

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jernej LENARČIČ

**SPREMLJANJE DINAMIKE NAVLAŽEVANJA
IZBRANIH LESNIH VRST V LABORATORIJU IN NA
PROSTEM**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jernej LENARČIČ

**SPREMLJANJE DINAMIKE NAVLAŽEVANJA IZBRANIH LESNIH
VRST V LABORATORIJU IN NA POSTEM**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**MONITORING OF MOISTURE DYNAMICS OF SELECTED WOOD
SPECIES IN LABORATORY AND IN OUTDOOR CONDITIONS**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2016

Diplomski delo je zaključek Univerzitetnega študija Lesarstva. Delo je bilo opravljeno na Delovni skupini za Patologijo in zaščito lesa in na prostem na lokaciji v Bevkah, občina Vrhnika.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Miho Humarja, za recenzenta pa doc. dr. Boštjana Lesarja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Jernej Lenarčič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*114.122
KG	vlažnost lesa/kratkotrajni navzem/metode spremljanja dinamike vlaženja lesa
AV	LENARČIČ, Jernej
SA	HUMAR, Miha (mentor)/LESAR, Boštjan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	SPREMLJANJE DINAMIKE NAVLAŽEVANJA IZBRANIH LESNIH VRST V LABORATORIJU IN NA PROSTEM
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP	VIII, 43 str., 11 pregl., 23 sl., 21 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Les je, kot naraven material rastlinskega izvora, podvržen razkroju. Na naravno odpornost lesa proti dejavnikom razkroja v veliki meri vpliva dovzetnost lesa na vlaženje. Če je v lesu manj kot 20 % vode, se nevarnost za razvoj gliv bistveno zmanjša. V praksi se različne vrste lesa uporabljajo na različnih, vlagi bolj ali manj izpostavljenih mestih. V okviru te naloge smo želeli osvetliti dinamiko vlaženja lesa na prostem in preveriti ustreznost različnih metod spremljanja vlažnosti. Vzorce izbranih lesnih vrst smo izpostavili vremenskim vplivom. V raziskavi smo uporabili gravimetrično metodo, pri kateri smo mase vzorcev na terenu spremljali občasno in kontinuirano. Vzorce smo namestili na ozke nosilce in jim ročno tedensko določili maso. Del vzorcev je bil nameščen na avtomatskih tehtnicah, ki so vsakih 50 sekund odčitale maso. Poleg tega smo dinamiko vlaženja določili tudi v laboratoriju. Vzorcem smo določili kratkotrajno navzemanje vode. Posamezne rezultate smo primerjali in ugotavljali skladnost razmerij med posameznimi vrstami lesa. Izkazalo se je, da so rezultati medsebojno pogojno primerljivi. Že v kratkem času so se izkazale pomanjkljivosti metode kontinuiranega terenskega merjenja. Metoda kontinuiranega merjenja nima vgrajenega mehanizma korekcije v primeru, ko se na površini vzorcev lesa zadržuje kapljevina, smeti ali polži ali kadar na odčitek vpliva drug dejavnik iz okolice.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dn
DC UDK 630*114.122
CX wood moisture/short term uptake/wood moisture dynamics determination methods
AU LENARČIČ, Jernej
AA HUMAR, Miha (supervizor)/Lesar, Boštjan (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2016
TY MONITORING OF MOISTURE DYNAMICS OF SELECTED WOOD SPECIES IN LABORATORY AND IN OUTDOOR CONDITIONS
DT Graduation thesis (University studies)
NO VIII, 43 p., 11 tab., 23 fig., 21 ref.
LA sl
Al sl/en
AB As biological material wood is exposed to decay. There is strong correlation between natural wood resistance to decay and the ability of wood to remain dry. If wood moisture is below 20 % there is less chance for fungus to infect the wood. Separate wood species are used in different applications, that are more or less exposed to moisture. The aim of the research was to lighten the moisture dynamics of wood outdoor and to check the suitability of different methods of moisture determination. The samples of selected wood species were exposed to outdoor weather conditions. We have used the gravimetric method to determine wood moisture of wood samples random and continuously. We have settled wood samples on narrow brackets and we have manually, weekly, determined their weight. Some of the samples were settled on automatic libra, which determined their weight every 50 seconds. We have also determined the moisture dynamic of wood samples in laboratory. We have determined the short term water uptake. We compared the results and discovered suitability of ranges among wood species. It figured out, that the results were conditionally comparable. At the beginning it became clear that there are some shortcomings of the continuously measuring method. There is the influence of some external factors, such as wind, trash, snails, bugs, snow, ice and water on the surface of the samples that affects results but the continuously measuring method does not recognize and eliminate them.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	II
KEY WORDS DOCUMENTATION	III
KAZALO VSEBINE.....	IV
KAZALO PREGLEDNIC.....	VI
KAZALO SLIK.....	VII
1 UVOD	1
1.1 CILJ RAZISKAVE	2
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 LITERATURNI PREGLED	3
2.1 LES	3
2.2 NARAVNA ODPORNOST LESA	3
2.3 ŽIVLJENJSKA DOBA LESA	4
2.4 VLAŽNOST LESA	5
2.4.1 Metode določanja vlažnosti lesa	6
2.4.1.1 Gravimetrična metoda	6
2.4.1.2 Električna metoda.....	7
2.4.2 Vpliv vlažnosti lesa na lastnosti lesa	7
2.4.3 Vpliv vlažnosti lesa na odpornost lesa	8
2.4.4 Absorpcijski in desorpcijski cikel	8
2.5 UPORABLJENE LESNE VRSTE	10
2.5.1 Borovina	10
2.5.1.1 Borovina jedrovina.....	10
2.5.1.2 Borovina beljava	11
2.5.2 Bukovina.....	11
2.5.3 Hrastovina	12
2.5.4 Smrekovina	12
2.5.4.1 Termično modificirana smrekovina	13
2.5.5 Les sapellija.....	14
2.5.6 Topolovina.....	15
3 MATERIALI IN METODE	16
3.1 VZORCI	16

3.2	KRATKOTRAJNI NAVZEM.....	16
3.3	IZPOSTAVITEV VZORCEV VREMENSKIM VPLIVOM.....	16
3.4	KONTINUIRANO MERJENJE.....	17
3.5	OBČASNO TEHTANJE	17
3.6	SPREMLJANJE TEMPERATURE IN RELATIVNE ZRAČNE VLAŽNOSTI ...	18
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	19
4.1	KRATKOTRAJNI NAVZEM.....	19
4.2	KONTINUIRANO MERJENJE VLAŽNOSTI LESA NA PROSTEM	21
4.3	OBČASNO SPREMLJANJE VLAŽNOSTI LESA.....	25
4.4	PRIMERJAVA REZULTATOV OBČASNEGA IN KONTINUIRANEGA MERJENJA	26
4.5	RAZPRAVA.....	35
5	SKLEPI	40
6	POVZETEK.....	41
7	VIRI.....	42
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razvrstitev lesnih vrst v 5 odpornostnih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v razred 5 (Lesar, 2008)...	4
Preglednica 2: Povprečna relativna vlažnost lesa (%) po 144 urni izpostavitvi vodi. Povprečje je rezultat štirih različnih vzporednih raziskav (Brischke in sod., 2014)	9
Preglednica 3: Povprečni navzemi vode izraženi v kg vode/m ² površine lesa. Navzem je določen s tenziometrom. V stiku z vodo so bile le aksialne površine.	19
Preglednica 4: Povprečna relativna vlažnost lesa na prostem, določena s kontinuiranim tehtanjem na merilnih celicah. Dnevno smo zabeležili 1728 meritev.	21
Preglednica 5: Delež dni (%), ko sta bili preseženi relativni vlažnosti lesa 25 % in 30 %.	24
Preglednica 6: Gibanje vlažnosti lesa izpostavljenega na prostem, določeno z občasnim tehtanjem.....	25
Preglednica 7: Povprečne relativne vlažnosti lesa pridobljene s kontinuiranim tehtanjem, ob dneh, ko so bila izvedena tudi ročna tehtanja.	26
Preglednica 8: Delež časa, ko je bila sodeč po meritvah relativna vlažnost lesa nad 25 % in 30 %, primerjava med podatki pridobljenimi po obeh uporabljenih metodah.	34
Preglednica 9: Izrezek preglednice povprečnih vlažnosti posameznih lesnih vrst, izračunanih po podatkih, pridobljenih s kontinuiranim merjenjem	38
Preglednica 10: Okvirni čas sušenja 25 mm lesa na prostem, do vlažnosti 20 % (Gorišek, 1994).	38
Preglednica 11: Medsebojno rangiranje posameznih lesnih vrst.....	39

KAZALO SLIK

Slika 1: Povprečne relativne vlažnosti lesa po 144 urni izpostavitvi vodi (Brischke in sod., 2014).....	9
Slika 2: Kontinuirano tehtanje vzorcev (foto: Humar Miha)	17
Slika 3: Dinamika kratkotrajnega kapilarnega navzema za posamezne lesne vrste,.....	20
določena v laboratoriju	20
Slika 4: Količina absorbirane vode po končanem testu kratkotrajnega navzema v odvisnosti od lesne vrste	20
Slika 5: Povprečna relativna vlažnost lesa na prostem, določena s kontinuiranim spremljanjem mase	24
Slika 6: Povprečna relativna vlažnost lesa izpostavljenega na prostem, določena z občasn timeranjem.....	26
Slika 7: Primerjava povprečnih relativnih vlažnosti lesa pridobljenih s kontinuiranim in občasn timeranjem.....	27
Slika 8: Primerjava skladnosti krivulj poteka relativne vlažnosti lesa v izbranem časovnem obdobju, glede na uporabljeno metodo določanja vlažnosti lesa. Črka r v legendi označuje podatke, ki so bili pridobljeni z občasn timeranjem mase. ...	28
Slika 9: Prikaz poteka relativnih vlažnosti posameznih lesnih vrst.....	29
Slika 10: Primerjava povprečne relativne vlažnosti bukovine, določene s kontinuirano metodo – bukev in metodo občasn timeranja – bukev r.....	30
Slika 11: Primerjava povprečne relativne vlažnosti sapellija, določene s kontinuirano metodo – sapelli in metodo občasn timeranja – sapelli r	30
Slika 12: Primerjava povprečne relativne vlažnosti topolovine, določene s kontinuirano metodo – topol in metodo občasn timeranja – topol r.....	30
Slika 13: Primerjava povprečne relativne vlažnosti smrekovine, določene s kontinuirano metodo – smreka in metodo občasn timeranja – smreka r	31
Slika 14: Primerjava povprečne relativne vlažnosti TM smrekovine, določene s kontinuirano metodo – tm smreka in metodo občasn timeranja – TM smreka r	31

Slika 15: Primerjava povprečne relativne vlažnosti beljave bora, določene s kontinuirano metodo – bor b in metodo občasnega ročnega merjenja – bor b r.....	31
Slika 16: Primerjava povprečne relativne vlažnosti jedrovine bora, določene s kontinuirano metodo – bor j in metodo občasnega ročnega merjenja – bor j r	32
Slika 17: Primerjava povprečne relativne vlažnosti hrastovine, določene s kontinuirano metodo – hrast in metodo občasnega ročnega merjenja – hrast r.....	32
Slika 18: Primerjava skladnosti poteka krivulj relativne vlažnosti lesa in relativne zračne vlažnosti.....	33
Slika 19: Primerjava deležev dni, ko je relativna vlažnost lesa presegla 25 % oz. 30 %, določeno z ročnem in kontinuiranim spremljanjem.	34
Slika 20: Nihanje relativne vlažnosti lesa v intervalu izbranega niza podatkov (01.06.2014)	36
Slika 21: Nihanje relativne vlažnosti vzorcev nekaterih lesnih vrst v realnem času.....	37
Slika 22: Nihanje vlažnosti topola (vlažnost lesa izražena v deležih) datum 30.05.2014...	38
Slika 23: Kapljevina na vzorcu sapellija (foto: Humar Miha)	39

1 UVOD

Les je naraven material, ki je vsestransko uporaben tako v notranjih prostorih, kjer je praviloma zaščiten pred navlaževanjem, kot v objektih ali na prostem, kjer je izpostavljen vlagi. Les, ki je izpostavljen nihanju vlage, v skladu s svojimi sorpcijskimi lastnostmi in zakonitostmi sprejema in oddaja vodo (Gorišek, 1994). Pri tem se mu spreminja vlažnost, dimenzije, mehanske lastnosti in predvsem dovzetnost za razvoj biotskih faktorjev. Uporabniki lesa iščemo načine, kako bi les vgradili in za kakšne namene bi vgradili posamezno vrsto lesa, da bi v času načrtovane življenjske dobe izdelka, les ohranil svoje primarne lastnosti. Življenjska doba lesa na prostem je odvisna od več dejavnikov. V preteklosti so velik vpliv pripisovali le deležu biološko aktivnih ekstraktivov, danes pa spoznavamo, da na odpornost, poleg omenjenega, vpliva še sposobnost lesa, da ostane suh. Smrekovina in beljava bora imata primerljivo nizek delež biološko aktivnih ekstraktivov, pa vendarle se smrekovina na prostem obnese bistveno bolje kot borovina. Glavni razlog za boljšo odpornost smrekovine je v slabši permeabilnosti. Zato je smiselno, da poleg odpornosti lesa na lesne glive pri določanju življenjske dobe upoštevamo tudi dinamiko vlaženja (Lesar, 2008). Poznamo več različnih metod določanja in spremljanja navlaževanja in vlažnosti lesa (Gorišek, 1994). V raziskavi se bomo osredotočili na daljše obdobje spremljanja vlažnosti, na prostem izpostavljenega lesa. Ker vemo, da se pogoji na prostem stalno spreminjajo, na drugi strani pa poznamo zakonitosti in vpliv vlage na lastnosti lesa, nas bo zanimala dinamika sorpcije in adsorpcije. Ta dva parametra bomo spremljali po kontinuirani metodi in po metodi občasnega tehtanja. Vzporedno nas bo zanimalo ali so rezultati terenskega testa v kakršni koli povezavi z dinamiko vlaženja lesa pri kratkotrajni izpostavitvi vodi.

1.1 CILJ RAZISKAVE

Določiti vlažnost izbranih lesnih vrst na prostem s kontinuiranim spremljanjem mase z merilnimi celicami

Določiti vlažnost izbranih lesnih vrst enkrat tedensko s tehtanjem.

Določiti kratkotrajen navzem vode in podatke primerjati z rezultati terenskih testov.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Med lesnimi vrstami prihaja do velikih razlik v vlažnosti lesa.

Rezultati, ki jih dobimo z avtomatiziranim spremljanjem mase, so primerljivi z vsakotedenskim spremljanjem mase.

Rezultati kratkotrajnega navzema vode so primerljivi z rezultati na prostem.

2 LITERATURNI PREGLED

2.1 LES

Les je naravni material, ki se uporablja za proizvodnjo notranjega pohištva, notranjih talnih oblog, stavbnega pohištva, konstrukcij, lepljenih elementov, embalaže, proizvodnjo energije, galanterije. Les je podvržen naravni razgradnji ali razkroju, kar v večini primerov uporabe poskušamo preprečiti. Vir običajnega tehničnega lesa je drevje. Običajen tehnični les se pridobiva iz drevesnih debel. Poznavanje vpliva ravnanja z drevesom, časa sečnje, nadalje lastnosti lesa v povezavi s položajem odvzema iz drevesa, je ključno za učinkovito izkoriščanje in gospodarjenje z lesno maso. Lastnosti lesov so v prvi vrsti pogojene genetsko znotraj posamezne drevesne vrste. Znotraj iste drevesne vrste na lastnosti lesa vplivajo dejavniki rastišča in gospodarjenja. Znotraj debla lastnosti lesa določa položaj odvzetega lesnega sortimenta, predvsem glede na prečni prerez v deblu. Znotraj drevesnega debla se zaradi bioloških in fizikalno statičnih potreb zrelega drevesa tvorita beljava in jedrovina. Čufar (2006) pravi: Beljava je (navadno) periferni del debla ali veje s še živimi (parenhimskimi celicami), ki vsebujejo rezervne snovi (npr. škrob). Jedrovina predstavlja notranje plasti lesa v rastočem drevesu, kjer so celice odmrle, rezervne snovi, ki so jih le-te vsebovale (npr. škrob), so se odstranile ali spremenile v jedrovinske snovi. Jedrovina je lahko ne obarvana (smreka, jelka), večinoma pa obarvana (dob, rdeči bor, itd.) Obarvano jedrovino imenujemo črnjava.

2.2 NARAVNA ODPORNOST LESA

Naravna odpornost je v najširšem pomenu definirana kot odpornost lesa proti delovanju fizikalnih, kemijskih ali bioloških dejavnikov (Dinwoodie, 2000, citirano po Lesar, 2008). Pri enakih pogojih je odvisna od posamezne drevesne vrste in specifičnih lastnosti, ki jih lesovi posameznih drevesnih vrst, genetsko pogojeno, imajo.

Preglednica 1: Razvrstitev lesnih vrst v 5 odpornostnih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v razred 5 (Lesar, 2008)

Razred odpornosti		Trajnost (leta)	Drevesna vrsta
Zelo odporne	1	20+	Robinija
Odporne	2	15-20	Kostanja, Hrast
Zmerno odporne	3	10-15	Oreh, macesen, bor (3-4), duglazija, sapelli
Neodporne	4	5-10	Smreka , jelka, brest
Zelo občutljive	5	<5	Javor, breza, gaber, topol , bukev , beljave

Na naravno odpornost lesa v največji meri vplivajo ekstraktivne snovi, vendar samo s prisotnostjo biološko aktivnih ekstraktivov ni možno pojasniti naravne odpornosti. Poleg ekstraktivov na naravno odpornost vpliva še hidrofobnost sestavin celične stene, zgradba lesa, gostota idr. Naravna odpornost lesa iste vrste ni vedno enaka, ampak se spreminja tako znotraj drevesa, kot med posameznimi drevesi (Lesar, 2008).

Po navedbah Zupančiča (2015) je razvrstitev drevesnih vrst v odpornostne razrede (preglednica 1), ki temelji na prisotnosti biološko aktivnih ekstraktivov začasna, in bo v kratkem verjetno spremenjena, na podlagi upoštevanja sposobnosti lesa, da ostane suh. Nova razdelitev temelji na faktorjih. Pri tem pristopu smo raziskovalci mnenja, da se najboljše obnese les, ki ima visoko vsebnost biološko aktivnih ekstraktivov in izkazuje veliko sposobnost, da ostane suh tudi v padavinsko aktivnih obdobjih.

2.3 ŽIVLJENJSKA DOBA LESA

Trajnost lesa je za uporabnika lesa pomembnejša od same naravne odpornosti, saj nam pove, koliko časa bo les ohranil vse svoje relevantne lastnosti (Lesar, 2008)

Življenjska doba lesa je primerljiv podatek s trajnostjo lesa. Ta vrednost označuje čas, v katerem nek izdelek še opravlja svojo funkcijo. Podobno kot trajnost, je tudi ta parameter funkcija vrste lesa in pogojev uporabe. Življenjsko dobo, tako lahko izrazito podaljšamo s pravilno uporabo, obdelavo in zaščito pred razkrojem. Eden ključnih dejavnikov, na katerega

imamo vpliv pri načrtovanju uporabe, konstruiranju izdelka, sami izvedbi in uporabi lesenih izdelkov, je vlažnost lesa (Kager, 2010). Če pri uporabi že prihaja do neizogibnega navlaževanja, je ključno, da je les obdelan in vgrajen na tak način, da se lahko čim hitreje posuši. Humar (2009) pravi, da se lahko zgledujemo po gradnji starih lesenih zgradb in kozolcev, kjer je les vgrajen tako, da konstrukcija omogoča hitro odvodnjavanje in preprečuje zastajanje vode. Nobena redkost niso leseni konstrukcijski elementi v več 100 let starih objektih, ostrešja, stropniki, kozolci, brunarice.

Pirc (2013), v svoji diplomski npr. navaja, da so pri dendrokronološki analizi lesa kozolca naleteli in hrastovino, z najmlajšo braniko iz leta 1831, pri kateri so izmerili 14 branik beljave. Po drugi strani Humar (2012) v izvedeniškem mnenju pri ogledu 5 let stare lesene konstrukcije montažne hiše, v kateri je pet let konstantno puščal vodovod ugotavlja, da je pglavitni vzrok razvoja bele hišne gobe na predmetnem objektu, vlaženje lesa ter neustrezno izvedena parna zapora, ki je preprečevala sušenje.

Življenjsko dobo lesa lahko podaljšamo s tretiranjem z biocidnimi proizvodi, vodo-odbojnimi pripravki ali z uporabo modernih postopkov, kot je npr. termična modifikacija lesa (Zupančič, 2015).

2.4 VLAŽNOST LESA

Vlažnost lesa je izražena v masnem odstotku vsebnosti vode v lesu, in je definirana kot relativna vlažnost lesa. Del vode v lesu se veže v celične stene in jo imenujemo vezana voda. Ko količina vode v lesu preseže sorpcijske sposobnosti lesnega tkiva, le ta ostane v lumnih celic in jo imenujemo prosta voda. V času sušenja se najprej izloči prosta voda, ki ne vpliva na dimenzijske spremembe lesa. Ko se v lesu spreminja količina vezane vode, se v odvisnosti od drevesne vrste, spreminjajo dimenzije lesa. Ko se les suši, se dimenzijsko krči, ko se les vlaži dimenzijsko nabreka. Pri večkratnih cikliih navlaževanja in krčenja prihaja do trajnih poškodb lesa. Poleg navedenega je z vidika uporabe zelo pomemben dejavnik sorpcijski potek oziroma sorpcijska zgodovina. Zaradi neskladja je ravnovesna vlažnost v procesu adsorpcije vselej nižja od tiste v desorpciji. To velja za sorpcijo pri nižjih temperaturah, medtem ko pri višjih ($T > 70^{\circ}$) izgine. Neskladja med ravnovesno vlažnostjo, dobljeno v procesu adsorpcije in desorpcije (razmerje A/D), je praviloma največje v območju relativne zračne vlažnosti med 60 do 80 % (Gorišek, 1994).

Pojav sorpcijske histereze je najizrazitejši ravno v območju relativne zračne vlažnosti, pri kateri se uporablja večina lesenih izdelkov in neposredno vpliva na dimenzije lesa. Praktično to pomeni, da les, ki se navlaži, posledično nabrekne in ko se ponovno posuši na podlagi

enake relativne zračne vlažnosti, pri kateri je bil vgrajen, se manj skrči. Po sušenju les, dimenzijsko ostaja večji, kot je bil pred navlažitvijo, kar nam povzroča velike težave s parketom, fasadnimi oblogami in pohištvo v primeru zamakanja.

Ko govorimo o vlažnosti lesa, je potrebno poleg povprečne vlažnosti, upoštevati porazdelitev (gradient) vlažnosti po preseku vzorca. Lahko se zgodi, da ima lesen izdelek povprečno relativno vlažnost krepko pod 25 %, na izpostavljenem mestu ali kjer sušenje ni omogočeno pa le-ta konstantno presega kritično mejo 25 %.

2.4.1 Metode določanja vlažnosti lesa

Kot rečeno je vlažnost lesa definirana kot relativna vlažnost lesa, zato je ena najnatančnejših in ena najenostavnejših metod določanja vlažnosti lesa, gravimetrična metoda. Za prakso dovolj uporabne so električne metode merjenja vlažnosti, ki temeljijo na dejstvu, da (Gorišek, 1994) pri sušenju od 30 % do 0 % naraste upornost za približno 1.000.000 - krat, nad TNCS pa se zmanjša le 50 - krat.

Destilacijska metoda je preoblikovana gravimetrična metoda, in se uporablja v primerih, ko na natančnost standardizirane gravimetrične metode vplivajo hlapljive snovi. Nuklearna magnetna resonanca (NMR) izkorišča dejstvo, da so jedra vodikovih atomov v vodi magnetni dipoli s karakterističnim spinom, ki se v statičnem magnetnem polju usmerijo v smeri delovanja polja, odvisno od frekvence, ki je direktno odvisna od jakosti (Gorišek, 1994).

Gorišek (1994) omenja še Karl Fisherjevo metodo, metodo z beta delci, metodo z nevtroni z visoko energijo, ki so vse pretežno omejene na laboratorijsko delo in v praksi manj uporabne.

2.4.1.1 Gravimetrična metoda

Gravimetrična metoda je standardizirana metoda določanja lesne vlažnosti.

- Vzorčni kos stehtamo pri trenutni ravnovesni vlažnosti lesa.
- Vzorčni kos v ustreznem sušilniku sušimo do sušilnično suhega stanja, ki ga določimo z zaporednim tehtanjem do konstantne mase pri temperaturi 103 ± 2 °C
- Razliko v masi med vlažnim in sušilnično suhim vzorcem delimo z maso sušilnično suhega vzorca, rezultat je relativna vlažnost vlažnega vzorca.

Potrebno je poudariti, da sušilnično suh les ni absolutno suh. Dejanska vlažnost sušilnično suhega lesa je okrog 0,5 % (Gorišek, 1994) saj s sušenjem v sušilniku ne odstranimo kristalno vezane vode in vode, ki se nahaja v najdrobnejših porah. Rezultat bi lahko izboljšali z višjo temperaturo sušenja, a pri višjih temperaturah že prihaja do izrazitejšje degradacije lesa.

Na natančnost rezultata vplivajo: natančnost tehtnice, izločanje dejavnikov navlaževanja sušilnično suhega lesa v procesu tehtanja, natančnost izvajalca (Gorišek, 1994).

2.4.1.2 Električna metoda

Električna uporovna metoda, kot navedeno, izkorišča dejstvo velike razlike upornosti lesa v območju spremembe relativne vlažnosti lesa med TNCS in vlažnostjo 0 %. Gorišek (1994) navaja, da logaritem specifične upornosti lesa v območju od absolutno suhega stanja do TNCS pada približno linearno, odvisno od vlažnosti lesa.

Naprave za merjenje vlažnosti lesa imajo raznolike elektrode, ki so namenjene za različne načine merenj. Ploščne elektrode se uporabljajo za merjenje vlažnosti furnirjev, iglične elektrode so namenjene merjenju vlažnosti masivnega lesa. Merilniki so občutljivi in jih je potrebno kalibrirati na temperaturo in gostoto lesa (Lestroj, 2016). Uporovni merilniki so zanesljivi le v območju med 7 % in 25 % (Gorišek, 1994). To območje je dovolj široko, da so omenjeni merilniki in metoda zelo uporabni pri trenutnem določanju lesne vlažnosti v praksi, kjer je zaradi narave in uporabe rezultatov natančnost zadovoljiva

2.4.2 Vpliv vlažnosti lesa na lastnosti lesa

Vlažnost lesa vpliva na dimenzijsko stabilnost ter na mehanske lastnosti lesa. Elastični modul, trdota, in upogibna trdnost lesa se bistveno zmanjšujejo, ko se vlažnost lesa viša v območju med 0 % in TNCS. Pri višjih vlažnostih nad TNCS se omenjene veličine bistveno ne znižujejo več. TNCS je teoretično stanje, pri katerem so celične stene nasičene s higroskopsko vodo, lumni pa prazni in je približno enaka ravnovesni vlažnosti lesa pri 100 % relativni zračni vlažnosti (Gorišek, 1994).

2.4.3 Vpliv vlažnosti lesa na odpornost lesa

Vpliv vlažnosti lesa je direktno povezan z razvojem bakterij, plesni, gliv in insektov, kar posledično vpliva na odpornost lesa. Na suhem ali mokrem (potopljenem) lesu večina gliv ne uspeva in posledično glive takega lesa ne ogrožajo. Les, ki je občasno vlažen ali je njegova vlažnost stalno ugodna za razvoj gliv, je izpostavljen visokemu tveganju za okužbo z glivami in posledično razkroju, kar skrajšuje njegovo življenjsko dobo (Kervina-Hamović, 1987).

Da glive okužijo les, mora biti ravno prav vlažen. Vode mora biti ravno toliko, da se ustvari vodni film proste vode, tako da se encimi lahko transportirajo do celične stene, celobiozne enote in ostali razgradnji produkti pa se absorbirajo v hifo. Če je vode premalo, glive ne morejo preživeti. Preveč vode v lesu pa zmanjšuje nivo kisika, zato je razvoj gliv počasnejši (Pohleven, 2013, cit. po Jarc, 2015).

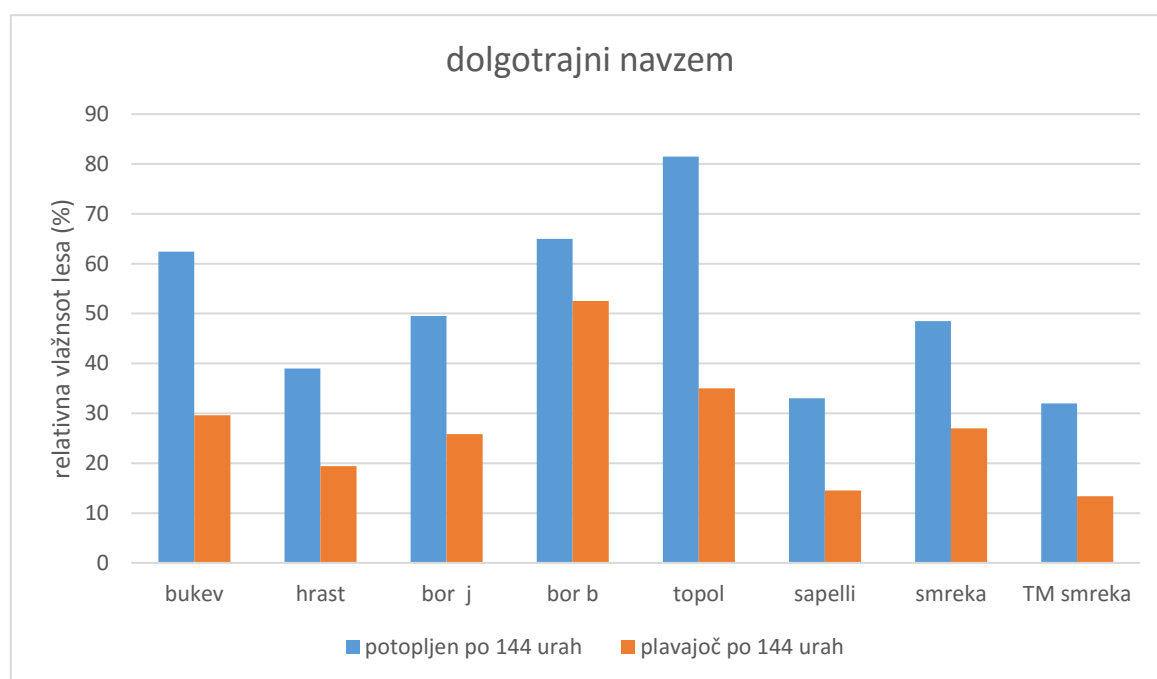
Ugodno razmerje vode in zraka, ki je odvisno od gostote lesa, stalna relativna vlažnost lesa minimalno 20 %, predstavlja visoko tveganje za razvoj gliv (Hafner, 2009).

2.4.4 Absorpcijski in desorpcijski cikel

Ta del raziskave je bil opravljen na vzporednih vzorcih, ki so bili uporabljeni tudi v okviru našega eksperimenta. V nadaljevanju so tako povzeti glavni rezultati določanja interakcij različnih lesnih vrst z vodo. Laboratorijski test absorpcijskega cikla je bil izveden na vzorcih dolžine $150 \text{ mm} \times 50 \times 25 \text{ mm}^2$, predhodno kondicioniranih pri temperaturi 20°C in 65 % relativni zračni vlažnosti. Vzorci so bili potopljani v destilirano vodo, tehtanje se je izvajalo na 1, 4, 8, 24, 48, 72, 144 ur. Po 144 urah so bili vzorci preneseni v komoro s temperaturo 20°C in 65 % relativno zračno vlažnostjo, kjer so se sušili. Tehtanje se je izvajalo na 1, 4, 8, 24, 48, 72, 144 ur po namestitvi. Rezultati kažejo, da relativna vlažnost lesa najhitreje narašča na začetku absorpcijskega cikla in najhitreje pada na začetku desorpcijskega cikla (Brischke in sod., 2014). V preglednici 2 in na sliki 1 so prikazane povprečne relativne vlažnosti posamezni lesnih vrst, štirih neodvisnih raziskav, na štirih univerzah, po končani 144 urni izpostavitvi vodi in sicer plavajoči test in test s potopljenimi vzorci.

Preglednica 2: Povprečna relativna vlažnost lesa (%) po 144 urni izpostavitvi vodi. Povprečje je rezultat štirih različnih vzporednih raziskav (Brischke in sod., 2014)

	sapelli	topol	hrast	bukev	smreka	term. modif. smreka	bor j	bor b
potopljen po 144 urah	33	81,5	39	62,4	48,5	32	49,5	65
plavajoč po 144 urah	14,5	35	19,4	29,6	27	13,4	25,8	52,5



Slika 1: Povprečne relativne vlažnosti lesa po 144 urni izpostavitvi vodi (Brischke in sod., 2014)

2.5 UPORABLJENE LESNE VRSTE

2.5.1 Borovina

Borovina je les rdečega bora (*Pinus sylvestris*). Rdeči bor je odporen iglavec, ki prenaša ekstremne razmere. Sodi med pionirske vrste, dobro uspeva na revnih, degradiranih rastiščih. Je dokaj razširjen in v skupni lesni zalogi predstavlja 4,9 % (Slovenija). Rdeči bor zraste do 40 m, dočaka starost do 600 let, običajno pa do 200. Rdeči bor uspeva od morja do nadmorske višine 2100 m. Razširjen je po celi Sloveniji (Plešnik, 2014)

Borovina je zmerno trd les, srednje gost (gostota 300...490...860 kg/m³). Krčenje in nabrekanje zmerno, vendar močnejše kot pri smrekovini, manj je nagnjen k zvijanju. Trdnost precej variira za gostoto. Ob preobremenitvi oddaja zvočni signal, zato je zaželen za rudniške podpornike (Čufar, 2006).

Borovina je vsesplošno uporaben les v mizarstvu, gradbeništvu, pri vodogradnjah, za izdelavo stavbnega pohištva, ladijskih podov, za tramove in zaboje, sortimenti so razmeroma ravni, obdelavnost je dobra (Plešnik, 2014). Problem pri obdelavi in nekaterih aplikacijah uporabe predstavlja visoka vsebnost smole, ki prihaja na površje.

Krčenje borovine od svežega do suhega stanja preračunano na dimenzije svežega lesa v % (Gorišek, 2008):

Tangencialno 7,5 – 8 %

Radialno 3,3 - 4 %

Volumsko 11,2 – 12,4 %

2.5.1.1 Borovina jedrovina

Sveža jedrovina bora je rdečkastorumena, kasneje potemni do rjavkaste oz. rdečerjave barve (Čufar, 2006). Jedrovina bora sodi v tretji razred odpornosti (preglednica 1), je odporna na vremenske pojave, zato je nezaščitena uporabna kot konstrukcijski les, za izdelavo stavbnega pohištva in fasad.

2.5.1.2 Borovina beljava

Beljava bora je neodporna, podvržena je okužbi z glivami modrivkami. Glive modrivke okužujejo vlažno borovo beljavo. Čufar (2006) trdi, da je z modrivkami okužen les bolj higroskopen od navadnega, kar predstavlja tveganje za nadaljnje okužbe in specifično odzivanje v primeru ponavljajoče adsorpcije in desorpcije. Nezaščitena beljava bora ni uporabna za izdelke v pogojih uporabe, kjer lahko prihaja do zvišanja vlažnosti lesa.

2.5.2 Bukovina

Bukovina je les bukve (*Fagus sylvatica*), ki je naš najpogostejši listavec in ena najpogostejših vrst tudi v Evropskih gozdovih (Čufar, 2006).

Bukev je razširjena po dolinah in sredogorjih zahodne, srednje in južne Evrope do Kavkaza (med 40 ° in 60 ° zemljepisne širine). Bukev dosega višine 30 m, priložnostno tudi preko 40 m, in premere 100 in 150 cm. V sestojih rastejo drevesa s polnolesnimi ravnimi debli. Dolžine debel brez vej znaša 15m in več (Čufar, 2006).

Les je rdečkastobel, beljava in jedrovina se navadno barvno ne ločita, če ni prisoten rdečerjav diskoloriran les (rdeče srce). Za rdeče srce je značilno močno otiljenje, kar med drugim vpliva na navlaževanje in sušenje ter na morebitno impregnacijo lesa. Bukovina je trd in gost les (gostota od 490...680...880 kg/m³). Branike so razločne, kasni les je temnejši (Čufar, 2006).

Bukovina se v odvisnosti od spremembe vlažnosti močno krči, nabreka in zvija, zato ni primerna za uporabo v aplikacijah, ki so izpostavljene prevelikim spremembam vlage. Bukovina se dobro obdeluje, dobro se struži. Uporablja se za vse vrste pohištva, vezan les, furnir, iverne plošče, talne obloge, galanterijo, energetiko, impregnirana se uporablja za železniške pragove. Bukovina je izrazito slabo odporen les, in je razvrščena v peti razred (preglednica 1). Bukovina je primerna za krivljenje s postopkom kuhanja. Barvo bukovini se pogosto izenačuje s postopkom parjenja.

Gosser in Tetz (1985, cit. po Čufar, 2006) sta zapisala, da je krčenje bukovine od svežega do suhega stanja preračunano na dimenzije svežega lesa v %:

Tangencialno 11,8%

Radialno 5,8%

Volumsko 14,0..17,9..21.0%

2.5.3 Hrastovina

Hrastovina uporabljena v tej raziskavi je les hrasta doba (*Quercus robur*), ki v povprečju dosega višino od 20 m do 40 m in premere nad 1 m. Debla brez vej dosegajo višine 12 m do 15 m (Čufar, 2006). Hrast je bil v Sloveniji na Krasu precej izsekan. Ko govorimo o hrastovini običajno govorimo o jedrovini hrastovine.

Hrast ima tipično obarvano jedrovino z ozko beljavo. Beljava je neodporna. Beljava je rumenobela, jedrovina svetlorjava do rumenkasto rjava. Les je zelo trd, gost in težak. Gostota zelo variabilna od 390...650...930 kg/m³ (Čufar, 2006). Gostota zelo niha v odvisnosti od rastišča, rastnih posebnosti in starosti. Širše kot so branike, gostejši, trdnejši in trši je les. V širokih branikah naraste delež kasnega lesa, s pretežno debelostenimi vlakni (Čufar, 2006), kar je podlaga boljšim mehanskim lastnostim. Hrastovina se v sorpcijskem procesu precej krči in nabreka. Pri tem velikokrat nastajajo tudi razpoke. Predvsem čela svežih sortimentov je potrebno zaščititi pred prehitrim sušenjem. Hrastovino je praviloma treba sušiti počasi. Jedrovina hrastovine sodi med odporne lesne vrste in je razvrščena v drugi razred odpornosti (preglednica 1). Zaradi velike variabilnosti naj bi bila v najnovejši razdelitvi razvrščena v 3 do 4 razred odpornosti. V aplikacijah, kjer je zahtevana visoka trajnost se beljava običajno odstrani. Jedrovina hrastovine je relativno dobro odporna proti glivam razkrojevalkam.

Hrastovina je vesplošno uporabna za pohištvo, furnirje, talne, stenske obloge, predvsem vidnejše in vrednejše kose, konstrukcije, kjer je zahtevana visoka trdnost in trajnost (železniški kretniški pragovi, mostovi, jamski les, stolpi, kozolci ...). Hrastovina se dobro obdeluje, primerna je tudi za struženje.

Gosser in Tetz (1985, cit. po Čufar, 2006) sta krčenje hrastovine od svežega do suhega stanja preračunano na dimenzije svežega lesa izrazila kot:

Tangencialno 7,8 - 10,0 %

Radialno 4,0 - 4,6 %

Volumsko 12,6 - 15,6 %

2.5.4 Smrekovina

Smrekovina je les navadne smreke (*Picea abies*). Smreka je avtohtona v severni Evropi in v gorovjih srednje Evrope, vendar se je zaradi gospodarjenja z gozdovi razširila po vsem kontinentu. Za smreko je značilno ravno, vitko, polnolesno in dokaj cilindrično deblo z malo

vejami. Dosega maksimalne višine od 30 do 50 m, premeri pa do 120 cm (Čufar, 2006). Smreka nima obarvane jedrovine, les je zmerno do slabo odporen na vremenske pojave, ni pa odporen na glive in insekte. Les je večinoma rumenkasto bel. Gostota je nizka do zmerna $300...430...640 \text{ kg/m}^3$. Branike, od ozkih do zelo širokih, so razločne. Prehod iz svetlega, belkastega ranega lesa do rdečkasto rumenega kasnega lesa je večinoma postopen (Čufar, 2006). Lastnosti smrekovine so zelo odvisne od rastnih značilnosti. Smreka na dobrih rastiščih hitro prirašča, široke branike imajo visok delež ranega lesa, ki ima nižjo gostoto in slabše mehanske lastnosti kot kasni les. Na naravno odpornost smreke bistveno vpliva čas sečnje.

Smrekovina je zaradi nizke vsebnosti ekstraktivov komajda aktivna. Ob stiku z vodo, kislinami, bazami, alkoholom, maščobami, olji, bakrom in medenino ne pride do obarvanja. Železo v stiku s smrekovino ne korodira, les se pa sivkasto obarva, še posebej ob uporabi manj kvalitetnih jekel (Čufar, 2006).

Smrekovina je zaradi ravnih sortimentov, ugodnega razmerja med gostoto in nosilnostjo vsestransko uporabna za konstrukcije. Pretežni delež ostrejši in pretežni delež gradbenega lesa je smrekovina. Smreka je poleg jelke, bora in topola osnovna surovina za proizvodnjo masivnih lepljenih gradbenih konstrukcij. Zaradi dobrih obdelovalnih lastnosti se uporablja v vseh segmentih pohištvene industrije, stavbno pohištvo, panelne plošče, embalaža, obloge, energetika. Posebno cenjen je les resonančne smreke, ki se uporablja za glasbila. Površina smrekovega lesa, ki je izpostavljena vremenskimi vplivom, se obarva sivkasto (značilen videz zatrepov lesenih fasad).

Gosser in Tetz (1985, cit. po Čufar, 2006) opisujeta, da je krčenje smrekovine od svežega do suhega stanja preračunano na dimenzije svežega lesa:

Tangencialno 7,8%

Radialno 3,6%

Volumsko 12%

2.5.4.1 Termično modificirana smrekovina

Termično modificirana smrekovina (TM smrekovina) je les smreke (*Picea abies*), ki je zaradi pričakovanih ugodnih lastnosti dimenzijska stabilnost, izboljšana odpornost proti glivam ...) pred uporabo izpostavljen visokim temperaturam, po posebnem postopku termično obdelan. Komercialni postopki termične modifikacije potekajo pri temperaturah med 160 in 260 °C, ob minimalni prisotnosti kisika. V procesu termične modifikacije les

zgubi del mase in volumna (Štrovs, 2010). Stopnja termične modifikacije se kaže v povišani hidrofobnosti, vendar le do določene mere. Les, modificiran pri višjih temperaturah, postane celo hidrofilen (Štrovs, 2010). Pri postopku termične modifikacije lesa pride v največji meri do degradacije hemiceluloz, s čimer je neposredno povezana tudi izguba mase (Weiland in Guuonnet 2003, cit. po Štrovs, 2010). Po podatkih (Štrovs, 2010), je površina termično modificiranega lesa manj polarna in tako bistveno bolj hidrofobna in manj omočljiva tudi za polarne premaze in lepila.

Termična modifikacija lesa zniža TNCS. Les modificiran pri temperaturi 220 °C ima lahko tudi za do polovico nižjo TNCS, kot neobdelan les. Znižanje ravnovesne vlažnosti je eden glavnih namenov termične modifikacije. Histerezna zanka med adsorpcijo in desorpcijo se bistveno ne spremeni (Štabuc, 2012).

Termična modifikacija lesa bistveno izboljša odpornost lesa proti navlaževanju (Humar in sod., 2014), vsaj pri sveže impregniranem lesu, oziroma lesu modificiranem pri nižjih stopnjah modifikacije.

Za termično modifikacijo velja, da s poviševanjem temperature in z daljšanjem časa dobimo odpornejši produkt, vendar s slabšimi mehanskimi lastnostmi. Pod vplivom visoke temperature postane les bolj krhek, upogibna in natezna trdnost se zmanjšata za 10 do 30 %. Trdota termično modificiranega lesa se malenkostno poveča. Termično modificiran les je celo odporen proti nekaterim vrstam lesnih insektov (hišnim kozličkom) (Štabuc, 2012).

Termično obdelana smrekovina ima nižjo gostoto in je odpornejša na biotske dejavnike razkroja. Kakorkoli, termično modificiran les ni primeren za uporabo v stiku z zemljo, saj tam njegova hidrofobna narava ne pride do izraza. Barva termično modificiranega lesa je svetlo rjava in je močno odvisna od stopnje modifikacije. Temnejši les nakazuje na višjo stopnjo modifikacije. Barva modificiranega lesa se pod vplivom svetlobe spreminja in sčasoma postaja siva (Rapp in Sailer, 2001, cit. po Štabuc, 2012). Po nekaj letih je na podlagi barve nemogoče ločiti termično modificiran les od nemodificiranega. Prav tako smrekovina izgubi svoj naravni vonj. Termično modificiran les nekaj časa ohrani vonj po prekajenem mesu. Les je dimenzijsko stabilnejši. Dimenzijsko stabilnost dosežemo že pri nižjih stopnjah modifikacije, kot je potrebna za odpornost na glive. Termično modificirana smrekovina je uporabna za vse aplikacije, kjer je zahtevana povišana odpornost lesa, a les ni mehansko obremenjen.

2.5.5 Les sapellija

Les sapellija (*Entandophragma cylindricum* Sprague), tropska drevesna vrsta, spada v družino Meliaceae in je bližnji sorodnik ameriškega in afriškega mahagonija. Komercialno

so ga, podobno kot nekatere druge podobne lesove, dolgo časa prodajali kot mahagoni. Sapelli je razmeroma gost les, s povprečno gostoto 620 kg/m³. Jedrovina je rdečerjava, sivkasta, tekstura srednja. Suši in obdeluje se dobro (Čufar, 2006). V raziskavah se pogosto uporablja kot referenčna vrsta, z dobro odpornostjo proti glivam in navlaževanju

Drevesa zrastejo od 30 do 45 m. Premer dreves je od 1 do 1,5 m. Sapelli je zaradi svoje specifične rasti poznan po različnih strukturah. Jedrovina je dobro odporna proti glivam in nekaterim insektom. V stiku z železom se obarva. Pri obdelavi lahko zaradi visoke vsebnosti silicija zelo krha rezila.

Sapelli je pomembna afriška izvozna surovina. Zaradi dobrih tehnoloških lastnosti, je splošno uporaben za vse vrste pohištva, furnirje, talne obloge, čolnarstvo, instrumente, stružene izdelke in galanterijo. Sapelli ima zelo trd les (Meier, 2008).

Sapelli ima relativno dobro dimenzijsko stabilnost. Skrčki sapellija (Meier, 2008):

Tangencialno 7,2%

Radialno 4,8%

Volumsko 12%

2.5.6 Topolovina

Topolovina uporabljena v tej raziskavi je les črnega topola (*Populus nigra*). Je relativno redka domača drevesna vrsta. Topol zraste do višine 20 m. Les je belkasto siv, rdečkast do rjavkast, delno progast, branike so pogosto zelo široke, podoben je vrbovini, makroskopsko ju je težko popolnoma ločiti. Gostota topola je med 370...410...520 kg/m³. Zaradi homogene strukture in nizke gostote se malo krči, stabilnost je dobra, obrabna trdnost je visoka. Predvsem les z zelo širokimi branikami ima pogosto vlaknasto površino (tenzijski les). Ni odporen proti atmosferilijam, insektom in glivam (Čufar, 2006)

Topolovina se uporablja za izdelavo embalaže, lahkih konstrukcijskih plošč, nevidne dele pohištva in oblog, vžigalice, proizvodnjo celuloze, vlaknenih in ivernih lesnih tvoriv.

Krčenje topolovine od svežega do suhega stanja preračunano na dimenzije svežega lesa v % (Gorišek, 2008):

Tangencialno 7,1 – 9,8 %

Radialno 3,3 – 5,2 %

Volumsko 10,7 – 14,3 %

3 MATERIALI IN METODE

3.1 VZORCI

Za vsako drevesno vrsto je bilo pripravljenih po deset (10) oštevilčenih vzorcev za izvedbo terenskega testa, dimenzij (aksialno) $150 \times$ (radialno/ tangencialno) 52×25 mm. Vzorci so bili nažagani in poskoblani iz predhodno suhega lesa. V sušilniku (Kambič, Slovenija) so bili osušeni (103 ± 2 °C) do konstantne mase in stehtani, da smo pridobili mase sušilnično (absolutno) suhih vzorcev.

Za izvedbo testiranja kratkotrajnega navzema je bilo za vsako vrsto lesa pripravljenih po 10 vzorcev 50 mm aksialno, 35×25 mm, predhodno kondicioniranih pri temperaturi 20 °C in RV 65 % do konstantne mase.

3.2 KRATKOTRAJNI NAVZEM

Vzorci so bili nameščeni na tenziometer znamke KRÜSS (Processor Tenziometer K100) in potopljeni 0,5 mm s čela v destilirano vodo. Uporabljeni tenziometer se avtomatsko kalibrira, natančnost merjenja mase je 30 µg, programska oprema tenziometra omogoča avtomatsko spremljanje mase in izris grafa dinamike navlaževanja v odvisnosti od časa (Krüss, 2016). Uravnovešenim vzorcem je bila predhodno izmerjena površina. Masa vzorcev je bila odčitana vsaki dve sekundi, postopek je trajal 200 sekund. Za vsako lesno vrsto je bilo izdelanih po 10 vzporednih vzorcev.

3.3 IZPOSTAVITEV VZORCEV VREMENSKIM VPLIVOM

Vzorci so bili izpostavljeni vremenskim vplivom. Po dva naključno izbrana vzorca po posameznih lesnih vrstah sta bila nameščena na avtomatskih tehtnicah, ki so zvezno beležile maso. Po osem vzorcev po posamezni vrsti je bilo nameščenih na stojalu, na nosilnih letvah z ozko površino, da smo izločili morebitno zastajanje vlage na stikih površin vzorcev in podlage. Vzorci so bili izpostavljeni v obdobju od 14.03.2014 do 26.06.2014.

3.4 KONTINUIRANO MERJENJE

Kontinuirano spremljanje mase vzorcev se je izvajalo na avtomatskih tehtnicah na Oddelku za lesarstvo v Ljubljani, od 19.03.2014 do 26.06.2014 (slika 2). Računalniški program je vsakih 50 sekund beležil izmerjeno maso. Za raziskavo smo uporabili 32 merilnih celic HBM precix 6 z maksimalno kapaciteto 7 kg. Podatke smo zajemali z napravo PMX in jih beležili s programsko opremo Catman Easy.



Slika 2: Kontinuirano tehtanje vzorcev (foto: Humar Miha)

3.5 OBČASNO TEHTANJE

Vzorci, ki so bili naloženi na stojalu, smo periodično tehtali enkrat tedensko. Po padavinah smo vzorce tehtali tudi pogostejše. Vzorce smo tehtali na elektronski tehtnici, na eno decimalno natančno. Občasno tehtanje smo vedno izvajali podnevi. Vsi vzorci so bili pri ročnem tehtanju vedno površinsko suhi, razen pri tehtanjih, ki so bila izvedena takoj po dežju, vendar smo tudi v teh primerih pred tehtanjem s površine vzorcev odstranili prosto

vodo. Z občasnim tehtanjem nismo zaznali spremembe mase in posledično vlažnosti, ki je bila posledica kondenzacije zračne vlage pri ohlajanju zraka (rosa).

3.6 SPREMLJANJE TEMPERATURE IN RELATIVNE ZRAČNE VLAŽNOSTI

V Bevkah smo poleg mase vzorcev spremljali še temperaturo in relativno zračno vlažnost.

Uporabili smo opremo proizvajalca Scanntronik (Nemčija). Thermofox Universal je zapisovalnik podatkov (data logger) in termometer s tremi temperaturnimi senzorji. Prvi je vgrajen v sam modul in deluje v temperaturnem razponu od -10 °C do 50 °C, drugi in tretji pa sta zunanja senzorja z razponom od -30 °C do 120 °C. Ločljivost senzorjev je 0,1 °, napaka pa je manjša od ± 1 °. Poleg tega smo za spremljanje relativne zračne vlažnosti modul nadgradili še z dodatnim zunanjim senzorjem za beleženje relativne zračne vlažnosti.

Osnovna verzija Thermofoxa lahko shrani 4000 zapisov, z nakupom dodatnega EEPROM spomina pa je mogoče kapaciteto razširiti na 64000 zapisov. Interval zapisovanja je prosto nastavljiv (od enkrat na sekundo do enkrat na dan) preko programske opreme SoftFox, ki se uporablja tudi za obdelavo zbranih podatkov. Modul za napajanje uporablja dve AAA bateriji, s katerima lahko deluje do dve leti (Scanntronik, 2014)

Vrednosti relativne zračne vlažnosti so bile avtomatsko beležene vsako uro od 14.03.2014 do 21.06.2014.

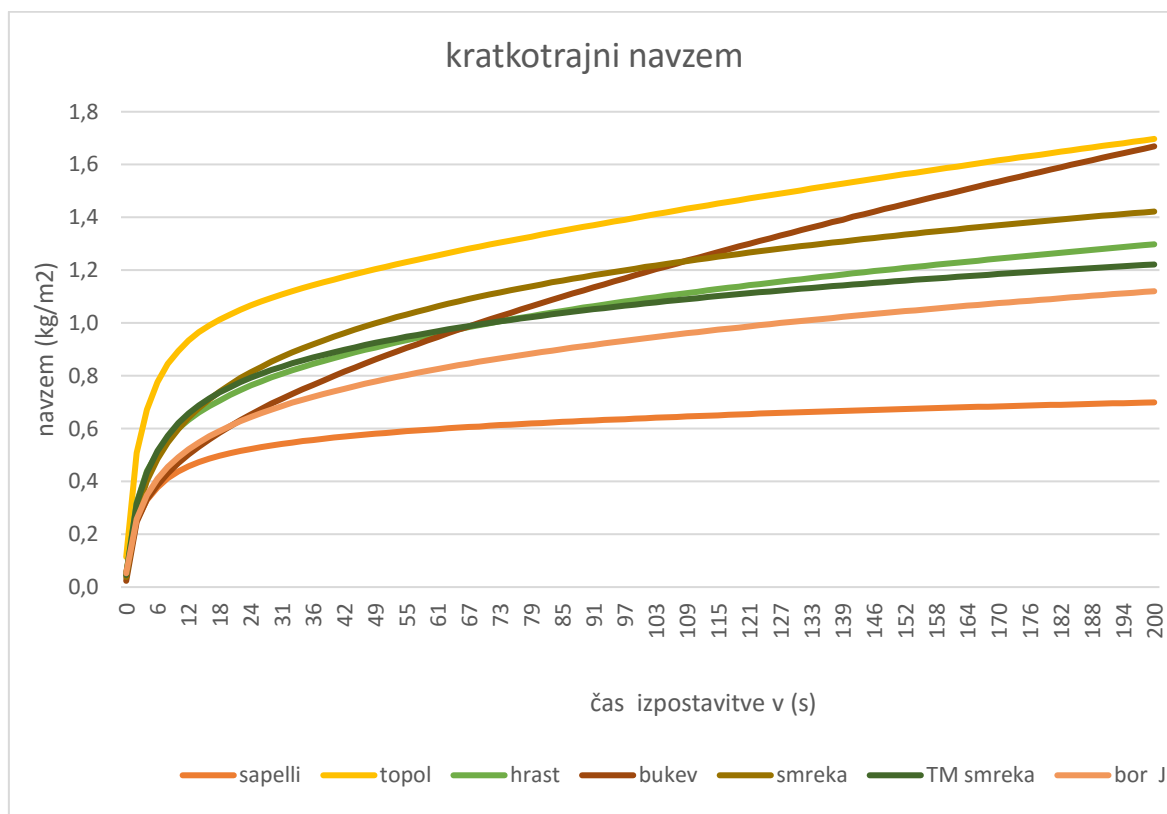
4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 KRATKOTRAJNI NAVZEM

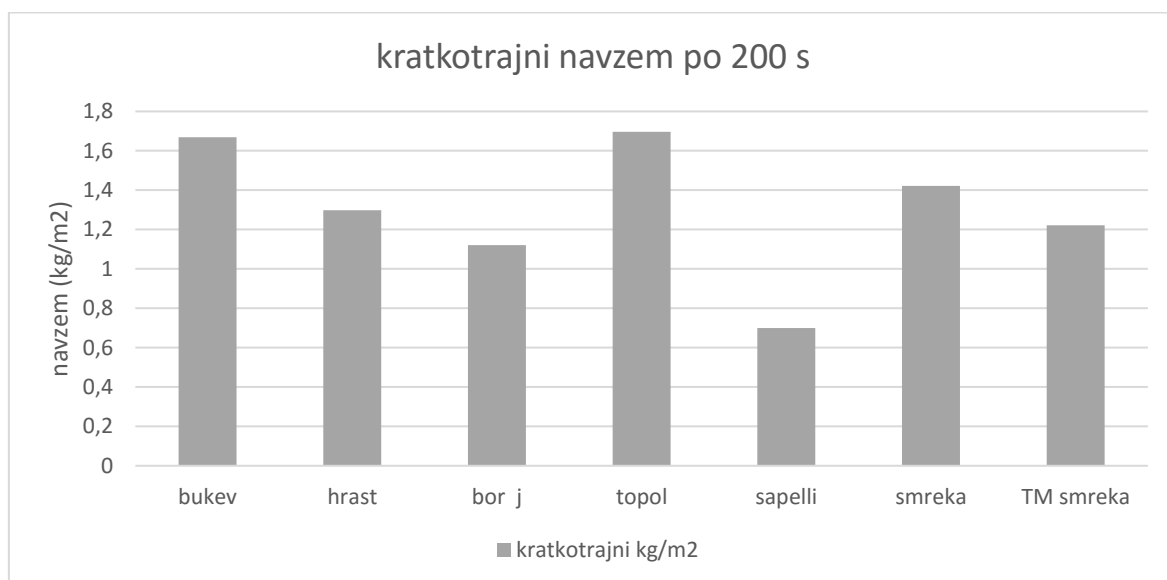
Rezultati (slika 3) kažejo hiter navzem v začetnih merjenjih do 10. sekunde, kasneje (do 200 sekund) je hitrost navzema bistveno nižja. V preglednici 3 so prikazane začetne in končne meritve, vmesni niz je zaradi primerljivega trenda kot na koncu, zaradi boljše preglednosti izpuščen. Najnižji navzem vode je zabeležen pri sapelliju, najvišji pričakovano pri topolu in bukvi. Presenetljivo nizek navzem je zabeležen pri borovini. Pričakovano nižji končni navzem vode (slika 4) je zabeležen pri TM smreki. Menimo, da je zanimivo, da je na začetku dinamika navzema TM smreke višja, kot pri neobdelani smreki. To nakazuje, da s termično modifikacijo vplivamo na hidrofobnost oziroma hidrofilnost lesa.

Preglednica 3: Povprečni navzemi vode izraženi v kg vode/m² površine lesa. Navzem je določen s tenziometrom. V stiku z vodo so bile le aksialne površine.

Čas v s	Lesna vrsta						
	sapelli	topol	hrast	bukev	smreka	TM smreka	bor J
	Kratkotrajni navzem vode (kg/m ²)						
0,01	0,05590	0,11421	0,04822	0,02364	0,03782	0,04560	0,05237
2,03	0,25209	0,50828	0,31908	0,24612	0,28281	0,31601	0,25788
4,12	0,33029	0,67166	0,43879	0,33238	0,40288	0,43433	0,34775
6,28	0,37790	0,77641	0,50819	0,38601	0,48526	0,51582	0,40974
8,29	0,41190	0,84521	0,55845	0,43119	0,54694	0,57201	0,45466
10,13	0,43740	0,89421	0,60020	0,46911	0,59848	0,62073	0,49100
12,34	0,45687	0,93416	0,63356	0,50192	0,64173	0,65733	0,52134
14,23	0,47363	0,96562	0,66154	0,53155	0,67811	0,68768	0,54758
...	...						
194,01	0,69653	1,68101	1,28768	1,64290	1,41246	1,21491	1,11179
196,13	0,69752	1,68641	1,29099	1,65167	1,41569	1,21720	1,11470
198	0,69844	1,69170	1,29460	1,66021	1,41892	1,21947	1,11755
200	0,69937	1,69715	1,29803	1,66892	1,42207	1,22157	1,12033



Slika 3: Dinamika kratkotrajnega kapilarnega navzema za posamezne lesne vrste, določena v laboratoriju



Slika 4: Količina absorbirane vode po končanem testu kratkotrajnega navzema v odvisnosti od lesne vrste

4.2 KONTINUIRANO MERJENJE VLAŽNOSTI LESA NA PROSTEM

Oprema za kontinuirano merjenje je bila nameščena na terenskem polju Oddelka za lesarstvo, približno 1m nad tlemi.

Mase so bile beležene na vsakih 50 sekund, zaradi omejitev programske opreme, je ni bilo mogoče beležiti manj pogosto. Na ta način je bilo za vsak vzorec pridobljenih 1728 meritev na dan. Iz pridobljenih podatkov smo izrazili povprečno relativno vlažnost lesa posamezne vrste na izbrani dan. Z računanjem povprečji smo se izognili tudi nihanjem mase zaradi vetra in nekoliko izničili pojav površinske vode. V preglednici 4 so označene vrednosti (odebeljeno), ko je pri posameznih vrstah lesa relativna vlažnost presegla kritično mejo 25 %.

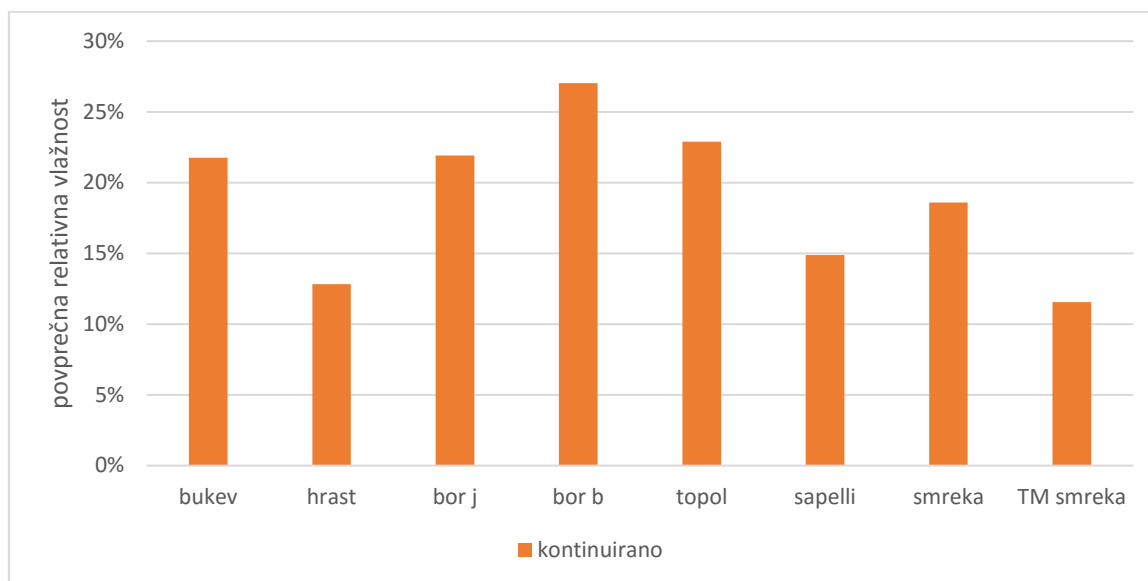
Preglednica 4: Povprečna relativna vlažnost lesa na prostem, določena s kontinuiranim tehtanjem na merilnih celicah. Dnevno smo zabeležili 1728 meritev.

Datum	Lesna vrsta							
	bukev	sapelli	topol	smreka	TM smreka	bor b	bor j	hrast
	Povprečna vlažnost lesa							
20.3.2014	3,55 %	3,83 %	4,34 %	5,14 %	2,02 %	4,40 %	4,00 %	3,52 %
21.3.2014	4,37 %	4,60 %	5,55 %	6,15 %	2,42 %	5,28 %	5,03 %	4,25 %
22.3.2014	5,89 %	5,77 %	7,77 %	7,67 %	3,33 %	6,68 %	7,04 %	5,46 %
23.3.2014	22,24 %	17,41 %	37,05 %	22,36 %	18,16 %	35,82 %	25,08 %	11,36 %
24.3.2014	39,02 %	32,75 %	68,56 %	41,72 %	34,90 %	73,33 %	43,90 %	13,91 %
25.3.2014	45,08 %	31,10 %	77,51 %	41,27 %	38,65 %	68,19 %	40,98 %	17,14 %
26.3.2014	37,60 %	28,06 %	73,89 %	37,48 %	36,02 %	67,46 %	37,99 %	18,68 %
27.3.2014	21,01 %	13,34 %	23,64 %	20,46 %	10,67 %	29,66 %	24,97 %	11,47 %
28.3.2014	15,66 %	11,45 %	18,50 %	15,03 %	7,21 %	23,40 %	16,85 %	9,04 %
29.3.2014	13,09 %	9,31 %	12,54 %	12,40 %	5,25 %	20,10 %	13,36 %	8,11 %
30.3.2014	11,95 %	8,68 %	10,78 %	11,68 %	4,97 %	18,05 %	12,22 %	7,74 %
31.3.2014	10,75 %	8,05 %	9,42 %	10,72 %	4,57 %	15,89 %	10,98 %	7,37 %
1.4.2014	10,49 %	8,22 %	9,50 %	10,70 %	4,58 %	15,00 %	10,82 %	7,43 %
2.4.2014	10,40 %	8,46 %	9,79 %	10,86 %	4,66 %	14,38 %	10,81 %	7,63 %
3.4.2014	10,30 %	8,53 %	9,61 %	10,70 %	4,52 %	13,61 %	10,78 %	7,77 %
4.4.2014	10,67 %	9,17 %	10,44 %	11,35 %	4,87 %	14,06 %	11,24 %	7,98 %
5.4.2014	27,14 %	19,27 %	35,33 %	26,51 %	17,76 %	41,70 %	29,80 %	14,43 %
6.4.2014	39,58 %	29,66 %	57,88 %	40,41 %	31,46 %	68,31 %	44,36 %	15,11 %
7.4.2014	28,04 %	21,43 %	35,37 %	27,08 %	17,53 %	44,63 %	30,47 %	13,92 %
8.4.2014	18,95 %	12,03 %	15,77 %	15,54 %	7,30 %	26,03 %	18,52 %	10,23 %
9.4.2014	26,48 %	15,64 %	30,30 %	21,59 %	12,72 %	37,27 %	26,36 %	12,74 %
10.4.2014	18,71 %	11,12 %	15,68 %	14,16 %	6,56 %	24,90 %	17,20 %	9,75 %

11.4.2014	15,86 %	9,95 %	11,18 %	12,26 %	5,08 %	20,71 %	14,57 %	9,40 %
12.4.2014	19,23 %	13,09 %	18,86 %	17,18 %	8,60 %	25,31 %	20,14 %	12,40 %
13.4.2014	25,88 %	19,71 %	35,32 %	26,94 %	15,13 %	39,36 %	32,05 %	15,11 %
14.4.2014	20,11 %	14,30 %	21,47 %	18,37 %	9,01 %	26,80 %	22,30 %	12,29 %
15.4.2014	19,98 %	15,02 %	22,33 %	18,58 %	10,30 %	23,61 %	20,65 %	12,11 %
16.4.2014	15,47 %	11,05 %	12,80 %	13,21 %	6,09 %	19,09 %	14,43 %	9,86 %
17.4.2014	13,35 %	9,52 %	9,62 %	11,42 %	4,93 %	16,90 %	12,38 %	9,23 %
18.4.2014	13,02 %	9,71 %	9,77 %	11,59 %	5,20 %	16,13 %	12,44 %	9,44 %
19.4.2014	11,89 %	9,08 %	8,69 %	10,74 %	5,08 %	14,56 %	11,48 %	8,92 %
20.4.2014	35,36 %	22,58 %	45,87 %	31,29 %	20,82 %	51,59 %	39,79 %	18,72 %
21.4.2014	57,48 %	44,43 %	94,91 %	57,33 %	46,32 %	97,21 %	63,13 %	17,24 %
22.4.2014	59,53 %	45,72 %	102,76 %	61,88 %	46,83 %	97,72 %	62,65 %	13,88 %
23.4.2014	34,08 %	17,27 %	34,42 %	23,51 %	14,65 %	36,26 %	30,64 %	17,45 %
24.4.2014	27,11 %	15,17 %	24,19 %	19,02 %	10,57 %	28,63 %	24,57 %	14,34 %
25.4.2014	26,07 %	18,58 %	28,92 %	22,17 %	15,61 %	32,44 %	26,82 %	14,54 %
26.4.2014	20,72 %	14,26 %	17,29 %	16,48 %	8,92 %	22,83 %	19,87 %	13,32 %
27.4.2014	25,70 %	16,89 %	26,09 %	21,06 %	12,40 %	29,60 %	25,17 %	16,26 %
28.4.2014	46,13 %	32,15 %	60,86 %	45,10 %	30,23 %	65,17 %	48,73 %	22,39 %
29.4.2014	43,30 %	24,11 %	48,64 %	31,91 %	23,67 %	50,54 %	38,21 %	21,68 %
30.4.2014	37,19 %	21,37 %	40,53 %	26,42 %	20,06 %	40,75 %	34,62 %	18,76 %
1.5.2014	30,66 %	18,14 %	29,55 %	22,50 %	14,01 %	34,51 %	28,88 %	17,91 %
2.5.2014	32,23 %	19,04 %	31,27 %	24,12 %	15,59 %	40,30 %	32,75 %	19,44 %
3.5.2014	39,21 %	24,48 %	41,68 %	31,72 %	19,99 %	48,91 %	38,76 %	21,12 %
4.5.2014	31,37 %	17,87 %	28,55 %	20,74 %	12,88 %	34,92 %	27,74 %	18,34 %
5.5.2014	22,12 %	12,04 %	13,58 %	13,30 %	6,56 %	23,41 %	17,55 %	13,13 %
6.5.2014	19,03 %	11,27 %	11,09 %	12,39 %	6,39 %	20,40 %	15,39 %	12,15 %
7.5.2014	18,48 %	11,35 %	12,28 %	12,56 %	6,70 %	18,98 %	15,35 %	12,49 %
8.5.2014	34,06 %	20,86 %	40,92 %	26,54 %	17,18 %	37,28 %	33,57 %	21,00 %
21.5.2014	12,31 %	8,51 %	4,38 %	8,54 %	4,73 %	12,04 %	10,27 %	9,40 %
22.5.2014	12,70 %	9,65 %	6,64 %	10,03 %	5,52 %	12,31 %	11,60 %	10,47 %
23.5.2014	12,10 %	9,58 %	6,41 %	9,87 %	5,27 %	11,54 %	11,21 %	10,33 %
24.5.2014	11,73 %	10,03 %	6,60 %	10,31 %	5,74 %	11,63 %	11,67 %	10,40 %
25.5.2014	10,63 %	8,73 %	4,83 %	8,80 %	4,70 %	10,23 %	9,80 %	9,41 %
26.5.2014	19,00 %	12,35 %	16,95 %	15,06 %	7,80 %	17,98 %	17,25 %	13,77 %
27.5.2014	20,36 %	13,81 %	16,59 %	15,03 %	7,87 %	20,06 %	18,19 %	13,36 %
28.5.2014	21,43 %	13,55 %	18,81 %	16,21 %	8,97 %	19,71 %	21,12 %	15,14 %
29.5.2014	32,66 %	20,26 %	37,12 %	27,77 %	20,19 %	35,87 %	35,77 %	19,46 %
30.5.2014	32,35 %	20,12 %	33,13 %	26,39 %	15,71 %	34,27 %	34,41 %	19,36 %
31.5.2014	23,34 %	12,46 %	14,13 %	13,64 %	6,41 %	18,71 %	18,49 %	13,56 %
1.6.2014	19,10 %	11,21 %	10,83 %	12,08 %	6,55 %	16,59 %	15,27 %	12,44 %
2.6.2014	16,61 %	10,73 %	8,72 %	11,18 %	5,79 %	14,70 %	13,81 %	11,63 %
3.6.2014	17,94 %	11,80 %	12,31 %	13,25 %	6,90 %	16,10 %	16,28 %	12,81 %
4.6.2014	19,33 %	14,24 %	16,26 %	16,96 %	9,41 %	19,75 %	21,37 %	14,40 %

5.6.2014	22,01 %	17,15 %	25,87 %	20,87 %	13,47 %	26,85 %	24,92 %	16,39 %
6.6.2014	17,24 %	12,28 %	12,29 %	13,22 %	7,46 %	16,53 %	16,66 %	13,07 %
7.6.2014	13,83 %	9,91 %	6,71 %	9,85 %	5,45 %	12,76 %	12,56 %	10,79 %
8.6.2014	11,96 %	9,12 %	4,90 %	8,68 %	4,85 %	10,89 %	11,22 %	9,88 %
9.6.2014	10,71 %	8,75 %	4,02 %	8,24 %	4,65 %	9,84 %	10,64 %	9,34 %
10.6.2014	9,85 %	8,33 %	3,22 %	7,77 %	4,38 %	8,95 %	10,05 %	8,86 %
11.6.2014	9,07 %	7,82 %	2,49 %	7,22 %	3,99 %	8,09 %	9,35 %	8,38 %
12.6.2014	10,46 %	8,53 %	6,45 %	8,61 %	4,58 %	9,67 %	11,35 %	9,58 %
13.6.2014	17,18 %	14,51 %	23,28 %	19,66 %	13,10 %	23,85 %	26,41 %	14,10 %
14.6.2014	23,82 %	15,22 %	23,58 %	19,57 %	11,23 %	28,15 %	26,21 %	15,64 %
15.6.2014	17,56 %	10,64 %	9,34 %	10,71 %	5,50 %	16,89 %	15,00 %	11,36 %
16.6.2014	13,71 %	8,67 %	4,09 %	7,85 %	3,57 %	12,57 %	11,09 %	9,46 %
17.6.2014	12,94 %	9,05 %	3,78 %	7,95 %	3,76 %	11,55 %	11,16 %	9,49 %
18.6.2014	12,22 %	9,06 %	3,81 %	8,02 %	3,97 %	10,78 %	11,00 %	9,46 %
19.6.2014	11,65 %	9,19 %	3,77 %	8,29 %	4,31 %	10,38 %	11,21 %	9,46 %
20.6.2014	13,91 %	11,63 %	9,31 %	11,28 %	6,49 %	12,75 %	14,83 %	11,82 %
21.6.2014	19,21 %	15,67 %	25,83 %	19,70 %	12,26 %	24,06 %	24,91 %	16,32 %
22.6.2014	13,34 %	9,24 %	6,93 %	8,73 %	4,11 %	12,46 %	12,57 %	10,15 %
23.6.2014	12,16 %	8,95 %	4,74 %	7,96 %	4,08 %	10,61 %	11,55 %	9,59 %
24.6.2014	31,61 %	16,31 %	29,01 %	23,79 %	13,34 %	27,25 %	29,25 %	17,42 %
25.6.2014	41,19 %	24,55 %	48,44 %	36,55 %	22,59 %	42,59 %	41,88 %	22,42 %
26.6.2014	39,33 %	26,68 %	52,89 %	46,43 %	27,30 %	50,54 %	49,67 %	18,27 %

Interpretacija podatkov v preglednici 4 je relativno zapletena. Zaradi množice podatkov so v nadaljevanju predstavljeni agregirani podatki. Tako si je lažje interpretirati vrednosti. Povprečne relativne vlažnosti lesa (slika 5) kažejo logično in pričakovano razmerje med posameznimi vrstami lesa. Pričakovano je imela beljava bora (27 %) višjo povprečno relativno vlažnost kot jedrovina bora (22 %). Podobno odvisnost najdemo med neobdelano smreko (19 %), v primerjavi s TM smreko (12 %). Pričakovano sta se tudi topolovina (23 %) in bukovina (22 %) bistveno bolj navlaževali kot sapelli (15 %) in hrastovina (13 %). V kolikor bi razporedili lesne vrste od najmanj odporne proti vlaženju do najbolj odporne, bi bila razporeditev naslednja: bor beljava, topol, bor jedrovina, bukev, smreka, sapelli, hrast in najmanj vlažna termično modificirana smreka.



Slika 5: Povprečna relativna vlažnost lesa na prostem, določena s kontinuiranim spremljanjem mase

Poleg povprečne vlažnosti je za spremljanje odpornosti proti navlaževanju primernejši kak drug indikator. Povprečna vlažnost je pogosto zaradi vpliva nekaj zelo vlažnih dni, lahko zelo varljiva. Poleg tega se pri isti količini vpite vode (ali isti količini vode, ki se nahaja na površini) vlažnost pri bolj redki topolovini dvigne bolj, kot pri bolj gosti bukovini. Zato se je kot pomemben indikator uveljavil delež dni, ko je vlažnost lesa presegla 25 %, kar velja za mejno vrednost ugodno za razvoj pomembnih gliv razkrojevalk. Pri vrednosti 25 % je treba upoštevati, da so vzorci relativno veliki in da voda po lesu ni razporejena homogeno. Čela in površina lesa imajo drugačno vlažnost kot sredica. Podatki o deležu dni, ko vlažnost posamezne lesne vrste presega 25 % oziroma 30 % so prikazani v preglednici 5. Med vsemi drevesnimi vrstami se je najbolje obnesel les hrasta, ki v celotnem obdobju merjenja niti enkrat ni presegel vlažnosti 25 %. Sledi mu termično modificirana smreka, ki je bila 9,2 % časa vlažnejša od 25 %, kar je veliko bolje od smrekovine (21,84 %). Podobno vrednost je dosegel tudi sapelli. Bukovina, topolovina in jedrovina bora so izkazale primerljive lastnosti. Najslabše se je obnesla beljava bora, ki je bila kar 40 % časa vlažnejša od 25 %.

Preglednica 5: Delež dni (%), ko sta bili preseženi relativni vlažnosti lesa 25 % in 30 %

	bukev	sapelli	topol	smreka	TM smreka	bor b	bor j	hrast
delež dni nad 25 % kontinuirano (%)	32,18	9,20	34,48	21,84	9,20	40,23	34,48	0,00
delež dni nad 30 % kontinuirano (%)	24,14	5,75	26,44	13,79	8,05	29,89	22,99	0,00

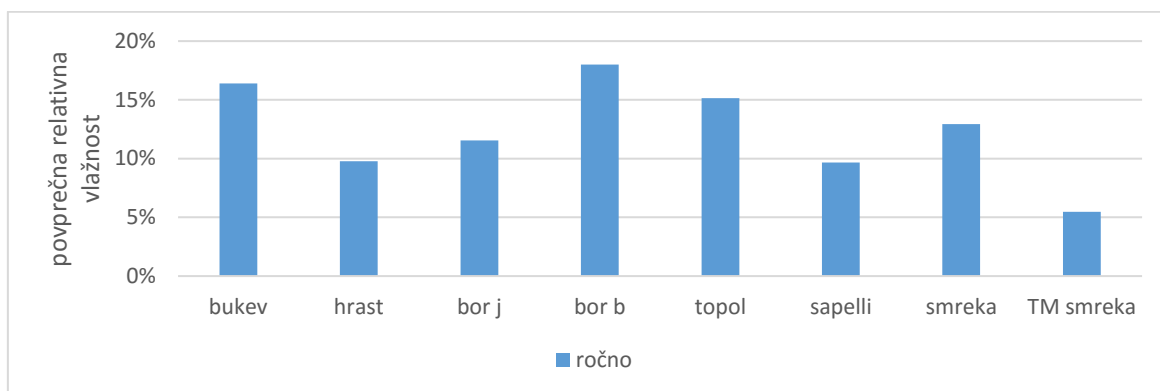
V kolikor med seboj primerjamo podatke, ki smo jih dobili z laboratorijskimi testi in spremljanjem vlažnosti lesa na prostem, opazimo, da so se v obeh primerih najbolj obnesli les hrasta, termično modificirana smreka in sapelli. Najslabšo odpornost proti navlaževanju pa so izkazali beljava bora, bukovina, in topolovina. Ta podatek nakazuje na to, da z laboratorijskimi testi lahko do določene mere lažje in hitreje napovemo določene podatke, kot s terenskimi testi.

4.3 OBČASNO SPREMLJANJE VLAŽNOSTI LESA

Rezultati (preglednica 6) so prav tako kot pri kontinuiranem načinu, pričakovano pokazali razmerje navlaževanja med posameznimi lesnimi vrstami. V preglednici 6 so odebeljeni podatki, ko je povprečna vlažnost lesa presegla 25%. Razmerja so primerljiva in sicer beljava bora se je najbolj navlaževala, TM smreka in hrast najmanj (slika 6)

Preglednica 6: Gibanje vlažnosti lesa izpostavljenega na prostem, določeno z občasnim tehtanjem.

datum	Lesna vrsta								povprečna relativna zračna vlažnost (%)
	bukev	hrast	bor j	bor b	topol	sapelli	smreka	TM smreka	
	Relativna vlažnost lesa (%)								
14.03.2014	9	7	9	11	10	8	10	4	48
21.03.2014	10	8	9	11	10	8	11	5	51
28.03.2014	21	11	14	26	21	11	16	6	59
04.04.2014	11	8	10	12	10	9	11	5	54
06.04.2014	33	15	18	41	33	13	21	8	73
11.04.2014	17	11	12	19	15	11	14	6	59
18.04.2014	12	9	10	13	11	10	11	5	52
25.04.2014	19	12	14	20	16	12	15	7	71
03.05.2014	35	15	17	28	27	14	19	8	76
10.05.2014	17	12	13	16	14	11	14	6	59
17.05.2014	17	11	11	15	12	11	12	6	60
24.05.2014	12	10	11	12	11	11	12	6	56
31.05.2014	21	12	14	20	17	12	15	6	58
07.06.2014	10	8	9	10	8	8	10	5	62
12.06.2014	9	8	9	9	8	9	9	4	61
21.06.2014	11	9	10	12	10	8	10	5	64



Slika 6: Povprečna relativna vlažnost lesa izpostavljenega na prostem, določena z občasnim tehtanjem

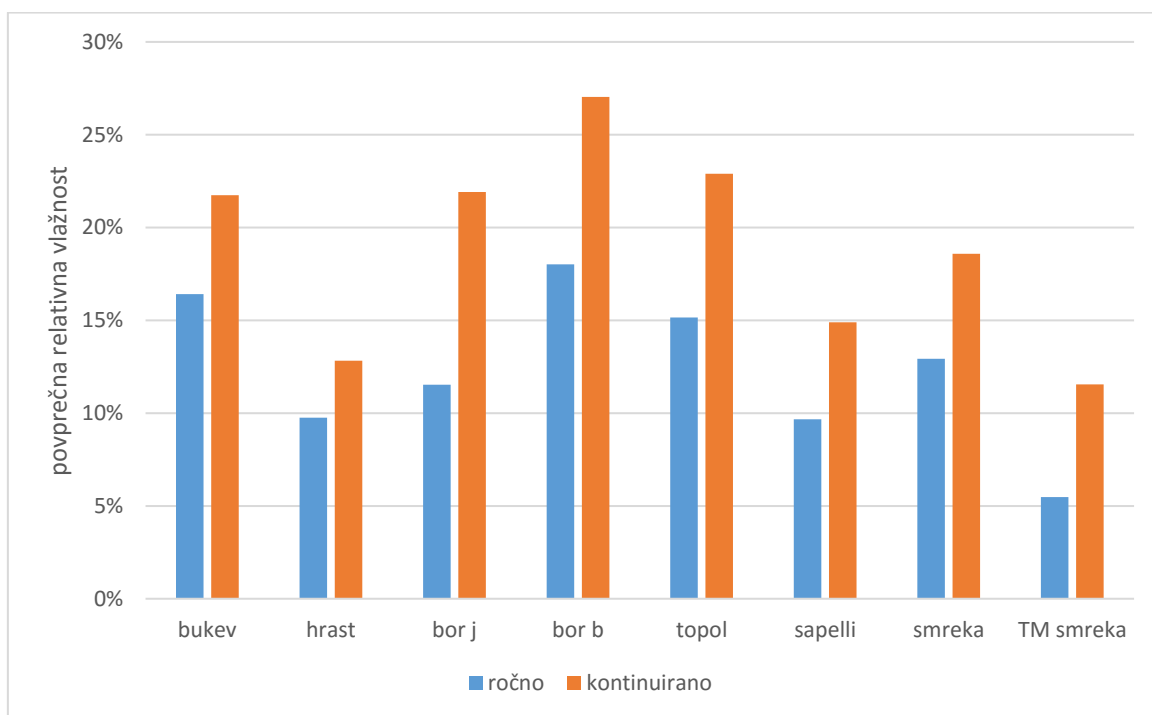
4.4 PRIMERJAVA REZULTATOV OBČASNEGA IN KONTINUIRANEGA MERJENJA

Za primerjavo kontinuiranega in občasnega določanja smo iz podatkov, pridobljenih po metodi kontinuiranega merjenja zbrali podatke, pridobljene v istih dneh, kot so bila izvedena posamezna občasna tehtanja (preglednica 7). V preglednici so odebeljeni podatki, ko je povprečna relativna vlažnost lesa presegla 25%.

Preglednica 7: Povprečne relativne vlažnosti lesa pridobljene s kontinuiranim tehtanjem, ob dneh, ko so bila izvedena tudi ročna tehtanja.

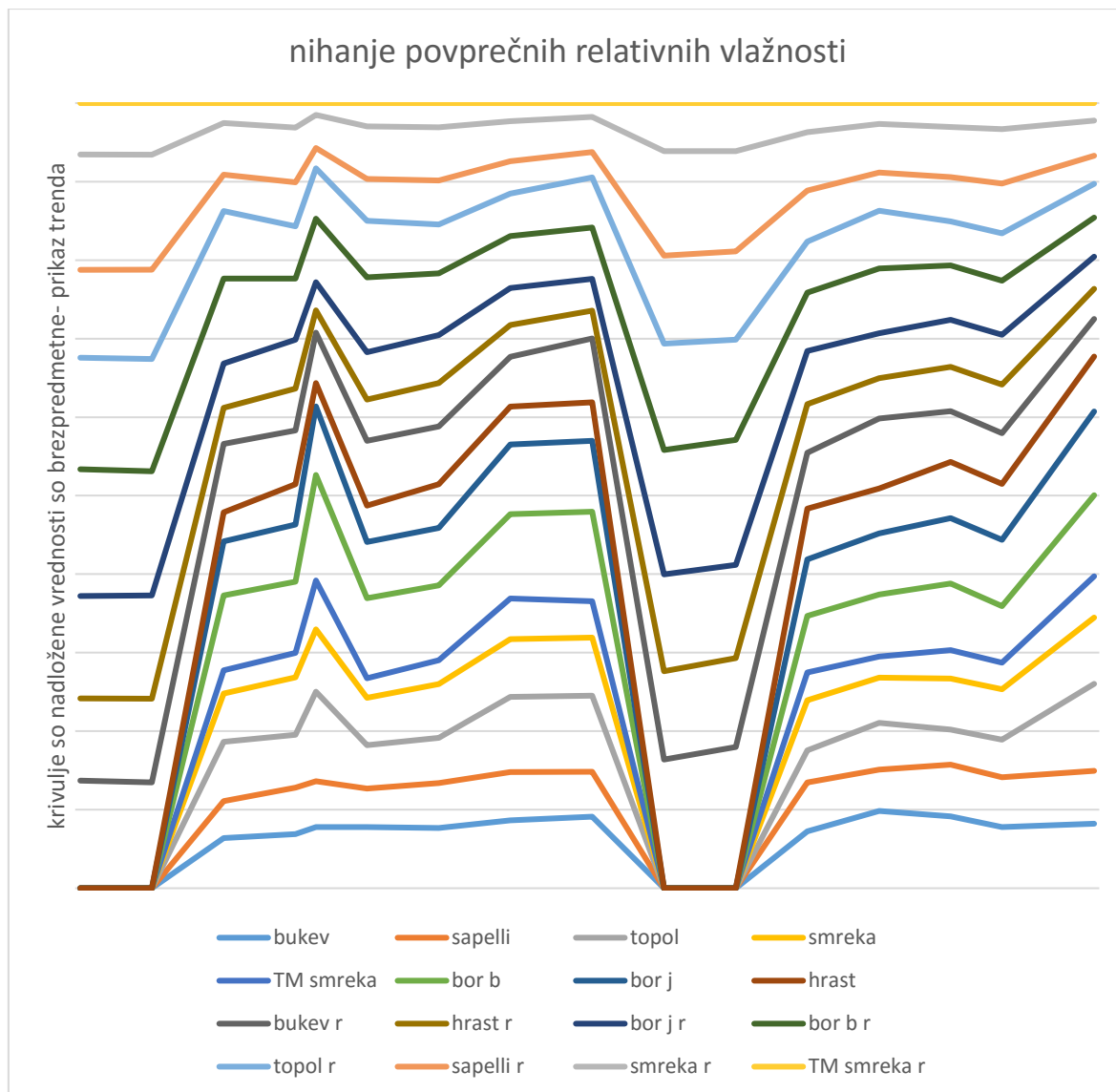
Datum	Lesna vrsta							
	bukev	sapelli	topol	smreka	TM smreka	bor b	bor j	hrast
	Relativna vlažnost lesa (%)							
28.03.2014	15,66	11,45	18,50	15,03	7,21	23,40	16,85	9,04
04.04.2014	10,67	9,17	10,44	11,35	4,87	14,06	11,24	7,98
06.04.2014	39,58	29,66	57,88	40,41	31,46	68,31	44,36	15,11
11.04.2014	15,86	9,95	11,18	12,26	5,08	20,71	14,57	9,40
18.04.2014	13,02	9,71	9,77	11,59	5,20	16,13	12,44	9,44
25.04.2014	26,07	18,58	28,92	22,17	15,61	32,44	26,82	14,54
03.05.2014	39,21	24,48	41,68	31,72	19,99	48,91	38,76	21,12
24.05.2014	11,73	10,03	6,60	10,31	5,74	11,63	11,67	10,40
31.05.2014	23,34	12,46	14,13	13,64	6,41	18,71	18,49	13,56
07.06.2014	13,83	9,91	6,71	9,85	5,45	12,76	12,56	10,79
12.06.2014	10,46	8,53	6,45	8,61	4,58	9,67	11,35	9,58
21.06.2014	19,21	15,67	25,83	19,70	12,26	24,06	24,91	16,32

Najprej smo primerjali skladnost razmerji med povprečnimi vlažnostmi posameznih lesnih vrst (slika 7). V splošnem lahko vidimo, da je bila povprečna vlažnost vzorcev določenih s kontinuirano metodo vedno nekoliko višja od povprečne vlažnosti določene z občasnim tehtanjem. Tako smo pri bukovini z občasnim tehtanjem določili povprečno vlažnost okoli 16 %, s kontinuiranim tehtanjem pa 22 %. Razlog za to razliko je metodološke narave. Vlažnost vzorcev smo pri občasnem tehtanju določali po padavinskih dogodkih. Pri kontinuirani metodi, pa povprečja predstavljajo tudi meritve, ko je na površini vzorcev stala voda. Zato smo se bolj kot z absolutnimi vrednostmi v okviru te naloge, ukvarjali z razmerji med posameznimi lesnimi vrstami. Razmerja med povprečnimi relativnimi vlažnostmi posameznih vrst lesa, so pri obeh metodah povsem primerljiva (Slika 7). Najbolje sta se obnesla les hrasta in les termično obdelane smrekovine, najslabše pa beljava bora. Slaba odpornost proti navlaževanju je zagotovo ena od lastnosti, ki se odraža v slabi odpornosti beljave borovine.



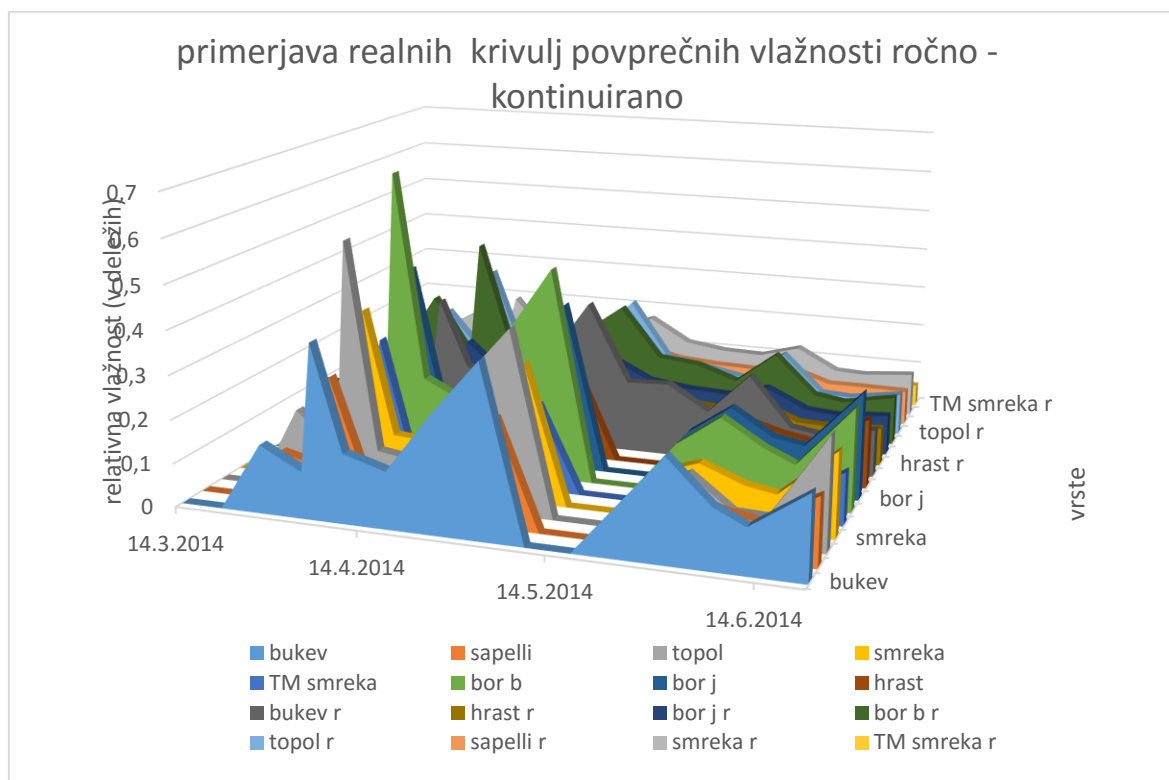
Slika 7: Primerjava povprečnih relativnih vlažnosti lesa pridobljenih s kontinuiranim in občasnim tehtanjem

Ujemanje kažejo tudi primerjave krivulj poteka vlažnosti analiziranih lesnih vrst. Na začetku slike in v sredini slike, kjer se krivulje spustijo na x os, ni razpoložljivih podatkov iz kontinuirane metode (slika 8). Do izpada je prišlo zaradi tehničnih težav merilne opreme.



Slika 8: Primerjava skladnosti krivulj poteka relativne vlažnosti lesa v izbranem časovnem obdobju, glede na uporabljeno metodo določanja vlažnosti lesa. Črka r v legendi označuje podatke, ki so bili pridobljeni z občasnim ročnim določanjem mase.

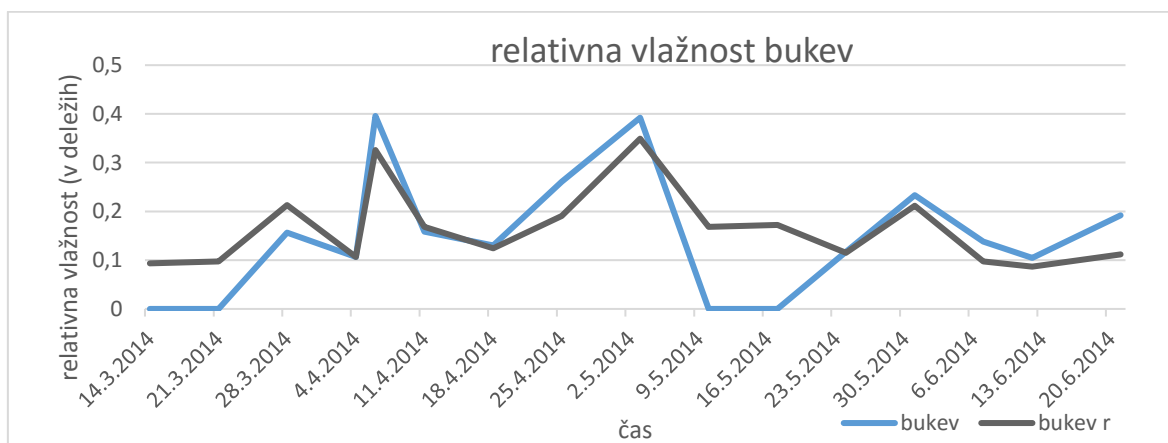
Primerjava krivulj izmerjenih relativnih vlažnosti lesa na sliki 9, kaže na visoka odstopanja med vrednostmi pridobljenimi z občasn timerjenjem in kontinuiranim merjenjem.



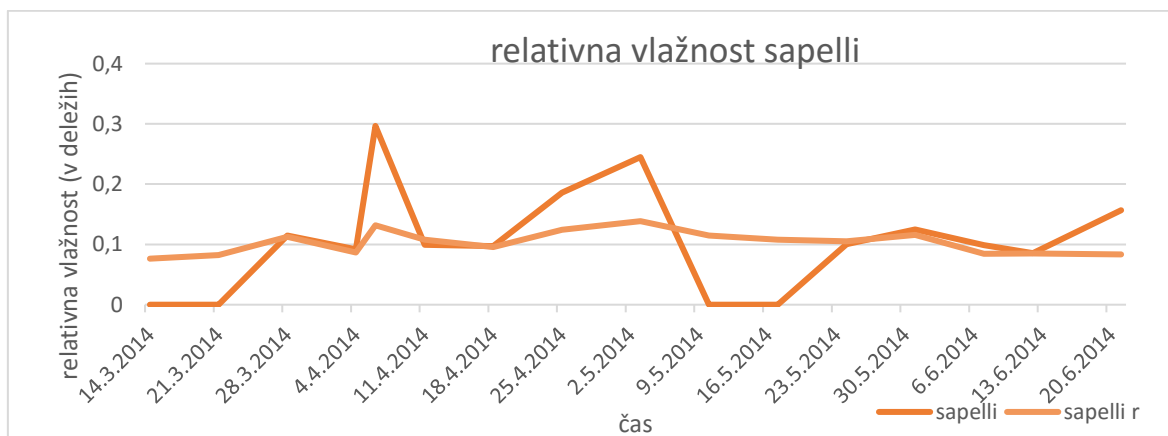
Slika 9: Prikaz poteka relativnih vlažnosti posameznih lesnih vrst

Primerjava krivulj povprečne relativne vlažnosti lesa iste vrste pridobljene po obeh metodah kažejo, da med vrednostmi, pri bukovini (slika 10) in hrastovini (slika 15) ni velikega odstopanja, pri sapelliju (slika 11), topolovini (slika 12), smrekovini (slika 13), beljavi (slika 15) in jedrovini (slika 16) borovine in TM smrekovini (slika 14), se kažejo visoka odstopanja v dneh meritev, ko so bili izpolnjeni pogoji za ekstremno povišano vlažnost. Razlog za napako je lahko tehnične narave ali dejstvo, da smo med kontinuiranim spremljanjem mase lesa kot vodo v lesu zabeležili tudi vodo, ki se je nahajala na površini lesa in s tem umetno izkazali višjo vlažnost. Ta razlika je še posebej opazna pri slabše permeabilnih vrstah, kjer voda ostaja na površini, kot sta na primer sapelli in hrast.

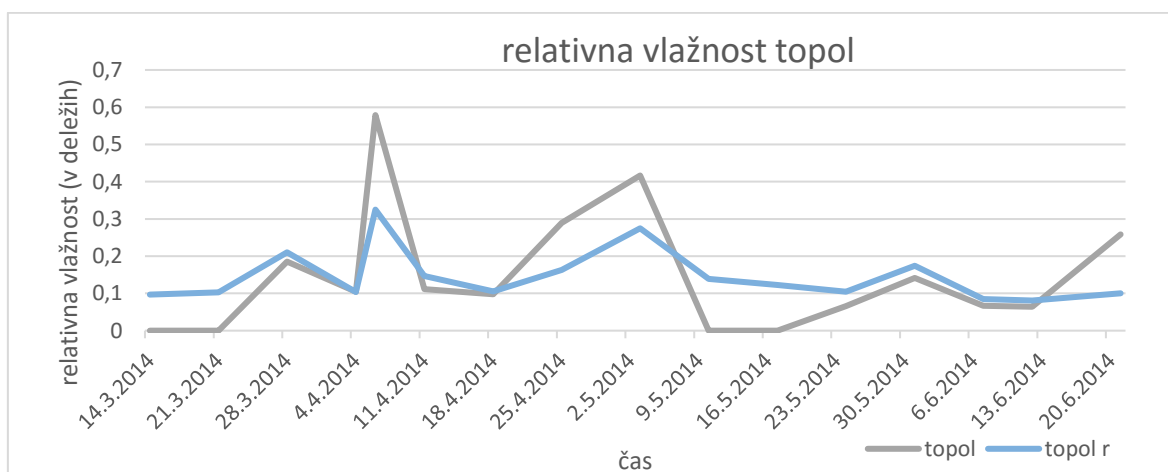
Pri kontinuiranem načinu merjenja so bile v dneh občasnega tehtanja zaznane bistveno višje vrednosti, kot pri ročnem občasnem tehtanju. Razlogi za to razliko so bili že opisani.



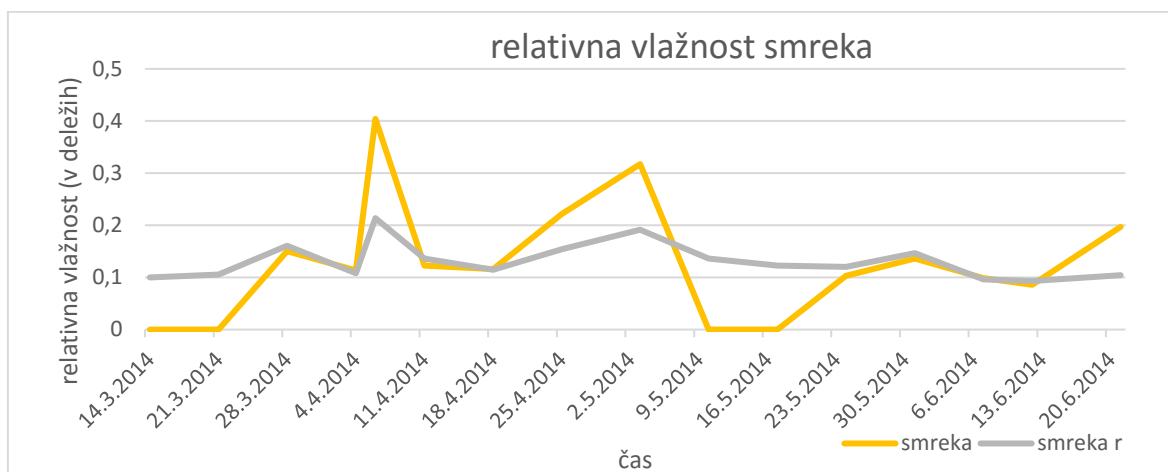
Slika 10: Primerjava povprečne relativne vlažnosti bukovine, določene s kontinuirano metodo – bukev in metodo občasnega ročnega merjenja – bukev r



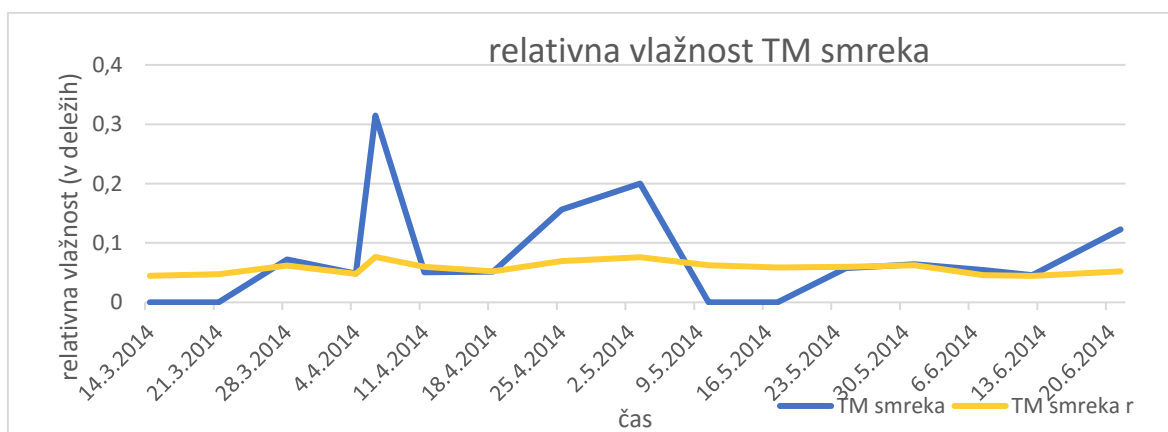
Slika 11: Primerjava povprečne relativne vlažnosti sapellija, določene s kontinuirano metodo – sapelli in metodo občasnega ročnega merjenja – sapelli r



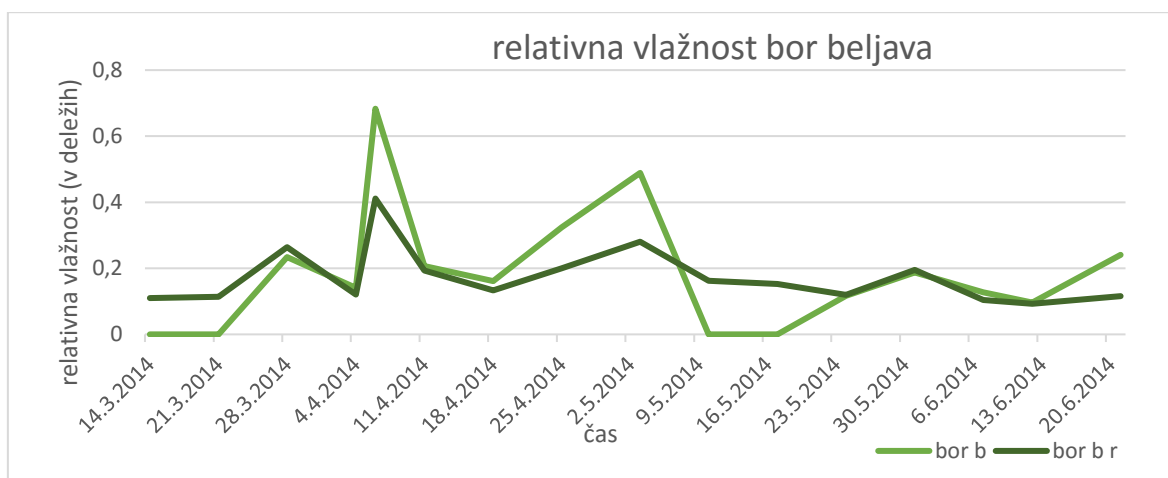
Slika 12: Primerjava povprečne relativne vlažnosti topolovine, določene s kontinuirano metodo – topol in metodo občasnega ročnega merjenja – topol r



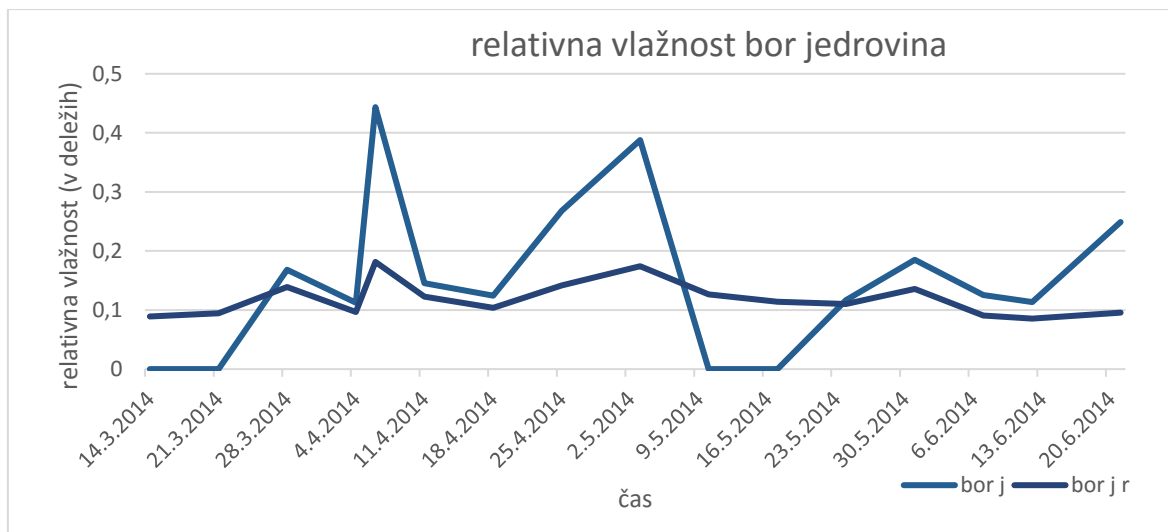
Slika 13: Primerjava povprečne relativne vlažnosti smrekovine, določene s kontinuirano metodo – smreka in metodo občasnega ročnega merjenja – smreka r



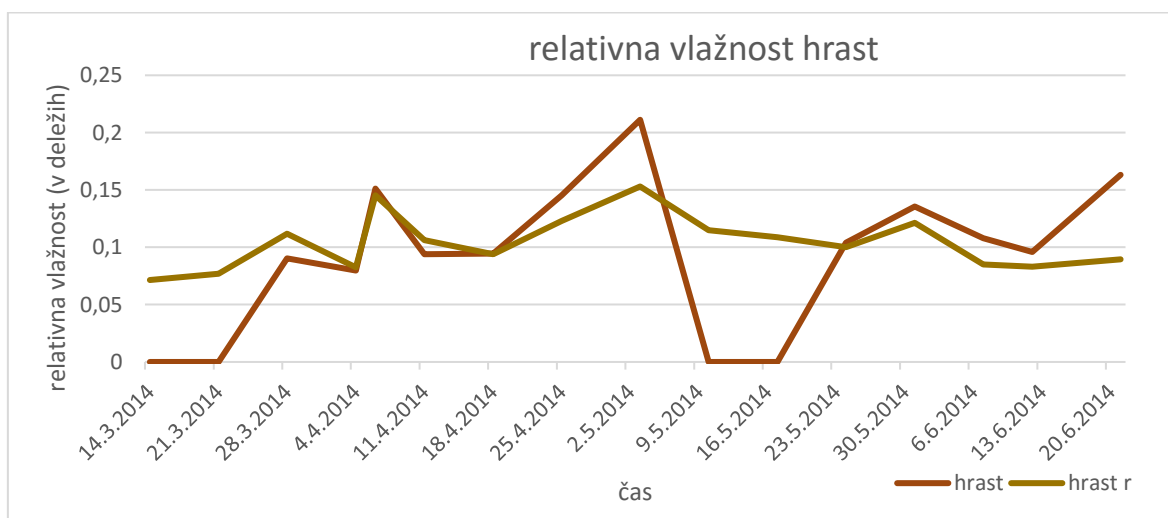
Slika 14: Primerjava povprečne relativne vlažnosti TM smrekovine, določene s kontinuirano metodo – TM smreka in metodo občasnega ročnega merjenja – TM smreka r



Slika 15: Primerjava povprečne relativne vlažnosti beljave bora, določene s kontinuirano metodo – bor b in metodo občasnega ročnega merjenja – bor b r

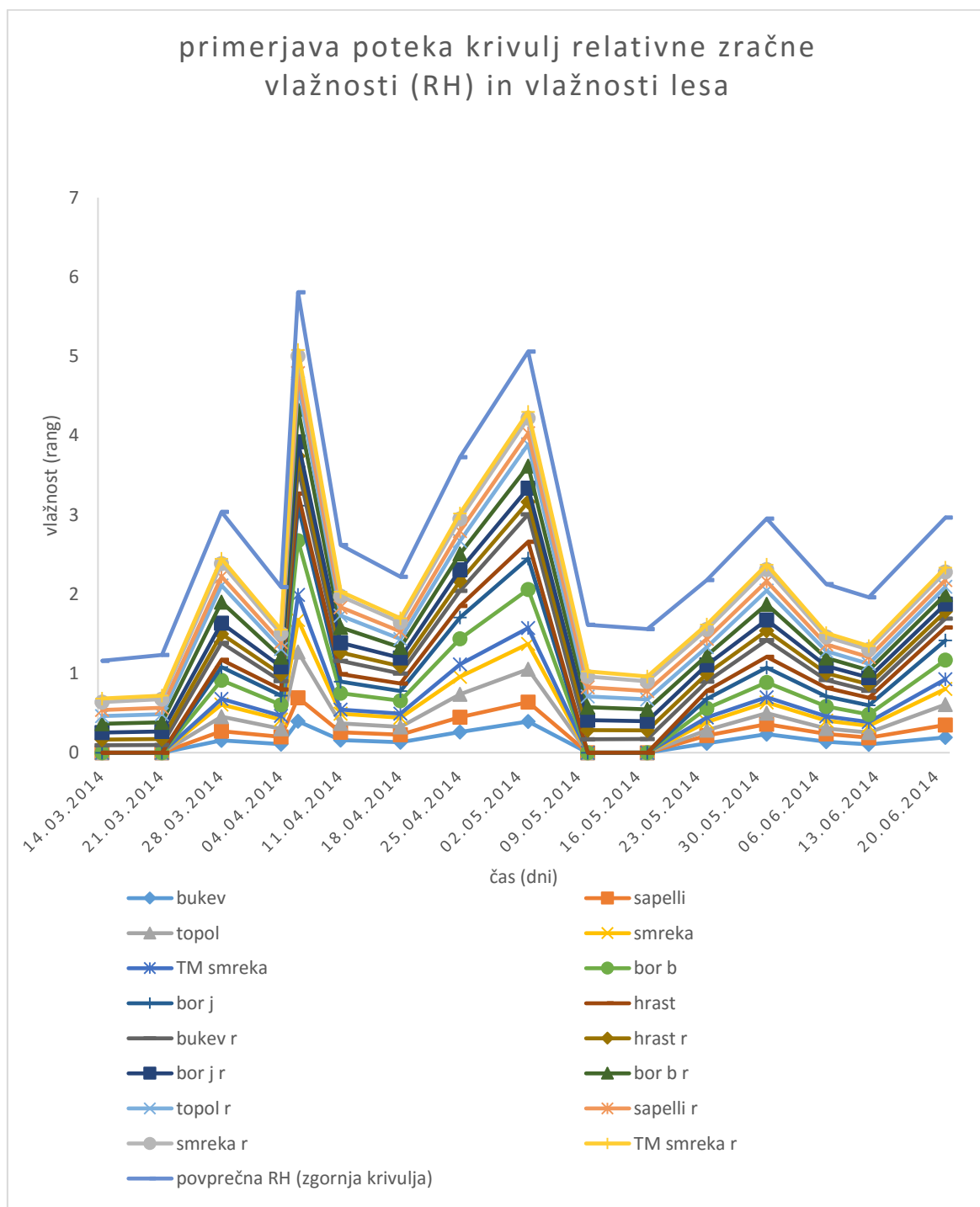


Slika 16: Primerjava povprečne relativne vlažnosti jedrovine bora, določene s kontinuirano metodo – bor j in metodo občasnega ročnega merjenja – bor j r



Slika 17: Primerjava povprečne relativne vlažnosti hrastovine, določene s kontinuirano metodo – hrast in metodo občasnega ročnega merjenja – hrast r

Primerjava krivulj relativne vlažnosti lesa in relativne zračne vlažnosti pri vseh lesovih, in pri obeh metodah merjenja, kaže dobro medsebojno korelacijo (slika 18).



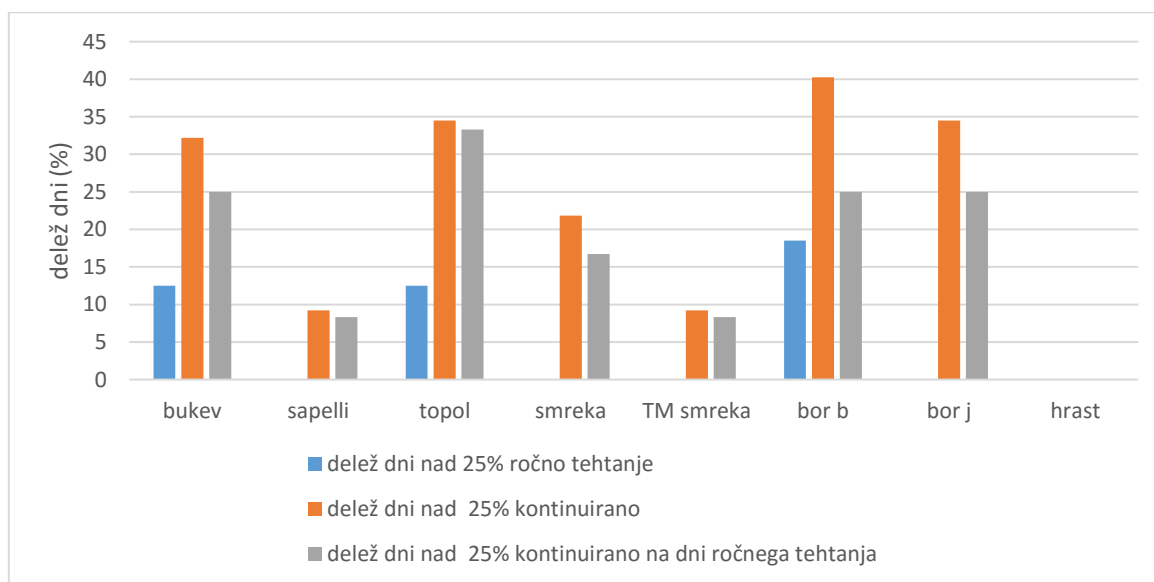
Slika 18: Primerjava skladnosti poteka krivulj relativne vlažnosti lesa in relativne zračne vlažnosti.

Če primerjamo preseženo 25 % vrednosti vlažnosti lesa glede na izbrano metodo (preglednica 8) (slika 19), ugotovimo, da je sodeč po metodi kontinuiranega merjenja, bistveno višji delež časa ravnovesna vlažnost lesa presegla 25 %. Pri treh lesnih vrstah z

metodo občasnega tehtanja nismo zaznali prekoračitve vrednosti relativne vlažnosti lesa nad kritično točko 25 %. Pri tem je treba upoštevati razliko v metodologiji. Pri občasnem merjenju nismo vlažnosti nikoli določali ob padavinskih dogodkih, temveč vedno po padavinskem dogodku. Če je obdobje padavin trajalo nekaj dni, tako za razliko od kontinuirane metode, v tem obdobju z ročno metodo nismo nikoli določili vlažnosti.

Preglednica 8: Delež časa, ko je bila sodeč po meritvah relativna vlažnost lesa nad 25 % in 30 %, primerjava med podatki pridobljenimi po obeh uporabljenih metodah.

	Lesna vrsta							
	bukev	sapelli	topol	smreka	TM smreka	bor b	bor j	hrast
	Delež časa (%)							
delež dni nad 25 % občasno tehtanje	11,11		11,11			16,67		
delež dni nad 25 % kontinuirano	32,18	9,20	34,48	21,84	9,20	40,23	34,48	0,00
delež dni nad 30 % kontinuirano	24,14	5,75	26,44	13,79	8,05	29,89	22,99	0,00



Slika 19: Primerjava deležev dni, ko je relativna vlažnost lesa preseгла 25 % oz. 30 %, določeno z ročnim in kontinuiranim spremljanjem.

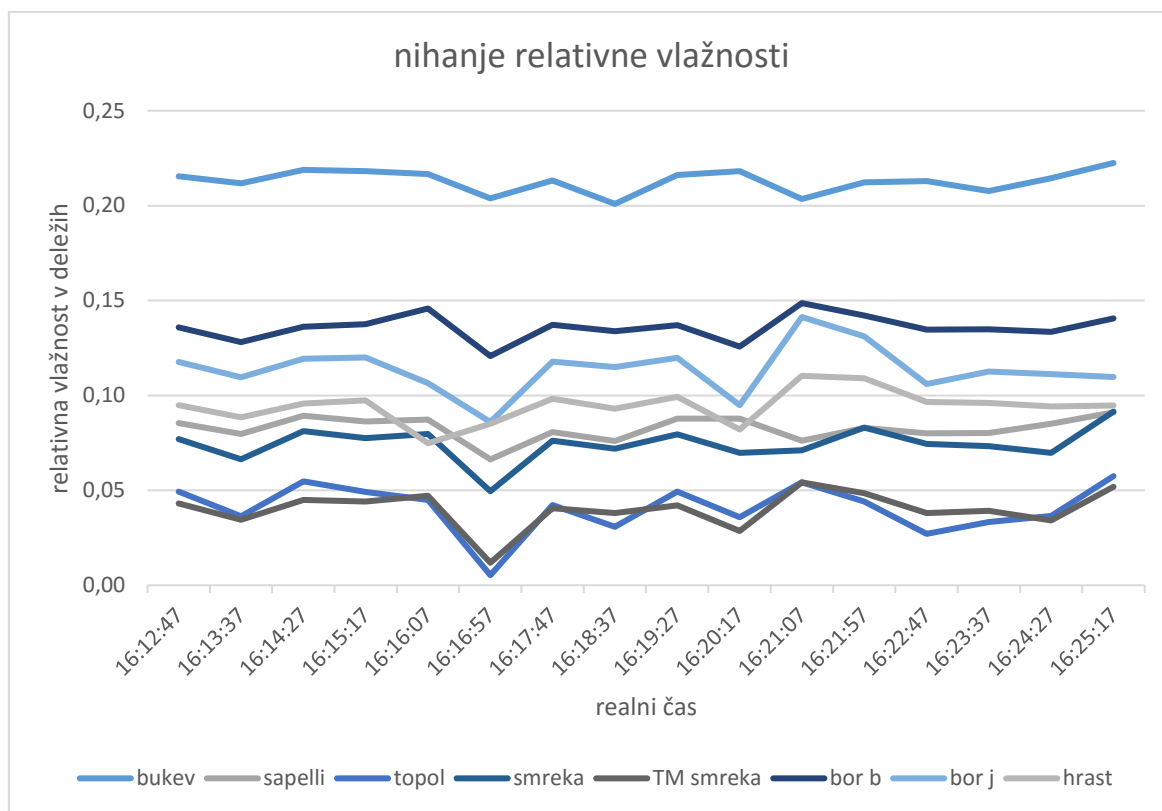
Primerjava rezultatov kontinuiranega merjenja, ročnega občasnega tehtanja z metodo kratkotrajnega navzema kažejo, da se absolutne vrednosti med seboj ne skladajo. Razmerja

med posameznimi vrstami lesa se pri posameznih metodah nekoliko razlikujejo, obstaja pa tesna korelacija med navlaževanjem manj in bolj permeabilnih lesnih vrst.

Primerjava rezultatov kontinuiranega merjenja, občasnega tehtanja in dolgotrajnega navzema po 144 urah, (Brischke in sod., 2014), kažejo na korelacijo v razmerjih med posameznimi lesnimi vrstami. Višja korelacija se kaže z metodo plavajočih vzorcev. Pri metodi potopljenih vzorcev je neskladno razmerje med topolovino in beljavo bora.

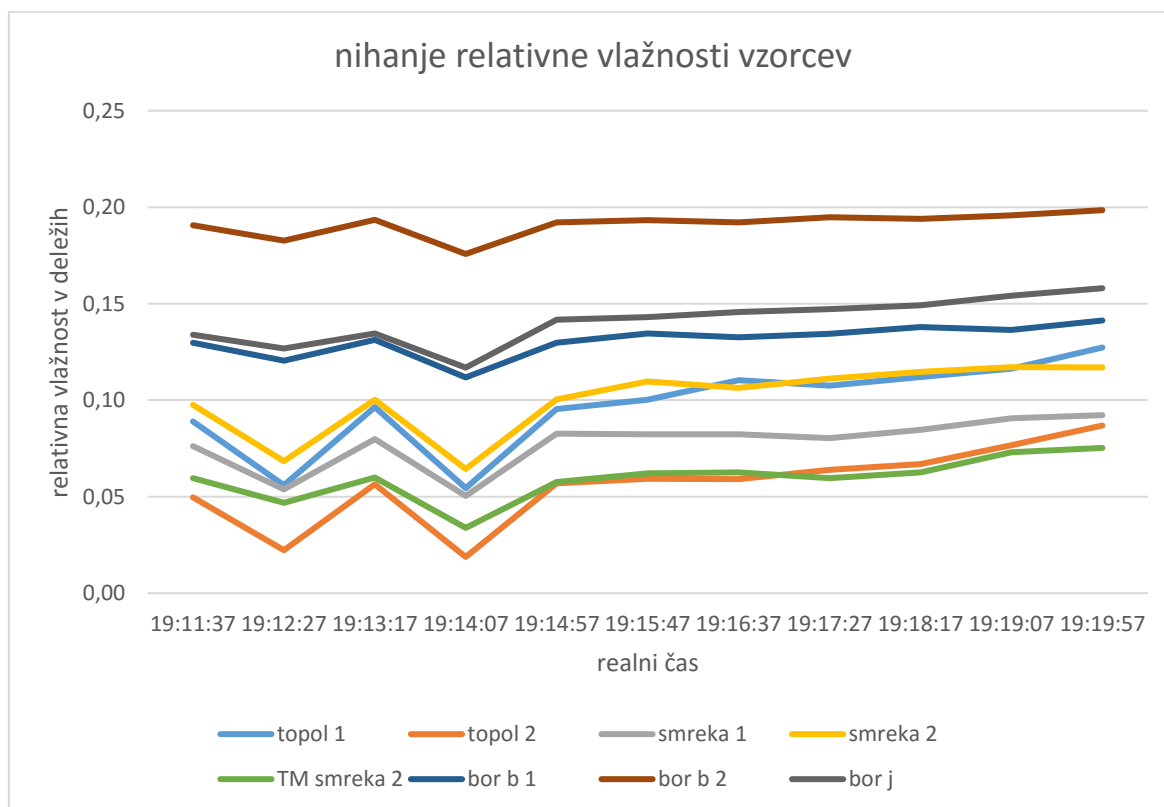
4.5 RAZPRAVA

Rezultati kažejo skladnost, vendar statistično pričakovano, metoda z občasn timeranjem zajema neprimerno manjšo količino podatkov, kar pojasnjuje razliko v zaznanih ekstremih. Z občasn timeranjem vzorcev nismo zaznali spremembe relativne vlažnosti lesa zaradi navlaževanja ponoči, prav tako nismo zaznali sprememb v dneh, ko tehtanja nismo izvajali. Zaradi načina dela pri ročnem tehtanju, ker smo vzorce tehtali v suhem delu dneva, nismo zaznali ekstremnih povišanj relativne vlažnosti. Po drugi strani kontinuirano tehtanje ne izloči napake, ki nastane pri rezultatu zaradi kapljevine, ki se med padavinami (rosa, dež) in nekaj časa po padavinah zadržuje na lesu (slika 23). Z občasn timeranjem nikdar nismo tehtali kapljevine skupaj z vzorci, vzorci so imeli v času tehtanja verjetno bolj homogeno porazdeljen gradient vlažnosti. Pri kontinuiranem merjenju so bili rezultati odčitani na štiri decimalke natančno. Glede na pregled naključnih nizov podatkov, je moč z gotovostjo trditi, da na zadnje tri decimalke močno, na prvo pa delno, vplivajo tudi drugi dejavniki, kot so veter, žuželke. Analiza naključnega niza podatkov kaže, da je pri merjenju z natančnostjo do četrte decimalke, napaka posameznega rezultata lahko do 0,5 % vrednosti relativne vlažnosti lesa. V skladu s teorijo sušenja, je nemogoče, da bi se les v času 50 sekund posušil za 0,2 %, v naslednjih 50 sekundah navlažil za 0,3 %, v naslednjih 50 sekundah posušil za 0,5 %. K temu nihanju lahko pripomore tudi veter in lastno nihanje stojala.



Slika 20: Nihanje relativne vlažnosti lesa v intervalu izbranega niza podatkov (01.06.2014)

Napaka se pri višjih vlažnostih še povečuje. Naključni niz podatkov kaže na spremembo ravnovesne vlažnosti za več procentov v štirih zaporednih odčitkih (slika 20) in to med drugim pri TM smreki. Edino, kar imajo skupnega vse tri lesne vrste, pri katerih naj bi v prikazanem primeru, po podatkih vlažnost zanihala (slika 21), je nizka gostota. Razlog za nihanje bi lahko bila sunek vetra ali v primeru dežja, v nekem trenutku odtečena voda iz površine vzorca, kar pri lažjem vzorcu pomeni relativno višjo razliko, kar vpliva na rezultat meritve. Na sliki 20 je razvidna tudi konstantna visoka razlika v vlažnosti med vzorcema topola, ki sta ob nastavitvi poskusa izkazovala primerljivo vlažnost. Izkazana razlika je lahko posledica neke konstantne dodatne mase, ki se je na vzorcu pojavila po nastavitvi poskusa.



Slika 21: Nihanje relativne vlažnosti vzorcev nekaterih lesnih vrst v realnem času

Prav tako naključni niz podatkov spremljanja vlažnosti vzorca topola (slika 22), kaže na spremembo relativne vlažnosti vzorca iz 45 % na 36 % v 22 minutah s tem, da je vrednost vmes nihala. V navezavi na podatke pridobljene v raziskavi, ki so jo opravili Brischke in sodelavci (2014), katere povzetek je v 2. poglavju te naloge, je potrebno vse ravnovesne vlažnosti, ki presegajo vrednosti nad TNCS ali visoka nihanja v kratkem času, ustrezno korigirati z vplivi drugih dejavnikov. V skladu s primerjavo z omenjeno laboratorijsko raziskavo namreč nenaden padec ali porast povprečne vlažnosti lesa, kot kaže preglednica 9, ni mogoč. Pregled dejansko izmerjenih vrednosti kaže, da je sodeč po meritvah, relativna vlažnost lesa v osmih urah, pri bukovini narasla iz 14 % na 41 %. Obstajata dve razlagi: Ali se les ni navlažil in je bila zaznana masa, ki ni bila vlaga v lesu (slika 23), ali pa je merilnik zaznal napačne podatke.

Če podrobno pogledamo podatke prvih dni po nastavitvi poskusa, ko so bili vzorci presušeni in so začeli takoj absorbirati vlago iz zraka, se je relativna vlažnost lesa za nekaj odstotkov dvignila šele v treh dneh (preko 6000 meritev). Na podlagi opisanih dejstev se smejo izmerjene absolutne vrednosti in na podlagi le-teh pridobljeni rezultati, uporabljati le v kontekstu, kot je naveden v tej raziskavi.

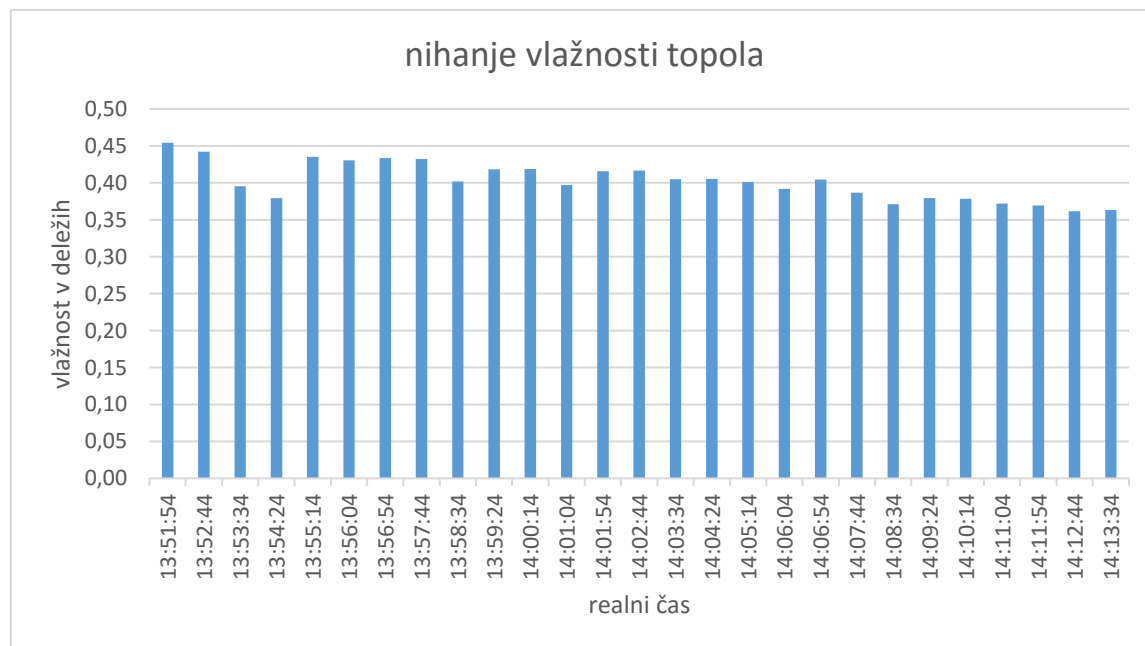
Preglednica 9: Izrezek preglednice povprečnih vlažnosti posameznih lesnih vrst, izračunanih po podatkih, pridobljenih s kontinuiranim merjenjem

Datum	Lesna vrsta							
	bukev	sapelli	topol	smreka	TM smreka	bor b	bor j	hrast
	Povprečna vlažnost lesa							
...	...	...	...	...	...	...	...	...
19.4.2014	11,89	9,08	8,69	10,74	5,08	14,56	11,48	8,92
20.4.2014	35,36	22,58	45,87	31,29	20,82	51,59	39,79	18,72
21.4.2014	57,48	44,43	94,91	57,33	46,32	97,21	63,13	17,24
22.4.2014	59,53	45,72	102,76	61,88	46,83	97,72	62,65	13,88
23.4.2014	34,08	17,27	34,42	23,51	14,65	36,26	30,64	17,45

Trditve utemeljujem še z dejstvom, da se po večletnih izkušnjah les na prostem suši več mesecev (preglednica 10).

Preglednica 10: Okvirni čas sušenja 25 mm lesa na prostem, do vlažnosti 20 % (Gorišek 1994).

Lesna vrsta	bukev	smreka	hrast	mahagonij	javor
Čas sušenja v dnevih	70-200	80-200	100-300	60-150	50-200



Slika 22: Nihanje vlažnosti topola (vlažnost lesa izražena v deležih) datum 30.05.2014



Slika 23: Kapljevina na vzorcu sapellija (foto: Humar Miha)

Na podlagi vseh meritev se posamezne lesne vrste pričakovano razvrščajo v podobnem razmerju. Nižja številka pomeni nižji navzem in posledično višjo odpornost, višja številka pomeni višji navzem in posledično nižjo odpornost (preglednica 11).

Preglednica 11: Medsebojno rangiranje posameznih lesnih vrst

	bukev	sapelli	topol	smreka	tm smreka	bor b	bor j	hrast
občasno ročno tehtanje	7	3	6	5	1	8	4	2
Kontinuirano spremljanje	5	3	7	4	1	8	6	2
Kratkotrajni navzem	6	1	7	5	3		2	4

5 SKLEPI

Cilji raziskave so bili doseženi, določene so bile vlažnosti lesnih vrst z občasnim ročnim in kontinuiranim tehtanjem. Vzoredno smo določili kratkotrajni navzem in med seboj primerjali pridobljene rezultate.

Gravimetrično metodo kontinuiranega merjenja za potrebe uporabe na prostem je potrebno ustrezno prirediti, da v čim večji meri izločimo vplive okolice.

Ustrezno je potrebno ovrednotiti in izločiti odčitke, na katere vpliva kapljevina na vzorcih, ki nima neposrednega vpliva na vlažnost lesa.

Vzorci bi bilo potrebno vpeti na tak način, da bi se voda ves čas odtekala iz površine ali pa izločiti meritve, pri katerih bi bilo jasno, da je na lesu prisotna kapljevina ali celo sneg in led.

Z uporabo kontinuiranega spremljanja mase vzorcev, lahko z določeno modifikacijo metode, pridobivamo relativno zanesljive podatke o pogostosti pojava kapljevine na površini lesa.

Hipoteza, da med lesnimi vrstami prihaja do velikih razlik v vlažnosti lesa je potrjena.

Hipoteza, da so rezultati, ki jih dobimo z avtomatiziranim spremljanjem mase, primerljivi z vsakotedenskim spremljanjem mase, drži kar se tiče trenda, ne pa tudi kar se tiče zaznavanja ekstremnih vrednosti relativne vlažnosti lesa.

Hipoteza, da so meritve kratkotrajnega navzema vode primerljive z rezultati na prostem je potrjena, opažanja in odstopanja so opisana v primerjavah.

6 POVZETEK

Les, je naravni material, rastlinskega izvora, ki je podvržen razkroju. Poleg biološko aktivnih ekstraktivov, na naravno odpornost lesa vpliva sposobnost lesa, da ostane suh (odpornost lesa proti navlaževanju). Posamezne vrste lesa imajo različne higroskopske lastnosti in pri izpostavljenosti povišani vlagi, različno intenzivno sprejemajo razpoložljivo vodo. Za les pa, ki ima relativno vlažnost nad 20 % oziroma 25 %, velja zelo velika verjetnost okužbe z glivami. Poleg tega je znano, da ima vlažen les tudi slabše mehanske lastnosti.

Ker se les uporablja na področjih in v aplikacijah, kjer obstaja tveganje navlaževanja, se opravljajo različne raziskave z omenjenega področja, z namenom aplicirati laboratorijske metode v terenska testiranja, s čimer bi lahko na ključnih mestih hitro spremljali in napovedovali dinamiko navlaževanja.

V naši raziskavi smo na prostem na dva načina; občasno in kontinuirano spremljali dinamiko navlaževanja izbranih lesnih vrst. Po 10 kosov, v sušilniku predhodno osušenih vzorcev smo namestili na prostem in jih izpostavili vremenskim vplivom. Po dva vzorca smo spremljali kontinuirano, po osem, ki smo jim ročno določili maso pa občasno.

S po 10 vzorci posamezne lesne vrste, predhodno kondicioniranih pri 20 °C in 60 % relativni zračni vlažnosti, se je opravil tudi test kratkotrajnega navzema.

Rezultati meritev relativne vlažnosti lesa po ročni in kontinuirani metodi so medsebojno primerljivi, skladajo se tudi z nihanjem relativne zračne vlažnosti. Izrazita so le odstopanja pri ekstremnih vrednostih, kjer avtomatska metoda ni izločila vpliva drugih dejavnikov na izmerjeno maso, kar ni vplivalo na razmerja med posameznimi lesnim vrstami.

Rezultati terenskih meritev niso povsem skladni z rezultati meritev kratkotrajnega navzema. Razmerja med posameznimi drevesnimi vrstami so si blizu, a se v podrobnostih razlikujejo. Obstaja pa korelacija med predvidenim navlaževanjem bolj permeabilnih in manj permeabilnih lesnih vrst.

Raziskava je med drugim pokazala, da je za potrebe terenskega testiranja metodo kontinuiranega spremljanja potrebno ustrezno modificirati in da z občasnim ročnim tehtanjem ne zaznamo vseh pomembnih vplivov na vlažnost lesa.

7 VIRI

- Brischke C., Meyer L., Hesse C., Van Acker J., De Windt I. Conti E., Humar M., Vitanen H., Kutnik M., Malasent L. 2014. Moisture dynamics of wood and wood-based products-Result from the inter-laboratory test, str. 6-15
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa: 185 str.
- Gorišek Ž. 1994. Sušenje lesa: 235 str.
- Gorišek Ž. 2008 Krčenje, nabrekanje in krčitvena anizotropija lesa: 16 str.
http://www.les.bf.uni-lj.si/uploads/media/06_Krčenje_in_anizotropija_lesa_0;2.pdf
- Hafner B. 2009. Vpliv klimatskih pogojev na vlažnost lesa impregniranega z vodnimi emulzijami polietilenskih in montanskih voskov. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 59 str.
- Humar M. 2012. Izvedeniško mnenje in predlog sanacije stanovanjskega objekta Bled, Gregorčičeva 20. (31.08.2012)
- Humar M. 2009. Kako zaščititi les?, članek, str.1-6 <http://www.lesena-gradnja.si>
(08.07.2016)
- Humar M., Žlahtič M., Thaler N. 2014. Influence of thermal modification of Norway spruce wood on short and long term water uptake. V: The seventh European Conference on Wood Modification, ECWM7 / ed. by Lina Nunes ... [et al.]. - Lisboa : Laboratório nacional de engenharia civil, 2014. - [8] str.
- Jarc T. 2015. Spremljanje vlažnosti lesa v lopi, izdelani iz termično modificiranega lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 34 str.
- Kager M. 2010. Konstrukcijska zaščita lesa. Diplomsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo: 66 str.
- Kervina-Hamović L. 1987. Patologija lesa lesna fitopatologija: 122 str.
- Krüss. 2016. Technical data sheet (K100). Krüss GmbH- Germany, Borsteler Chaussee 85, 22453 Hamburg, Germany.
<https://www.kruss.de/products/tensiometers/k100/force-tensiometer-k100/>
(31.03.2016)
- Lesar B., Humar M., Oven P. 2008. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegova trajnost. Revija Les (60), št 11-12, str. 408-414

- Lestroj. 2016. Vlagomer Gann HT85 M20. Lestroj d.o.o. Motnica 2a, 1236 Trzin, Slovenija. <http://lestroj.si/trgovina-orodja/vlagomer-gann-ht85t-m20.html> (2016)
- Meier E. 2008. <http://www.wood-database.com/sapele/> (2016)
- Pirc G. 2013. Starost in količine različnih vrst lesa v Vdmkovem topjarju iz Domžal. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 38 str.
- Plešnik M. 2014. Les rdečega bora kot vir pinosilvinov. Magistrska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 88 str.
- Scanntronik. 2014. Thermofox Universal. Parkstraße 38, 85604 Zorneding, Deutschland. http://www.scanntronik.de/Produkt_Thermofox_deu.php (21.01.2014)
- Štabuc N. 2012. Vpliv temperature in trajanja postopka termične modifikacije lesa na fungicidne lastnosti modificiranega lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, oddelek za lesarstvo: 49 str.
- Štrovs M. 2010. Vpliv temperature termične modifikacije na omočljivost modificiranega lesa. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 44 str.
- Zupančič K. 2015. Lastnosti z voski impregnirane termično modificirane smrekovine. Magistrska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 51 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se Bogu, da sem tukaj.

Zahvaljujem se kolegu in mentorju, prof. dr. Mihi Humarju za bodrenje in vzpodbujanje pri zaključevanju študija. Hkrati se mu zahvaljujem za posredovanje informacij in gradiva, svetovanje ter za opravljanje mentorstva pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se recenzentu doc. dr. Boštjanu Lesarju za opravljeno recenzijo.

Zahvaljujem se vsem profesorjem, asistentom, sošolcem in sošolkam, ki so mi v času študija posredovali znanje in izkušnje.

Zahvaljujem se administrativni ekipi Biotehniške fakultete, oddelka za lesarstvo, za potrpljenje in korekten odnos.

Zahvaljujem se mami in očetu, da sta mi potem, ko sta me sprejela, vzgajala, tako kot sta in kljub svoji formalni neizobraženosti spodbujala k nabiranju znanj in izkušenj.

Zahvaljujem se podjetju J.L.Objekt d.o.o. za sponzorstvo pri izdelavi naloge.

Ne nazadnje: zahvaljujem se svoji družini, ženi, hčeram in sinu, za sodelovanje, podporo in pomoč pri zaključevanju študija.