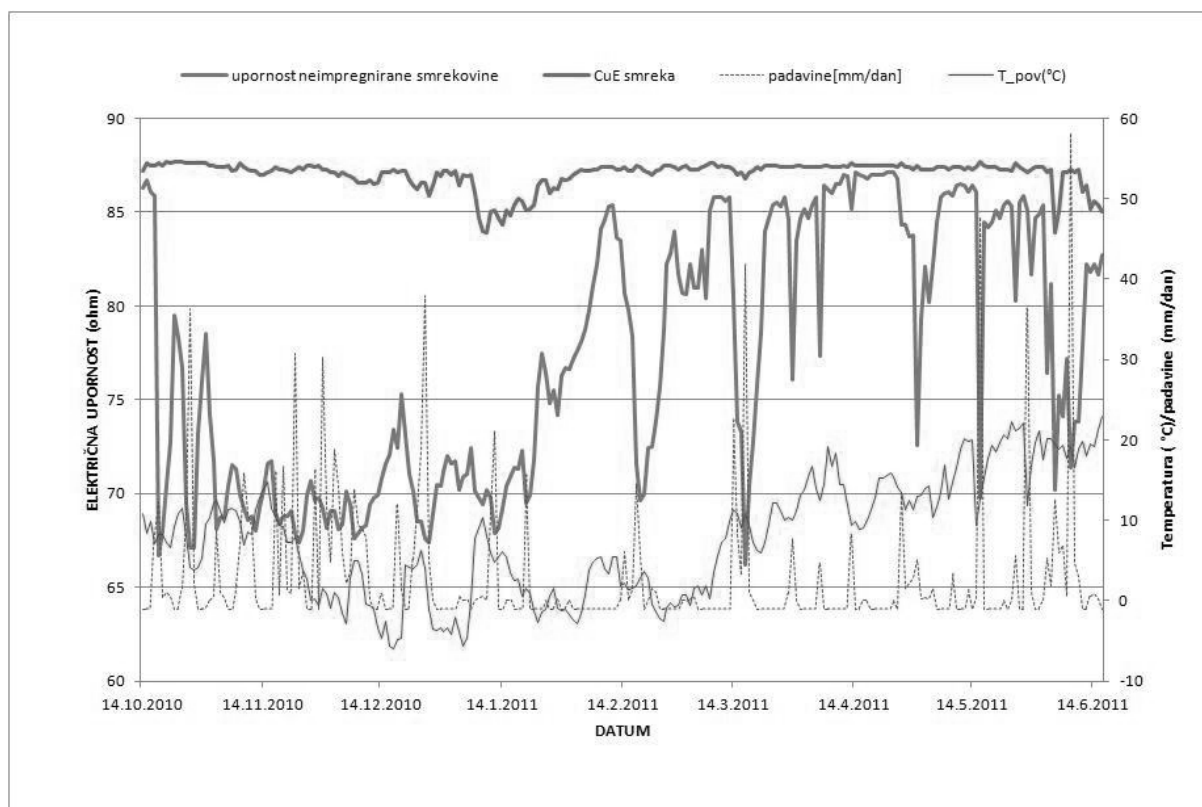
4.2.5 Vpliv impregnacije z oljem rustikal na vlažnost impregniranega smrekovega lesa



Slika 35: Upornost smrekovine impregnirane z rustikal oljem (ležeči vzorec)

Rustikal olje je slabo ščitilo les pred navlaževanjem. Pri zaščiti lesa z oljem se pri horizontalni kot tudi pri vertikalno izpostavljeni smrekovini, impregnirani z oljem rustikal, pokaže dejstvo, da po določenem času hidrofoбно delovanje olja rustikal izzveni. Zaradi tehničnih težav so beleženi le podatki od 14. 3. 2011 naprej, kjer se vidi, da je po 14. 4. 2011 upornost po vseh padavinah zelo padla (slika 35), kar je neposreden dokaz za navlaževanje lesa.

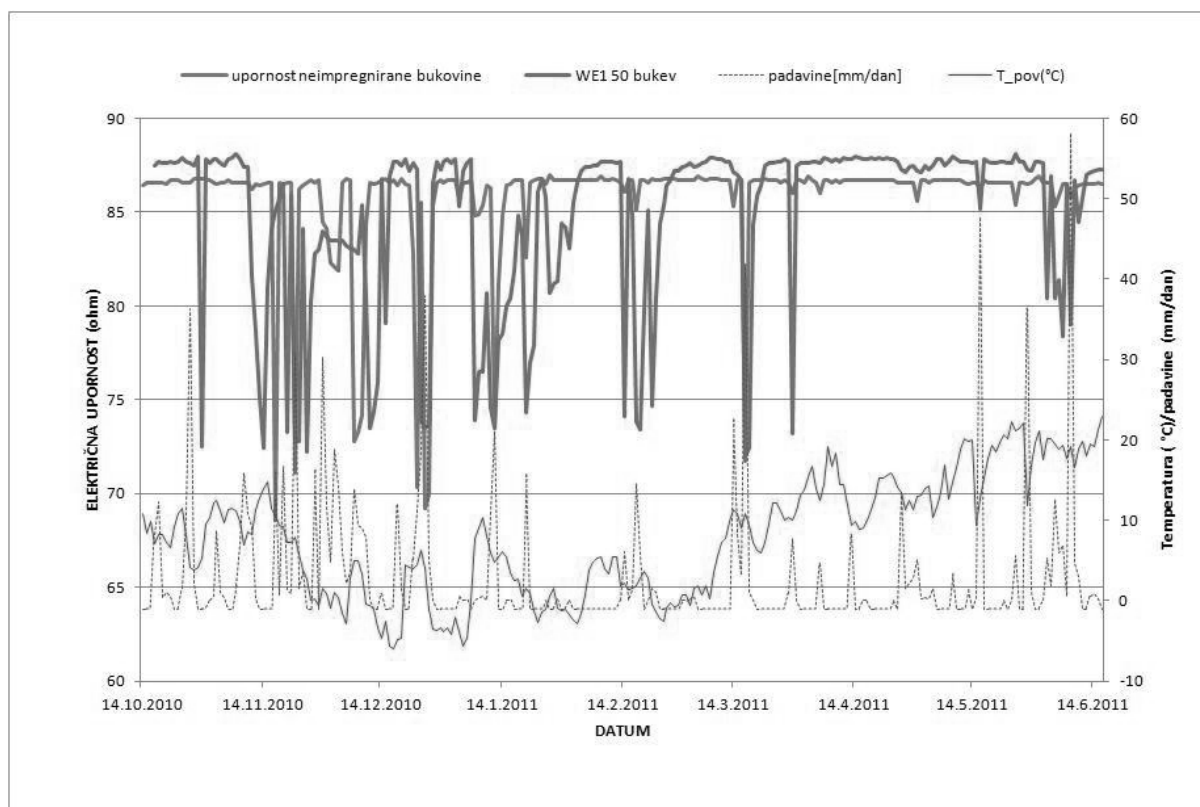
4.2.6 Vpliv impregnacije z baker-etanolaminskim pripravkom (CuE) na vlažnost impregniranega smrekovega lesa



Slika 36: Upornost smrekovine impregnirane z baker-etanolaminskim pripravkom (CuE) (ležeči vzorec)

Baker-etanolaminski pripravek (CuE) se je pokazal na ležečih vzorcih smrekovine kot dobra zaščita tudi pred vlaženjem. Zanimivo je, da se je isti pripravek pri smrekovih visečih vzorcih izkazal kot slaba zaščita pred navlaževanjem. Iz slike 18 je tako razvidno, da impregnirani smrekovini v visečem položaju električna upornost pade pod 66 ohm, kar pomeni 19 % vlažnost lesa, medtem ko pri vzorcih izpostavljenih leže upornost doseže najnižje vrednosti okoli 84 ohm, kar usteza 14 % vlažnosti (slika 36). Rezultat je verjetno povezan s prodiranjem vode v les v različnih anatomskih smereh. Pri vzorcih izpostavljenih viseče glavna pot prodiranja poteka v aksilani smeri, pri vzorcih, ki so izpostavljeni leže, pa očitno prodiranje v aksialni smeri ni tako učinkovito.

4.2.7 Vpliv impregnacije s sintetičnim polietilenskim voskom WE1 50 na vlažnost impregniranega bukovega lesa

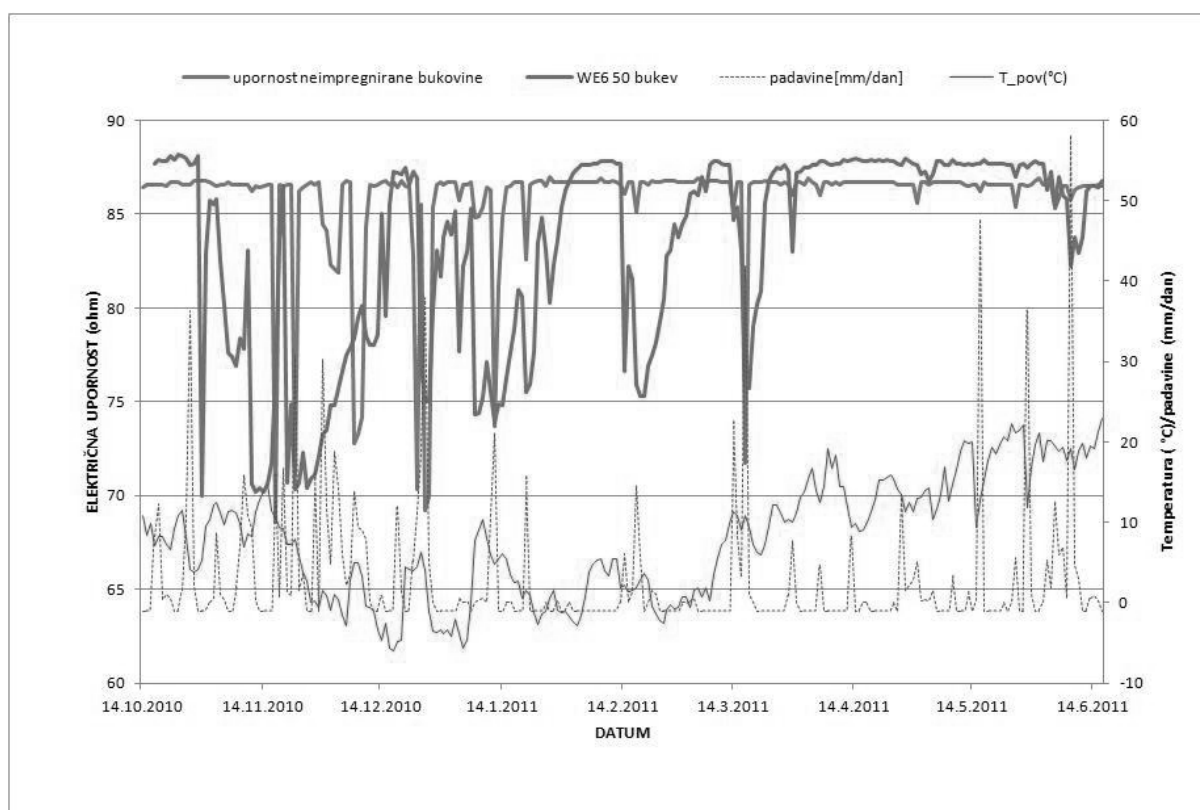


Slika 37: Upornost bukovine impregnirane s sintetičnim polietilenskim voskom WE1 50 (ležeči vzorec)

Ker ležeči neimpregnirani vzorci bukovine niso bili izpostavljeni in opazovani, je vlažnost impregnirane bukovine na ležečih vzorcih primerjana z visečim kontrolnim vzorcem bukovine. Pri vzorcih zaščiteneh s polietilenskim voskom s 50 % koncentracijo emulzije je gibanje upornosti povezano s količino padavin. Upornost vzorcev pade sočasno z naraščanjem padavin oziroma vsebnosti vlage v zraku. Že na začetku izpostavitve je vlažnost v vzorcih naraščala, saj je upornost v prvem mesecu in skozi celotno obdobje izpostavitve močno nihala. Iz slike 37 je opazno, da polietilenski voski slabo ščitijo bukov les pred vdorom vlage. Vosek je zadrževal vlago zunaj lesa v obdobju, ko je bilo manj padavin (od konca marca do sredine maja). Kakorkoli, po drugi strani lahko veliko dosežemo že s pravilno orientacijo. Primerjava kontrolnih vzorcev bukovine, ki so bili izpostavljeni viseče in ležečih bukovih impregniranih vzorcev kaže na to, da je že s pravilno uporabo lesa, lahko les sam po sebi celo boljše zaščiten pred vdorom vlage, kot če ga impregniramo, a ga (les) uporabimo neustrezno. Tako lahko razberemo, da je v nekaterih obdobjih bukov (viseči) kontrolni vzorec imel precej konstatno upornost oziroma

je ta manj nihala glede na padavine (od 14. 10. 2010 do 14. 11. 2010), kot pa je nihala upornost impregniranega (ležečega) vzorca.

4.2.8 Vpliv impregnacije s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 na vlažnost impregniranega bukovega lesa

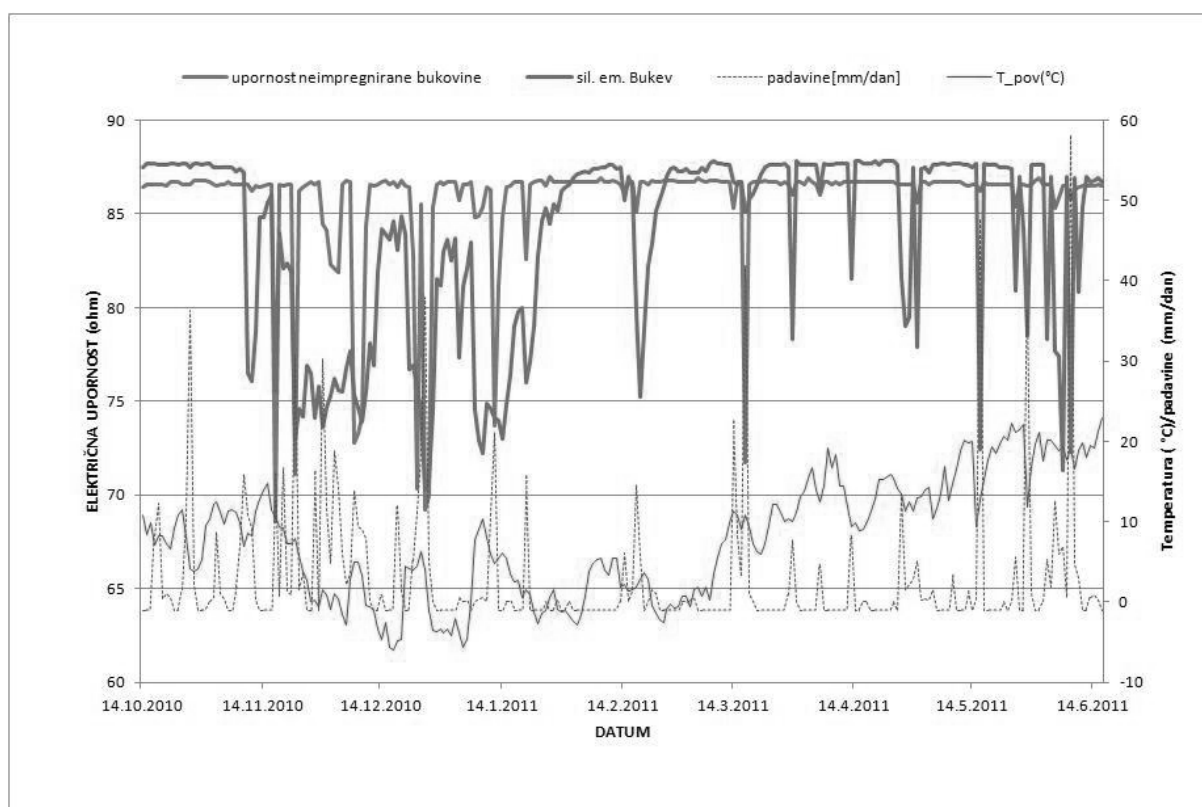


Slika 38: Upornost bukovine impregnirane s sintetičnim polietilenskim voskom WE6 50 (ležeči vzorec)

Ker ležeči neimpregnirani vzorci bukovine niso bili izpostavljeni in opazovani, je vlažnost impregnirane bukovine na ležečih vzorcih primerjana z visečim kontrolnim vzorcem bukovine. Upornost na bukovih vzorcih, premazanih z oksidiranim polietilenskim voskom, je močno nihala v celotnem obdobju izpostavitve vzorcev. Primerjava z vzorci izpostavljenimi v viseči izpostavitvi pokaže, da je upornost pri visečih padla do 84 ohm, kar pomeni 15-odstotno vlažnost lesa, pri vzorcih izpostavljenih leže pa je upornost padla le do 70 ohm, kar pomeni do 16,5-odstotno vlažnost. Oksidirani polietilenski vosek s 50 % koncentracijo emulzije je ob padavinah izgubljal svojo funkcijo zaščite lesa pred vdorom

vlage v les, saj lahko iz slike 38 vidimo izrazito nihanje upornosti. Padec upornosti je tudi rezultat tega, da voski ne površini lesa ne reagirajo kemijsko, ampak tvorijo film, ki sčasoma izgublja svojo funkcijo. Iz slike 19 lahko opazimo, da se je viseči bukov kontrolni vzorec v večih obdobjih izkazal bolje kot preman ležeči vzorec bukovine.

4.2.9 Vpliv impregnacije s silikonsko emulzijo na vlažnost impregniranega bukovega lesa

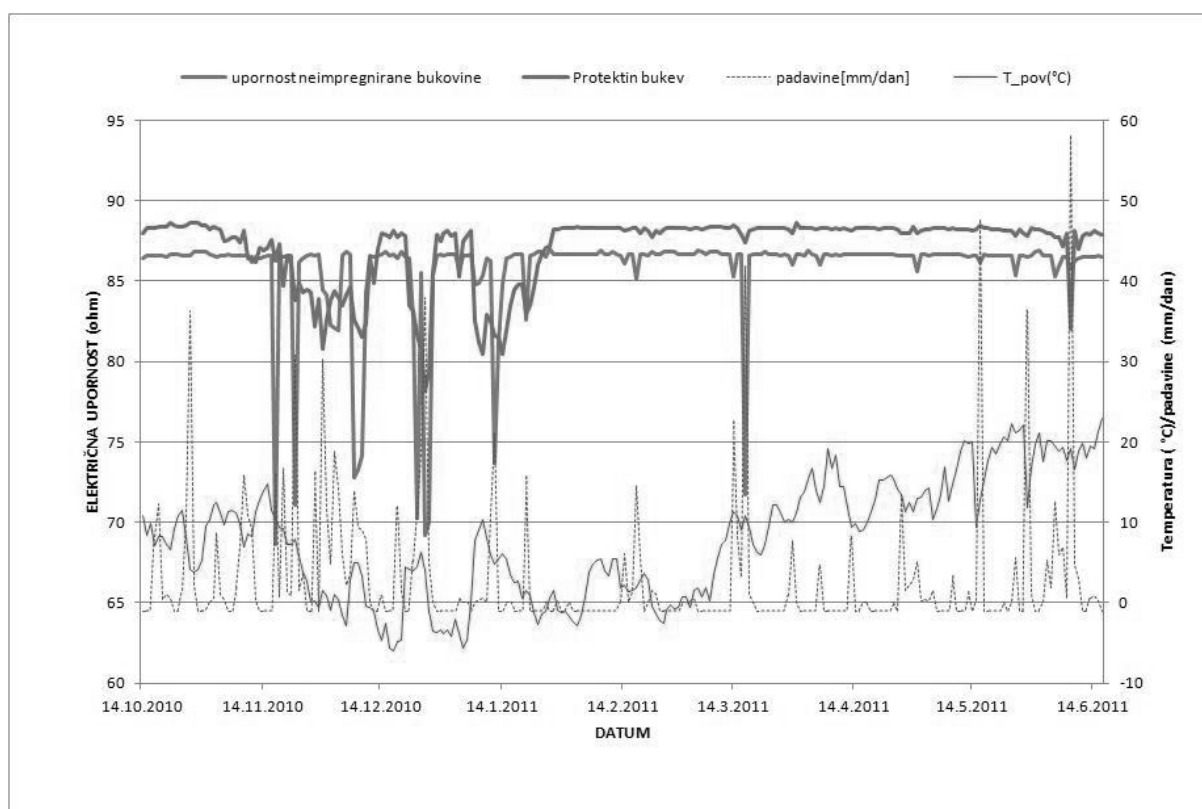


Slika 39: Upornost bukovine impregnirane s silikonsko emulzijo (ležeči vzorec)

Ker ležeči neimpregnirani vzorci bukovine niso bili izpostavljeni in opazovani, je vlažnost impregnirane bukovine na ležečih vzorcih primerjana z visečim kontrolnim vzorcem bukovine. Silikonska emulzija pri ležečih bukovih vzorcih slabo ščiti les pred navzmem vlage. Silikon na površini tvori prožen film. Pri ležečih vzorcih, impregniranih s silikonsko emulzijo, lahko skozi celotno obdobje opazimo zelo slabo zaščito pred navlaževanjem, saj je upornost padala veliko bolj intenzivno kot pri bukovem kontrolnem vzorcu

izpostavljenem viseče. Prav tako se iz slike 39 lepo vidi vpliv horizontalne izpostavitve, kjer voda laže zastaja in posledično navlažuje les.

4.2.10 Vpliv impregnacije s protektinom na vlažnost impregniranega bukovega lesa

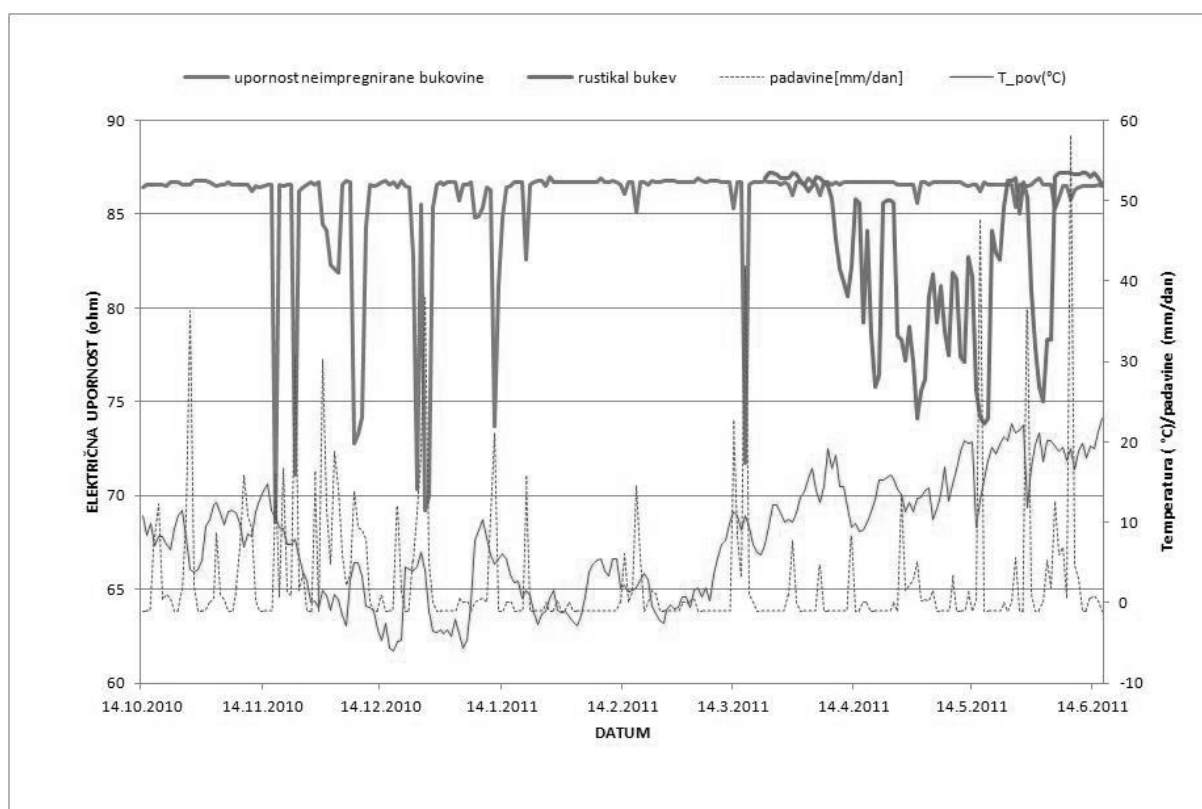


Slika 40: Upornost bukovine impregnirane s protektinom (ležeči vzorec)

Ker ležeči neimpregnirani vzorci bukovine niso bili izpostavljeni in opazovani, je vlažnost impregnirane bukovine na ležečih vzorcih primerjana z visečim kontrolnim vzorcem bukovine. Bukovi vzorci impregnirani s protektinom (vodna emulzija različnih smol) dobro odbijajo vodo. V začetnem obdobju izpostavitve opazimo nihanje upornosti, ki je posledica daljšega in intenzivnega obdobja padavin (od 14. 11. 2010 do 20. 1. 2011). V kasnejšem obdobju se je protektin izkazal kot dobra zaščita za ležeče izpostavljene bukove vzorce, z izjemo 8. 6. 2011, ko je po več zaporednih dneh padavin upornost spet nekoliko močnejše padla. Iz slike 40 in podatkov o vremenu v času izpostavitve lahko potrdimo, da

protektin v obdobju višjih temperatur in povečanem deležu vlage v zraku dopušča zelo omejeno vlaženje impregnirane bukovine.

4.2.11 Vpliv impregnacije z rustikal oljem na vlažnost impregniranega bukovnega lesa

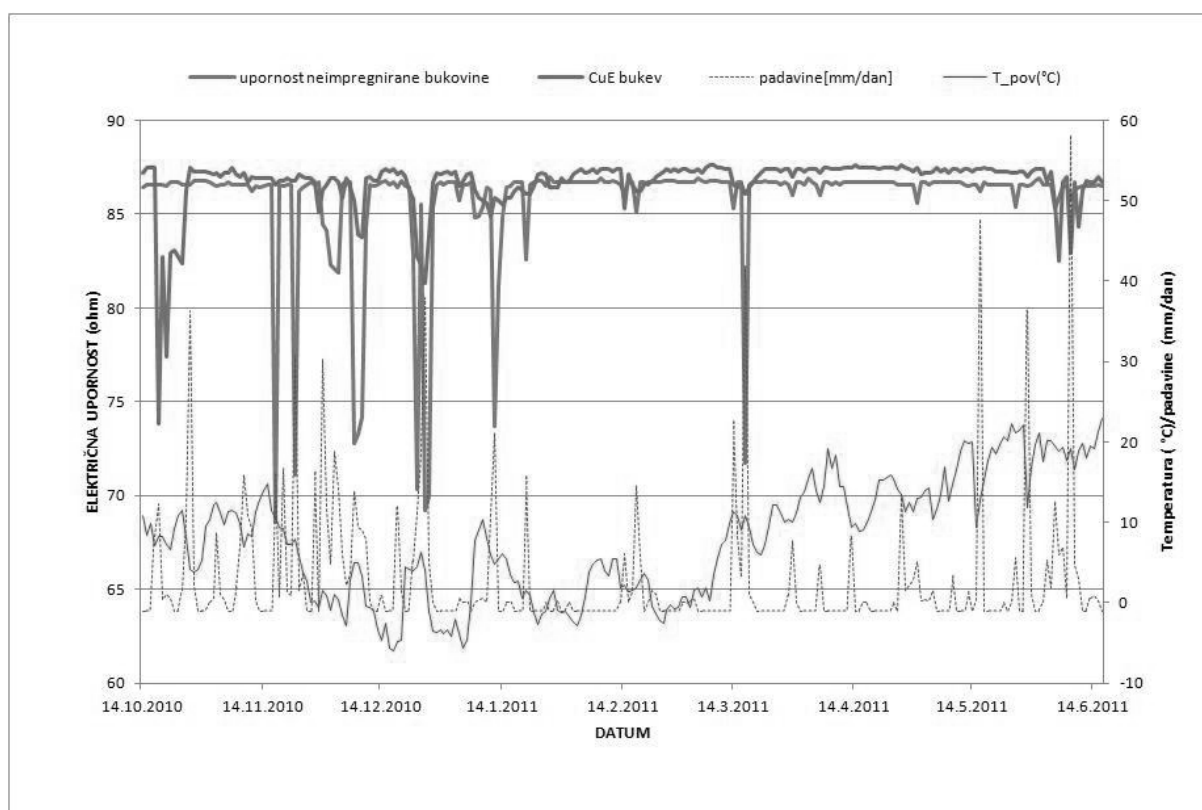


Slika 41: Upornost bukovine impregnirane z rustikal oljem (ležeči vzorec)

Ker ležeči neimpregnirani vzorci bukovine niso bili izpostavljeni in opazovani, je vlažnost impregnirane bukovine na ležečih vzorcih primerjana z visečim kontrolnim vzorcem bukovine. Rustikal olje se je na bukovih vzorcih izpostavljenih leže izkazalo za relativno slabo zaščito, saj v obdobju izpostavitve lahko opazimo precejšnje nihanje upornosti. V obdobju manjših padavin (od konca marca do sredine maja) lahko zaznamo, da upornost pogosto zelo upade, v primerjavi z visečimi bukovimi kontrolnimi vzorci vsebujejo ležeči vzorci impregnirani z oljem rustikal tudi do 3 % več vlage. Ponovno se je izkazalo, da ima horizontalen položaj in voda, ki se nabira na vzorcih, močan vpliv na premaz, hkrati pa

nam viseči kontrolni vzorec bukve nakazuje, da s pravilno uporabo in konstrukcijsko zaščito lahko dosežemo dobro zaščito lesa celo brez impregnacijskih sredstev.

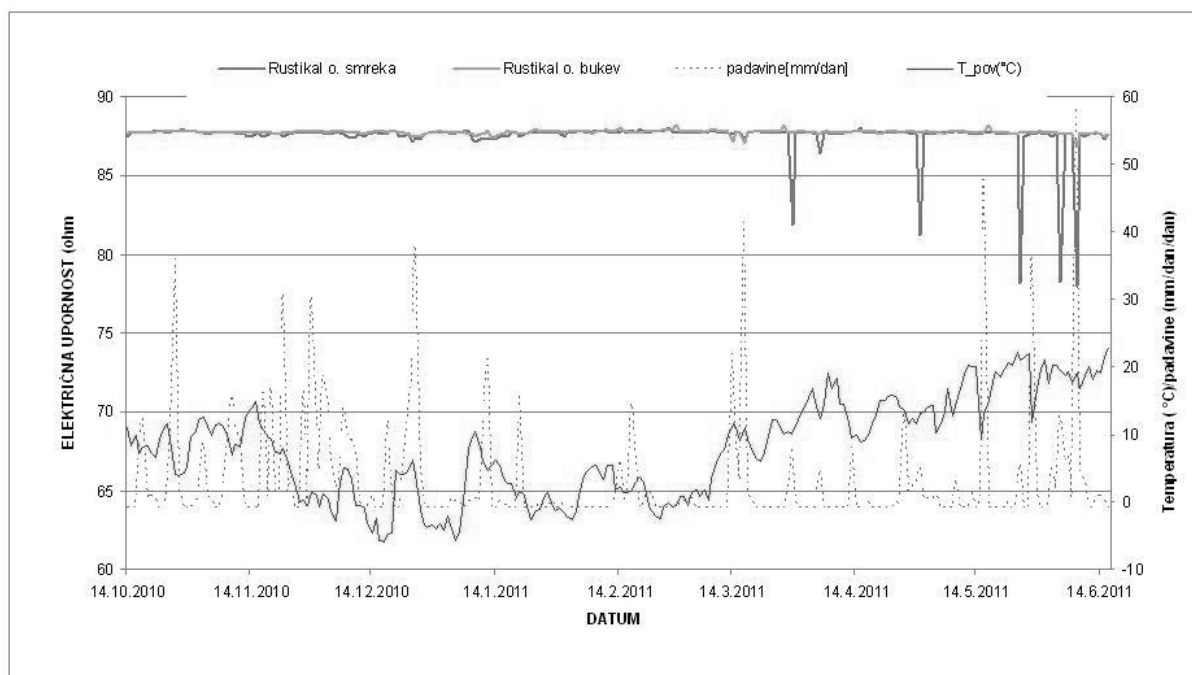
4.2.12 Vpliv impregnacije z baker-etanolaminskim pripravkom (CuE) na vlažnost impregniranega bukovega lesa



Slika 42: Upornost bukovine impregnirane z baker-etanolaminskim pripravkom (CuE) (ležeči vzorec)

Ker ležeči neimpregnirani vzorci bukovine niso bili izpostavljeni in opazovani, je vlažnost impregnirane bukovine na ležečih vzorcih primerjana z visečim kontrolnim vzorcem bukovine. Baker-etanolaminski pripravek (CuE) se je izkazal kot relativno dobra zaščita pred navlaževanjem na bukovih vzorcih izpostavljenih leže. V začetku izpostavitve vzorcev lahko opazimo nekaj padcev upornosti, nekje do 1. 11. 2010, ki so povezani s padavinami. V kasnejšem obdobju se je baker-etanolaminski pripravek relativno dobro izkazal na ležečih bukovih vzorcih.

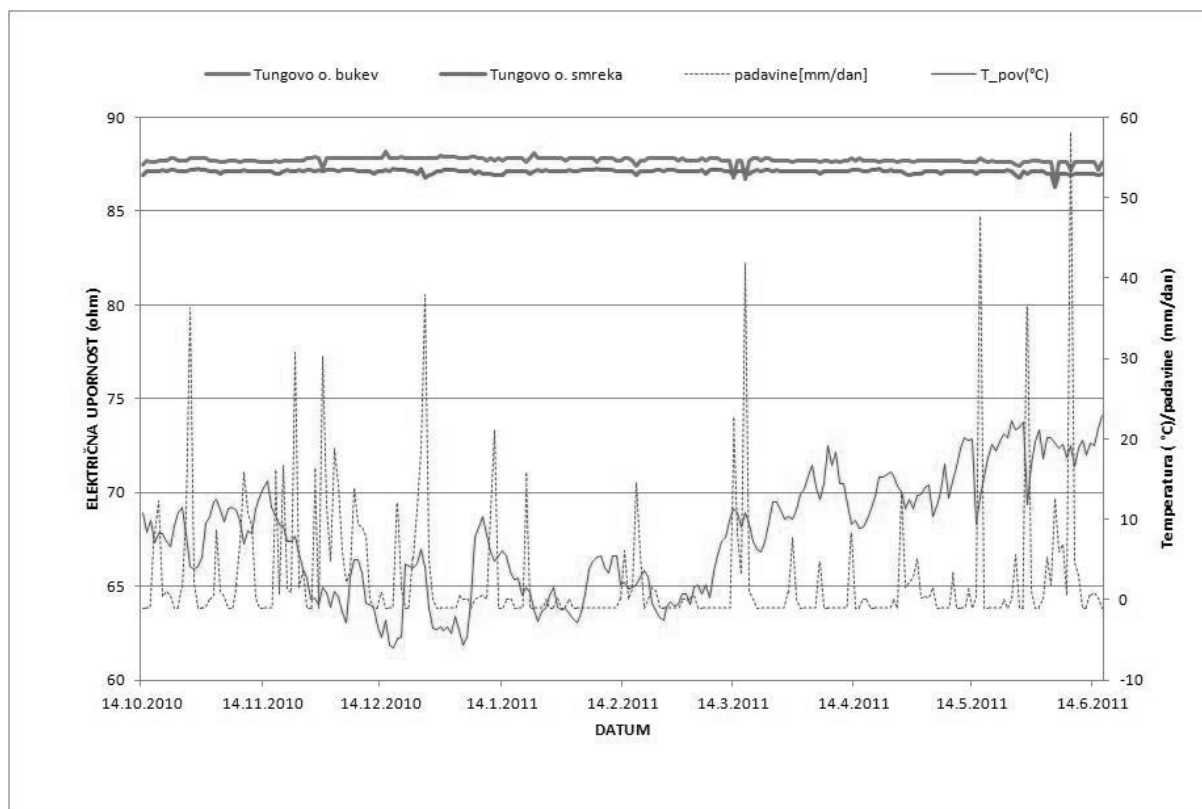
4.2.13 Primerjava vpliva impregnacije z oljem rustikal na vlažnost impregnirane bukovine in smrekovine



Slika 43: Upornost z rustikal oljem impregnirane smrekovine in bukovine (ležeča vzorca)

Primerjava smrekovih in bukovih vzorcev, premazanih z oljem rustikal je pokazala, da so bukovi vzorci že od začetnega obdobja izpostavitve izkazali boljšo odpornost na zunanje vremenske vplive. Pri bukovih vzorcih lahko opazimo, da tudi proti koncu izpostavitvenega obdobja olje rustikal ni izgubilo vodoodbojnih lastnosti. Pri smrekovih vzorcih pa lahko zaznamo nekaj padcev upornosti, sicer majhnih, že v začetku obdobja izpostavitve. V zadnji tretjini obdobja izpostavitve, nekje od 14. 3. 2011 dalje, pa lahko opazimo, da je upornost smrekovine 18. 3. 2011 v primerjavi z bukovino padla za 12 ohm več, kar se pri vlažnosti lesa pozna za 4 %. Razlog za to razliko se verjetno skriva v dejstvu, da smo v slabo impregnabilno smrekovino vnesli manj olja kot v bolj impregnabilno bukovino.

4.2.14 Primerjava vpliva impregnacije s tungovim oljem na vlažnost impregnirane bukovine in smrekovine



Slika 44: Upornost s tungovim oljem impregnirane smrekovine in bukovine (ležeča vzorca)

Tungovo olje se je pri obeh drevesnih vrstah izkazalo kot odlična zaščita pred navlaževanjem v zunanjih vremenskih pogojih. Iz slike 44 lahko opazimo, da se pojavljajo le manjša nihanja električne upornosti. Tungovo olje dobro ščiti tako bukovino kot tudi smrekovino. Med vsemi testiranimi vodoodbojnimi sistemi se je tungovo olje v vseh okoljih izkazalo kot najboljše.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Po končanem obdobju izpostavitve vzorcev lahko iz podatkov razbreremo, da je na visečih smrekovih vzorcih najbolje delovalo tungovo olje skozi celotno obdobje izpostavitve, laneno olje je prav tako dobro varovalo les, rustikal olje je relativno dobro varovalo les pred navzemom vlage v prvih 6 mesecih, medtem ko je impregnacija z baker-etanolaminskim pripravkom delovala podobno kot surova smrekovina. Ta podatek je pomemben s praktičnega vidika, saj nakazuje na to, da se impregniran les obnaša podobno kot neimpregnirana smrekovina. Na bukovih vzorcih sta se kot najbolj primerni zaščitni sredstvi izkazala laneno olje in tungovo olje, kjer je za malenkost boljše laneno olje, tretji učinkovit premaz je rustikal olje, sledi mu protektin, nekoliko slabša je bila silikonska emulzija, ki se bolje obnese na bukovini kot na smrekovini in na koncu baker-etanolaminski premaz, ki pa je kljub vsemu na bukovini deloval bolje kot pri smrekovini. Najslabši učinek na visečih vzorcih bukovine smo dosegli s polietilenskim voskom. Tudi neimpregnirana bukovina se je izkazala kot bolj odporna na navlaževanje, kot smrekovina.

Preglednica 3: Vpliv vrste impregnacijskega pripravka in lesne vrste na povprečno električno upornost in število dni z izrazito povišano električno upornostjo

Testirani pripravek	Lesna vrsta	Izpostavitveni položaj	Povprečna upornost (ohm)	Število dni z upornostjo pod 75 ohm
Laneno olje	Smreka	viseči	86,5	0
		ležeči	/	/
	Bukev	viseči	87,52	0
		ležeči	/	/
Silikonska emulzija	Smreka	viseči	87,21	0
		ležeči	84,61	9
	Bukev	viseči	87,79	0
		ležeči	83,77	24
Protektin olje	Smreka	viseči	86,93	0
		ležeči	81,49	2
	Bukev	viseči	87,66	0
		ležeči	87,10	0
Tungovo olje	Smreka	viseči	87,10	0
		ležeči	/	/
	Bukev	viseči	87,71	0
		ležeči	/	/
Rustikal olje	Smreka	viseči	87,50	0
		ležeči	83,94	0
Rustikal olje	Bukev	viseči	87,74	0
		ležeči	82,84	4
CuE (baker-etanolaminski pripravek)	Bukev	viseči	86,32	0
		ležeči	86,35	6
	Smreka	viseči	78,65	94
		ležeči	86,71	4
WE1 50	Bukev	viseči	86,45	0
		ležeči	84,85	22
	Smreka	viseči	85,80	1
		ležeči	/	/
WE6 50	Bukev	viseči	85,97	10
		ležeči	83,27	25
	Smreka	viseči	85,50	1
		ležeči	85,29	3
Kontrolni vzorci (neimpregnirani)	Bukev	viseči	85,81	10
	Smreka	viseči	77,21	111
		ležeči	85,13	4
	Kostanj	viseči	85,46	0
		ležeči	87,13	0
	Hrast	viseči	87,37	0
		ležeči	87,28	0
	Bor jedrovina	viseči	87,67	0
	Macesen	ležeči	86,69	0

Ko primerjamo neimpregnirane vzorce med seboj, se je kot najmanj dovzetna na navlaževanje izkazala borova jedrovina, dobro odporna je hrastovina, za njo kostanjevina in bukovina, na zadnjem mestu kot najmanj naravno odporna na navlaževanje je smrekovina.

Tungovo olje se je izkazalo za najboljši premaz pri skoraj vseh drevesnih vrstah, tako pri ležečih kot tudi pri visečih vzorcih, kot najbolj naravno hidrofoben les se je izkazala borova jedrovina.

6 POVZETEK

Les je organska snov. Ena izmed lastnosti lesa je hidrofobnost, ki je sposobnost sprejemanja in oddajanja vlažnosti. Lesno vlažnost merimo z uporovnimi in kapacitivnostnimi merilniki ter na druge načine. Vlažnost lesa je pomembna z več vidikov. Eden najpomembnejših je, da je suh les varen pred delovanjem večine lesnih gliv. Vlažnost lesa zato pogosto spremljamo na ogroženih lesnih konstrukcijah. Lesu vlažnost določamo na različnih stopnjah obdelave.

Vlažnost lesa je pomembna od podiranja drevesa do končnega izdelka. V našem primeru smo simulirali dva primera uporabe lesa v tretjem razredu uporabe. Les smo prepojili z različnimi hidrofobnimi sistemi in spremljali upornost lesa. Upornost lesa in vlažnost lesa sta v določenem območju tesno povezana. Tako smo v okviru te raziskave spremljali vlažnost hrastovih, kostanjevih, smrekovih, macesnovih in borovih (jedrovina) vzorcev, ki so bili impregnirani z različnimi hidrofobnimi pripravki (tungovo olje, parafinsko olje, silikonska emulzija, rustikal olje, polietilenski vosek, baker-etanolaminski pripravek). Izpostavljeni vzorci so imeli vstavljeni dve jekleni žici, ki sta bili pritrjeni z epoksi smolo, pomešano z grafitom. Vzorci so bili izpostavljeni 8 mesecev v zunanjih pogojih v ležečem in visečem položaju. Uporovni merilnik je vsak dan ob 24.00 uri izmeril upornost lesa v danem trenutku.

Med vsemi testiranimi vzorci se je v obdobju izpostavitve v zunajnih pogojih najbolj obneslo tungovo olje na vseh impregniranih vzorcih, najslabše pa baker-etanolaminski pripravek na smrekovini in bukovini. Podnebje je v najmanjši meri vplivalo na vlažnost lesa borove jedrovine, najvišje vlažnosti pa smo določili pri neimpregnirani smrekovini. Povprečno najmanjšo upornost celotnega obdobja izpostavitve smo izmerili pri smreki, viseče premazani z baker-etanolaminskim pripravkom (78,65 ohm in 94 dni, ko je bila upornost pod 75 ohmov, kar pomeni, da les ni bil dovzeten za glive). Povprečno najvišjo upornost smo izmerili pri bukvi izpostavljeni viseče, to je 87,79 ohm, kar je skoraj enako kot pri neimpregnirani macesnovini. V vseh pogledih pa se je najslabše izkazala neimpregnirana smrekovina, ki je imela povprečno upornost v celotnem obdobju 77,21 ohm ter 111 dni, ko je bila upornost nižja od 75 ohm, kar pomeni, da je bila tisto obdobje

visoka vlažnost lesa. V primeru, ko preračunavamo električno upornost v vlažnost lesa, moramo upoštevati vse zunanje in notranje dejavnike, ki vplivajo na pretvorbo električne upornosti na vlažnost lesa. Pri uporovnih merilnikih se ponavadi ti dejavniki kompenzirajo z izbiro drevesne vrste, ki jo merimo z merilnikom.

Vsi dejavniki imajo velik vpliv na končen rezultat. Še posebej moramo upoštevati vpliv lesne vlažnosti in njene porazdelitve, temperaturo, orientacijo vlaken, gostoto, kemično zgradbo, vrsto in obliko elektrod, stični tlak, obliko in velikost vzorcev, elektrolitski učinek elektrod, razkrojenost lesa, depolimerizacijo lesa, fotodegradacijo lesa, velikost in trajanje napetosti.

7 VIRI

- Benko R., Kervina-Hamović L., Gruden M. 1987. Patologija lesa. Lesna fitopatologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 122 str.
- Bolta M. 2007. Uporaba infrardeče spektroskopije za preiskave tradicionalnih premaznih sistemov za les. Visokošolska diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 63 str.
- Brischke C., Bayerbach R. in Rapp A. O. 2006. Decay-influencing factors: A basis for service life prediction of wood and wood-based products. Wood Material Science and Engineering. 2006, 1: 91—107
- Budija F. 2008. Tungovo olje. Les, 60, 4: 142—147
- Čermak M. 1998. Tehnologija lesa 1: učbenik. Železniki, Pami: 206 str.
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 185 str.
- Gettens R. J., Stout G. L. 1966. Painting Materials: A short encyclopedia. New York, Dover Publications: 333 str.
- Gorišek Ž. (ur.). 2005. Les. Zgradba in lastnosti, njegova variabilnost in heterogenost. Interno gradivo za predmet Tehnologija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 86 str.
- Gorišek Ž., Geršak M., Velušček V., Čop T., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 235 str.
- Guidice A. 2001. The Seven Essentials of Woodworking. New York, Sterling Publishing Company, Inc.: 128 str.
- Humar M. 2008. Adsorpcija baker-etanolaminskih zaščitnih pripravkov v les. Zbornik gozdarstva in lesarstva 85: 47—54
<http://www.gozdis.si/zbgl/2008/zbgl-85-5.pdf> (23. sept. 2011)
- Humar M. 2009. Kako zaščititi les? Lesena gradnja v Sloveniji.
http://www.lesena-gradnja.si/html/img/pool/Kako_za_ititi_les_Humar.pdf (15. feb.

2012)

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

Knothe G. 2002. Structure Indices in FA Chemistry. How relevant is the iodine value? *Journal of the American Chemical Society*, 79: 847—854

Lampen S. C. 2010. Erstellung von Widerstandskennlinien verschiedener Kern- und Splinthölzer für die elektrische Holzfeuchtemessung. Leibniz Universität Hannover, Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen (IBW): 48 str.

Lesar B. 2011. Interakcije borovih spojin in emulzij voskov z lesom in lesnimi glivami. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 210 str.

Lesar B., Humar M. 2010. Vrednotenje življenjske dobe lesa, zaščenega z emulzijami voskov in baker-etanolaminskimi pripravki v tretjem razredu izpostavitve. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 93: 23—36
<http://www.gozdis.si/zbgl/2010/zbgl-93-3.pdf> (25. sept. 2011)

Lesar B., Humar M., Oven P. 2008. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegova trajnost. *Les*, 60, 11/12: 408—414
<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-WLBN7H5X/?query=%27keywords%3dles%27&frelation=Les%3a+revija+za+lesno+gospodarstvo&pageSize=100&fyear=2008> (26. sept. 2011)

Lesar B., Petrič M., Kričej B., Humar M. 2009. Voski in njihova uporaba v lesarstvu. *LesWood, Revija za lesno gospodarstvo Wood industry & economy journal*. 61, 5: 188—194.
<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-MBJCI37I/?query=%27keywords%3dles%27&frelation=Les%3a+revija+za+lesno+gospodarstvo&pageSize=100&fyear=2009> (26. sept. 2011)

McElroy W. 1987. *Painter's Handbook*. Carlsbad, Craftsman Book Company: 318 str.

Petrič M. 2007. Tungovo olje in zaščita lesa. Strokovnjak odgovarja – premazi.

Informacijsko središče Korak (22. 6. 2007).

<http://www.korak.ws/strokovnjaki/vprasanja-in-odgovori/tungovo-olje-in-zascita-lesa-2.html> (26. sept. 2011)

Pipa R. 1997. Anatomija in tehnologija lesa. Ljubljana, Lesarska založba: 136 str.

Pohleven F. 2008. Konstrukcijska zaščita lesa pred škodljivci. V: Gradnja z lesom – izziv in priložnosti za Slovenijo. Kitek Kuzman M. (ur.). Ljubljana: 96—100

SIST EN 335/1,2: 2006. Trajnost lesa in lesnih proizvodov – Definicija uporabnosti razredov – 1. in 2. del. 2006: 23 str.

Tišler V. , Malnarič A. 2002. pH vrednost lesa. Les, 54, 10: 320—324

<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-LK6CIMUQ/?query=%27keywords%3dles%27&relation=Les%3a+revija+za+lesno+gospodarstvo&pageSize=100&fyear=2002> (25. sept. 2011)

Zierl B. 2005. Wood-decomposing fungi improve the acoustic properties of wood.

Obtaining the perfect violin sound – with fungi. EMPA – Materials Science & Technology: News 2005 (15th June 2005).

http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/40307/---/l=2 (26. feb. 2008)

Viitanen H., Vinha J., Salminen K., Ojanen T., Peuhkuri R., Paajanen L., Lähdesmäki K. 2010. Moisture and bio-deterioration risk of building materials and structures. Journal of Building Physics **33**,201-224

ZAHVALA