

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej MARTINČIČ

**VARIABILNOST GOSTOTE LESA DEBLA, VEJ IN  
KORENIN JELK S SNEŽNIŠKEGA OBMOČJA**

DIPLOMSKO DELO  
Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej MARTINČIČ

**VARIABILNOST GOSTOTE LESA DEBLA, VEJ IN KORENIN  
JELK S SNEŽNIŠKEGA OBMOČJA**

DIPLOMSKO DELO  
Visokošolski strokovni študij

**VARIABILITY OF WOOD DENSITY OF TRUNKS, BRANCHES AND  
ROOTS OF FIR TREES IN THE SNEŽNIK AREA**

GRADUATION THESIS  
Higher professionals studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega študija lesarstva na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Podatki so bili pridobljeni po obdelavi in meritvah vzorcev s snežniškega območja.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Primoža Ovna, za somentorja dr. Primoža Simončiča in za recenzenta dela prof. dr. Željka Goriška.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Andrej Martinčič

### KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*811
KG	navadna jelka/ <i>Abies alba</i> /osnovna gostota/les/veje/deblo/korenine
AV	MARTINČIČ, Andrej
SA	OVEN, Primož (mentor)/SIMONČIČ, Primož (somentor)/GORIŠEK, Željko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2010
IN	VARIABILNOST GOSTOTE LESA DEBLA, VEJ IN KORENIN JELK S SNEŽNIŠKEGA OBMOČJA
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	IX., 48 str., 7 pregl., 33 sl., 3 pril (CD)., 12 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Raziskovali smo variabilnost gostote znotraj drevesa in med posameznimi drevesi na istem rastišču območja Snežnika. Raziskava je temeljila na 19 drevesih jelke, ki jih je jeseni leta 2008 izruval vetrolom. Iz kolotov debel, vej in korenin smo izžagali radialne vzorce, jih razsekali na 2059 testnih vzorcev nepravilnih oblik, sušili na $103\pm 2$ °C do absolutno suhega stanja in nato tehtali na laboratorijski tehtnici. Vzorce smo v impregnacijski komori impregnirali z vodo. Maksimalno napojene smo potapljali v merilni valj in jim merili volumne. Natančnost meritev smo preverili še z Breuilovim živosrebrovim volumetrom. Ugotovili smo, da ima največjo povprečno osnovno gostoto les vej ( $595 \text{ kg/m}^3$ ), zatem les debel ( $394 \text{ kg/m}^3$ ), najmanjšo pa koreninski les ( $365 \text{ kg/m}^3$ ). Največja povprečna osnovna gostota lesa debel je $509 \text{ kg/m}^3$ najmanjša $343 \text{ kg/m}^3$ ; to nakazuje na veliko variabilnost gostote na tem rastišču.

### KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Vs
DC	UDC 630*811
CX	fir/ <i>Abies alba</i> /basic density/wood/branches/trunk/roots
AU	MARTINČIČ, Andrej
AA	OVEN, Primož (supervisor)/SIMONČIČ, Primož (co-supervisor)/GORIŠEK, Željko (reviewer)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2010
TI	VARIABILITY OF WOOD DENSITY OF TRUNKS, BRANCHES AND ROOTS OF FIR TREES IN SNEŽNIK AREA
DT	Graduation thesis (Higher professional studies)
NO	IX, 48 p., 7 tab., 33 fig., 3 ann (CD)., 12 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	Variability of wood density inside the trees and among individual trees of Snežnik area was researched. 19 fir trees uprooted by strong winds in autumn 2008 were investigated. Radial samples were sawn out from the discs of trunks, branches and roots, cut into 2059 irregularly shaped test samples, and dried at temperature of $103 \pm 2$ °C. When absolutely dry, they were weighed with laboratory scales. Then the samples were impregnated with water in the impregnation chamber. Fully waterlogged samples were sunk into a measuring cylinder filled with water, then their volume was measured. The accuracy of these measurements was checked with Breuil's mercury volumometer. It was ascertained that branch wood had the highest average density ( $595 \text{ kg/m}^3$ ), followed by trunk wood with $394 \text{ kg/m}^3$ . Root wood had the lowest average density ( $365 \text{ kg/m}^3$ ). The highest average basic density of trunk wood was $509 \text{ kg/m}^3$ , and the lowest $343 \text{ kg/m}^3$ , indicating high variability of wood density in this area.

## KAZALO

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION .....	IV
KAZALO.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 PREGLED OBJAV .....</b>	<b>2</b>
2.1 OPIS DREVESNE VRSTE .....	2
2.2 MAKROSKOPSKI OPIS LESA .....	3
2.3 MIKROSKOPSKA ZGRADBA LESA .....	4
2.4 GOSTOTA LESA .....	4
<b>3 MATERIAL IN METODE .....</b>	<b>7</b>
3.1 IZVOR TESTNEGA MATERIALA.....	7
3.2 RAZREZ IN PRIPRAVA VZORCEV .....	8
3.3 DOLOČANJE MASE VZORCEV.....	10
3.4 IMPREGNACIJA VZORCEV Z VODO .....	10
3.5 MERJENJE VOLUMNA .....	11
3.5.1 Merjenje volumna vzorcev s potapljanjem v vodi.....	11
3.5.2 Merjenje volumna vzorcev s potapljanjem v živem srebru.....	12
3.6 OBDELAVA PODATKOV .....	13
<b>4 REZULTATI.....</b>	<b>14</b>
4.1 PRIMERJAVA DVEH METOD ZA DOLOČANJE VOLUMNA LESENIH VZORCEV NEPRAVILNIH OBLIK .....	14
4.2 RADIALNA PORAZDELITEV GOSTOTE LESA V PRSNI VIŠINI.....	15
4.3 GOSTOTA LESA DEBLA, VEJ IN KORENIN .....	18
4.3.1 <b>Drevo 1</b> .....	18
4.3.1.1 Osnovna gostota debla drevesa 1.....	18
4.3.1.2 Osnovna gostota lesa vej drevesa 1 .....	20
4.3.1.3 Osnovna gostota lesa korenin drevesa 1 .....	21
4.3.2 <b>Drevo 5</b> .....	22
4.3.2.1 Osnovna gostota debla drevesa 5.....	22

4.3.2.2 Osnovna gostota lesa vej drevesa 5 .....	24
4.3.2.3 Osnovna gostota lesa korenin drevesa 5 .....	25
<b>4.3.3 Drevo 6</b> .....	<b>26</b>
4.3.3.1 Osnovna gostota debla drevesa 6 .....	26
4.3.3.2 Osnovna gostota lesa vej drevesa 6 .....	28
4.3.3.3 Osnovna gostota lesa korenin drevesa 6 .....	29
<b>4.3.4 Drevo 9</b> .....	<b>30</b>
4.3.4.1 Osnovna gostota debla drevesa 9 .....	31
4.3.4.2 Osnovna gostota lesa vej drevesa 9 .....	32
4.3.4.3 Osnovna gostota lesa korenin drevesa 9 .....	33
<b>4.3.5 Drevo 10</b> .....	<b>34</b>
4.3.5.1 Osnovna gostota debla drevesa 10 .....	35
4.3.5.2 Osnovna gostota lesa vej drevesa 10 .....	36
4.3.5.3 Osnovna gostota lesa korenin drevesa 10 .....	37
<b>4.3.6 Drevo 15</b> .....	<b>38</b>
4.3.6.1 Osnovna gostota debla drevesa 15 .....	39
4.3.6.2 Osnovna gostota lesa vej drevesa 15 .....	40
4.3.6.3 Osnovna gostota lesa korenin drevesa 15 .....	41
<b>5 RAZPRAVA</b> .....	<b>43</b>
<b>6 SKLEPI</b> .....	<b>45</b>
<b>7 POVZETEK</b> .....	<b>46</b>
<b>8 LITERATURA</b> .....	<b>48</b>

**ZAHVALA**

**PRILOGE**

## KAZALO PREGLEDNIC

<b>Preglednica 1: Število testnih vzorcev debla, vej in kornin .....</b>	<b>9</b>
<b>Preglednica 2: Premer in polmer (stržen) kolutov debla prvega drevesa ter višina odvzema posameznega koluta .....</b>	<b>18</b>
<b>Preglednica 3: Premer in polmer (stržen) kolutov debla petega drevesa ter višina odvzema posameznega koluta .....</b>	<b>22</b>
<b>Preglednica 4: Premer in polmer (stržen) kolutov debla šestega drevesa ter višina odvzema posameznega koluta .....</b>	<b>26</b>
<b>Preglednica 5: Premer in polmer (stržen) kolutov debla devetega drevesa ter višina odvzema posameznega koluta .....</b>	<b>30</b>
<b>Preglednica 6: Premer in polmer (stržen) kolutov debla desetega drevesa ter višina odvzema posameznega koluta .....</b>	<b>34</b>
<b>Preglednica 7: Premer in polmer (stržen) kolutov debla petnajstega drevesa ter višina odvzema posameznega koluta .....</b>	<b>38</b>



## KAZALO SLIK

<b>Slika 1: Na zemljevidu je označeno območje Snežnika, od koder izvira testni material.....</b>	<b>7</b>
<b>Slika 2: Prikaz odvzema vzorcev: a) odvzem vzorcev vej; b) odvzem vzorcev krošnje; c) odvzem vzorcev korenin .....</b>	<b>8</b>
<b>Slika 3: Priprava testnih vzorcev: a) izrez radialnih vzorcev iz koluta na tračnem žagalnem stroju; b) priprava testnih vzorcev, sekanje tangencialnega vzorca z dletom; c) testni vzorci debla šestega drevesa .....</b>	<b>9</b>
<b>Slika 4: Priprava vzorcev in tehtanje: a) sušenje v sušilniku; b) ohlajanje vzorcev v eksikatorju; c) tehtnica (Mettler Toledo .....</b>	<b>10</b>
<b>Slika 5: Priprava vzorcev in impregnacija vzorcev z vodo: a) zlaganje vzorcev v impregnacijsko korito;, b) vstavljanje korita s testnimi vzorci v impregnacijsko komoro (Kambič.....</b>	<b>11</b>
<b>Slika 6: Breuilov živosrebrov volumometer .....</b>	<b>13</b>
<b>Slika 7: Zveza med volumni vzorcev, ki so bili izmerjeni po Hg in po H<sub>2</sub>O metodi .....</b>	<b>14</b>
<b>Slika 8: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev kolotov dreves: 2/2, 3/2, 4/2, 7/2, 8/2, 11/2, 12/2, 13/2, 14/2, 17/2, 20/2, 22/2, 23/2 v prsni višini.....</b>	<b>17</b>
<b>Slika 9: Povprečna gostota posameznega koluta v prsni višini dreves: 2, 3, 4, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 17, 20, 22, 23 .....</b>	<b>17</b>
<b>Slika 10: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev vseh sedmih kolotov drevesa 1 .....</b>	<b>19</b>
<b>Slika 11: Povprečna gostota debla na posameznem kolotu drevesa 1 .....</b>	<b>20</b>
<b>Slika 12: Povprečna gostota vej drevesa 1 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje.....</b>	<b>21</b>
<b>Slika 13: Povprečna gostota korenin drevesa 1 .....</b>	<b>22</b>
<b>Slika 14: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev vseh šestih kolotov drevesa 5 .....</b>	<b>23</b>
<b>Slika 15: Povprečna gostota debla na posameznem kolotu drevesa 5.....</b>	<b>24</b>

<b>Slika 16: Povprečna gostota vej drevesa 5 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje.....</b>	<b>25</b>
<b>Slika 17: Povprečna gostota korenin drevesa 5 .....</b>	<b>26</b>
<b>Slika 18: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev vseh šestih kolotov drevesa 6 .....</b>	<b>27</b>
<b>Slika 19: Povprečna gostota debla na posameznem kolotu drevesa 6.....</b>	<b>28</b>
<b>Slika 20: Povprečna gostota vej drevesa 6 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje .....</b>	<b>29</b>
<b>Slika 21: Povprečna gostota korenin drevesa 6 .....</b>	<b>30</b>
<b>Slika 22: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev vseh šestih kolotov drevesa 9 .....</b>	<b>31</b>
<b>Slika 23: Povprečna gostota debla na posameznem kolotu drevesa 9.....</b>	<b>32</b>
<b>Slika 24: Povprečna gostota vej drevesa 9 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje .....</b>	<b>33</b>
<b>Slika 25: Povprečna gostota korenin drevesa 9 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje .....</b>	<b>34</b>
<b>Slika 26: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev vseh šestih kolotov drevesa 10 .....</b>	<b>35</b>
<b>Slika 27: Povprečna gostota debla na posameznem kolotu drevesa 10.....</b>	<b>36</b>
<b>Slika 28: Povprečna gostota vej drevesa 10 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje.....</b>	<b>37</b>
<b>Slika 29: Povprečna gostota korenin drevesa 10 .....</b>	<b>38</b>
<b>Slika 30: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev vseh šestih kolotov drevesa 15 .....</b>	<b>39</b>
<b>Slika 31: Povprečna gostota debla na posameznem kolotu drevesa 15.....</b>	<b>40</b>

<b>Slika 32: Povprečna gostota vej drevesa 15 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje.....</b>	<b>41</b>
<b>Slika 33: Povprečna gostota korenin drevesa 15 .....</b>	<b>42</b>

## KAZALO PRILOG

**Priloga A: Rezultati meritev mase in volumna vzorcev vej jelke**

**Priloga B: Rezultati meritev mase in volumna vzorcev debla jelke**

**Priloga C: Rezultati meritev mase in volumna vzorcev korenin jelke**

## 1 UVOD

Slovenski gozdovi predstavljajo pomemben ponor ogljika. Koliko ogljika je uskladiščenega v različnih delih drevesa, ni zadovoljivo raziskano. Rezultati takšnih raziskav so poleg osnovnega poznavanja porazdelitve pomembni za nacionalna poročanja za Kjotski protokol (KP) in okvirne konvencije Združenih narodov o spremembi podnebja (UNFCCC).

V sodelovanju z Gozdarskim inštitutom Slovenije smo zato osnovali raziskavo, v kateri želimo pridobiti čim boljši vpogled v variabilnost gostote znotraj drevesa in med drevesi na istem rastišču. S tem bomo pridobili pomembne podatke tudi za lesarsko stroko, saj je gostota indeks lastnosti lesa. Gostota je v tesni zvezi z mnogimi drugimi lastnostmi lesa, zato je pomembna za napoved uporabnosti (Gorišek 2009).

Cilja diplomske naloge sta:

Določiti gostoto lesa debla, vej in korenin jelk z istega rastišča.

Ugotoviti, kakšna je variabilnost gostote znotraj drevesa in med proučevanimi drevesi.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 OPIS DREVESNE VRSTE

Opis drevesa je povzet po Brusu iz leta 2005. Navadna ali bela jelka (*Abies alba* Mill.) je do 50 m visoko in do 2 m debelo ter vedno zeleno drevo. Mlada drevesa imajo stožčasto krošnjo, ki kasneje postane valjasta ali jajčasta, veje so plosko razvite. Za starejše ali slabše vitalne jelke je značilen gnezdast ali potlačen vrh, štorkljino gnezdo. Koreninski sistem je močan, poleg nekaj stranskih je skoraj vedno močno razvita tudi glavna korenina. Deblo je polnolesno, skorja je v mladosti tanka, gladka in siva, v starosti razpoka v bolj ali manj pravilne pravokotne luske. Brsti so jajčasti in do 5 mm dolgi, rdečkasti ter niso smolnati, poganjki so sivorjavi in rahlo dlakavi. Igllice so ploščate, 10–35 mm dolge in 2–3 mm široke, v zgornjem delu krošnje zašiljene. Na zgornji strani so temno zelene in bleščeče, spodaj imajo dve značilni beli pegi. Če je drevo zdravo, ostanejo na drevesu 8–12 let, sicer manj. Moški cvetovi so rumenkasti, valjasti, do 2 cm dolgi in sestavljeni iz številnih spiralno nameščenih prašnikov. Ženska storžasta socvetja so pokončna, do 6 cm dolga ter rastejo na koncu lanskih poganjkov v zgornji tretjini krošnje. Po opraitvi in 5-mesečnem zorenju se spremenijo v temno rjave, valjaste, pokončne, do 20 cm dolge ter 5 cm debele storže. Zreli storži razpadejo na drevesu. Tako kot pri vseh jelkah sta na vsaki plodni luski po dve trikotni, okriljeni semeni. Je enodomna in vetrocvetna vrsta, cveti od aprila do junija. Razmnožuje se izključno s pomočjo semen. Polni obrodi so vsakih 3–8 let.

Jelka spada k našim najlepšim drevesom. V strnjjenih sestojih ima ravna in izrazito polnolesna debla s podobnim izkoristkom kot smreka (85–90 %). Starejše jelke z lahkoto ločimo od smrek zaradi karakteristično sploščene krošnje. Jelke dosejajo maksimalne starosti med 500 in 800 leti (Čufar 2006).

Ustrezajo ji sveža, globoka in s hranili bogata tla na karbonatnih ter nekarbonatnih matičnih podlagah. Slabše prenaša sušo in vročino ter ne prenese nizkih zimskih temperatur. Navadna jelka je evropska vrsta, najpogosteje raste v gorskem pasu. Jelka raste samoniklo skoraj povsod po Sloveniji, najpogostejša je v dinarskem in predalpskem svetu, manjka pa v sredozemskem ter primorskem svetu. Najpogostejša je na karbonskih tleh v

številnih različicah mešanih gozdov z bukvijo. Poleg mešanih gradi navadna jelka tudi čiste sestoje, in sicer večinoma na nekarbonatnih tleh na osojnih pobočjih med 350 in 900 m nadmorske višine Jelka je naša tretja najpomembnejša vrsta, v skupni lesni zalogi je njen delež 9,1 %. Njen les je mehak, elastičen, lahek in ima dobro izražene letnice. Razen na poškodovanih drevesih v bližini ran je brez smolnih kanalov.

Ledenodobno zaščito je našla na Balkanskem, Apeninskem in Pirenejskem polotoku. Od tam se je pred približno 10.000 leti začela ponovno naseljevati proti srednji Evropi.

Med biotskimi dejavniki, ki lahko škodujejo jelki, so pogosti napadi različnih gliv, na primer štorovke (*Armillaria mellea*) ali jelovega raka (*Melampsorella caryophyllacearum*) in osip jelovih iglic (*Lophodermium nervisequium*), med žuželkami so jelki najnevarnejše jelova uš (*Dreyfusia nüsslini*), krivozobi jelov lubadar (*Ips curvidens*) in druge.

## 2.2 MAKROSKOPSKI OPIS LESA

Jelka ima neobarvano jedrovino, zato se beljava in jedrovina barvno ne ločita. Les je rdečkastobelega preko rumenkastobelega do skoraj bele barve, pogosto s sivkastovijoličnim navdihom. Na lokaciji mokrega srca se les rahlo obarva. Branike so razločne. Rani les je svetel ter belkast in postopoma prehaja v rdečkastorumen kasni les. Normalnih smolnih kanalov ni. Sveže mokro srce ima neprijeten vonj zaradi maslene kisline. Jelovina je zelo podobna smrekovini. Najpomembnejši znak za njuno makroskopsko razlikovanje so normalni smolni kanali, ki se pojavljajo samo pri smreki. Barva smrekovine je bolj rumenkasta, les ima bolj sivkast lesk. Jelovina je za razliko od smrekovine brez leska. Pri jelki potekajo veje skoraj pravokotno na os drevesa, pri smreki pa bolj poševno, zato ima žagana jelovina bolj okrogle, smreka pa bolj ovalne grče (Čufar 2006).

### 2.3 MIKROSKOPSKA ZGRADBA LESA

Lesno tkivo pri navadni jelki je sestavljeno pretežno iz aksialnih traheid, ki predstavljajo do 95 % celotnega tkiva (Čufar 2006). Povprečna dolžina traheid jelke znaša 4,3 mm, tangencialni premer pa do 50  $\mu\text{m}$  (Fengel in Wegener 1989). Traheide so urejene v radialnih nizih. Radialni premer traheid iz ranega lesa proti kasnemu pada, medtem ko debelina celičnih sten narašča. Trakovno tkivo je homocelularno, sestavljajo jih močno piknjave parenhimske celice. V križnih poljih med aksialnimi traheidami in trakovnimi parenhimiškimi celicami se nahajajo taksodiodne polobokane piknje, preko katerih se vrši komunikacija med omenjenima tipoma celic. Aksialni parenhim je redek. Normalnih smolnih kanalov ni.

### 2.4 GOSTOTA LESA

Gostota se v fiziki izrazi kot masa na enoto volumna  $\rho = dm/dV$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]. Zaradi odvisnosti tako volumna kot mase od lesne vlažnosti ločimo več načinov izražanja gostote. Gostota lesa se spreminja glede na klimatske razmere, ko se zaradi higroskopnosti spremeni tudi vlažnost lesa. Poleg vlažnosti na les vpliva še njegova zgradba, in sicer: širina branike, delež kasnega lesa, delež različnih anatomskih tkiv, kemijska zgradba ter vrsta in količina ekstraktivov. Zaradi variabilnosti zgradbe lesa se spreminja gostota po višini drevesa in tudi prečno.

Do velikih razlik gostote prihaja tudi znotraj iste branike. Pri iglavcih je razmerje gostot ranega in kasnega lesa od 1 : 2,3 do 1 : 4 pri jelki. Pri sušenju je potrebno upoštevati vpliv gostote, saj se pri enakem odstotku zmanjševanja vlažnosti pri različnih vrstah izloči različna količina oziroma masa vode, kar vpliva na krčenje lesa (Gorišek 2009).

Pri definiranju in terminologiji gostote večkrat naletimo na številne nejasnosti, saj je gostota pojem, ki je odvisen od mnogo dejavnikov, zato so njena pojmovanja lahko zelo različna. Gostoti rečemo tudi prostorninska masa  $\rho$ , saj je definirana kot masa na enoto volumna.



$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV}$$

Skupno oziroma celotno maso v infinitezimalnem volumnu  $dV$  imenujemo infinitezimalna masa, kar je  $dm$ . Infinitezimalen volumen je dovolj velik, da vsebuje veliko število delcev, zato je količina snovi dovolj velika, da snov jemljemo kot kontinuum. V pogledu lastnosti pa je količina snovi tudi dovolj majhna in jo imamo lahko za enotno. Snovna homogenost ni potrebna za celotno prostornino lesa, zato je lahko različna gostota infinitezimalnih volumnov  $dV$  znotraj njih konstantna. Les in njegovi kompoziti temu ustrezajo.

Kot je bilo že omenjeno, je pojmovanje gostote kot nabrekljive in higroskopne snovi dokaj nejasno ter odvisno predvsem od vlažnosti, zato je vsakič potrebno navesti, pri kolikšni vlažnosti sta bila volumen in masa izmerjena. Zaradi različnih pojmovanj v več jezikih pa večkrat pride tudi do tako imenovane terminološke zmede, predvsem kar se tiče pojmov teža ter masa, ki ju mnogokrat zamenjujejo. Pojem teža v vsakdanji rabi razumemo kot s tehtanjem določeno maso ali kot silo teže.

Sicer relativna gostota je razmerje med gostoto snovi (npr. lesa) in gostoto referenčne snovi pri specificiranih pogojih, zato je brez enot. Pri kapljevinah ter trdninah relativno gostoto določamo glede na gostoto vode pri 4 °C, ko je le-ta največja. Gostota lesa  $\rho$  [g/cm<sup>3</sup>] in relativna gostota  $d$  sta enaki le v absolutno suhem stanju, drugače pa je njuno stanje do vlažnosti zelo variabilno. Masa ter volumen se sicer povečujeta z naraščanjem lesne vlažnosti, a pri TNCS (to je približno  $U = 30$  %) se masa lesa še povečuje, samo nabrekanje pa se ustavi. Gostota lesa načeloma do TNCS počasi narašča, nad njo pa bolj hitro (Torelli 1998).

Razumevanje zveze med vlažnostjo in relativno gostoto temelji predvsem na definiranju pogojev, pri katerih sta bila volumen ter masa lesa določena. Volumen se po dogovoru ugotavlja pri specificirani vlažnosti, ki jo ob znaku za osnovno gostoto navedemo, masa pa se določa v absolutno suhem stanju. Seveda se relativna gostota določi pri poljubni

vlačnosti, a se morajo določeni pogoji tudi navesti. Poznamo  $\rho_N$ , ki pomeni normalno gostoto, torej gostoto pri vlažnosti lesa v normalni klimi, pri temperaturi 20 °C in zračni vlažnosti 65 %. Lesna vlažnost je tukaj približno 12 %, kar je gostota absolutno ali sušilnično suhega lesa.  $\rho_{12...15}$  pa pomeni gostoto zračno suhega lesa, torej pri lesni vlažnosti, ki se sklada z zunanjim ozračjem celinske srednje Evrope (Torelli 1998).

Po dogovoru ostaja masa lesne snovi z naraščanjem vlažnosti nespremenjena, volumen lesa pa se večja do TNCS, nato pa volumen lesa ostaja konstanten TNCS je ključna, saj relativna gostota do nje pada, nato pa ostane konstantna in ta konstantna vrednost je osnovna gostota. Iz tega lahko sklepamo, kako pomembno je natančno definirati gostoto, in sicer predvsem z vidika vlažnosti, pri kateri sta določena volumen ter masa (Torelli 1998).

Zelo priljubljen in enostavno določljiv način izražanja gostote pa je osnovna ali bazna gostota  $R$ , ki je količnik med maso absolutno suhega lesa ter maksimalnim volumnom, kot ga ima les, katerega vlažnost je enaka vsaj TNCS (tj.  $U = 30 \%$ ). Takšno gostoto je zelo enostavno reproducirati in pomeni količino absolutno suhe lesene substance v volumnu svežega lesa (Torelli 1998).

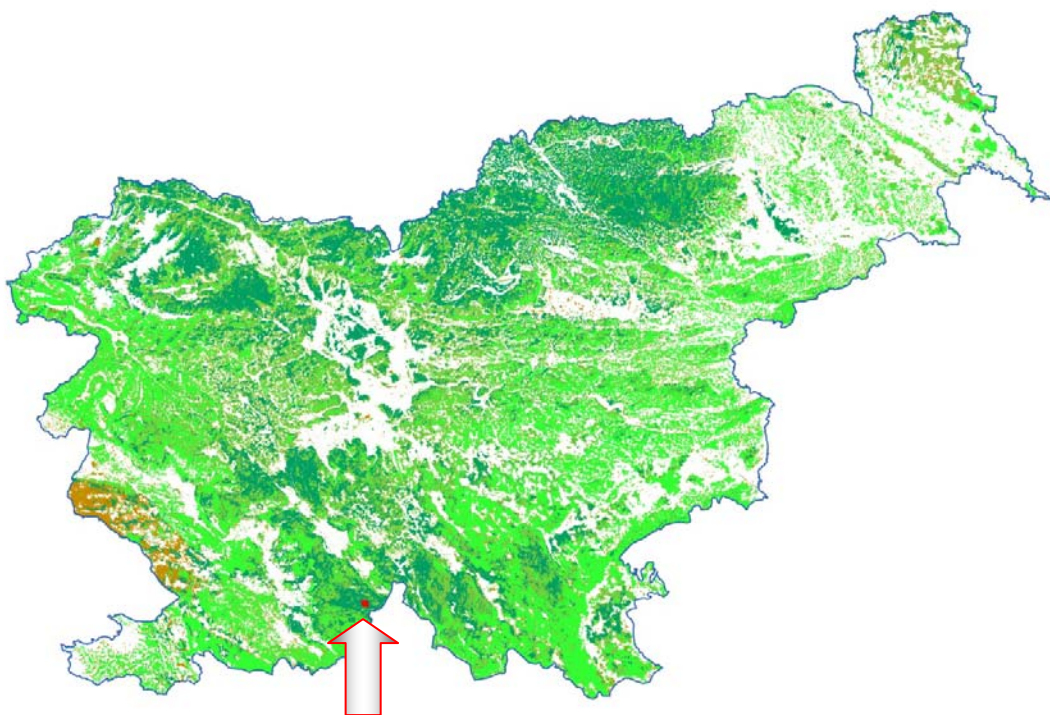
Nekoliko manj pogosto naletimo na izraza nominalna gostota in nominalna relativna gostota, pri katerih gre predvsem za to, da je bil volumen izmerjen pri označeni vlažnosti, masa pa v absolutno oziroma sušilnično suhem stanju. Volumen lesa poleg celičnih sten vsebuje tudi prazne prostore, saj smo do sedaj govorili o gostoti masivnega lesa, torej o lesu kot porozni snovi. Z različnimi zahtevnimi meritvami pa je bila izmerjena tudi gostota celične stene oziroma lesne substance, ki ji rečemo čista gostota  $\rho'$ , katera v absolutno suhem stanju znaša 1500 kg/m<sup>3</sup>. Le-ta je praktično enaka pri vseh drevesnih oziroma lesnih vrstah (Torelli 1998).

Različne prostorske porazdelitve lesne mase v lesu so torej vzrok za velike razlike v gostoti masivnega lesa. Povzamemo lahko dejstvo, da je spodnja meja gostote pogojena mehansko, zgornja pa fiziološko. Gostota lesa je pomemben dejavnik lesne trdnosti in njegove funkcije prenašanja vode ter skladiščenja asimilatov (Torelli, 1998).

### 3 MATERIAL IN METODE

#### 3.1 IZVOR TESTNEGA MATERIALA

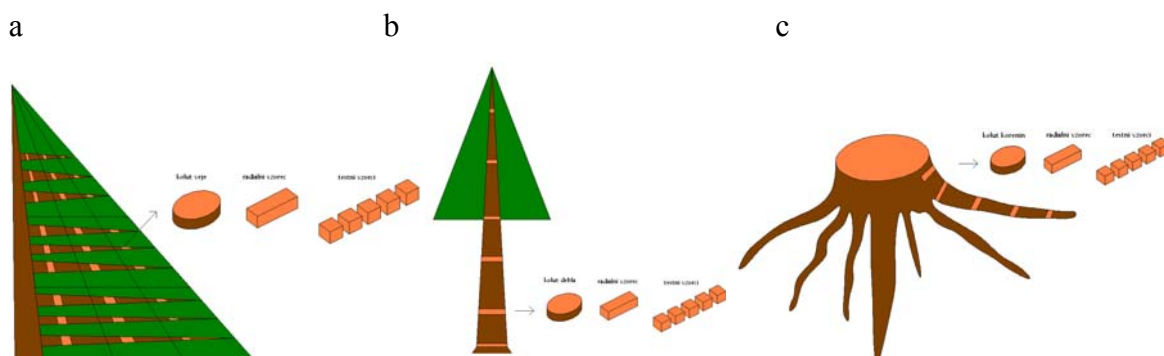
Eksperiment smo zastavili na devetnajstih drevesih jelke, ki jih je jeseni 2008 izruval vetrolom na območju Snežnika v gozdnogospodarski enoti (GGE) oddelka 46, ki se nahaja na nadmorski višini od 750 do 1200 m. Tla so plitva skeletna in ilovnata, med skalovjem so zelo ugodne fizikalne ter kemične lastnosti tal. Gozdno vegetacijo predstavljata jelov in bukov gozd.



Slika 1: Na zemljevidu je označeno območje Snežnika, od koder izvira testni material

Zaposleni na Gozdarskem inštitutu Slovenije so za vseh devetnajst dreves opravili naslednje meritve. Izmerili so višino (dolžino) dreves, prsni premer ter premer vsake 2 metra. Izmerili so dolžino in širino krošnje. Krošnjo so razdelili na tri dele (zgornji, srednji ter spodnji del; tretjine dolžine krošnje). Iz vsakega dela so naključno odvzeli tri veje, iz katerih so odvzeli tri vzorce (slika 2a). Iz vsakega debla so odvzeli od 5 do 7 kolutov, in

sicer na panju, v prsni višini, na petini višine drevesa, na začetku in na sredini krošnje. Zadnji kolot so odvzeli na premeru 7 cm (slika 2b). Panje dreves so na terenu razžagali na manjše kose, jih stehali in odvzeli približno 20 kosov vzorcev iz panjev ter korenin (slika 2c)



Slika 2: Prikaz odvzema vzorcev: a) odvzem vzorcev vej; b) odvzem vzorcev debla; c) odvzem vzorcev korenin

### 3.2 RAZREZ IN PRIPRAVA VZORCEV

Testni material je bilo potrebno pregledati, saj so bili koloti dalj časa skladiščeni – od tod tudi napadenost, sušine, kolesivost. Lego vzorcev smo izbrali skozi centralni del kolotov, tako da smo izločili napake, ki bi lahko vplivale na meritve. Razrez kolotov v radialne vzorce se je izvajal na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Iz posameznega koluta debla, vej in korenin smo na vertikalnem tračnem žagalnem stroju (CENTAURO SP 400) izrezali radialne vzorce. Koluti debel so bili debelejši, od tod posledično višji radialni vzorci, zato smo jih zožili na miznem formatnem krožnem žagalnem stroju (MINI MAX SC2) na širino 3 cm, ki je nato predstavljala višino testnega vzorca. Radialnim vzorcem smo potem zbrusili čelno ploskev s horizontalnim tračnim brusilnim strojem (FBR BINI L85), s tem smo dobili gladko površino, na katero smo lažje beležili pozicije vzorcev.

Na začetku smo v raziskavo vključili kolute debla drevesa številka šest in kolute ostalih osemnajstih dreves v prsni višini. Iz kolotov smo izžagali radialne vzorce širine 2,7 cm in višine 3 cm. Vsem radialnim vzorcem je bilo potrebno izmeriti premer ( $d$ ) ter

ekscentričnost oziroma oddaljenost stržena od periferije. Posameznemu radialnemu vzorcu smo na približno 2 cm oziroma glede na letnice določili velikost testnih vzorcev in jih zaporedno oštevilčili. Nato smo izmerili sredino vsakega posameznega vzorca z absolutnim merjenjem, za izhodišče smo postavili kambijevo cono. Radialne vzorce vseh kolotov debel smo razsekali in dobili 439 testnih vzorcev. Ugotovili smo, da testni vzorci dimenzij 27 x 20 x 30 mm ne ustrezajo za dovolj natančno merjenje volumna. Testne vzorce smo zmanjšali na dimenzijo približno 10 x 10 x 30 mm, tako da so bili vzorci primerni za merjenje volumna v 50 ml merilnem valju.



Slika 3: Priprava testnih vzorcev: a) izrez radialnih vzorcev iz koluta na tračnem žagalnem stroju; b) priprava testnih vzorcev, sekanje tangencialnega vzorca z dletom; c) testni vzorci debla drevesa številka šest

Eksperiment smo nato razširili. V raziskavo smo vzeli še kolute debel vej in korenin dreves zaporednih številk 1, 5, 9, 10, 15 ter kolute vej in korenin šestega drevesa. Na podlagi ugotovitev iz prve faze glede velikosti vzorcev smo zmanjšali širino radialnih vzorcev iz 2,7 cm na 1 cm. Višina vzorcev pa je ostala nespremenjena.

Preglednica 1: Število testnih vzorcev debla, vej in korenin

	Deblo	Veje	Korenine	Skupaj
št. vzorcev	1181	379	506	2059

### 3.3 DOLOČANJE MASE VZORCEV

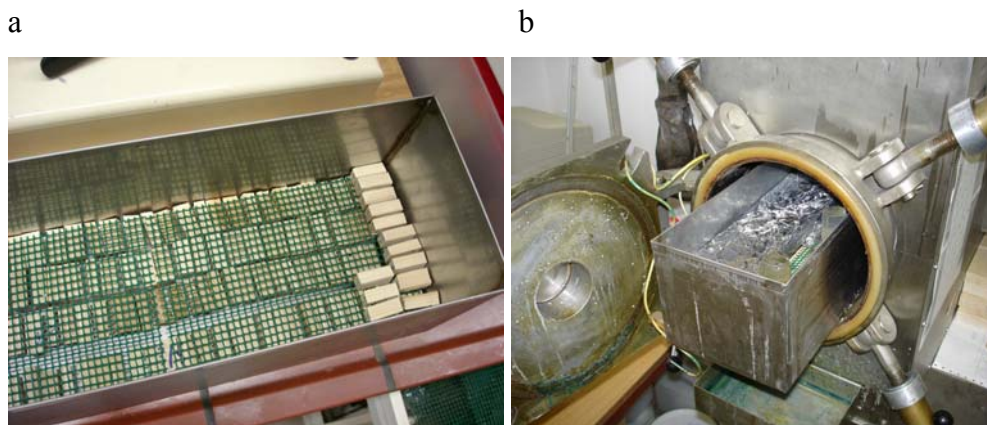
Razsekane testne vzorce smo dali v sušilnik (Kambič) na  $103 \pm 2$  °C, nato smo jih sušili do absolutno suhega stanja. Vzorce smo potem postopoma prelagali iz sušilnika v eksikator, da se vzorci med ohlajanjem niso navlažili. Vzorce smo nato tehtali na laboratorijski tehtnici (Mettler Toledo) na desetinko grama natančno.



Slika 4: Priprava vzorcev in tehtanje: a) sušenje v sušilniku; b) ohlajanje vzorcev v eksikatorju; c) tehtnica (Mettler Toledo)

### 3.4 IMPREGNACIJA VZORCEV Z VODO

Impregnacijo testnih vzorcev smo opravili v komori (Kambič) na oddelku za patologijo in zaščito lesa. Testne vzorce smo z določenim razmakom zložili v impregnacijska korita, upoštevali smo 10 % nabreklost. Posamezne sloje smo ločili z mrežo, s tem smo izboljšali navzem. Polno korito vzorcev smo nato obtežili z utežmi in zalili z destilirano vodo. Korito smo vstavili v impregnacijsko komoro, kjer smo vzorce za 30 min izpostavili podtlaku ( $P = -0,887$  bar), nato pa smo vzorce izpostavili za 8 h nadtlaku ( $P = 8$  bar).



Slika 5: Priprava vzorcev in impregnacija vzorcev z vodo: a) zlaganje vzorcev v impregnacijsko korito; b) vstavljanje korita s testnimi vzorci v impregnacijsko komoro (Kambič)

### 3.5 MERJENJE VOLUMNA

#### 3.5.1 Merjenje volumna vzorcev s potapljanjem v vodi

Posamezen vzorec, maksimalno nasičen z vodo, smo vzeli iz korita, ga rahlo odcedili in odstranili kapljice z valjanjem vzorca po brisači. V merilni valj smo nastavili nivo vode, tako da smo odčitavali zgornji meniskus. Vzorce smo posamično potapljali v 50 ml merilni valj in odčitavali ( $\Delta V$ ) nivo izpodrinjene tekočine. Meritve volumna smo izvajali na 0,5 ml natančno. Za izvedbo natančnih meritev je potrebna stalna kontrola meniskusa (Tsoumis 1991).

$$\Delta V = V_{\max} - V_{\min}$$



### 3.5.2 Merjenje volumna vzorcev s potapljanjem v živem srebru

Pri živosrebrovi metodi je izpodrivni medij živo srebro. Ker vemo, da je živo srebro strupeno (živčni strup), smo meritve izvajali v komori z odsesavanjem. Meritve smo izvajali na vzorcih z maksimalnim volumnom. Živosrebrova metoda ima daljši postopek izvedbe meritve (natančnost je na stotinko mililitra), zato smo metodo uporabili kot kontrolo vodni metodi. V Breuilov živosrebrov volumometer smo v vertikalni valj vpeli testni vzorec, nato smo na valj privijačili pokrov z merilnim valjem. Naprava je grajena tako, da se vertikalnemu valju v spodnjem delu priključuje horizontalni valj s funkcijo tlačenja živega srebra v vertikalni valj. Horizontalni valj je grajen iz dveh valjev (zunanjšega in notranjšega), povezana pa sta z vijačnico. Tako z rotiranjem zunanjšega valja polnimo ali praznimo vertikalni valj. Na notranjem valju je linearna merilna skala z mililitrsko natančnostjo, na zunanjem valju pa je merilna skala na skrajnem robu proti vertikalnemu valju po krožnici z natančnostjo desetinke mililitra. En obrat napolni ali izprazni vertikalni valj za 0,3 ml. Med meritvami se živo srebro tlači in s tem pride do segrevanja, kar pa posledično prinaša raztezanje, zato je potrebno pred začetkom meritev ter vsakih deset meritev umerjanje naprave in določanje izhodišča ("0"). To opravimo tako, da v prazni napravi v zaprtem stanju stisnemo živo srebro v vertikalni valj do označbe na merilnem valju ter odčitamo veličino, imenovano absolutna ničla. Meritve vzorcev se izvajajo po istem postopku kot umerjanje, samo da v horizontalni valj vstavimo vzorec in odčitano veličino označimo z  $V_e$ . Volumen vzorcev izračunamo, tako da od izmerjene veličine  $V_e$  odštejemo absolutno ničlo, nato pa rezultat pomnožimo z 0,3. Izračun je natančen na stotino mililitra (Tsoumis 1991).





Slika 6: Breuilov živossrebrov volumometer

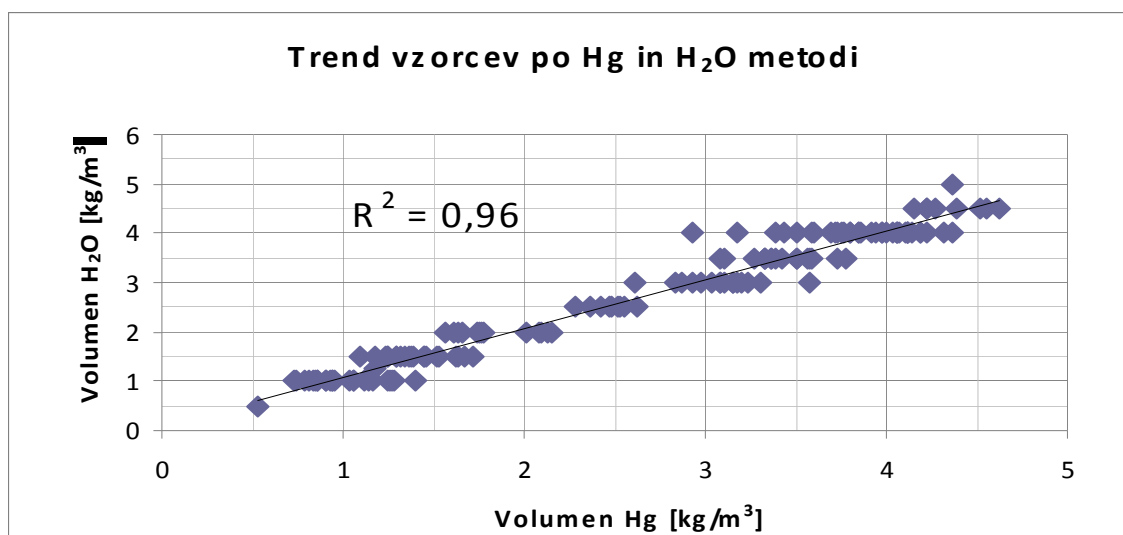
### 3.6 OBDELAVA PODATKOV

Podatke za obdelavo smo pridobili z merjenjem volumna in mase vzorcev. Meritve volumna smo izvajali pri maksimalni nasičenosti vzorcev po dveh metodah, in sicer s potapljanjem v vodi ter potapljanjem v živem srebru. Tehtanje vzorcev smo izvajali v absolutno suhem stanju vzorcev. Meritve podatkov testnih vzorcev smo obdelali s programom Microsoft Excel. Izračunali smo gostoto za posamezni vzorec, uredili izračune v ustrezne enote [ $\text{kg/m}^3$ ] ter izdelali grafične prikaze.

## 4 REZULTATI

### 4.1 PRIMERJAVA DVEH METOD ZA DOLOČANJE VOLUMNA LESENIH VZORCEV NEPRAVILNIH OBLIK

Namen primerjalnega testa je ugotoviti, ali je metoda merjenja volumna v merilnem valju z vodo dovolj natančna glede na merjenje volumna z Breuilovo živosrebreno metodo. Volumen smo merili po dveh metodah. Prva je »vodna metoda«, kjer je izpodrivni medij voda, meritve pa se izvajajo v merilnem valju, druga je »živosrebrena metoda«, ki se izvaja z Breuilovim živosrebrenim volumetrom, izpodrivni medij pa je živo srebro. Metoda merjenja z živim srebrom je zelo natančna, vendar je postopek meritve dolgotrajen in se izvaja v odsesovalni komori zaradi strupenosti živega srebra. Meritve smo opravili na 150 vzorcih, iz posameznega dela drevesa (deblo, veje, korenine) smo izbrali 50 vzorcev. Vsem vzorcem smo po obeh metodah izmerili volumen. Ob predpostavki da so meritve volumna, ki smo jih opravili po živosrebreni metodi, referenčne, smo ugotovili, da je vodna metoda merjenja volumna 96 % (slika 7). Za naše meritve je to dovolj velika natančnost, zato smo se odločili, da ostale meritve izvajamo po metodi merjenja volumna v merilnem valju, kjer je izpodrivni medij voda.

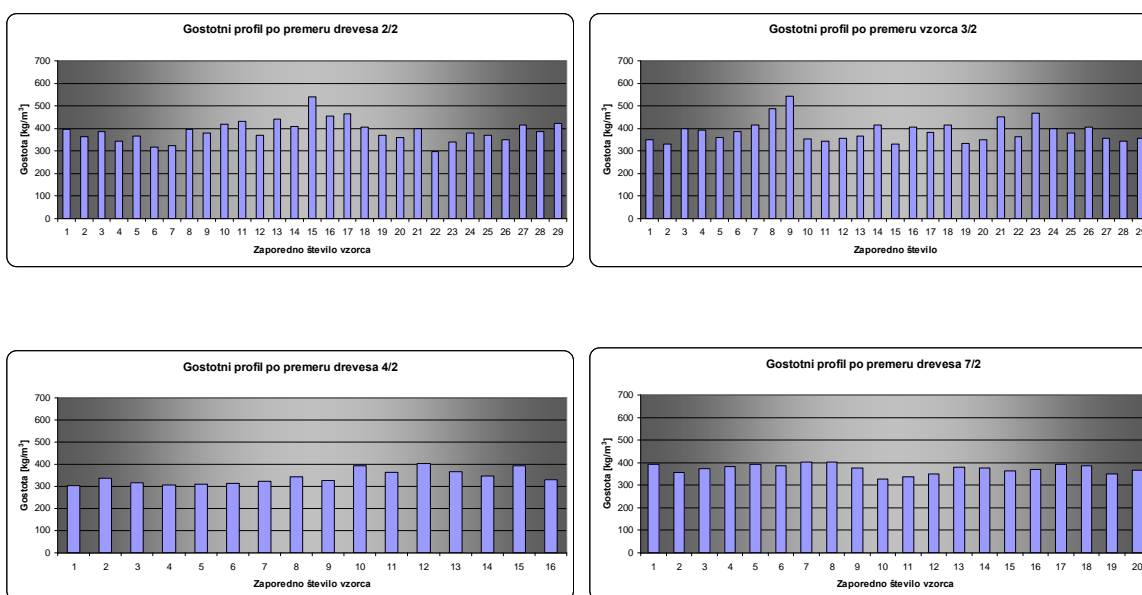


Slika 7: Zveza med volumni vzorcev, ki so bili izmerjeni po Hg in po H<sub>2</sub>O metodi

## 4.2 RADIALNA PORAZDELITEV GOSTOTE LESA V PRSNI VIŠINI

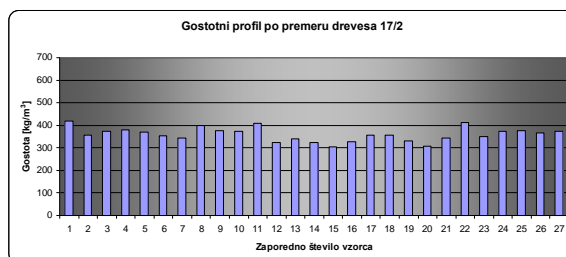
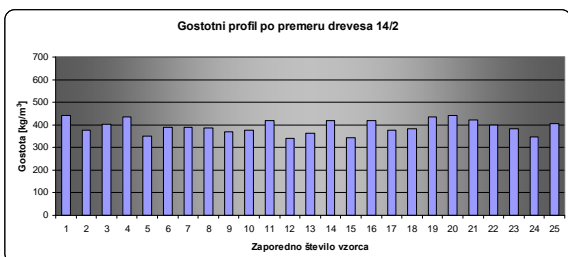
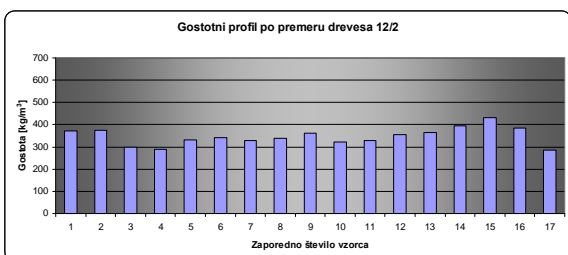
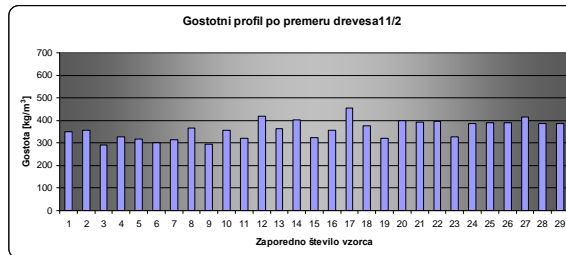
Porazdelitev gostote v radialni smeri v prsni višini smo opravili za trinajst dreves. Koluti, odvzeti v prsni višini, oziroma drugi koluti od panja proti vrhu so odvzeti na višini približno 1,3 m od tal. S primerjavo smo želeli ugotoviti, kako se razlikujejo variacije radialne porazdelitve gostote med debli jelk z istega območja.

Med posameznimi porazdelitvami gostote v radialni smeri v prsni višini (slika 8) je razvidno, da imata drevesi 2 in 13 podobno porazdelitev gostote v radialni smeri, in sicer gostota narašča od kambijeve cone proti strženu ter pada od stržena proti periferiji. Drevesa 12, 17 in 22 imajo konkavno porazdelitev gostote, na periferiji je največja gostota, ki proti centru pada ter nato proti periferiji spet narašča. Za ostala drevesa ni opaziti posebnosti. Polnilo oziroma ozadje posameznega grafikona je na območju periferije temnejše, na območju stržena pa svetlejše.



-se nadaljuje

-nadaljevanje



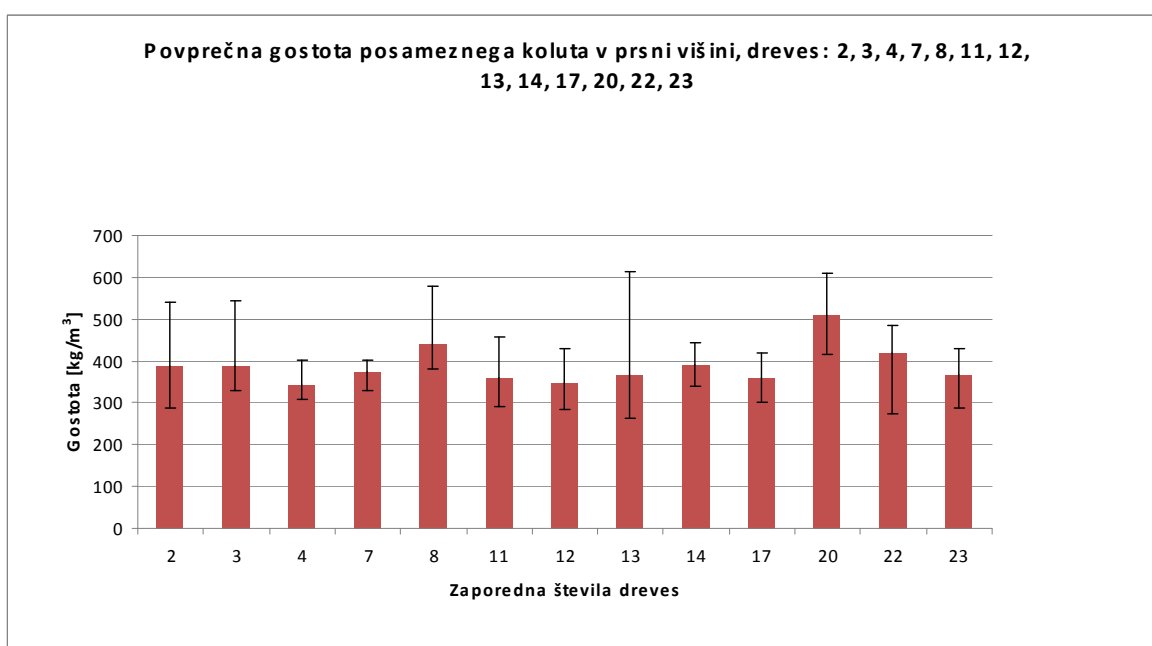
-se nadaljuje

-nadaljevanje



Slika 8: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev kolotov dreves: 2/2, 3/2, 4/2, 7/2, 8/2, 11/2, 12/2, 13/2, 14/2, 17/2, 20/2, 22/2, 23/2 v prsni višini

Največjo povprečno gostoto v prsni višini ima dvajseto drevo, in sicer  $509 \text{ kg/m}^3$ , najmanjšo povprečno gostoto pa ima četrto drevo, in sicer  $342 \text{ kg/m}^3$ . Največji razpon osnovne gostote testnih vzorcev ima trinajsto drevo, in sicer minimum  $265 \text{ kg/m}^3$  ter maksimum  $613 \text{ kg/m}^3$  (slika 9).



Slika 9: Povprečna gostota ter minimalna in maksimalna gostota posameznega kolota v prsni višini dreves: 2, 3, 4, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 17, 20, 22, 23

### 4.3 GOSTOTA LESA DEBLA, VEJ IN KORENIN PREISKOVANIH JELK

V raziskavo gostote lesa debla vej in korenin jelk smo vključili drevesa, označena s števili: 1, 5, 6, 9, 10 in 15. Navedena drevesa smo izbrali iz vzorca devetnajstih dreves. Izbrali smo drevesa različnih velikosti, in sicer na osnovi popolnosti testnega materiala, ki nam je bil na voljo.

#### 4.3.1 Drevo 1

Drevo označeno s številom ena je največje vzorčno drevo, veliko je 37,9 m. Zanj je bilo odvzetih sedem kolotov debla. Njegov premer v prsni višini znaša 66,7 cm.

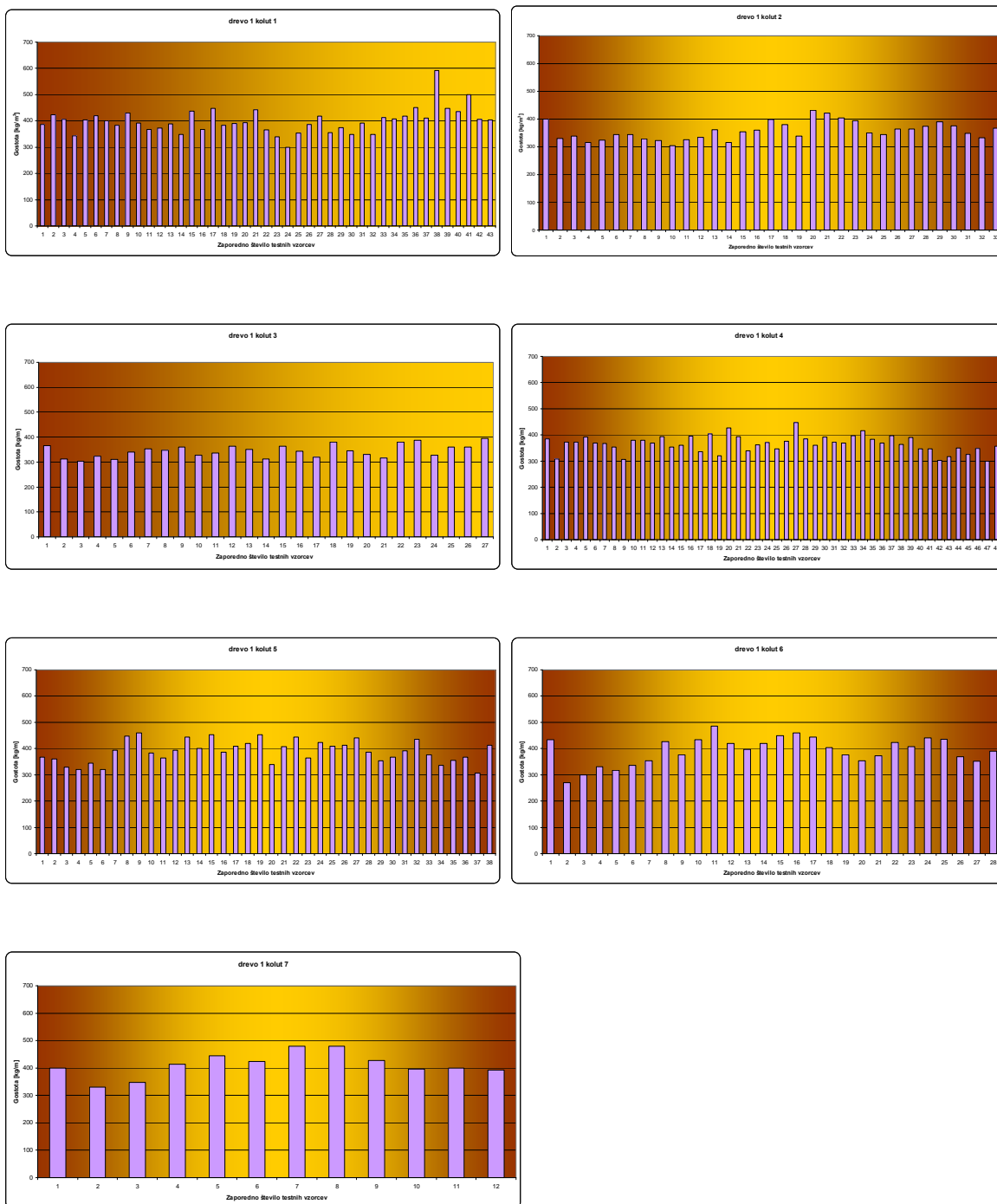
##### 4.3.1.1 Osnovna gostota debla drevesa 1

Ker sta bila koluta 1 in 3 pomanjkljiva, jima nismo mogli določiti premera (preglednica 2).

Preglednica 2: Premer in ekscentričnost oziroma oddaljenost stržena od periferije debla drevesa 1 ter višina odvzema posameznega koluta

Drevo 1			
Kolut št.	Premer	Ekscentričnost	Višina
1	--	40,8cm	0,0 m
2	66,7 cm	37,5 cm	1,3 m
3	--	27,0cm	7,5 m
4	49,1 cm	22,5 cm	15,8 m
5	37,7 cm	20,5 cm	24,1 m
6	28,4 cm	15,2 cm	28,3 m
7	12,4 cm	6,8 cm	34,1 m

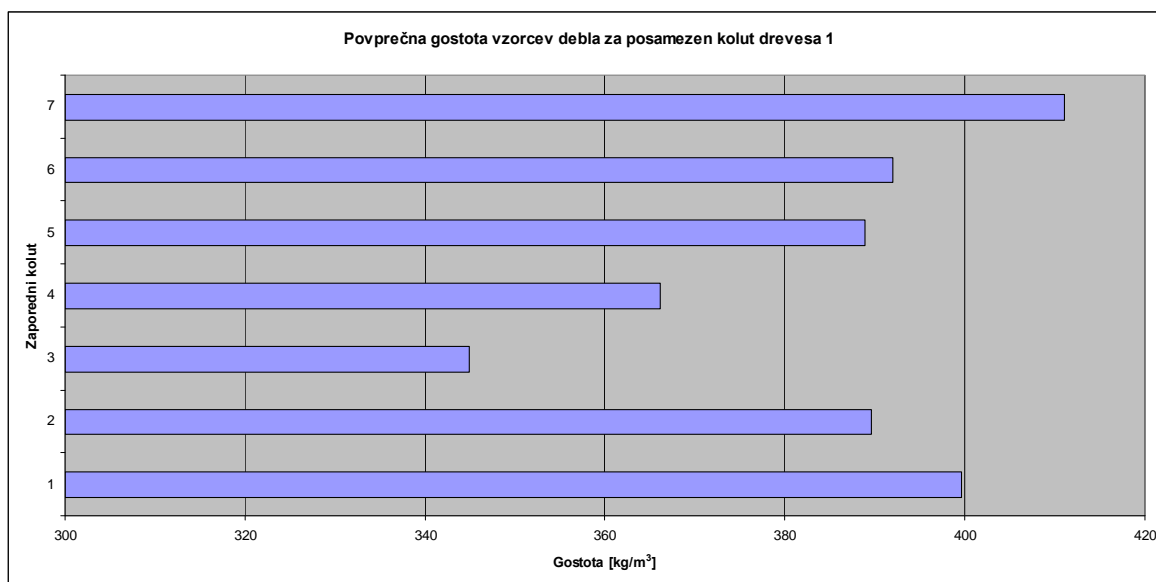
Med posameznimi porazdelitvami gostote (odvzetih na različnih višinah) v radialni smeri drevesa 1 (slika 10) je razvidno, da imata koluta 6 in 7 podobno karakteristiko gostote, in sicer gostota narašča od periferije proti strženu ter pada od stržena proti periferiji. Polnilo oziroma ozadje posameznega grafikona je na območju periferije temnejše, na območju stržena pa svetlejš.



Slika 10: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev vseh sedmih kolotov drevesa 1

Povprečna gostota drevesa 1 od panja do tretjega koluta pada, nato pa od tretjega koluta do vrha drevesa narašča, tako da ima vrhnji oziroma zadnji kolut največjo povprečno gostoto

(slika 11). Za takšno porazdelitev gostote lahko sklepamo, da je posledica reakcijskega oziroma kompresijskega lesa. Reakcijski les se oblikuje kot odgovor na orientacijo debla, ki odstopa od njegove geotermične lege, katera nastane pod vplivom asimetrične oblike krošnje, naklona rastišča, snega ali močnega vetra (Gorišek 2009).



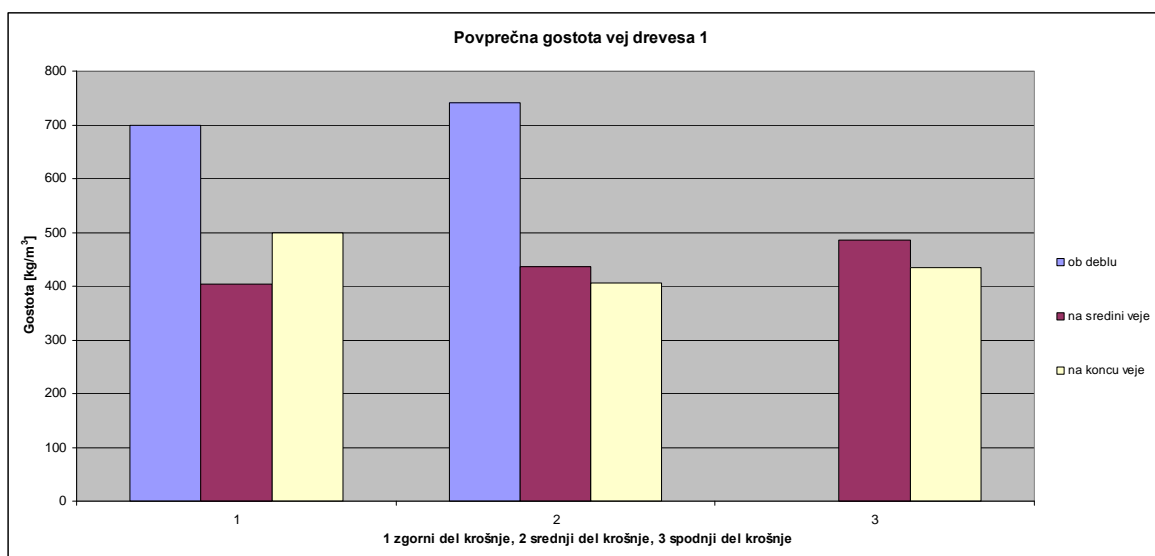
Slika 11: Povprečna gostota debla na posameznem kolotu drevesa 1

#### 4.3.1.2 Osnovna gostota lesa vej drevesa 1

Glede na strukturo vzorčenja (slika 2) smo najprej podali gostoto ob deblu, nato na sredini vej in potem še na koncu veje.

Povprečna gostota vej je največja ob deblu ter proti vrhu veje pada (slika 12). Največja povprečna gostota vej prvega drevesa je ob deblu drevesa v območju srednjega dela krošnje in znaša  $741 \text{ kg/m}^3$ , najmanjša pa na vrhu veje v srednjem delu krošnje  $405 \text{ kg/m}^3$ .



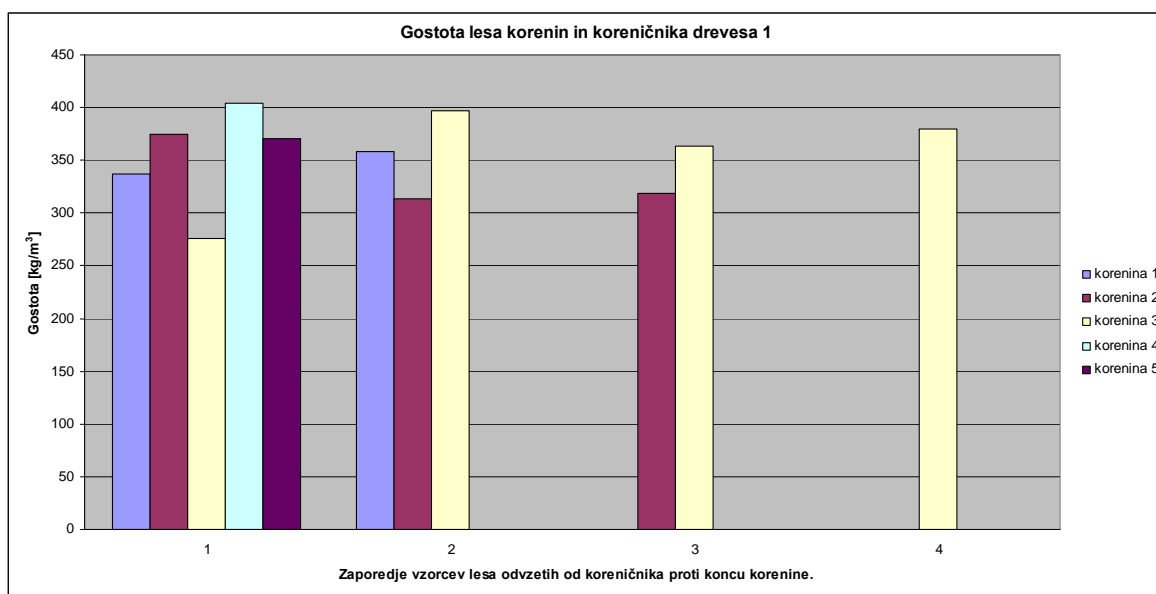


Slika 12: Povprečna gostota vej drevesa 1 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje)

#### 4.3.1.3 Osnovna gostota lesa korenin drevesa 1

Glede na strukturo vzorčenja (slika 2) smo podali gostoto od koreničnika proti koncu korenine.

Pri koreninah povprečna gostota zelo variira, saj se na različnih delih pojavlja reakcijski les. Največja povprečna gostota  $404 \text{ kg/m}^3$  in najmanjša  $276 \text{ kg/m}^3$  sta iz območja koreničnika (slika 13).



Slika 13: Povprečna gostota korenin drevesa 1

### 4.3.2 Drevo 5

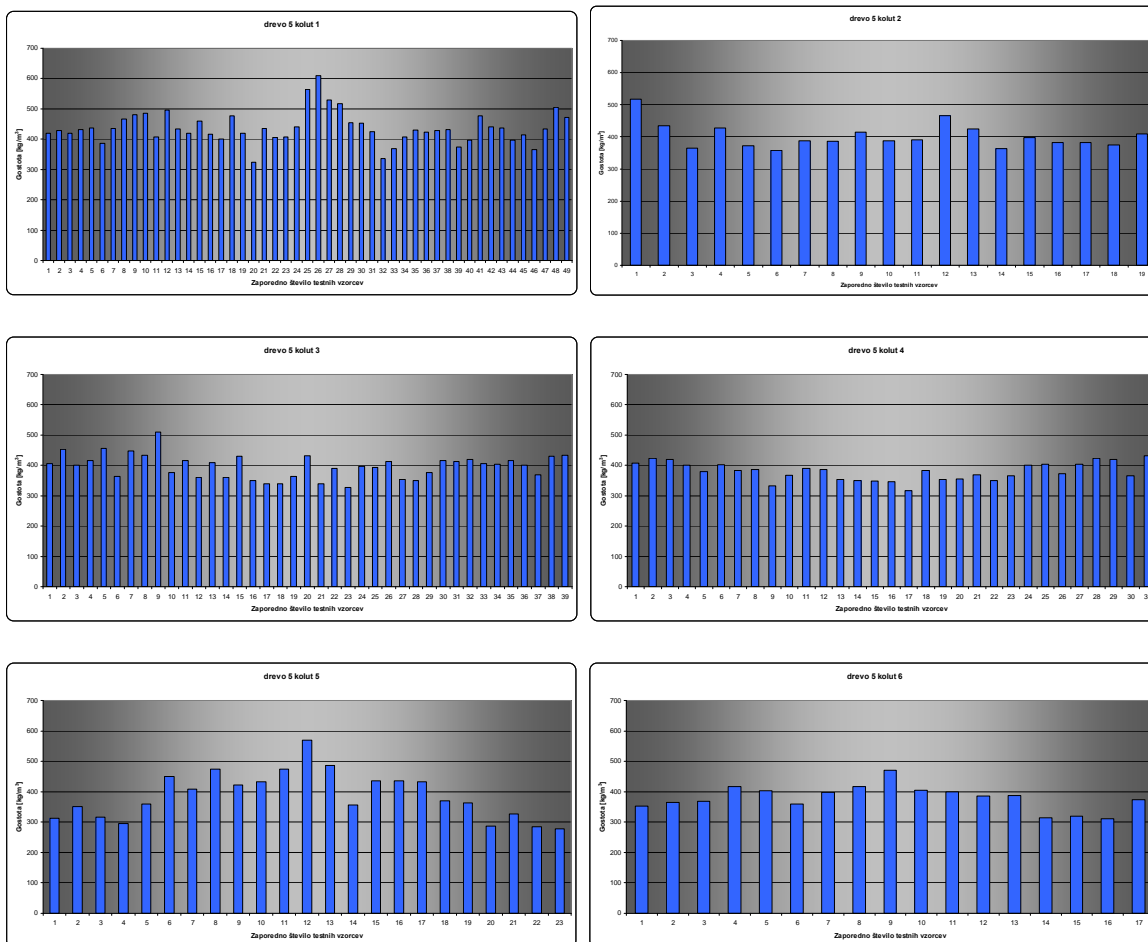
#### 4.3.2.1 Osnovna gostota debla drevesa 5

Preglednica 3: Premer in ekscentričnost oziroma oddaljenost stržena od periferije debla petega drevesa ter višina odvzema posameznega koluta

Drevo 5			
Kolut št.	Premer	Ekscentričnost	Višina
1	50 cm	26 cm	0,0 m
2	40,3 cm	17,1cm	1,3 m
3	39,3 cm	18,8 cm	5,5 m
4	31,2 cm	13,8 cm	13,8 m
5	23,1 cm	11,6 cm	22,1 m
6	17,5 cm	8,5 cm	26,3 m

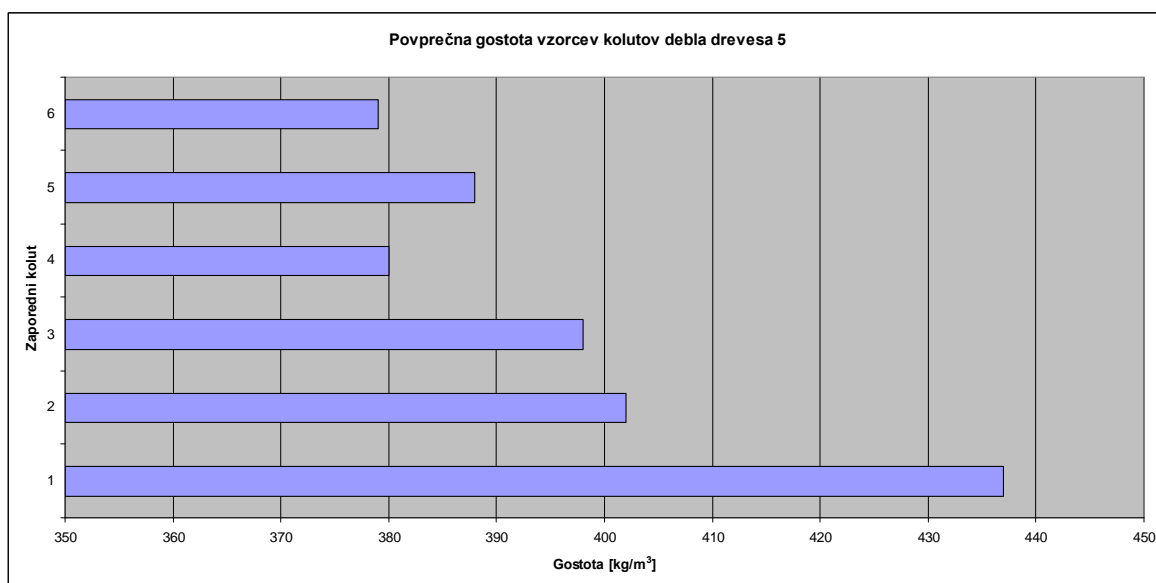
Med posameznimi porazdelitvami gostote v radialni smeri iz posameznih višin (slika 14) je razvidno, da imajo koluti 1, 5 in 6 podobno karakteristiko gostote, in sicer gostota narašča od periferije proti strženu ter pada od stržena proti periferiji. Drevesi 3 in 4 imata na periferiji največjo gostoto, ki proti strženu pada ter nato proti periferiji spet narašča.

Polnilo oziroma ozadje posameznega grafikona je na območju periferije temnejše, na območju stržena pa svetlejša.



Slika 14: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev vseh šestih kolotov drevesa 5

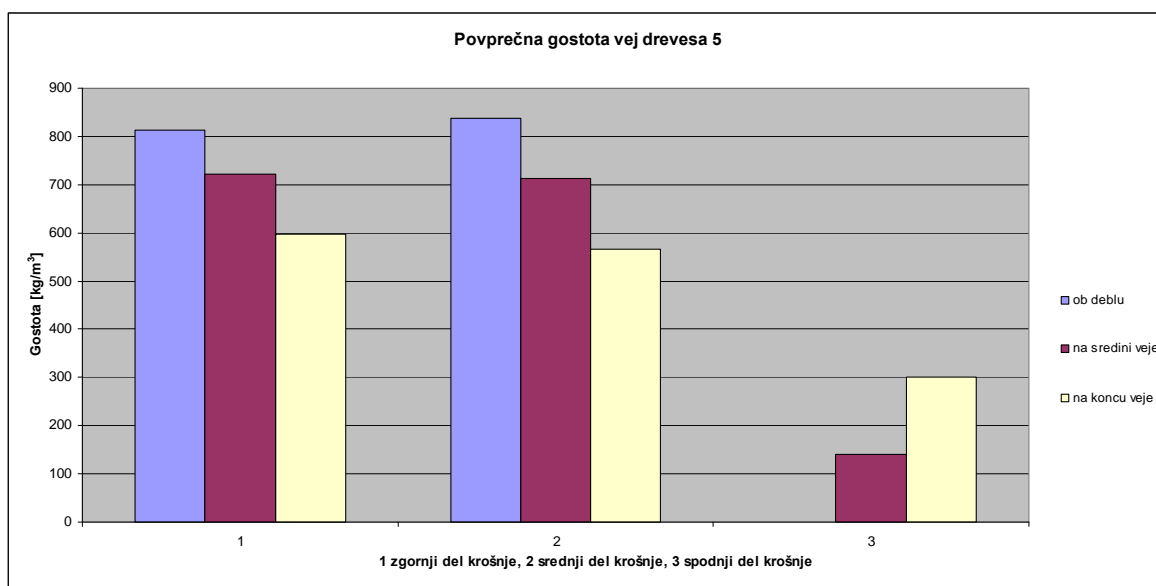
Povprečna gostota debla od panja proti vrhu pada. Največja povprečna gostota je na panju, in sicer  $437 \text{ kg/m}^3$ , najmanjša pa na šestem kolotu in znaša  $379 \text{ kg/m}^3$  (slika 15).



Slika 15: Povprečna gostota debla na posameznem kolotu drevesa 5

#### 4.3.2.2 Osnovna gostota lesa vej drevesa 5

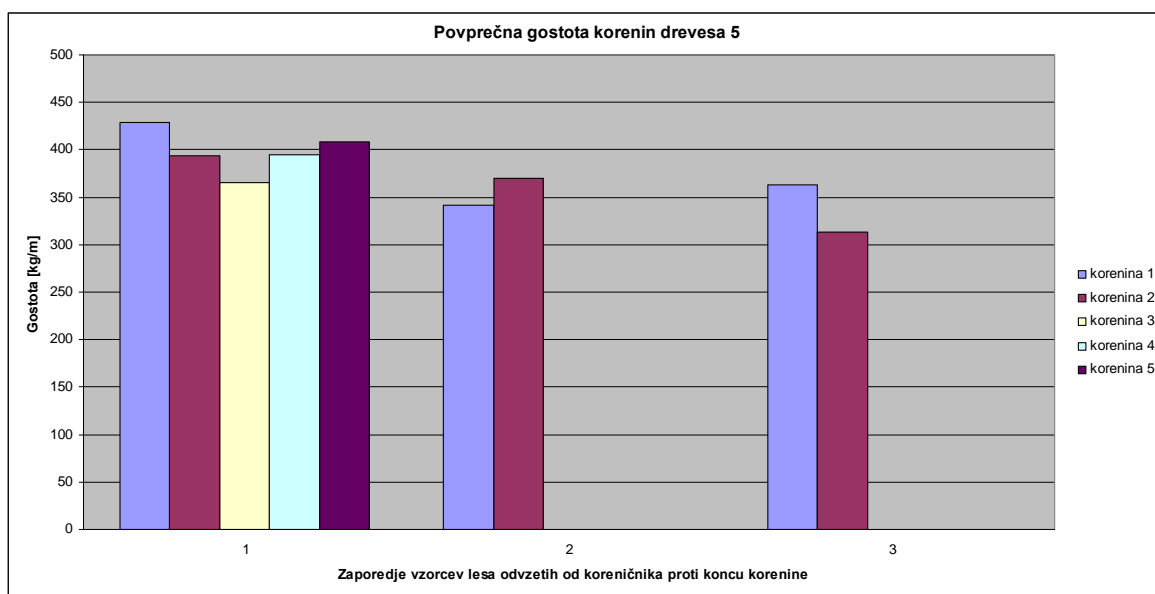
Največja povprečna gostota vej petega drevesa je ob deblu drevesa v območju srednjega dela krošnje in znaša  $838 \text{ kg/m}^3$ , najmanjša pa na vrhu veje v zgornjem delu krošnje, in sicer  $353 \text{ kg/m}^3$ . Povprečna gostota vej pada od drevesa proti vrhu veje (slika 16).



Slika 16: Povprečna gostota vej drevesa 5 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje)

#### 4.3.2.3 Osnovna gostota lesa korenin drevesa 5

Povprečna gostota korenin petega drevesa je največja v delu koreničnika ( $429 \text{ kg/m}^3$ ) in najmanjša na najbolj oddaljenem delu korenine od koreničnika ( $313 \text{ kg/m}^3$ ). Za peto drevo se povprečna gostota v območju od koreničnika proti koncu korenine linearno zmanjšuje (slika 17).



Slika 17: Povprečna gostota korenin drevesa 5

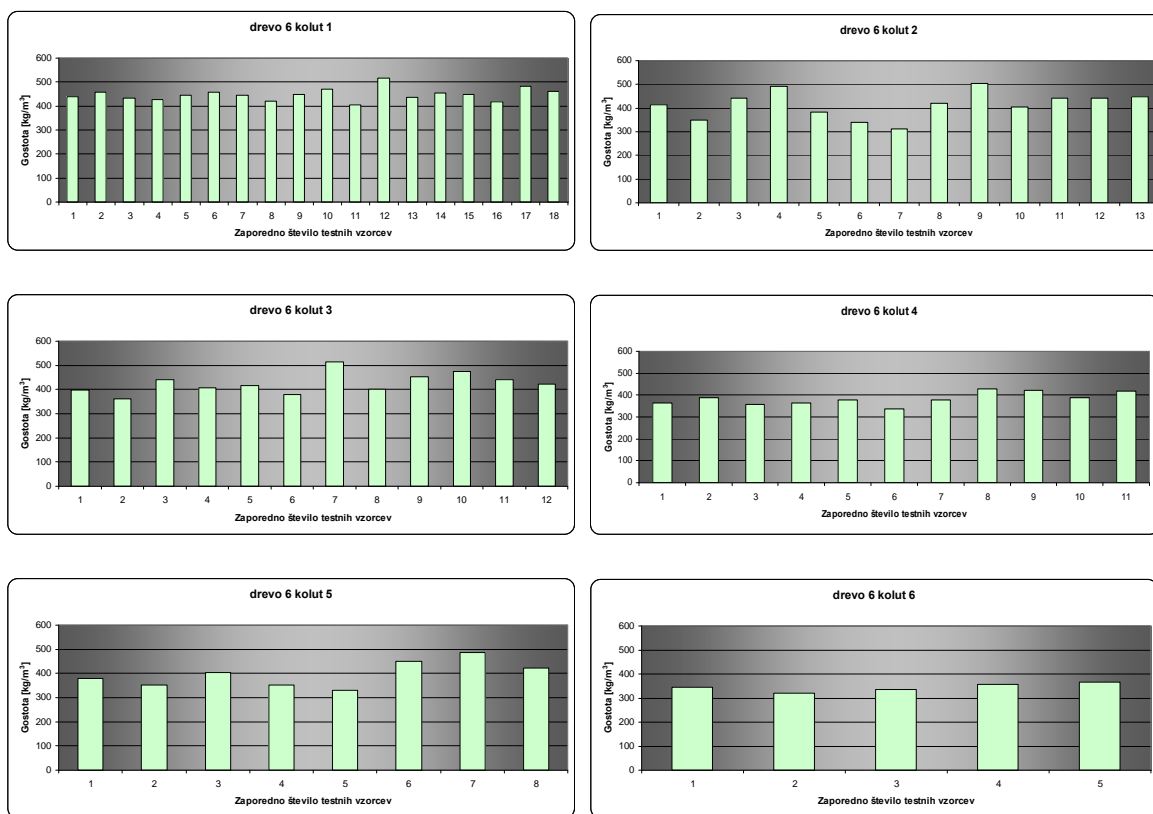
### 4.3.3 Drevo 6

#### 4.3.3.1 Osnovna gostota debla drevesa 6

Preglednica 4: Premer in ekscentričnost oziroma oddaljenost stržena od periferije debla drevesa 6 ter višina odvzema posameznega koluta

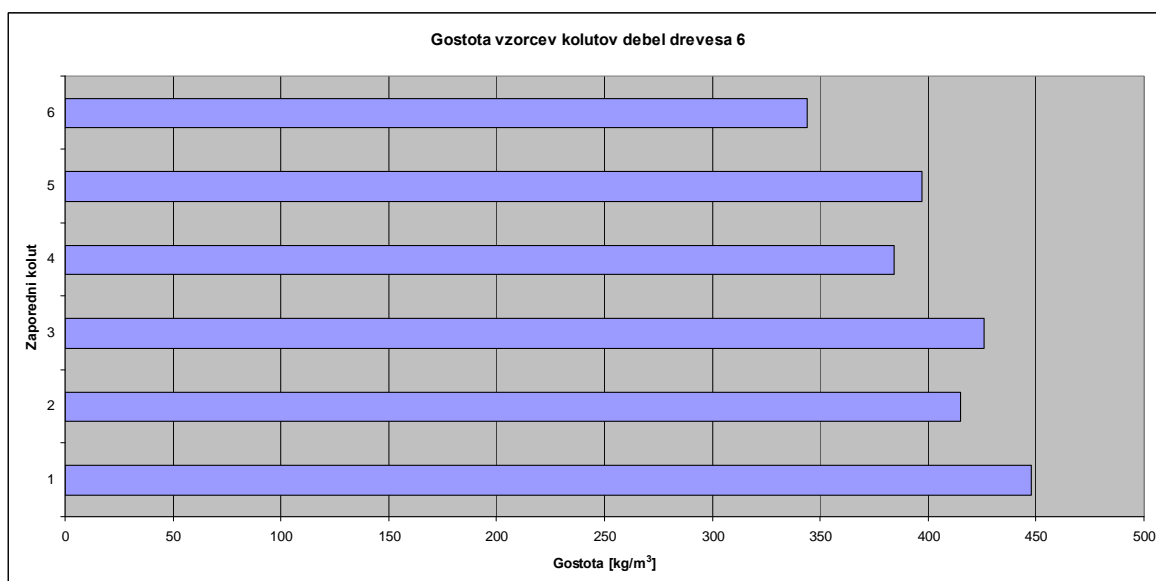
Drevo 6			
Kolut št.	Premer	Ekscentričnost	Višina
1	31,5 cm	20,2cm	0,0 m
2	26,5 cm	11,3cm	1,3 m
3	23,3 cm	12,1 cm	5,5 m
4	21,3 cm	10,4 cm	10,6 m
5	17,7 cm	7,8 cm	16,8 m
6	9,5 cm	4,4 cm	21,0 m

Med posameznimi porazdelitvami gostote v radialni smeri iz posameznih višin (slika 18) je razvidno, da imajo koluti 2, 4, 5 in 6 podobne značilnosti gostote, in sicer gostota pada od periferije proti strženu ter narašča od stržena proti periferiji. Polnilo oziroma ozadje posameznega grafikona je na območju periferije temnejše, na območju stržena pa svetlejšje.



Slika 18: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev vseh šestih kolotov drevesa 6

Povprečna gostota debla drevesa šest od panja proti vrhu pada. Največja povprečna gostota je na panju, in sicer  $448 \text{ kg/m}^3$ , najmanjša pa na šestem kolutu in znaša  $344 \text{ kg/m}^3$  (slika 19).



Slika 19: Povprečna gostota debla na posameznem kolotu drevesa 6

#### 4.3.3.2 Osnovna gostota lesa vej drevesa 6

Največja povprečna gostota vej šestega drevesa je ob deblu drevesa v območju srednjega dela krošnje in znaša  $822 \text{ kg/m}^3$ , najmanjša pa na vrhu veje v srednjem delu krošnje ter znaša  $399 \text{ kg/m}^3$ . Povprečna gostota vej pada od drevesa proti vrhu veje (slika 20).

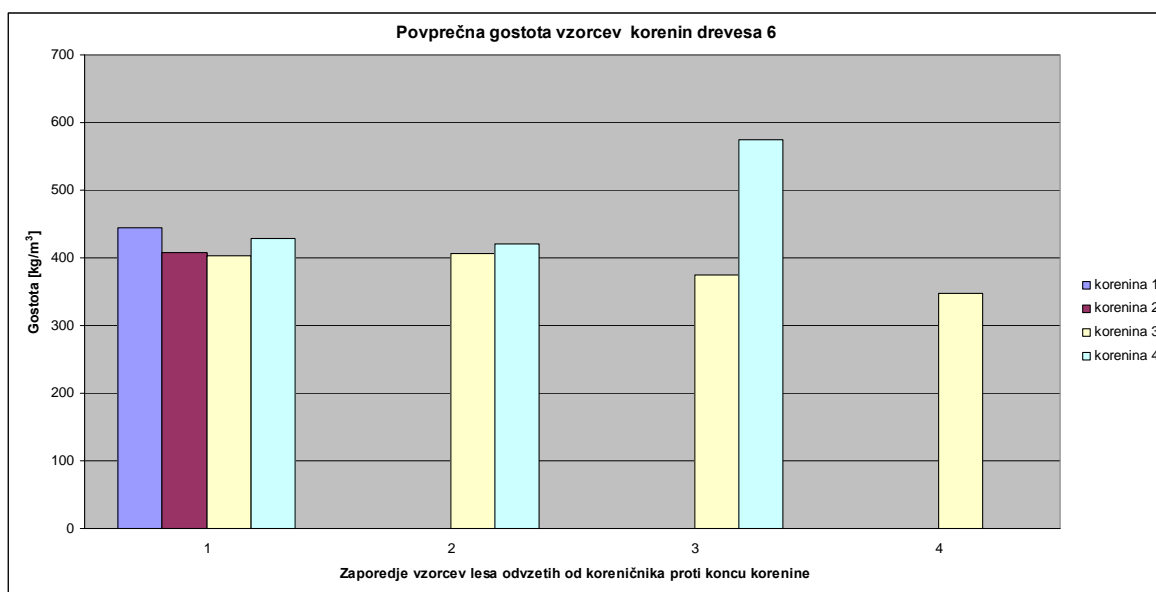




Slika 20: Povprečna gostota vej drevesa 6 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje)

#### 4.3.3.3 Osnovna gostota lesa korenin drevesa 6

Povprečna gostota korenin šestega drevesa je največja v tretjem območju oddaljenosti od koreničnika ( $574 \text{ kg/m}^3$ ) in najmanjša na najbolj oddaljenem delu korenine od koreničnika ( $347 \text{ kg/m}^3$ ) – slika 21.



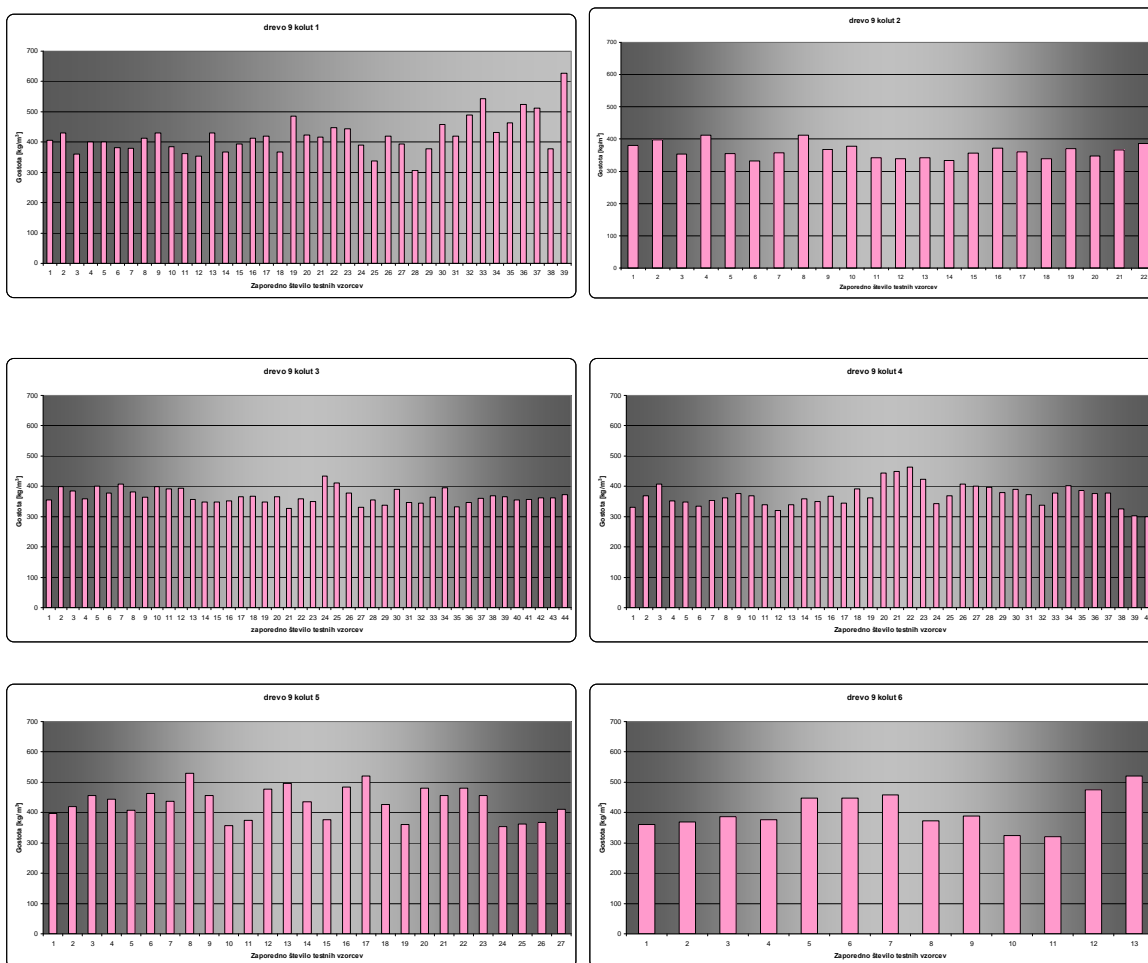
Slika 21: Povprečna gostota korenin drevesa 6

#### 4.3.4 Drevo 9

Preglednica 5: Premer in ekscentričnost oziroma oddaljenost stržena od periferije debla drevesa 9 ter višina odvzema posameznega koluta

Drevo 9			
Kolut št.	Premer	Ekscentričnost	Višina
1	--	35,8 cm	0,0 m
2	47,4 cm	25,5 cm	1,3 m
3	44,4 cm	23,8 cm	6,5 m
4	39,7 cm	21,3 cm	10,6 m
5	27,6 cm	13,7 cm	18,8 m
6	12,8 cm	6 cm	25,0 m

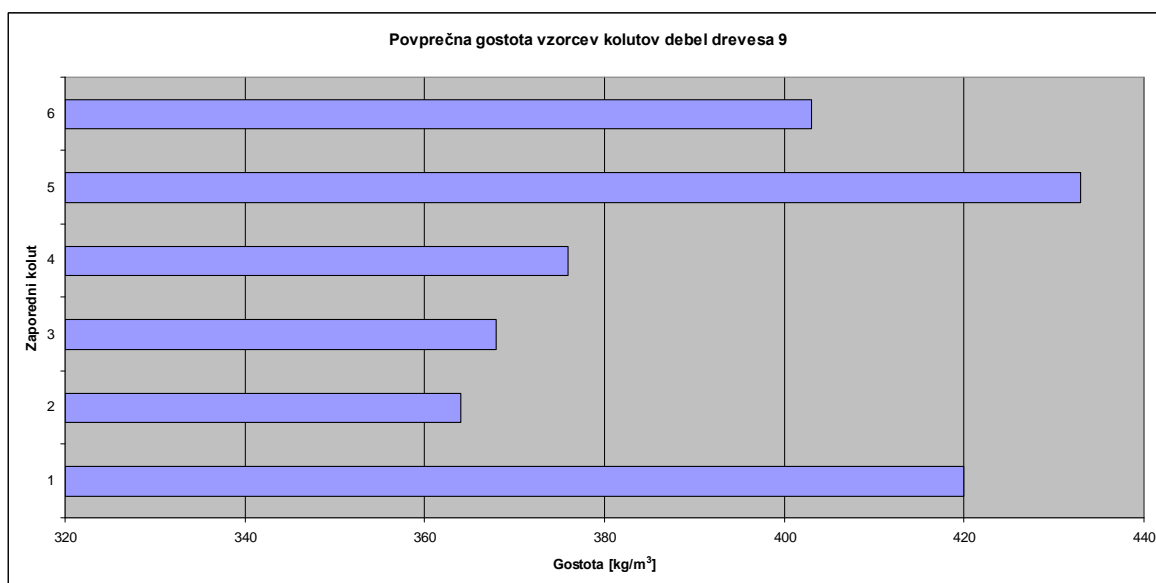
Med posameznimi porazdelitvami gostote v radialni smeri iz posameznih višin (slika 22) je razvidno, da imata koluta 4 in 6 podobno karakteristiko gostote, in sicer gostota narašča od periferije proti strženu ter pada od stržena proti periferiji. Pri kolutu v prsni višini je ravno obratno, gostota od periferije proti strženu pada in od stržena proti periferiji narašča. Polnilo oziroma ozadje posameznega grafikona je na območju periferije temnejše, na območju stržena pa svetlejš.



Slika 22: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev vseh šestih kolotov drevesa 9

#### 4.3.4.1 Osnovna gostota debla drevesa 9

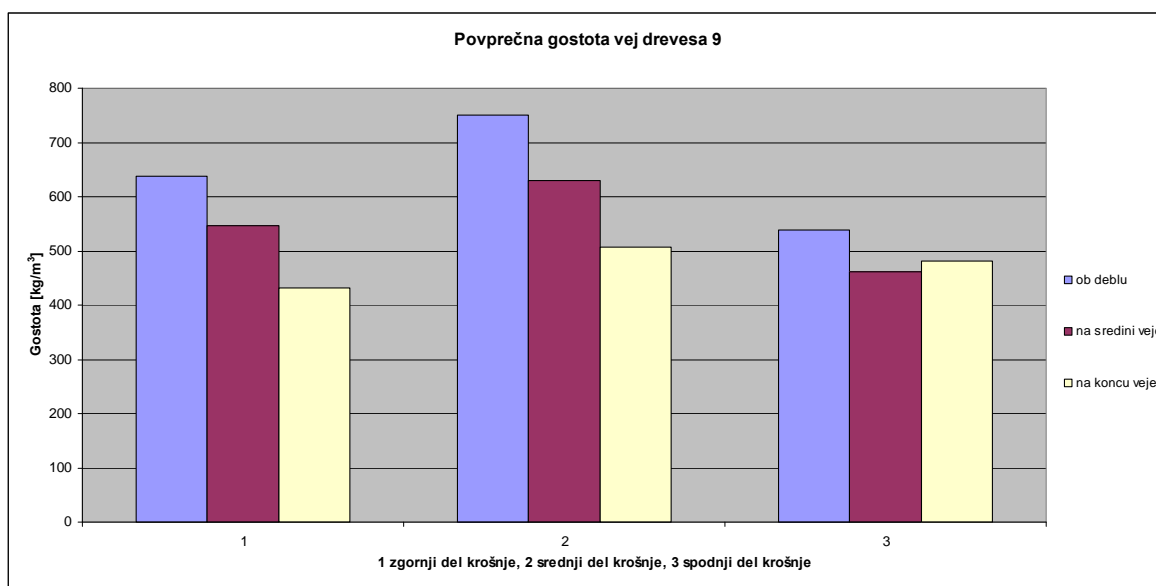
Povprečna gostota debla drevesa 9 od panja do prsnega premera drastično pade, nato pa do petega kolota narašča in spet pade na šestem kolotu. Največja povprečna gostota je na petem kolotu, in sicer  $433 \text{ kg/m}^3$ , najmanjša pa na prsnem premeru ter znaša  $364 \text{ kg/m}^3$  (slika 23).



Slika 23: Povprečna gostota debla na posameznem kolotu drevesa 9

#### 4.3.4.2 Osnovna gostota lesa vej drevesa 9

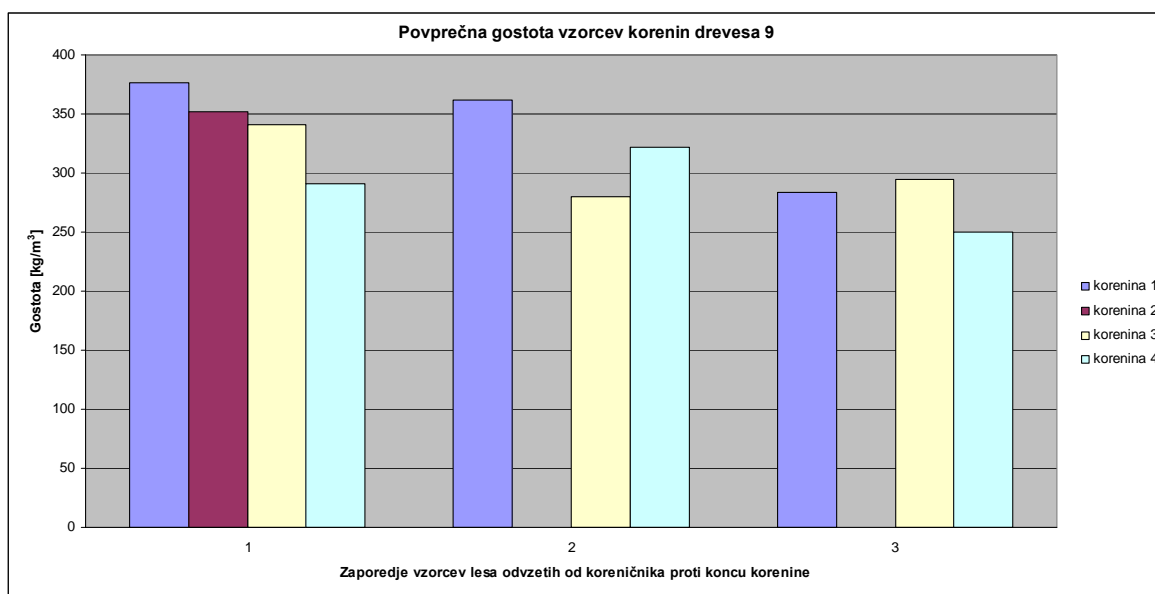
Največja povprečna gostota vej devetega drevesa je ob deblu drevesa v območju srednjega dela krošnje in znaša  $751 \text{ kg/m}^3$ , najmanjša pa na vrhu veje v zgornjem delu krošnje ter znaša  $263 \text{ kg/m}^3$ . Povprečna gostota vej pada od drevesa proti vrhu veje (slika 24).



Slika 24: Povprečna gostota vej drevesa 9 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje)

#### 4.3.4.3 Osnovna gostota lesa korenin drevesa 9

Povprečna gostota korenin devetega drevesa je največja v delu koreničnika ( $376 \text{ kg/m}^3$ ) in najmanjša na najbolj oddaljenem delu korenine od koreničnika ( $250 \text{ kg/m}^3$ ). Povprečno gledano za deveto drevo povprečna gostota v območju od koreničnika proti koncu korenine linearno pada (slika 25).



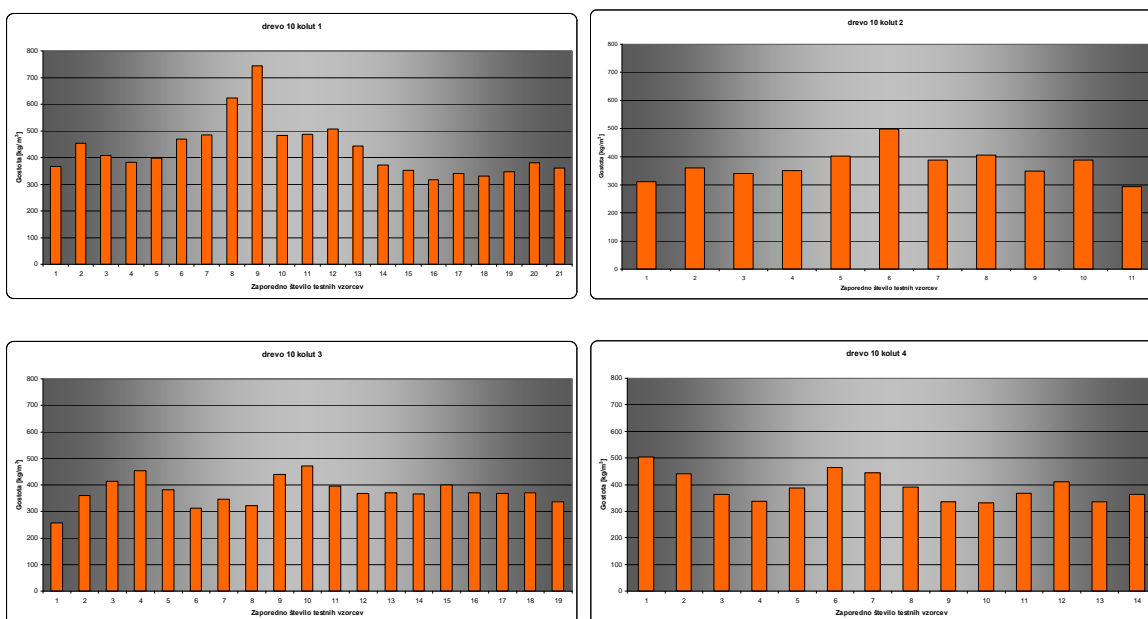
Slika 25: Povprečna gostota korenin drevesa 9 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje)

#### 4.3.5 Drevo 10

Preglednica 6: Premer in ekscentričnost oziroma oddaljenost stržena od periferije debla drevesa 10 ter višina odvzema posameznega koluta

Drevo 10			
Kolut št.	Premer	Ekscentričnost	Višina
1	21,4 cm	8,4cm	0,0 m
2	19,4 cm	9,3cm	1,3 m
3	18,6 cm	8,2cm	3,5 m
4	14,3 cm	7cm	9,7 m

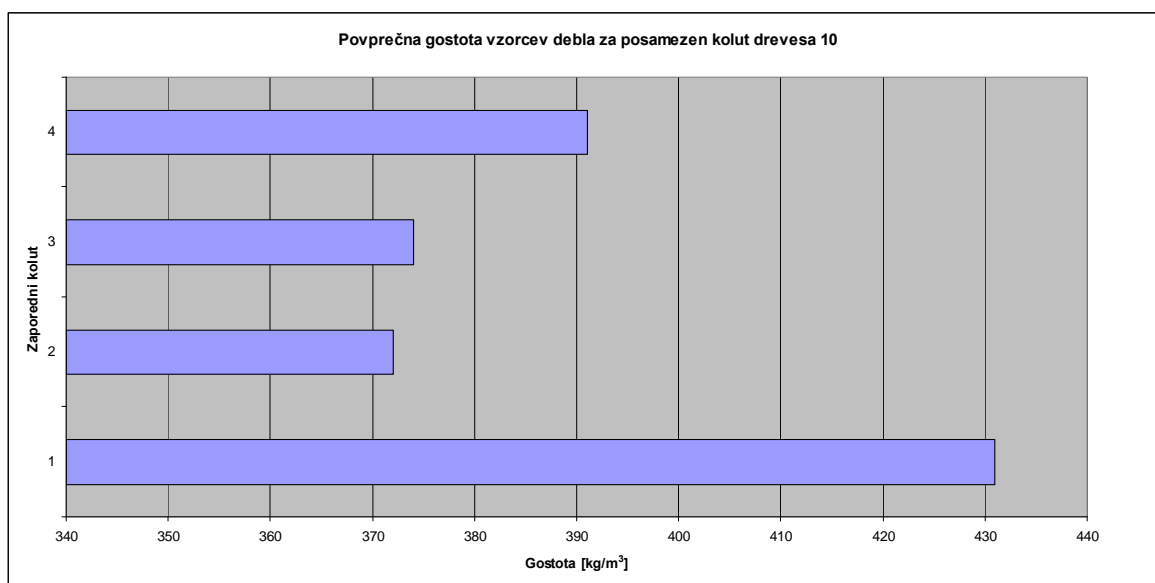
Med posameznimi porazdelitvami gostote v radialni smeri iz posameznih višin (slika 26) je razvidno, da imata koluta 1 in 2 podobno karakteristiko gostote, in sicer gostota narašča od periferije proti strženu ter pada od stržena proti periferiji. Za ostale kolute ni videti posebnosti. Polnilo oziroma ozadje posameznega grafikona je na območju periferije temnejše, na območju stržena pa svetlejša.



Slika 26: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev vseh šestih kolotov drevesa 10

#### 4.3.5.1 Osnovna gostota debla drevesa 10

Povprečna gostota debla drevesa deset od panja do prsnega premera drastično pade, nato pa do četrtega koluta narašča. Največja povprečna gostota je na prvem kolutu, in sicer  $431 \text{ kg/m}^3$ , najmanjša pa na prsnem premeru ter znaša  $372 \text{ kg/m}^3$  (slika 27).

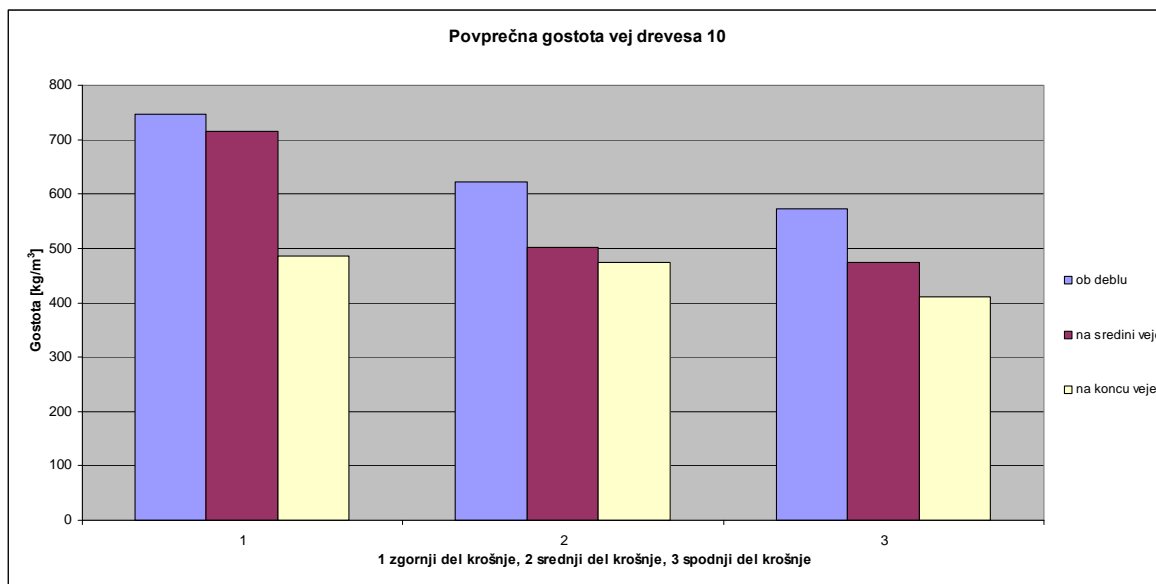


Slika 27: Povprečna gostota debla na posameznem kolutu drevesa 10

#### 4.3.5.2 Osnovna gostota lesa vej drevesa 10

Največja povprečna gostota vej desetega drevesa je ob deblu drevesa v območju zgornjega dela krošnje in znaša  $747 \text{ kg/m}^3$ , najmanjša pa na vrhu veje v srednjem delu krošnje ter znaša  $337 \text{ kg/m}^3$  (slika 28).

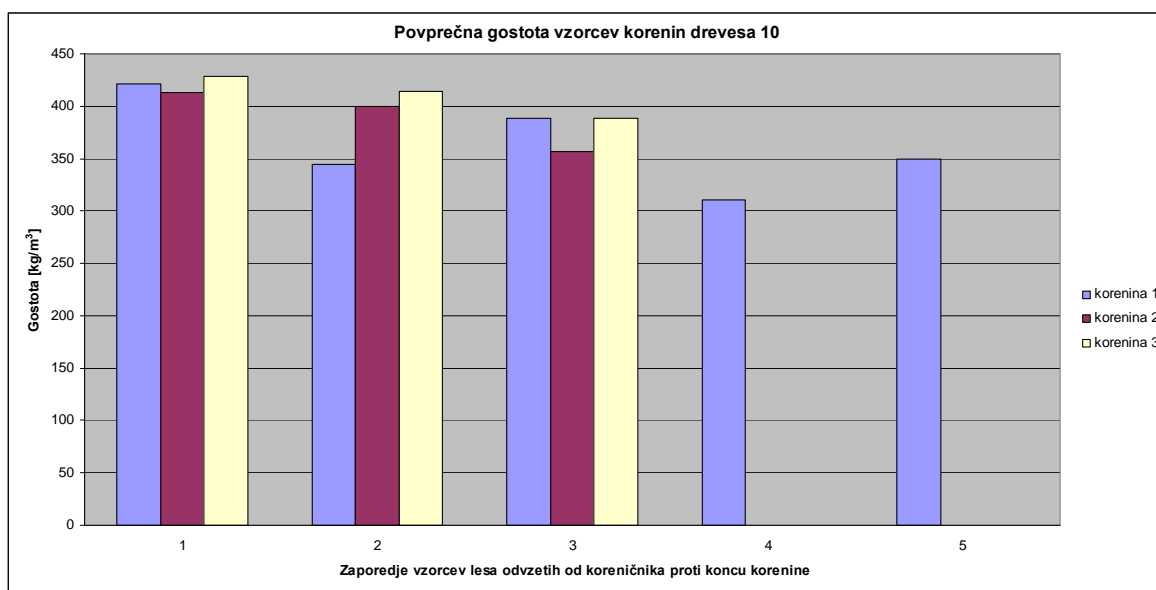




Slika 28: Povprečna gostota vej drevesa 10 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje)

#### 4.3.5.3 Osnovna gostota lesa korenin drevesa 10

Povprečna gostota korenin desetega drevesa je največja v delu koreničnika ( $428 \text{ kg/m}^3$ ) in najmanjša na četrtem oddaljenem delu korenine od koreničnika ( $311 \text{ kg/m}^3$ ). Povprečno gledano za deseto drevo povprečna gostota v območju od koreničnika proti koncu korenine pada (slika 29).



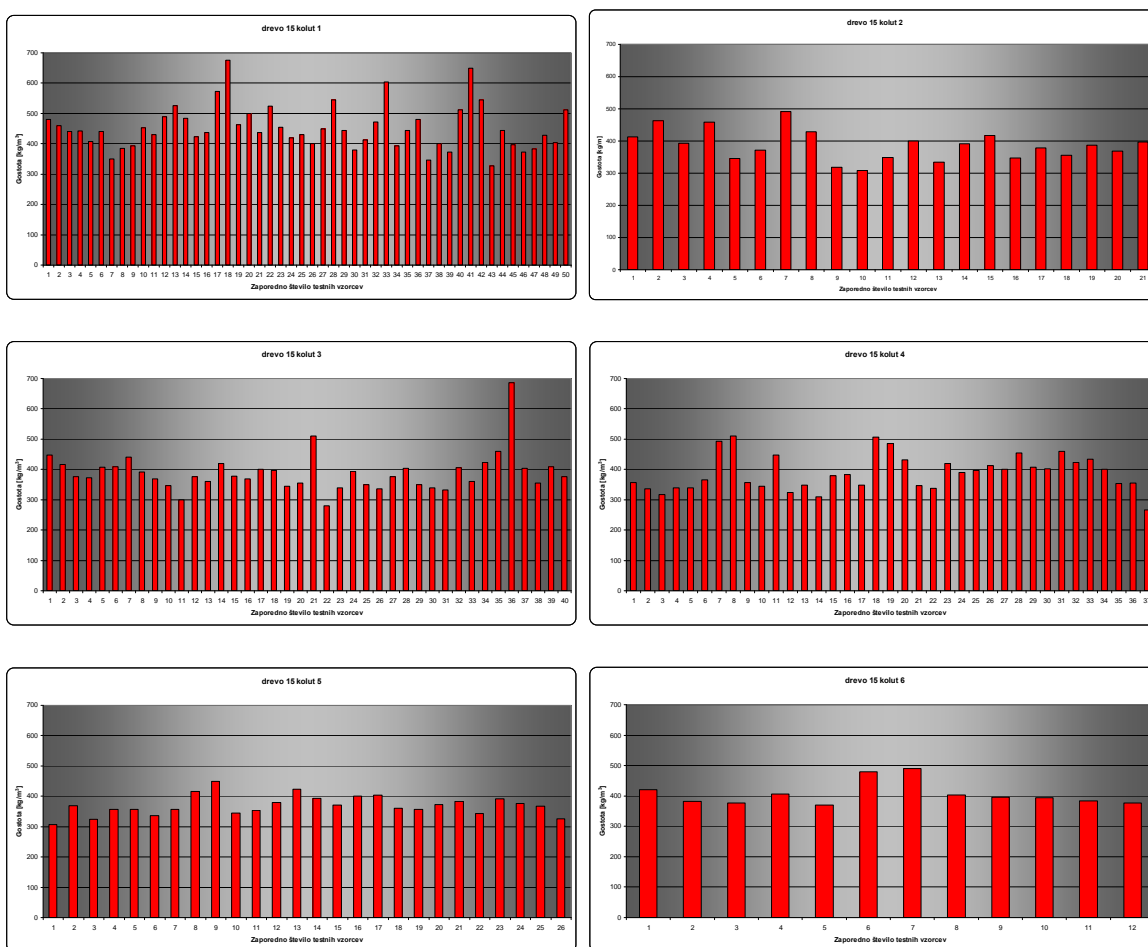
Slika 29: Povprečna gostota korenin drevesa 10

#### 4.3.6 Drevo 15

Preglednica 7: Premer in ekscentričnost oziroma oddaljenost stržena od periferije debla drevesa 15 ter višina odvzema posameznega koluta

Drevo 15			
Kolut št.	Premer	Ekscentričnost	Višina
1	49,8 cm	21,6 cm	0,0 m
2	43,6 cm	22,7 cm	1,3 m
3	40,5 cm	20,5 cm	6,5 m
4	36,9 cm	18,2 cm	12,7 m
5	26,3 cm	12,6 cm	21,0 m
6	11,9 cm	5,9 cm	27,2 m

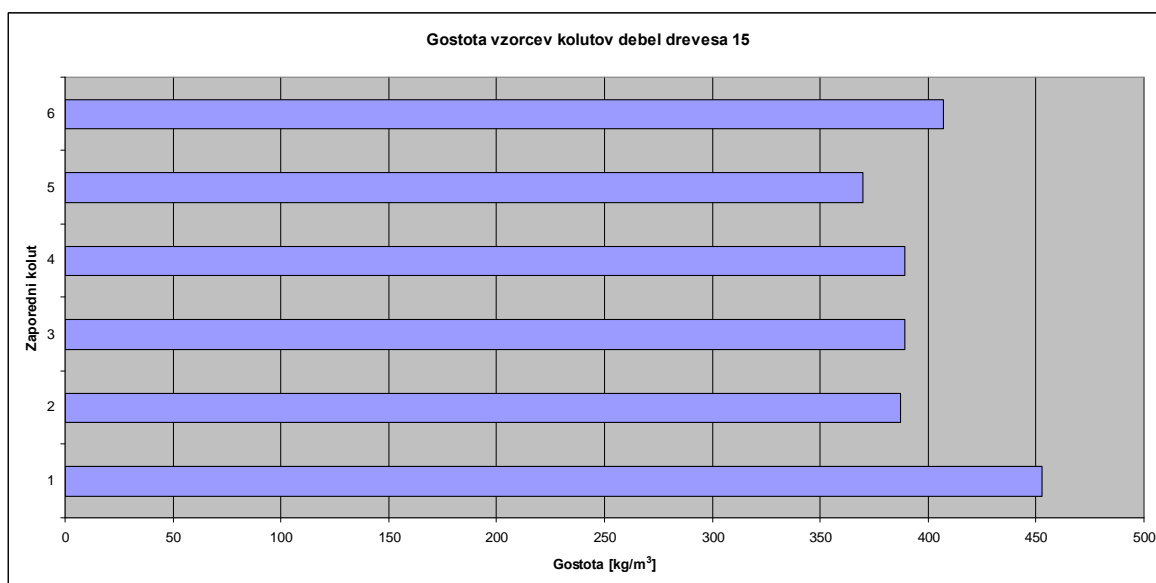
Med posameznimi porazdelitvami gostote v radialni smeri iz posameznih višin (slika 30) je razvidno, da imata koluta 2 in 3 podobno karakteristiko gostote, in sicer gostota pada od periferije proti strženu ter narašča od stržena proti periferiji. Pri kolutih 5 ter 6 je ravno obratno, gostota od periferije proti strženu narašča in od stržena proti periferiji pada. Polnilo oziroma ozadje posameznega grafikona je na območju periferije temnejše, na območju stržena pa svetlejša.



Slika 30: Grafični prikaz radialne porazdelitve gostote vzorcev vseh šestih kolotov drevesa 15

#### 4.3.6.1 Osnovna gostota debla drevesa 15

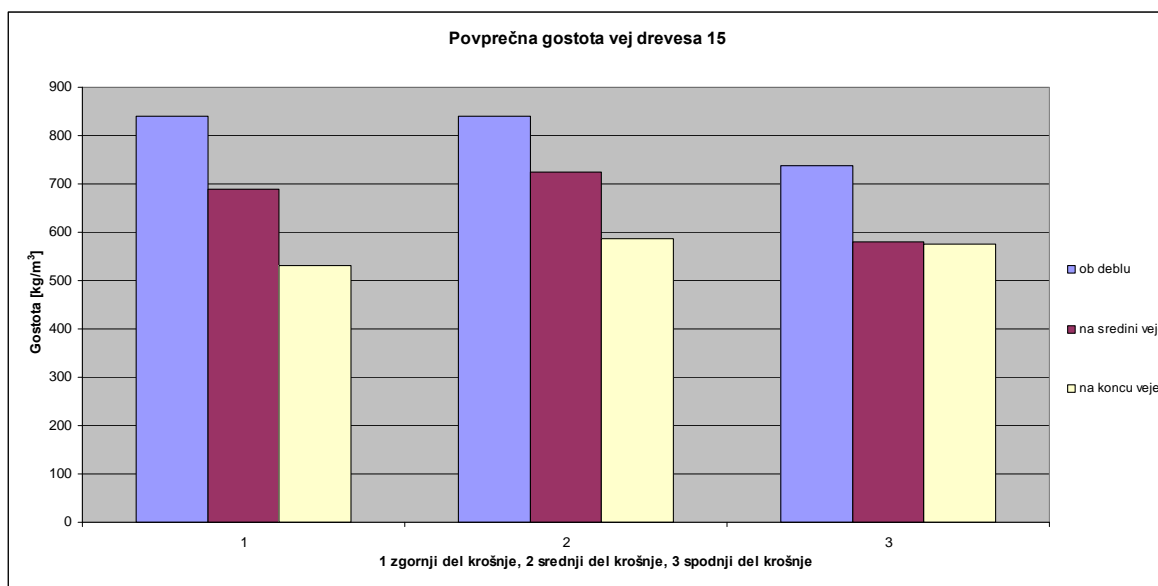
Povprečna gostota debla drevesa 15 od panja do petega koluta pada, nato pa do šestega koluta narašča. Največja povprečna gostota je na prvem kolutu, in sicer  $453 \text{ kg/m}^3$ , najmanjša pa na petem kolutu ter znaša  $370 \text{ kg/m}^3$  (slika 31).



Slika 31: Povprečna gostota debla na posameznem kolotu drevesa 15

#### 4.3.6.2 Osnovna gostota lesa vej drevesa 15

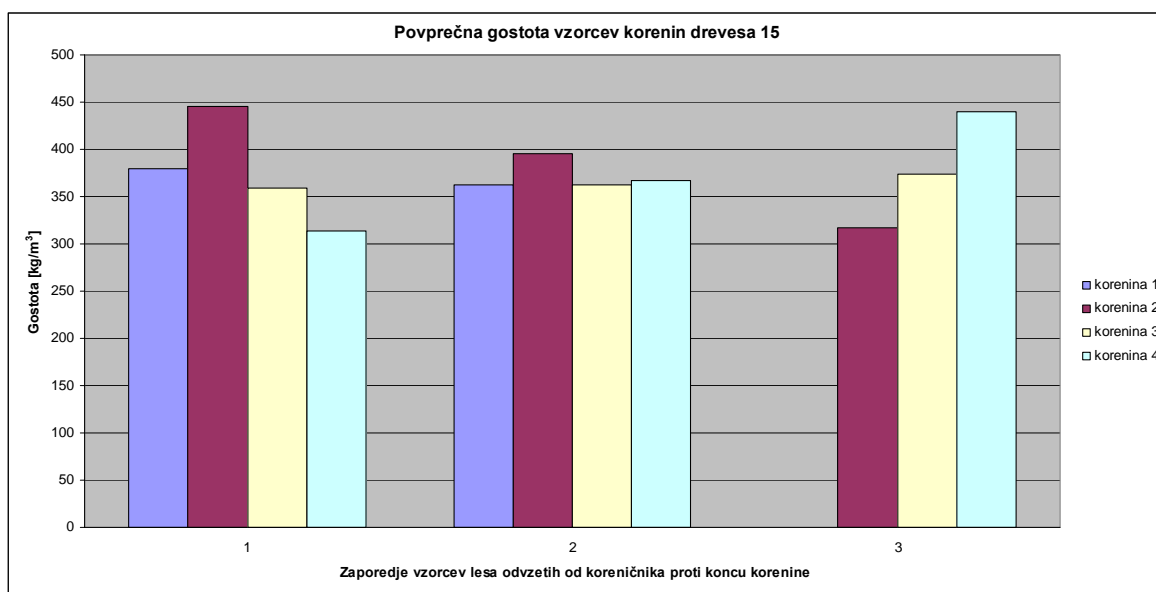
Največja povprečna gostota vej petnajstega drevesa je ob deblu drevesa v območju zgornjega dela krošnje in znaša  $841 \text{ kg/m}^3$ , najmanjša pa na vrhu veje v srednjem delu krošnje ter znaša  $353 \text{ kg/m}^3$  (slika 32).



Slika 32: Povprečna gostota vej drevesa 15 (deli, ki so označeni z zaporednim številom 1, so iz zgornjega dela krošnje, 2 – iz srednjega dela krošnje, 3 – iz spodnjega dela krošnje)

#### 4.3.6.3 Osnovna gostota lesa korenin drevesa 15

Povprečna gostota korenin desetega drevesa je največja v delu koreničnika ( $445 \text{ kg/m}^3$ ) in najmanjša prav tako iz dela koreničnika ( $314 \text{ kg/m}^3$ ) – slika 33.



Slika 33: Povprečna gostota korenin drevesa 15

## 5 RAZPRAVA

Jeseni 2008 je vetrolom izruval 19 dreves navadne jelke na območju Snežnika v gozdnogospodarski enoti (GGE) oddelka 46, ki se nahaja na nadmorski višini od 750 do 1200 m. Zaposleni na Gozdarskem inštitutu Slovenije so za vseh 19 dreves pripravili kolute debel, vej in korenin (slika 2). Iz vseh kolotov smo na GIS-u izžagali radialne vzorce, katere smo z dletom razsekali in tako dobili 2059 testnih vzorcev nepravilnih oblik.

Raziskava je pokazala, da ima izmed trinajstih dreves, za katera smo izvedli meritve samo na prsni višini, največjo povprečno gostoto deblo drevesa dvajset (slika 8). Njegova povprečna gostota znaša  $509 \text{ kg/m}^3$ . Najmanjšo povprečno gostoto pa ima četrto drevo, in sicer  $343 \text{ kg/m}^3$ . V primerjavi z gostoto jelovine, ki je navedena v literaturi (Gorišek 2009), je razvidno, da gostota debla drevesa 20 presega zgornjo mejo  $450 \text{ kg/m}^3$ . To je posledica večjega deleža reakcijskega lesa oziroma ožjih letnih prirastkov.

Pri analizi gostote lesa debel v različnih višinah, za katere je bil obseg vzorčenja 6, smo ugotovili, da imajo različno porazdelitev gostote debla po višini. Ugotovili smo, da imata drevesi 5 in 6 podobno porazdelitev povprečne gostote po višini – povprečna gostota debla drevesa od panja proti vrhu debla pada. Drevesa 1, 9, 10, 15 imajo podobno porazdelitev povprečne gostote debla. Povprečna gostota debla od panja proti sredini višine pada in nato od sredine proti vrhu narašča. V spodnjem delu debla je večja gostota posledično povezana s prisotnostjo reakcijskega lesa ter ožjimi branikami. V zgornjem delu je večja gostota povezana z bližino vej in prisotnostjo reakcijskega lesa. Največjo povprečno gostoto ima petnajsto drevo na panju –  $453 \text{ kg/m}^3$ . Najmanjšo povprečno gostoto ima šesto drevo na zadnjem kolutu na višini 21 m in znaša  $344 \text{ kg/m}^3$ . Najmanjša povprečna gostota je iz zgornjega dela krošnje, kar pa je najverjetneje posledica prisotnosti juvenilnega (mladostnega) lesa.

Pri analizi gostote lesa vej smo ugotovili, da je največja gostota vej v območju ob deblu. Najmanjša povprečna gostota vej je v večini primerov v vrhu veje. Največja povprečna gostota je bila izmerjena pri petnajstem drevesu v zgornjem delu krošnje ob deblu, in sicer  $574 \text{ kg/m}^3$ . Najmanjša povprečna gostota vej je pri devetem drevesu v zgornjem delu

krošnje oziroma v vrhu veje ter znaša  $263 \text{ kg/m}^3$ . Menim, da je majhna gostota posledica vakuumiranja svežih vzorcev na terenu in nepravilne hrambe.

Pri analizi gostote lesa korenin smo ugotovili, da je največja povprečna gostota  $574 \text{ kg/m}^3$  pri šestem drevesu na tretjem vzorčnem območju korenine, gledano od koreničnika proti koncu korenine. Najmanjša povprečna gostota znaša  $250 \text{ kg/m}^3$ , vzorec je bil odvzet na devetem drevesu na najbolj oddaljenem delu korenine od koreničnika. Ugotovili smo tudi, da povprečna gostota korenin zelo variira, saj se na različnih delih pojavlja reakcijski les.

Naša raziskava je pokazala, da ima les vej testnih jelk največjo povprečno gostoto, in sicer  $595 \text{ kg/m}^3$ , nato sledi les debel, za katerega povprečna gostota znaša  $394 \text{ kg/m}^3$ . Koreninski les pa ima najmanjšo povprečno gostoto  $365 \text{ kg/m}^3$ . Odgovor na največjo povprečno gostoto vej je prisotnost reakcijskega lesa. Pri iglavcih se reakcijski les tvori na spodnji strani vej in ga imenujemo kompresijski les (Gorišek 2009).

Koliko ogljika je dejansko uskladiščenega v različnih delih drevesa, je odvisno od vlage, gostote in vsebnosti ogljika. Rezultati raziskave so pokazali, da so posledično zaradi gostote drevja vsebnosti ogljika glede na mesto vzorčenja tudi do 60 % večje oziroma manjše, razlike v povprečju pa so za analizirane jelke malo manjše kot  $500 \text{ kg/m}^3$ , samo za deblo pa  $398,5 \text{ kg/m}^3$ . Ta gostota se zelo malo razlikuje od gostote, ki se v Sloveniji uporablja pri pripravi poročil za sektor gozdarstvo, in sicer za Konvencijo UNFCCC ter KP (NIR 2009; za vse iglavce  $0,407 \text{ t/m}^3$  oziroma  $\text{kg/m}^3$ ).



## 6 SKLEPI

Skupina trinajstih dreves, za katere smo opravili meritve gostote debel dreves v prsni višini, ima povprečno skupno gostoto  $389 \text{ kg/m}^3$ . Za ostalih šest dreves smo opravili meritve gostote debel na območju od 4 do 7 višin. Prvo drevo ima povprečno gostoto  $385 \text{ kg/m}^3$ , peto drevo ima povprečno gostoto  $385 \text{ kg/m}^3$ . Šesto drevo ima največjo povprečno gostoto  $402 \text{ kg/m}^3$ . Deveto drevo ima povprečno gostoto  $394 \text{ kg/m}^3$ , deseto drevo ima povprečno gostoto  $392 \text{ kg/m}^3$  ter petnajsto drevo ima povprečno gostoto  $399 \text{ kg/m}^3$ . Šesto drevo je najmanjše drevo, zato vsebuje veliko juvenilnega lesa. Ker je drevo raslo na snežniškem območju in je bilo močno izpostavljeno vetru, se je odzvalo z reakcijskim lesom.

Povprečna gostota vej je pri večini dreves, ki smo jih testirali, največja v srednjem delu krošnje. Pri sami veji je največja gostota v območju veje ob deblu. Vzrok za največjo gostoto vej v srednjem delu krošnje je oblika krošnje. Dolžina vej je povezana z nosilnostjo, zato se drevo odziva z nastankom kompresijskega lesa, ki se odraža z eliptičnostjo kolotov.

Povprečna gostota korenin ima najmanjšo vrednost povprečnih gostot glede na veje in debla. Gostota lesa je povezana z mehanskimi lastnostmi lesa, zato lahko sklepamo, da je to tudi eden od dejavnikov, zaradi katerega je prišlo do vetroloma.

Za merjenje volumna nepravilnih testnih vzorcev smo izbrali metodo merjenja volumna v merilnem valju, kjer je izpodrivni medij voda. Odločitev načina merjenja volumna lahko potrdimo na osnovi primerjalnega testa »vodne metode« z »živosrebrovo metodo«. Ob predpostavki da so meritve opravljene z Breuilovim živosrebrovim volumetrom referenčne, smo ugotovili, da je »vodna metoda« merjenja volumna 96 %. Primerjalni test je obsegal 50 vzorcev iz posameznega dela drevesa (deblo, veje, korenine), tako da je bilo skupno 150 primerjalnih testnih vzorcev.

## 7 POVZETEK

Za pričujočo nalogo smo iz dreves navadne jelke v sodelovanju z Gozdarskim inštitutom Slovenije osnovali raziskavo, v kateri smo pridobili vpogled v variabilnost gostote znotraj drevesa in med drevesi na istem rastišču. S tem smo pridobili pomembne podatke tudi za lesarsko stroko, saj je znano, da je gostota indeks lastnosti lesa.

Cilja diplomske naloge sta bila: določiti gostoto lesa debla, vej in korenin jelk z istega rastišča ter ugotoviti, kakšna je variabilnost gostote znotraj drevesa in med proučevanimi drevesi.

Nalogo smo zastavili na devetnajstih drevesih jelke, ki jih je jeseni 2008 izruval vetrolom na območju Snežnika. Zaposleni na Gozdarskem inštitutu Slovenije so za vseh 19 dreves pripravili kolute debel, vej in korenin (slika 2). Iz vseh kolotov smo na GIS-u v delavnici oddelka za prirastoslovje in gojenje gozda iz vseh kolotov izžagali radialne vzorce, katere smo z dletom razsekali ter tako dobili 2059 testnih vzorcev nepravilnih oblik.

Razsekane testne vzorce smo dali v sušilnik na  $103 \pm 2$  °C, nato smo jih sušili do absolutno suhega stanja. Vzorce smo postopoma prelagali iz sušilnika v eksikator ter jih tehtali na laboratorijski tehtnici.

Testne vzorce smo ustavili v impregnacijsko komoro, kjer smo vzorce za 30 min izpostavili podtlaku ( $P = -0,887$  bar), nato pa smo vzorce za 8 h izpostavili nadtlaku ( $P = 8$  bar).

Z vodo maksimalno nasičene vzorce smo posamično jemali iz korita ter odstranili kapljice z valjanjem vsakega vzorca po brisači. Vzorce smo posamično potapljali v 50 ml merilni valj in odčitavali nivo izpodrinjene tekočine. Naredili smo še primerjavo z Breuilovim živosrebrovim volumetrom. Ugotovili smo, da je merjenje volumna v merilnem valju, kjer je izpodrivni medij voda, dovolj natančno.

Po končanih meritvah smo tako dobili vpogled v povprečno gostoto v prsni višini za trinajst dreves; povprečno gostoto šestih debel dreves po višini (na panju, v prsni višini, na

petini višine drevesa, na začetku in na sredini krošnje, zadnji kolut pa je bil odvzet na premeru 7 cm); povprečno gostoto vej po višini krošnje in po dolžini vej ter povprečno gostoto korenin po dolžini korenin.

Pri primerjavi je raziskava pokazala, da ima les vej testnih jelk največjo povprečno gostoto, nato sledi les debel, koreninski les pa ima najmanjšo povprečno gostoto. Razlog za največjo povprečno gostoto vej je prisotnost reakcijskega lesa. Najmanjša povprečna gostota v območju korenin, namočena oziroma vlažna tla, smer ter moč vetra bi lahko bili dodatni vzroki za vetrolom.

## 8 LITERATURA

1. Bolte A., Rahmann T., Kuhr M., Pogoda P., Murach, D., Gadow K. 2004. Relationships between tree dimension and coarse root biomass in mixed stands of European beech (*Fagus sylvatica* L) and Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). *Plant and Soil*, 264: 1–11
2. Brus R. 2005. Dendrologija za gozdarje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 408 str.
3. Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
4. Dinwoodie M. J. 2000. Timber: Its nature and behaviour. London and New York, Building Research Establishment, University of Wales: 257 str.
5. Fengel D., Wegener D. 1989. Wood: chemistry, ultrastructures, reactions. Berlin, New York, Walter de Gruyter: 613 str.
6. Gorišek, Ž. (2009) *Les: zgradba in lastnosti: njegova variabilnost in heterogenost*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. 178.
7. Kollmann F., Cote W. A. 1984. Principles of Wood Science and Technology. Volume I: Solid Wood. Berlin, New York, Springer: 592 str.
8. Kranjc N., Piškur M., Mihelčič M., Simončič P. 2009. Izvajanje aktivnosti v povezavi z ocenami ponorov toplogrednih plinov za področje »raba tal, sprememba rabe tal in gozdarstvo« (LULUCEF): končno poročilo. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 11 str.
9. Mihelič M., Kranjc N., Piškur M., Simončič P., Kušar G., Kobal A. 2009. Slovenia's national inventory report 2009 of Secor LULUCEF. Ljubljana, Slovenian Forest Institute: 46 str
10. Panshin A. J., Zeeuv C. 1980. Textbook of Technology. New York, McGraw Hill Book Company: 722 str.
11. Torelli N. 1998. Gostota in relativna gostota lesa. *Les*, 50, 3: 52–54
12. Tsoumis G. 1991. Science and technology of wood. New York, Van Nostrand Reinhold: 494 str.

## **ZAHVALA**

Mentorju prof. dr. Primožu Ovnu se zahvaljujem za usmerjanje in pomoč pri pripravi naloge ter somentorju dr. Primožu Simončiču za usmerjanje pri oblikovanju naloge. Prof. dr. Željku Gorišku se zahvaljujem za korektno opravljeno recenzijo diplomskega dela.

Zahvaljujem se Milanu Kobalu za pripravo testnega materiala na terenu in posredovanja podatkov o rastišču ter Robertu Kranjcu za obdelavo testnega materiala v delavnici. Zahvaljujem se tudi zaposlenim na oddelku za patologijo in zaščito lesa za pomoč pri vodni impregnaciji testnih vzorcev.

Zahvala gre tudi družini, ki mi je omogočila študij in mi vse skozi stala ob strani.

Hvala tudi vsem tistim, ki ste kakorkoli pripomogli h končni podobi diplomskega dela.

## **PRILOGE**

**Priloga A: Rezultati meritev mase in volumna vzorcev vej jelke**

**Priloga B: Rezultati meritev mase in volumna vzorcev debla jelke**

**Priloga C: Rezultati meritev mase in volumna vzorcev korenin jelke**