

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jera BURDYCH

**ZGRADBA, LASTNOSTI IN MOŽNOST UPORABE  
LESA OCTOVCA**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij – 1. stopnja

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA LESARSTVO

Jera BURDYCH

**ZGRADBA, LASTNOSTI IN MOŽNOST UPORABE LESA OCTOVCA**

DIPLOMSKI PROJEKT  
Univerzitetni študij – 1. stopnja

**STRUCTURE, PROPERTIES AND POTENTIAL USE OF  
STAGHORN SUMAC WOOD**

B. Sc. THESIS  
Academic Study Programme

Ljubljana, 2012

Diplomski projekt je zaključek Univerzitetnega študija Lesarstva – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za tehnologijo lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Željka Goriška, za recenzentko pa prof. dr. Katarino Čufar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomski projekt je rezultat lastnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svojega diplomskega projekta na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je projekt, ki sem ga oddala v elektronski obliki, identičen tiskani verziji.

Jera Burdych

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du1
DK	UDK 630*812.582.746.66
KG	octovec/ <i>Rhus typhina</i> /les/vlažnost/gostota/sorpcijske/mehanske lastnosti
AV	BURDYCH, Jera
SA	GORIŠEK, Željko (mentor)/ČUFAR, Katarina (recenzentka)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2012
IN	ZGRADBA, LASTNOSTI IN MOŽNOST UPORABE LESA OCTOVCA
TD	Diplomski projekt (Univerzitetni študij – 1. stopnja)
OP	VII, 34 str., 14 pregl., 36 sl., 12 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Raziskali smo izbrane lastnosti lesa octovca ( <i>Rhus typhina</i> L.), ki bi utegnile predvideti njegovo uporabo. Proučevali smo makro- in mikroskopsko anatomsko zgradbo, izbrane fizikalne lastnosti (radialno porazdelitev gostote in vlažnosti, krčenja in nabrekanja, kazalnike dimenzijske stabilnosti) ter nekatere mehanske lastnosti (modul elastičnosti, tlačno, upogibno in strižno trdnost). Ugotovili smo, da les octovca spada med venčasto porozne lesne vrste. Povprečna gostota v absolutno suhem stanju lesa je $514 \text{ kg/m}^3$ . Vlažnost svežega lesa v povprečju znaša 58,2 %. Krčenje in nabrekanje je majhno, nizka je tudi točka nasičenja celičnih sten, ki znaša 19,3 %. Kazalniki dimenzijske stabilnosti so ugodni, razen sorpcijskega kvocienta, ki je normalen, in anizotropije, ki je neugodna. Iz primerjave fizikalnih in mehanskih lastnosti lesa z lipovino in domačo kostanjevino ocenjujemo, da je les octovca primeren za manjše, nekonstrukcijske izdelke, saj je njegova upogibna trdnost 47 do 68 MPa, modul elastičnosti pa v povprečju le 5,3 GPa.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Du1  
DC UDC 630\*812:582.746.66  
CX *Rhus typhina*/wood/moisture content/density/sorption/mechanical properties  
AU BURDYCH, Jera  
AA GORIŠEK, Željko (supervisor)/ČUFAR, Katarina (reviewer)  
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c.VIII/34  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science  
and Technology  
PY 2012  
TY STRUCTURE, PROPERTIES AND POTENTIAL USE OF STAGHORN SUMAC  
WOOD  
DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programme)  
NO VII, 34 p., 14 tab., 36 fig., 12 ref.  
LA sl  
Al sl/en  
AB We investigated selected properties of staghorn sumac wood (*Rhus typhina* L.) which might provide its usage. We researched the anatomical structure and macroscopic features, some physical properties (radial distribution of moisture content and density, shrinkage and swelling, dimensional stability) as well as some mechanical properties (MOE, compressive, bending and shear strength). The survey shows that staghorn sumac wood belongs to the ring-porous deciduous trees. The density of the oven dry wood is 514 kg/m<sup>3</sup>. Moisture content of fresh wood is approximately 58.2 %. Shrinkage and swelling is small, also because of low MC at fibre saturation point, which is 19.3 %. Indicators of dimension stability are favourable, with the exceptions of sorption quotient being normal and anisotropy being unfavourable. Comparison with lime and chestnut wood shows that staghorn sumac wood is suitable for small, non-structural elements, because of its low bending strength (47–68 MPa) and low modulus of elasticity (5.3 GPa).

## KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	II
KEY WORDS DOCUMENTATION	III
KAZALO VSEBINE	IV
KAZALO PREGLEDNIC	V
KAZALO SLIK	VI
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 PROBLEM .....	1
1.2 HIPOTEZE .....	1
1.3 CILJI.....	1
<b>2 PREGLED LITERATURE .....</b>	<b>2</b>
2.1 BOTANIČNI OPIS OCTOVCA .....	2
2.2 RAZŠIRJENOST OCTOVCA .....	3
2.3ZNANE MAKROSKOPSKE ZNAČILNOSTI .....	4
<b>3 MATERIALI IN METODE .....</b>	<b>5</b>
3.1 IZBOR TESTNEGA MATERIALA .....	5
3.2 PRIPRAVA PREIZKUŠANCEV .....	5
3.3 PRIPRAVA VZORCEV ZA ANATOMSKE PREISKAVE .....	6
3.4 PRIPRAVA VZORCEV ZA DOLOČANJE FIZIKALNIH LASTNOSTI .....	7
<b>3.4.1 Vlažnostni profil in gostota.....</b>	<b>7</b>
<b>3.4.2 Sorpcijske lastnosti in dimenzijska stabilnost .....</b>	<b>10</b>
3.5 PRIPRAVA VZORCEV LESA ZA MEHANSKE LASTNOSTI .....	11
<b>4 REZULTATI.....</b>	<b>13</b>
4.1 MAKROSKOPSKI OPIS .....	13
4.2 MIKROSKOPSKI OPIS .....	14
4.3 FIZIKALNE LASTNOSTI.....	16
<b>4.3.1 Radialna porazdelitev vlažnosti v svežem lesu octovca.....</b>	<b>16</b>
<b>4.3.2 Gostota lesa .....</b>	<b>20</b>
<b>4.3.3 Krčenje in nabrekanje.....</b>	<b>22</b>
<b>4.3.4 Sorpcijske lastnosti.....</b>	<b>23</b>
<b>4.3.5 Kazalniki dimenzijske stabilnosti .....</b>	<b>25</b>
4.4 MEHANSKE LASTNOSTI .....	26
<b>4.4.1 Tlačna trdnost lesa octovca.....</b>	<b>26</b>
<b>4.4.2 Upogibna trdnost lesa octovca.....</b>	<b>28</b>
<b>4.4.3 Strižna trdnost lesa octovca.....</b>	<b>29</b>
<b>5 RAZPRAVA.....</b>	<b>31</b>
<b>6 SKLEP .....</b>	<b>33</b>
<b>7 VIRI .....</b>	<b>34</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Str.

Preglednica 1: Premeri debel vzorčnih dreves. ....	5
Preglednica 2: Relativne zračne vlažnosti ( $\phi$ ) nad nasičenimi raztopinami soli pri konstantni temperaturi ( $T$ ) $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ki smo jih uporabljali za sorpcijski poskus.....	10
Preglednica 3: Kriterij za ocenjevanje dimenzijske stabilnosti (Gorišek, 2009).....	11
Preglednica 4: Primerjava vlažnosti lesa octovca v svežem stanju med preučevalnimi koluti.....	16
Preglednica 5: Octovec ( <i>Rhus typhina</i> L.): prostorninski delež vlažnega lesa ( $c_{vl}$ ), prostorninski delež por v vlažnem lesu ( $P_{vl}$ ), prostorninski delež vezane (uvv) in proste (u <sub>PV</sub> ) vode, ter delež plinov (Pl), napojitvena vlažnost ( $u_{maks}$ ), ter zapoljenost lumnov s prosto vodo (W) in plini (G).....	19
Preglednica 6: Gostote v absolutno suhem stanju ( $\rho_0$ ) za posamezne kolute in povprečna vrednost vseh štirih.....	20
Preglednica 7: Osnovna gostota (R) za posamezne kolute in povprečna vrednost vseh štirih.....	21
Preglednica 8: Radialni ter tangencialni skrček in nabrek. ....	23
Preglednica 9: Ravnovesne vlažnosti lesa v procesu sušenja (desorpcije) in navlaževanja (adsorpcije) pri relativni zračni vlažnosti ( $\phi$ ) in temperaturi $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	24
Preglednica 10: Kazalniki dimenzijske stabilnosti.....	25
Preglednica 11: Tlačne lastnosti lesa octovca ( $F_{maks}$ – sila porušitve , $\sigma_{II}$ – tlačna trdnost , E – modul elastičnosti, $\rho_{11\%}$ – gostota lesa pri 11 % vlažnosti lesa).....	27
Preglednica 12: Podatki upogibnega testa lesa octovca ( $F_{maks}$ – sila porušitve, $\sigma_{II}$ – upogibna trdnost, E –modul elastičnosti, $\rho_{11\%}$ – gostota lesa pri 11 % vlažnosti lesa).....	28
Preglednica 13: Rezultati strižnega testa lesa octovca ( $F_{maks}$ – sila porušitve, $\tau$ – strižna trdnost, $\rho_{11\%}$ – gostota lesa pri 11 % vlažnosti lesa).....	30
Preglednica 14: Primerjava lesa octovca, lipe in kostanja. Vrednosti za lipo in kostanj so povzete po Wagenführ, 1985.....	31

## KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: Rastišče octovca, Škofja Loka. ....	3
Slika 2: Listi in socvetja octovca.....	3
Slika 3: Areal naravne razširjenosti octovca (The PLANTS Database).....	3
Slika 4: Testni material – kolut .....	5
Slika 5: Shema vzorčenja radialne deske za izdelavo preizkušancev. ....	6
Slika 6: Kolut z označenim odvzemom vzorca za določanje radialne porazdelitve gostote in vlažnosti.....	7
Slika 7: Razžagovanje koluta na tračnem žagalnem stroju. ....	7
Slika 8: Radialno orientiran vzorec z izbranimi lokacijami za izdelavo preizkušancev za določevanje vlažnosti in gostote lesa.....	7
Slika 9: Živosrebni volumometer – naprava za določanje volumna lesa BREUL. ....	8
Slika 10: Preizkušanci za določanje sorpcijskih in krčitvenih lastnosti. ....	10
Slika 11: Vzorci za preizkušanje strižne (levo) in tlačne trdnosti. ....	12
Slika 12: Preizkus upogibne trdnosti na stroju ZWICK Z100. ....	12
Slika 13: Prečni prerez octovca ( <i>Rhus typhina</i> L.)....	13
Slika 14: Radialni prerez octovca ( <i>Rhus typhina</i> L.)....	13
Slika 16: Mikroskopska slika lesa octovca ( <i>Rhus typhina</i> L.): (a) prečni, (b) radialni in (c) tangencialni prerez.....	14
Slika 17: Octovec ( <i>Rhus typhina</i> L.): radialni prerez z vidim otiljenjem.....	15
Slika 18: Trakovno tkivo octovca ( <i>Rhus typhina</i> L.) je hetreogeno. Razlike med kvadratastimi in ležečimi celicami lahko vidimo na (a) radialnem in (b) tangencialnem prerezu. Trahejni členi imajo spiralne odebelitve. ....	15
Slika 19: Octovec ( <i>Rhus typhina</i> L.): (a, b, c) otiljenje traheje, vlakna v radialnih nizih in tenzijska vlakna (temno modro) na prečnem prerezu pri različnih povečavah. ....	16
Slika 20: Octovec ( <i>Rhus typhina</i> L.): vlažnost lesa posameznih kolutov v svežem stanju. 17	17
Slika 21: Kolut 1 – octovec ( <i>Rhus typhina</i> L.): vlažnostni profil.....	17
Slika 22: Kolut 2 – octovec ( <i>Rhus typhina</i> L.): vlažnostni profil.....	18
Slika 23: Kolut 3 – octovec ( <i>Rhus typhina</i> L.): vlažnostni profil.....	18
Slika 24: Kolut 4 – octovec ( <i>Rhus typhina</i> L.): vlažnostni profil.....	18
Slika 25: Porazdelitev minimalne, povprečne in maksimalne gostote v absolutno suhem stanju.....	20
Slika 26: Porazdelitev maksimalne, povprečne in minimalne osnovne gostote.....	21

Slika 27: Octovec ( <i>Rhus typhina</i> L.): radialna porazdelitev gostote v absolutno suhem stanju za posamezne kolute. ....	22
Slika 28: Octovec ( <i>Rhus typhina</i> L.): skrček in nabrek v radialni in tangencialni smeri. ..	23
Slika 29: Octovec ( <i>Rhus typhina</i> L.) – ravnovesne vlažnosti lesa dosežene pri različnih relativnih zračnih vlažnostih v procesu desorpcije (sušenja) in adsorpcije (navlaževanja).	24
Slika 30: Razmerje ravnovesnih vlažnosti adsorpcije in desorpcije.....	25
Slika 31: Napetostno deformacijski diagram tlačnega poskusa lesa octovca.....	27
Slika 32: Porušitev na vzorcu tlačnega preskaza.....	28
Slika 33: Napetostno deformacijski diagram za upogibni preizkus lesa octovca. ....	29
Slika 34: Porušeni vzorci po upogibnem testu. ....	29
Slika 35: Napetostno deformacijski diagram strižnega testa lesa octovca. ....	30
Slika 36: Porušeni vzorec lesa pri strižnem testu. ....	30

## 1 UVOD

### 1.1 PROBLEM

V človekovi naravi je, da išče nekaj novega, bolj posebnega in tudi v gozdarstvu ter lesarstvu je to prisotno z raziskovanjem in odkrivanjem novih možnosti uporabe naravnih virov.

Octovec poznamo predvsem kot okrasno rastlino, ki jo je mogoče oblikovati z obrezovanjem. Je posebno dekorativna rastlina, zato jo lahko opazimo ob poteh, ograjah in v okrasnih vrtovih. A kljub temu da je dokaj razširjen, nimamo nikjer podanih podatkov, kakšne so značilnosti njegovega lesa. Zato smo se odločili, da to raziščemo.

### 1.2 HIPOTEZE

Zaradi raznolikosti zgradbe in lastnosti lesa različnih lesnih vrst je uporabnost lesa zelo široka. Z vidika relevantnih lastnosti in zahtev uporabnosti se različni lesovi uporabljam za različne namene. S spoznanjem osnovnih in relativnih fizikalnih in mehanskih lastnosti lesa octovca se je mogoče opredeliti tudi do njegove uporabe.

### 1.3 CILJI

V okviru diplomskega projekta smo raziskali značilne lastnosti lesa octovca:

- anatomske značilnosti lesa, tako makroskopske kot mikroskopske,
- osnovne fizikalne lastnosti lesa, kot so vlažnost, gostota v absolutno suhem stanju, krčenje, sorpcijske lastnosti in kazalnike dimenzijske stabilnosti ter
- mehanske lastnosti, kot so tlačna, upogibna in strižna trdnost.

Z boljšim poznavanjem zgradbe ter določitvijo vrste fizikalno-mehanskih lastnosti lesa octovca se je mogoče odločiti tudi za uporabo lesa za izbrane končne lesne izdelke. Primernost uporabe lesa octovca za komercialne namene smo ovrednotili tudi s primerjavo lastnosti dveh komercialnih lesnih vrst (kostanjevine in lipovine) s podobnimi fizikalno-mehanskimi karakteristikami.

## 2 PREGLED LITERATURE

### 2.1 BOTANIČNI OPIS OCTOVCA

Rod *Rhus* L. – octovec izhaja iz družine rujevk z okoli 250 vrstami v tropskih in subtropskih predelih. V rodu so listopadna ali vednozelenata drevesa, grmi ali plezalke. Listi so lihopernata sestavljeni, cvetovi so drobni, enospolni ali dvospolni (Brus, 2005). Ti so večinoma neocitni, v zalistnih ali ovršnih latih, z majhnimi, suhimi, koščičastimi plodovi (Tematski leksikon, 2002). Med njimi so tudi strupene rastline in najbolj strupena med temi je *R. radicans* L., strupeni bršljan, znan v anglosaških deželah kot »poison ivy« (de Wit, 1978).

*Rhus typhina* L. – octovec ali kisli ruj je do 5 m, v naravnem okolju do 12 m visoko listopadno drevo, gojeno pogosto raste kot široko razrasel grm. Ima široko dežnikasto krošnjo s kratkim, že nizko nad tlemi razvejanim debлом s sivkasto skorjo. Iz plitvih, daleč od drevesa razraščajočih se korenin zlasti na slabših tleh rastejo številni nadzemni poganjki. Mladi poganjki so debeli in na gosto porasli z rjastimi železastimi dlačicami, po 3 do 4 letih pa ogolijo. Premenjalno razporejeni listi so dolgi 12–60 cm in lihopernata sestavljeni iz 11–31 lističev, ki so podolgovato suličasti, 5–12 cm dolgi, zašiljeni, po robu nažagani in razen terminalnega lističa sedeči. Lističi so sprva dlakavi, zgoraj so živo, spodaj svetlo sivo zeleni (Slika 1). Jeseni se listi obarvajo rumeno, oranžno in nazadnje karminasto rdeče. Cvetovi so enospolni in združeni v 15–20 cm dolga terminalna, enospolna, rumeno zelena, močno dlakasta, latasta socvetja; ženska so nekoliko krajša in vitkejša od moških in cvetijo en teden prej. Je dvodomna in vetrocvetna vrsta, cveti junija in julija precej po olistanju (Slika 2).

Je skromna rastlina in dobro raste na več vrstah tal; prenese tudi revna, kamnita in suha tla, najbolje pa raste na bogatih, proti jugu obrnjениh in toplih pobočjih. Dobro prenaša nizko zimsko temperaturo, izogiba se premokrim, prehladnim ali prekislim tlom. Prenese slana tla in neprijazno mestno okolje. Je svetloljubna vrsta, zato jo sadimo na svetla in sončna tla, nekaj zasenčenja prenese samo v mladosti (Brus, 2004).



Slika 1: Rastišče octovca, Škofja Loka.



Slika 2: Listi in socvetja octovca.

## 2.2 RAZŠIRJENOST OCTOVCA

Naravno je octovec razširjen v vzhodnem delu Severne Amerike; njegov areal sega od Nove Škotske do Iowe na severu in do Georgie in Floride na jugu (Slika 3). V Evropi, kamor so ga prinesli že leta 1629, je danes izredno močno razširjena okrasna rastlina, marsikje raste tudi podivjano. V Sloveniji ni avtohton, vendar je zelo pogost. Ker ga je lahko razmnoževati in ker se pogosto tudi sam razširja, je postal zelo pogost po vrtovih, parkih in drugih zelenih površinah v urbanem okolju po vsej Sloveniji.



Slika 3: Areal naravne razširjenosti octovca (The PLANTS Database).

V domovini je octovec široko uporabna rastlina. Ima nekaj zdravilnih lastnosti; s koreninami so ustavljalci krvavitve, s plodovi so zdravili pljučne bolezni. Iz plodov je mogoče pripraviti različne pijače, na primer limonadi podoben napitek in celo kis (od tod ime). Les octovca je lahek in ga redko uporablajo. Skorja korenin in listi vsebujejo mnogo čreslovin. Uporabljajo samo tiste liste, ki v času pred jesensko obarvanostjo vsebujejo 29 %, pri izbranih klonih pa celo do 42 % čreslovin, uporabnih za strojenje kakovostnega usnja. Izbrane klone ponekod, na primer v ZDA, na Češkem, Madžarskem, v Nemčiji, Rusiji in v zadnjih letih v Pakistanu,

sadijo v nasadih. Ker je skromen in prilagodljiv, je primeren za utrjevanje eroziji izpostavljenih rastišč, nasipov, jalovišč in podobnih mest.

V Evropi je octovec zaradi izredno lepih in jeseni obarvanih listov ter zanimivih plodov, ki na drevesu ostanejo celo zimo, zelo pogosto okrasno drevo. Sadimo posamezna drevesa in skupine, lepo se kombinira z vrstami, kjer se listi jeseni rumeno (npr. ginko, breza, macesen) ali rdeče (npr. pahljačasti javor, rdeči hrast) obarvajo ali pa so vse leto zelene (Brus, 2004).

### 2.3ZNANE MAKROSKOPSKE ZNAČILNOSTI

Les je lahek, krhek ter mehek in se opisuje kot dokaj privlačen z visokim satenastim leskom. Barva jedrovine je oranžno-zelena, lahko tudi zlato – rumeno progasta s sencami rjave in zelene (Wood Explorer). Poročila navajajo, da se jedrovina sveti pod UV svetlobo. Beljava pa je zelo ozka, skoraj bele ali bledo rumenkasto rjave barve. Les je zelo občutljiv za napad insektov (Mills).

### 3 MATERIALI IN METODE

#### 3.1 IZBOR TESTNEGA MATERIALA

Za proučevanje smo posekali več dreves octovca na območju Škofje Loke in v Zasavju. Drevesa so povsod rasla kot okras na vrtovih. Posekali smo jih oktobra 2010. Iz vsakega debela smo izzagali 4 hlodčke – kolute s premeri od 21 cm do 27,5 cm in debeline oz. dolžine (v aksialni smeri) 45 cm (Pregl. 1).

Preglednica 1: Premeri debel vzorčnih dreves.

Št. koluta	Premer debla [mm]	Drevo
1	275	2
2	265	2
3	210	3
4	240	3

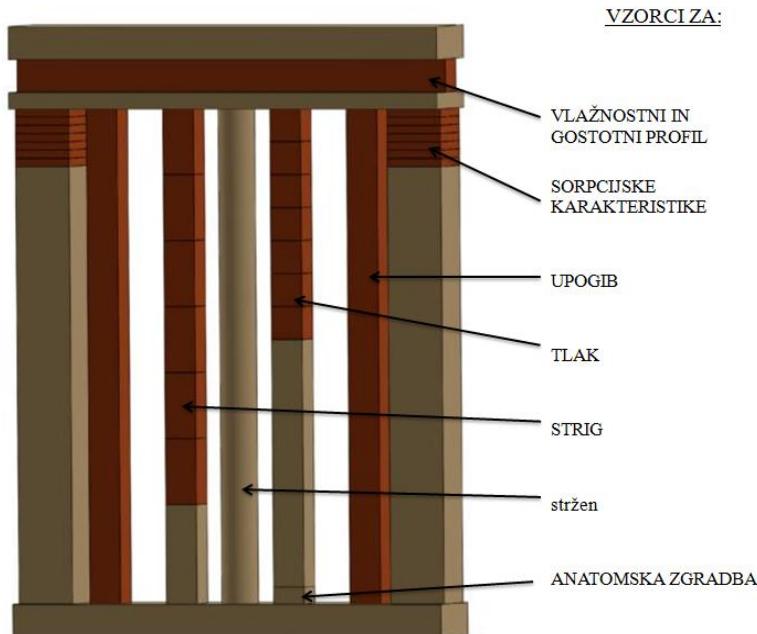
Iz njih smo izdelali preizkušance za anatomske preiskave, za proučevanje fizikalnih lastnosti in za določanje mehanskih lastnosti.



Slika 4: Testni material – kolut.

#### 3.2 PRIPRAVA PREIZKUŠANCEV

Po pregledu materiala smo se na osnovi ciljev odločili za način vzorčenja materiala. Iz vsakega koluta smo pripravili shemo vzorčenja za preučevanje anatomskeh, fizikalnih in mehanskih lastnosti (Slika 5). Izzagali smo radialno orientirane deske v smeri, kjer smo se lahko izognili čim več rastnim posebnostim (grčam, poškodbam, neenakomernim prirastkom) v kolutu.



Slika 5: Shema vzorčenja radialne deske za izdelavo preizkušancev.

### 3.3 PRIPRAVA VZORCEV ZA ANATOMSKE PREISKAVE

Za anatomske preiskave smo pripravili orientirane vzorce kvadrataste oblike z dimenzijami  $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$  ( $R \times T \times L$ ). Po odvzemu smo vzorce dehidrirali v etanolni vrsti (30 %, 50 % in 70 %). V vsaki raztopini so bili od 5 do 7 dni. Ko so bili vzorci dehidrirani, smo jih na drsnem mikrotomu Leica SM 2000R z jeklenim nožem narezali na  $18 \mu\text{m}$  debele anatomske preparate vseh treh osnovnih ksilitolmskih ravnin: prečne, radialne in tangencialne.

Rezine smo obarvali z mešanico safranina, astra modre, deionizirajoče vode in ocetne kisline (Van der Werf in sod., 2007). Barvanje je trajalo 30 minut. Barvilo safranin je rdeče obarvalo polifenolne komponente, v našem primeru predvsem lignin, astra modra pa je obarvala celulozne komponente celične stene. Po zaključenem barvanju smo odvečno barvilo sprali z rezin s 95-odstotnim etanolom.

Na rezine na objektnem steklu smo nazadnje kanili vklopni medij euparal, jih prekrili s krovnim stekлом, odstranili mehurčke, ki so bili ujeti v vklopnom mediju, ter preparate obtežili z 200 g težkimi kovinskimi utežmi in jih pustili obtežene vsaj 24 ur, da se je euparal strdil.

Makroskopski opis smo opravili po kombinacijskem makroskopskem ključu za določanje lesa listavcev po Brazierju in Franklinu (Čufar, 2006).

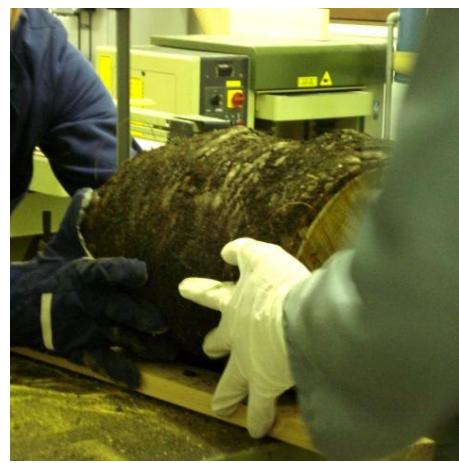
### 3.4 PRIPRAVA VZORCEV ZA DOLOČANJE FIZIKALNIH LASTNOSTI

#### 3.4.1 Vlažnostni profil in gostota

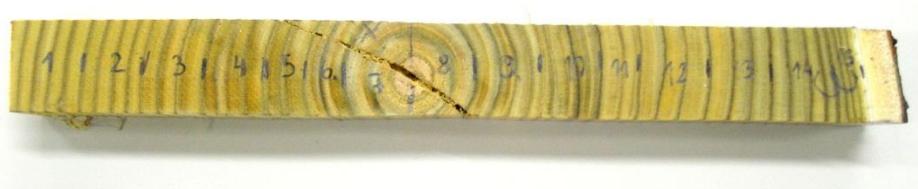
Vlažnostni in gostotni profil smo določali na radialno orientiranih vzorcih, ki so preko stržena potekali od kambija do kambija (Slike 6–8). V vzdolžni in tangencialni smeri je bila dimenzija vzorcev  $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ . Glede na vizualno oceno spremembe vlažnosti ali drugih rastnih posebnosti smo vzorec v radialni smeri razdelili na preizkušance z dimenzijo približno 5 mm. Preizkušance smo nasekali z dletom.



Slika 6: Kolut z označenim odvzemom vzorca za določanje radialne porazdelitve gostote in vlažnosti.



Slika 7: Razžagovanje koluta na tračnem žagalnem stroju.



Slika 8: Radialno orientiran vzorec z izbranimi lokacijami za izdelavo preizkušancev za določanje vlažnosti in gostote lesa.

Po izdelavi smo preizkušance takoj stehtali in jim določili volumen. Tehtali smo jih na analitski tehtnici Sartorius na 0,001 g natančno, volumen pa smo zaradi nepravilnih oblik merili s potapljanjem v BREULOV živosrebrov volumometer (Slika 9). Med merjenjem smo preizkušance zaščitili pred izsušitvijo.



Slika 9: Živosrebrni volumometer – naprava za določanje volumna lesa BREUL.

Po meritvah smo preizkušance osušili v sušilniku pri temperaturi  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  do sušilnično suhega stanja. Ko smo jih, zaščitene pred navlaževanjem, ohladili, smo ponovno izmerili njihovo maso in volumen. Med merjenjem so bili vzorci zopet zavarovani s polivinilno vrečko, da se ne bi navlažili.

Vlažnost lesa smo računali po enačbi:

$$\frac{m_{vl}}{m_0} = u, U \quad \dots (1)$$

$$\frac{m_{vl}}{m_0} = \frac{U}{100} \quad \dots (2)$$

Kjer so:

- $u, U$  vlažnost lesa [kg/kg], [%],  
 $m_{vl}$  masa vlažnega lesa [kg],  
 $m_0$  masa absolutno suhega lesa [kg].

Gostoto smo ugotavljali po standardu SIST ISO 3131. Izračunali smo gostoto v absolutno suhem stanju in osnovno gostoto.

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad \dots (3)$$

$$\rho_0 = \frac{R}{V_0} \quad \dots (4)$$

Kjer so:

- $\rho_0$  gostota lesa v absolutno suhem stanju [ $\text{kg/m}^3$ ],  
 $R$  osnovna gostota [ $\text{kg/m}^3$ ],  
 $m_0$  masa absolutno suhega preizkušanca [kg],  
 $V_0$  volumen absolutno suhega preizkušanca [ $\text{m}^3$ ],  
 $V_{maks}$  volumen preizkušanca v svežem stanju [ $\text{m}^3$ ].

Določali smo tudi prostorninski delež vlažnega lesa, prostorninski delež por v vlažnem lesu, prostorninski delež vezane in proste vode ter delež plinov, napojitveno vlažnost ter zapoljenost lumnov s prosto vodo in plini. Navedene količine smo izračunali po naslednjih formulah:

$$\text{—} \quad \dots (5)$$

$$\text{—} \quad \dots (6)$$

$$\text{—} \quad \dots (7)$$

$$\text{—} \quad \dots (8)$$

$$\text{—} \quad \dots (9)$$

$$\text{—} = 1 - G \quad \dots (10)$$

$$\text{—} \quad \dots (11)$$

$$\text{—} \quad \dots (12)$$

Kjer so:

- $c_{vl}$  prostorninski delež vlažnega lesa brez por [%],  
 $P_{vl}$  prostorninski delež por v vlažnem lesu [%] ,  
 $u_{vv}$  prostorninski delež vezane vode [%],  
 $u_{PV}$  prostorninski delež proste vode [%],  
 $x$  absolutna vlažnost lesa [kg/kg],  
 $\rho_{vv}$  = 1130 kg/m<sup>3</sup> ... gostota vezane vode v celičnih stenah [kg/m<sup>3</sup>],  
 $\rho_{vode}$  gostota vode [kg/m<sup>3</sup>],  
 $\rho_{les}$  gostota celičnih sten v absolutno suhem stanju [kg/m<sup>3</sup>],  
 $P_l$  prostorninski delež plinov [%],  
 $W$  zapoljenost lumnov s prosto vodo [%],  
 $G$  zapoljenost lumnov s plini [%],  
 $u_{maks}$  napojitvena vlažnost [kg/kg],  
 $u_{TNCS}$  vlažnost točke nasičenja celičnih sten [kg/kg].

### 3.4.2 Sorpcijske lastnosti in dimenzijska stabilnost

Za sorpcijske preiskave smo iz vsakega koluta izžagali dve strogo orientirani palici. Iz vsake palice smo naredili sedem vzporednih preizkušancev z dimenzijami ( $R \times T \times L$ )  $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  (Slika 10). En preizkušanec smo uporabili za določitev absolutnih skrčkov v radialni in tangencialni smeri, na dveh preizkušancih smo določali kazalnike dimenzijske stabilnosti in še na dveh smo izvajali procesa desorpcije oziroma adsorpcije. Dva preizkušanca iz vsake palice sta ostala kot kontrola.



Slika 10: Preizkušanci za določanje sorpcijskih in krčitvenih lastnosti.

Preizkušance smo natančno premerili in stehtali v svežem stanju in nato po vsakem uravnovešanju do absolutno suhega stanja. Dimenzije smo merili na  $0,01 \text{ mm}$  natančno in maso na  $0,001 \text{ g}$  natančno. Vzorce smo uravnovešali v komorah z nadzorovano relativno zračno vlažnostjo, ki smo jo vzdrževali z raztopinami ustreznih soli (Pregl. 2). Pri tem je bila temperatura konstantna, in sicer  $22 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Preglednica 2: Relativne zračne vlažnosti ( $\phi$ ) nad nasičenimi raztopinami soli pri konstantni temperaturi ( $T$ )  $22 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , ki smo jih uporabljali za sorpcijski poskus.

Sol	$\phi$ [%]
$\text{CH}_3\text{COOK}$	23
$\text{MgCl}_2$	33
$\text{K}_2\text{CO}_3$	45
$\text{NaNO}_2$	63
$\text{NaCl}$	76
$\text{ZnSO}_4$	86

Diferencialni nabrek v tangencialni in radialni smeri smo izračunali po formuli:

$$\dots \quad \dots \quad \dots \quad (13)$$

$$\dots \quad \dots \quad \dots \quad (14)$$

Izračunali smo tudi koeficient nabreka, ki je sprememba dimenzijske, če se relativna zračna vlažnost spremeni za 1 %:

$$\text{---} \quad \dots (15)$$

$$\text{---} \quad \dots (16)$$

Račun za sorpcijski koeficient:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad \dots (17)$$

Kjer so:

- $q_{T,R}$  diferencialni nabrek v tangencialni in v radialni smeri [%/%],  
 $\Delta\alpha$  sprememba dimenzijske med krčenjem in nabrekanjem [%],  
 $\Delta u$  sprememba lesne vlažnosti med ravnovesnima stanjema [%],  
 $h_{T,R}$  koeficient nabreka v tangencialni in radialni smeri [%/%],  
 $\Delta\phi$  razlika relativne zračne vlažnosti [%],  
 $s$  sorpcijski koeficient [%/%].

Rezultate za dimenzijsko stabilnost lesa smo ocenjevali po kriterijih, ki so v Preglednici 3.

Preglednica 3: Kriterij za ocenjevanje dimenzijske stabilnosti (Gorišek, 2009).

Kazalnik	Neugodno	Normalno	Ugodno	Zelo ugodno
$q_T$ [%/%]	$> 0,4$	$0,3\text{--}0,4$	$< 0,3$	
$q_T - q_R$ [%/%]	$> 0,2$	$0,12\text{--}0,2$	$< 0,12$	
$h_T$ [%/%]	$> 0,065$	$0,050\text{--}0,065$	$< 0,050$	
$h_T - h_R$ [%/%]	$> 0,035$	$0,020\text{--}0,035$	$< 0,020$	
$q_T/q_R$	$> 2,0$	$1,6\text{--}2,0$	$< 1,6$	
$s$ [%/%]	$> 0,16$	$0,15\text{--}0,16$	$0,14\text{--}0,15$	$< 0,14$

### 3.5 PRIPRAVA VZORCEV LESA ZA MEHANSKE LASTNOSTI

Pri izdelavi vzorcev za tlačni, upogibni in strižni test smo iz radialnih desk izžagali orientirane palice (glej Sliko 5). Palice smo uravnovesili v komori z zračno vlažnostjo 63,5 % in temperaturo 22 °C. Nato smo palice na poravnalnem in debelinskem skobeljnem stroju natančno orientirali in iz vsake naredili preizkušance za mehanske teste.

Tlačni preizkus smo izvedli po standardu na stroju za preizkušanje mehanskih lastnosti ZWICK Z100. Preden smo začeli s preizkusom, smo vzorcem izmerili maso, ki smo jo določili na 0,001 g natančno, ter mere na 0,01 mm natančno ( $R \times T \times L$ ). Vzorce smo obremenjevali do porušitve materiala. Iskane podatke smo dobili v računalniški obliki.



Slika 11: Vzorci za preizkušanje strižne (levo) in tlačne trdnosti.

Preizkus upogibne trdnosti smo opravljali na stroju za preizkušanje mehanskih lastnosti ZWICK Z100. Poskus smo izvajali kot tritočkovni test, in sicer z razmikom med valjčnimi podporami 280 mm in z obremenjevanjem na srednji podpori. Obremenjevali smo radialno površino v tangencialni smeri (vzporedno z letnicami). Preden smo se lotili poskusa, smo vzorce stehtali na 0,001 g natančno ter jih izmerili ( $R \times T \times L$ ) na 0,01 mm natančno. Nazivne dimenzije preizkušancev so bile ( $R \times T \times L$ ) 20 mm  $\times$  20 mm  $\times$  300 mm.



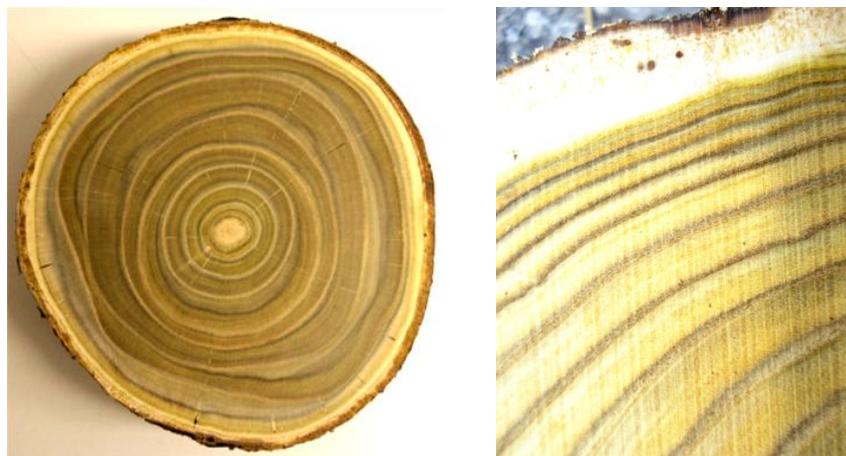
Slika 12: Preizkus upogibne trdnosti na stroju ZWICK Z100.

Tudi preizkus strižne trdnosti smo delali na stroju za preizkušanje mehanskih lastnosti ZWICK Z100. Vzorce nazivnih dimenzijs 20 mm  $\times$  20 mm  $\times$  20 mm (glej Sliko 11) smo najprej stehtali na 0,001 g natančno ter jih izmerili ( $R \times T \times L$ ) na 0,01 mm natančno s kljunastim merilnikom.

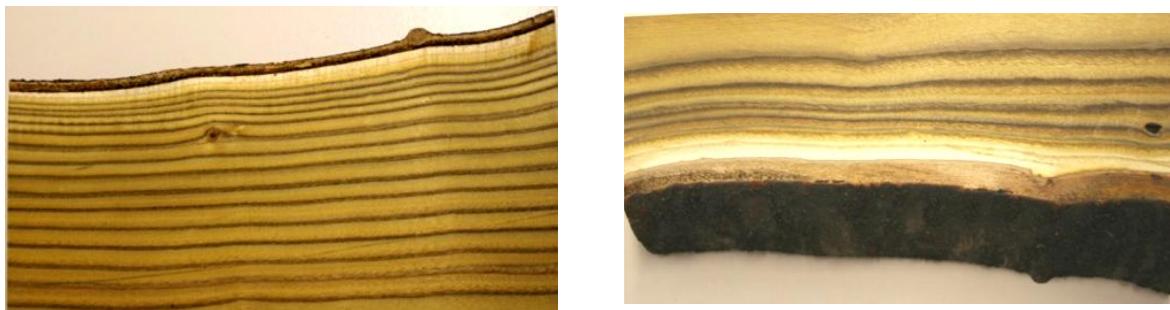
## 4 REZULTATI

### 4.1 MAKROSKOPSKI OPIS

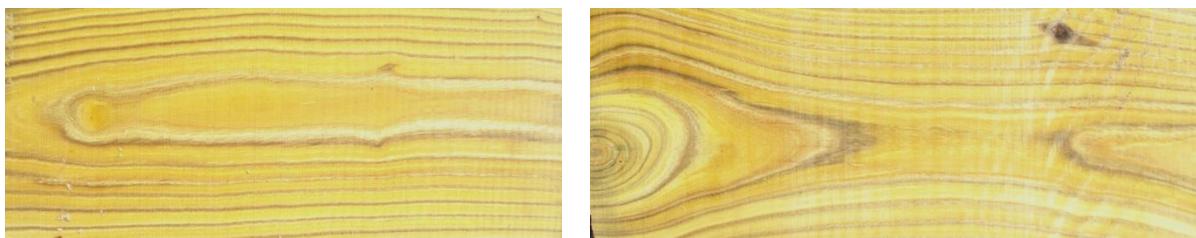
Skorja (ritidom) octovca je vzdolžno razpokana ter rjave barve. Les ima več zelenih oziroma rjavih odtenkov, odvisno od deleža ranega ali kasnega lesa (Slika 13). Na prečnem prerezu se dobro loči posamezne prirastne plasti – branike z jasno ločenim ranim in kasnim lesom. Pore ranega lesa so velike, polvenčasto ali venčasto razporejene in jih s prostim očesom lahko vidimo. Pore kasnega lesa so manjše, bolj fine, zato se jih s prostim očesom ne vidi. Posamezno drevo je imelo le eno braniko beljave, ki je bledo rumene barve (Slike 14 in 15).



Slika 13: Prečni prerez octovca (*Rhus typhina* L.).



Slika 14: Radialni prerez octovca (*Rhus typhina* L.).

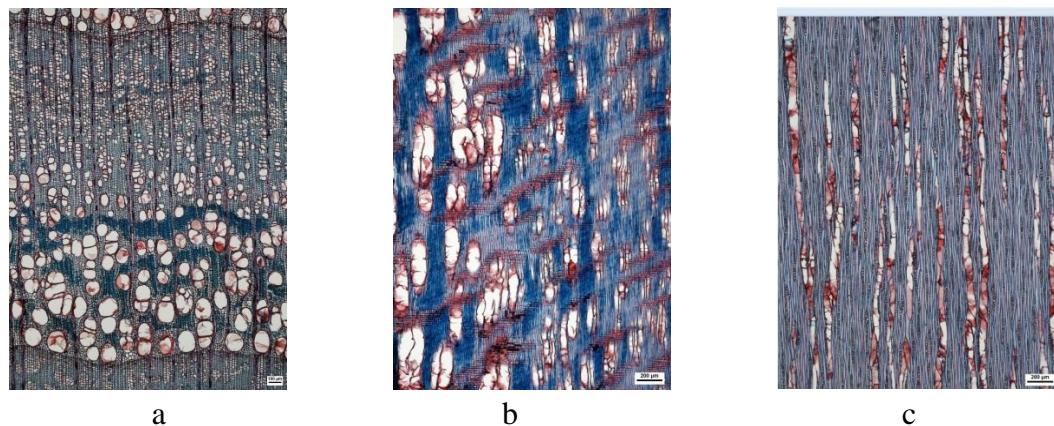


Slika 15: Tangencialni prerez octovca (*Rhus typhina* L.).

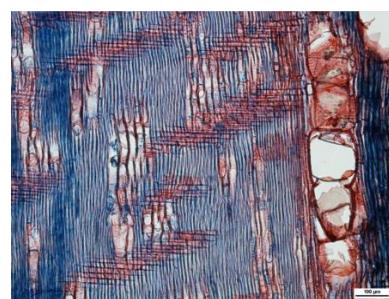
Tudi v radialnem prerezu so letnice in prirastne plasti razločne. V juvenilnem obdobju so branike široke, verjetno tudi zaradi hortikularnih ukrepov (zmanjševanje krošnje zaradi obrezovanja), v adultnem obdobju pa postanejo branike postopoma vse ožje.

#### 4.2 MIKROSKOPSKI OPIS

Octovec je venčasto ali polvenčasto porozna lesna vrsta z znatno večjimi trahejami ranega lesa od trahej kasnega lesa (Slika 16). Povprečen tangencialni premer trahej v ranem lesu je 150  $\mu\text{m}$ , pri čemer velikost variira od 90  $\mu\text{m}$  do 160  $\mu\text{m}$ . V kasnem lesu je povprečna dimenzija trahej 20  $\mu\text{m}$ , od 15  $\mu\text{m}$  do 30  $\mu\text{m}$ . Pore so razporejene v radialnih skupinah, tangencialnih nizih in v gnezdih. V ranem lesu so v radialnih nizih od 2 do 4 traheje, v kasnem lesu pa so pore razporejene predvsem v tangencialnih nizih in v gnezdih, občasno pa tudi v tangencialnih pasovih. Perforirane ploščice so enostavne, intervaskularne piknje pa so izmenične. Traheje imajo spiralne odebelitve. Na posameznih mestih so traheje zapolnjene s tilami (Slika 17).



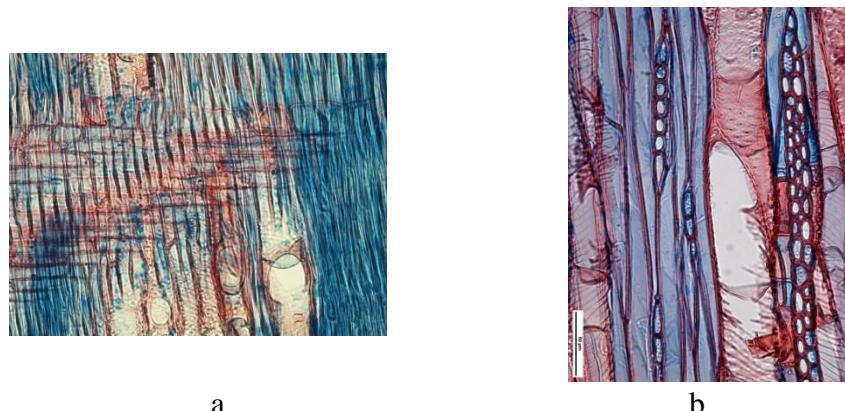
Slika 16: Mikroskopska slika lesa octovca (*Rhus typhina* L.): (a) prečni, (b) radialni in (c) tangencialni prerez.



Slika 17: Octovec (*Rhus typhina* L.): radialni prerez z vidim otiljenjem.

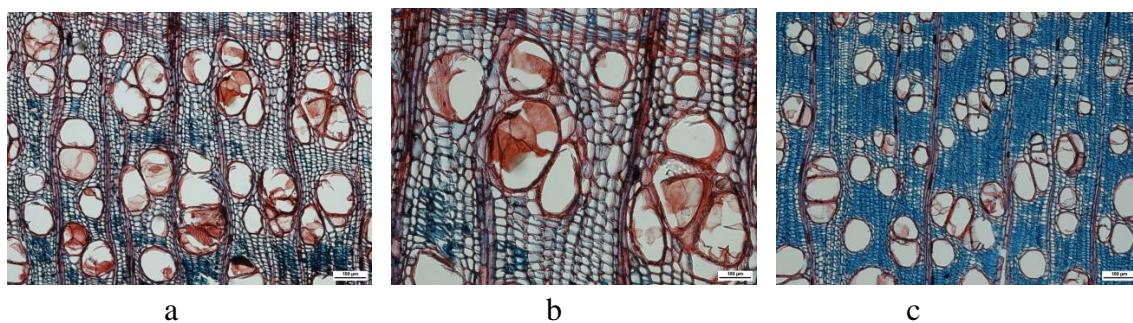
Osnovno vlknasto tkivo pri octovcu so vlknaste traheide. Posebnost lesa je, da je osnovno tkivo razporejeno v radialnih nizih, ker je zelo podobno iglavcem.

Trakovi so enoredni in dvo- do štiriredni (Slika 18). Povprečna višina enorednih trakov je 140  $\mu\text{m}$ , pri čemer je najvišja višina 190  $\mu\text{m}$ , najnižja pa 100  $\mu\text{m}$ . Najnižja višina dvo- do štirirednih trakov je 230  $\mu\text{m}$ , najnižja pa 510  $\mu\text{m}$ . Celice v traku se razlikujejo, zato je trakovno tkivo octovca heterogeno tipa III (po Brezier in Franklin iz Čufar, 2006). Piknje med trakovi in trahejami so velike in ovalne.



Slika 18: Trakovno tkivo octovca (*Rhus typhina* L.) je heterogeno. Razlike med kvadratastimi in ležečimi celicami lahko vidimo na (a) radialnem in (b) tangencialnem prerezu. Trahejni členi imajo spiralne odebilitve.

Aksialni parenhim v lesu octovca je pičel.



Slika 19: Octovec (*Rhus typhina* L.): (a, b, c) otiljenje traheje, vlakna v radialnih nizih in tenzijska vlakna (temno modro) na prečnem prerezu pri različnih povečavah.

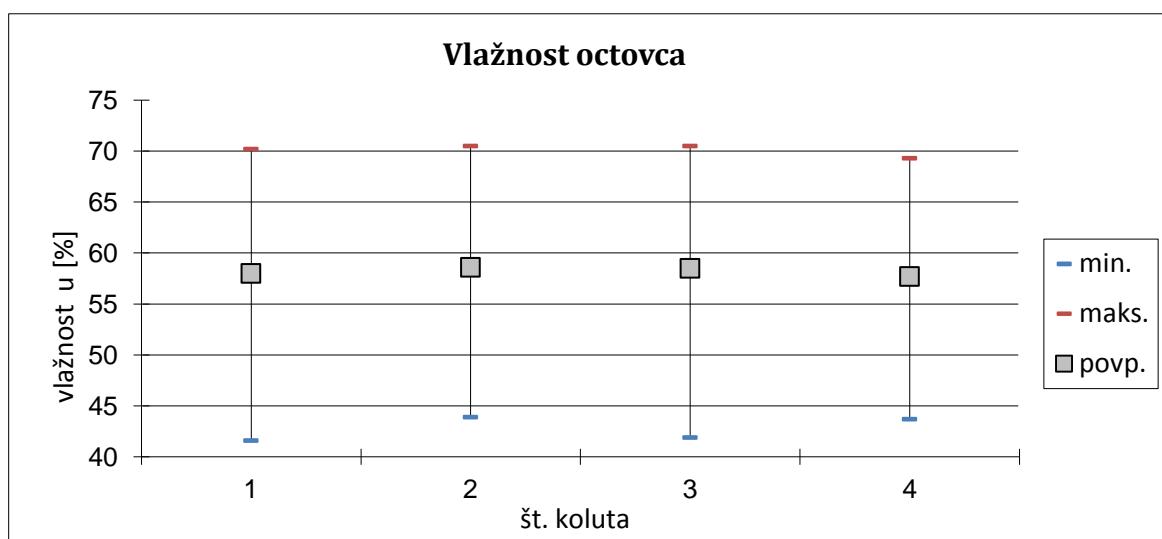
#### 4.3 FIZIKALNE LASTNOSTI

##### 4.3.1 Radialna porazdelitev vlažnosti v svežem lesu octovca

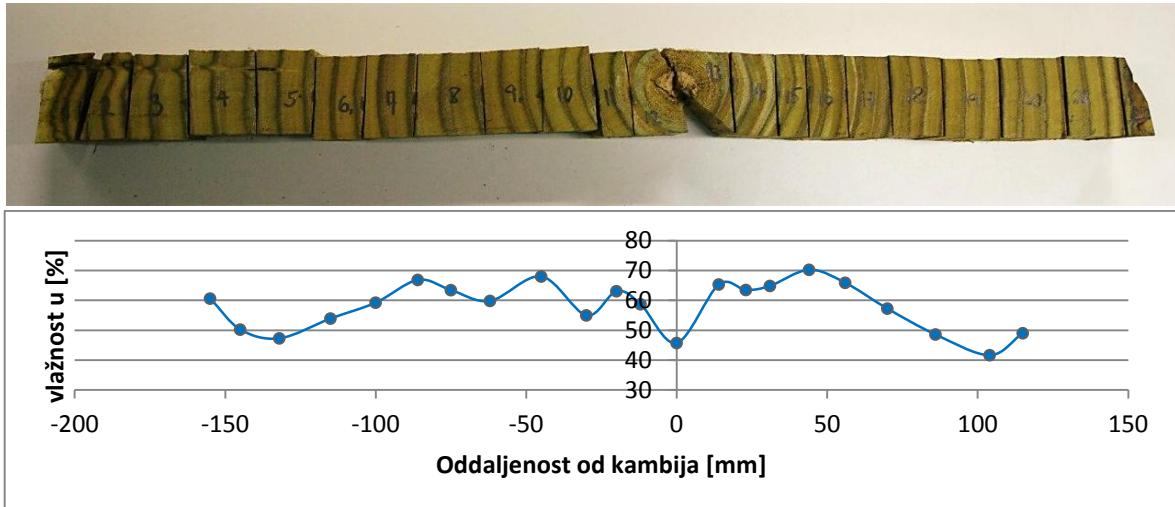
Vlažnosti svežega lesa octovca ne izkazujejo velike variabilnosti. Najvišja vlažnost, ki smo jo izračunali, je bila 70,5 % pri kolatu št. 3 in najnižja pri kolatu št. 1 (41,6 %). Povprečna vlažnost med koluti ni značilno različna in je v povprečju 58,2 % (Pregl. 4 in Slika 20).

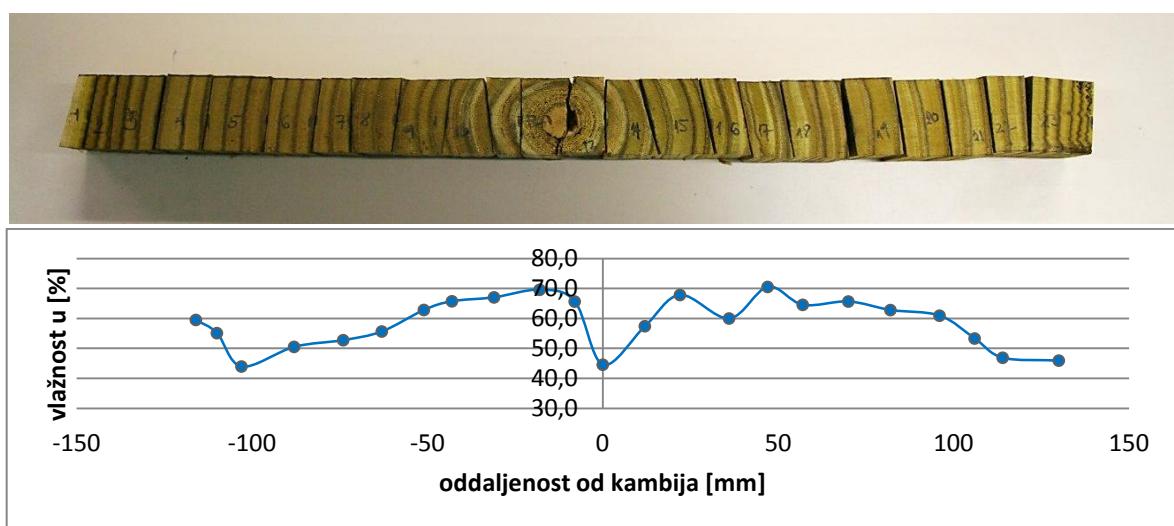
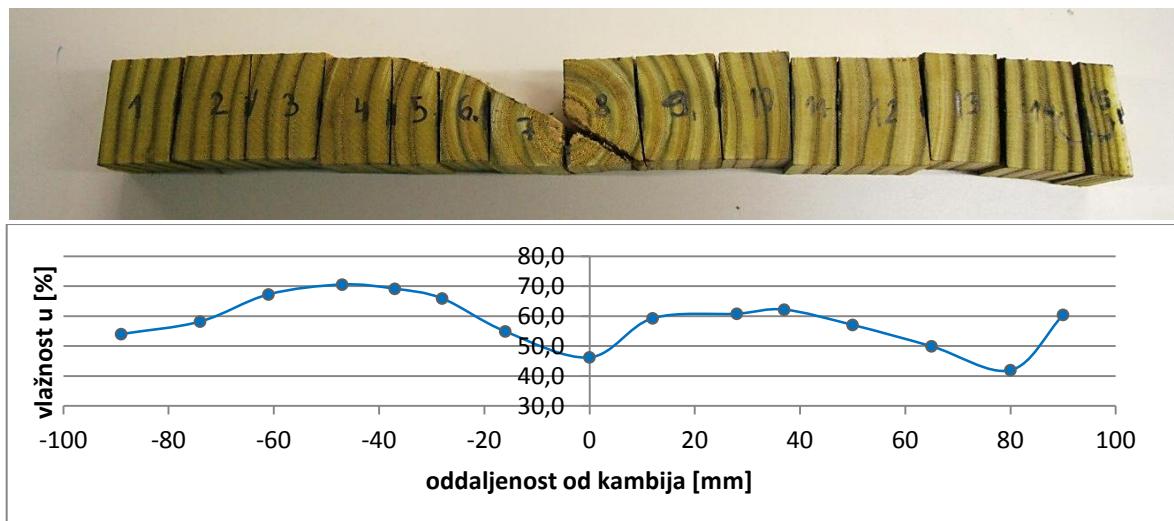
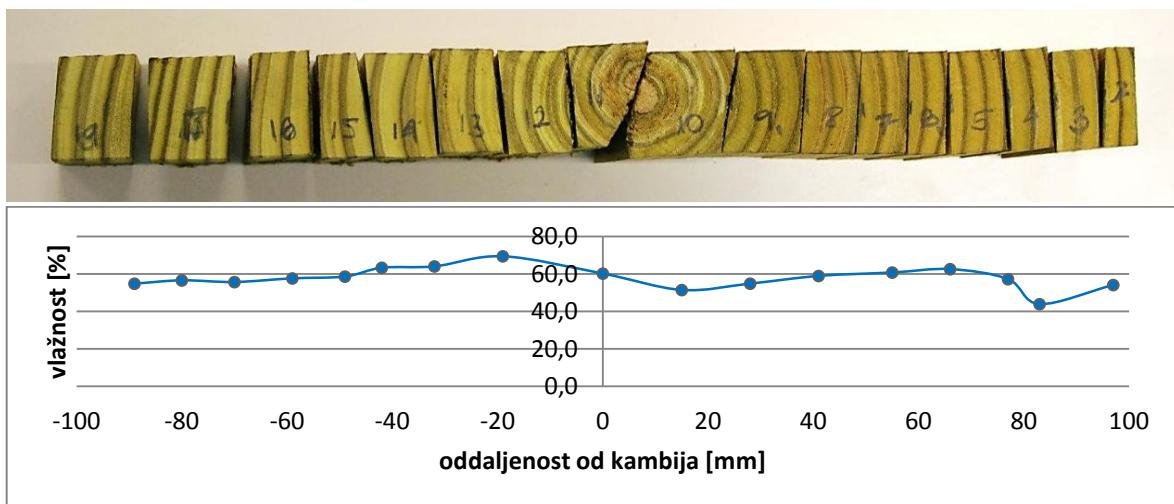
Preglednica 4: Primerjava vlažnosti lesa octovca v svežem stanju med preučevalnimi koluti.

u [%]	Vzorec				POVPREČNO
	1	2	3	4	
<b>Povprečje</b>	<b>58,1</b>	<b>58,6</b>	<b>58,5</b>	<b>57,8</b>	<b>58,2</b>
Min.	41,6	44,0	42,0	43,8	
Maks.	70,2	70,5	70,5	69,3	
Standardni odklon	8,1	8,3	18,1	5,7	
Koeficient variacije [%]	13,9	14,1	43,0	9,8	

Slika 20: Octovec (*Rhus typhina* L.): vlažnost lesa posameznih kolutov v svežem stanju.

Radialni vlažnostni profil ne kaže bistvenih razlik med vlažnostjo prevodne beljave in vlažnostjo jedrovine (Slike 21–24). Pri vseh kolutih smo zaznali rahlo izsušitev tik ob strženu, medtem ko nekoliko nižjo vlažnost periferije pripisujemo eksperimentalni napaki zaradi hitrega izsuševanja beljave med izvajanjem preizkusa. Vlažnost beljave je do 60 %, medtem ko so lumni kasnega lesa zapolnjeni s prosto vodo tudi do 34 % (Pregl. 5).

Slika 21: Kolut 1 – octovec (*Rhus typhina* L.): vlažnostni profil.

Slika 22: Kolut 2 – octovec (*Rhus typhina* L.): vlažnostni profil.Slika 23: Kolut 3 – octovec (*Rhus typhina* L.): vlažnostni profil.Slika 24: Kolut 4 – octovec (*Rhus typhina* L.): vlažnostni profil.

Preglednica 5: Octovec (*Rhus typhina* L.): prostorninski delež vlažnega lesa ( $c_{vl}$ ), prostorninski delež por v vlažnem lesu ( $P_{vl}$ ), prostorninski delež vezane ( $u_{vv}$ ) in proste ( $u_{pv}$ ) vode, ter delež plinov (Pl), napojitvena vlažnost ( $u_{maks}$ ), ter zapoljenost lumnov s prosto vodo (W) in plini (G).

	$c_{vl} [\%]$	$P_{vl} [\%]$	$u_{vv} [\%]$	$u_{pv} [\%]$	Pl [%]	$u_{maks} [\%]$	W [%]	G [%]
Št. vzorcev	76	76	76	76	76	76	76	76
<b>Povprečje</b>	<b>39,7</b>	<b>60,3</b>	<b>8,1</b>	<b>27,5</b>	<b>32,7</b>	<b>137,6</b>	<b>45,8</b>	<b>54,2</b>
Min.	30,0	48,0	2,3	21,3	20,3	81,0	34,7	41,0
Maks.	52,0	70,0	11,9	38,7	45,6	198,7	59,1	65,3
Standardni odklon	3,4	3,4	1,5	3,0	4,5	17,2	5,6	5,6
Koeficient variacije [%]	8,6	5,7	18,4	11,1	13,9	12,5	12,2	10,3

Prostorninski delež vlažnega lesa brez por ( $c_{vl}$ ) v povprečju znaša 39,7 %, najnižja vrednost je 30 %, najvišja pa 52 %. Standardni odklon je 3,4, koeficient variacije pa 8,6 %.

Povprečna vrednost prostorninskega deleža por v vlažnem lesu ( $P_{vl}$ ) je 60,3 % nb (47,9 % – 70,0 %). Ker je prostorninski delež por v svežem lesu odvisen od prostorninskega deleža lesa brez por, je tudi tukaj standardni odklon 3,4.

Prostorninski delež proste vode ( $u_{pv}$ ) v povprečju znaša 27,5 %, najvišja vrednost pa je 38,7 %.

Vrednost prostorninskega deleža vezane vode ( $u_{vv}$ ) se giblje od 2,3 % do 11,9 %. Povprečna vrednost znaša 8,1 %. Standardni odklon je tukaj najmanjši in znaša 1,5.

Delež plinov (Pl) v povprečju zavzame 32,7 % prostornine. Najvišja izmerjena vrednost je bila 45,6 %, najnižja pa 20,3 %.

137,6 % je povprečna izračunana napojitvena vlažnost ( $u_{maks}$ ). Napojitvena vlažnost se giblje v območju od 80,9 % do 198,7 %. Standardni odklon je tu najvišji, ter znaša 17,2.

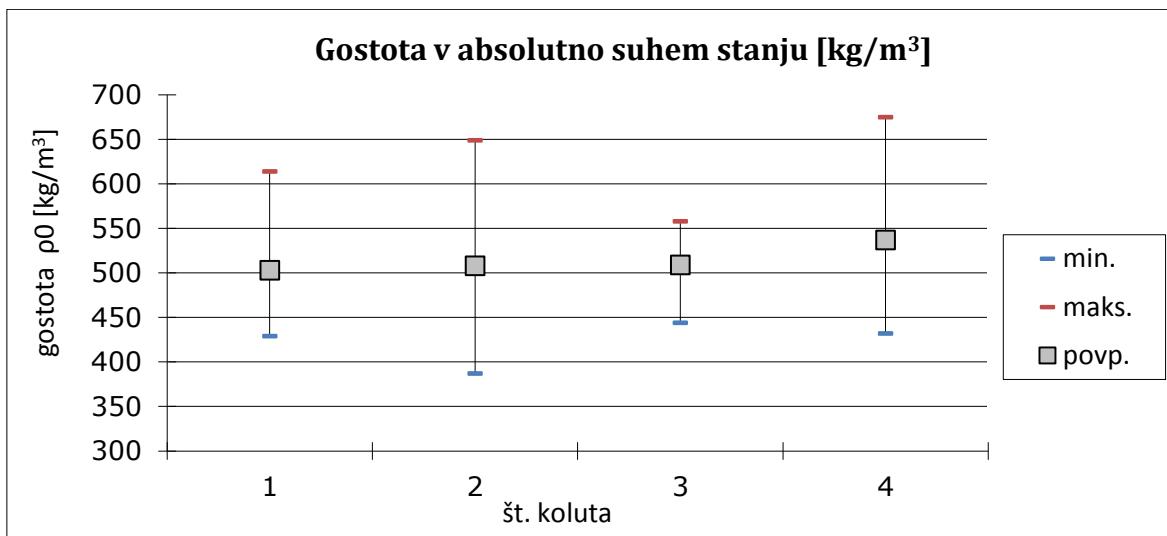
Povprečna zapoljenost lumnov s prosto vodo (W) je 45,8 %, s plini (G) pa 54,2 %. Zapoljenost lumnov s prosto vodo variira od 34,7 do 59,0 %. Zapoljenost s plini pa variira od 40,9 pa do 65,3 %. Pri obeh je standardni odklon 5,6.

#### 4.3.2 Gostota lesa

Povprečna gostota lesa octovca v absolutno suhem stanju je  $514 \text{ kg/m}^3$ , z manjšo variabilnostjo med posameznimi preučevalnimi koluti (Pregl. 6 in Slika 25). Večje razlike gostote se kažejo po posameznih kolutih, saj zaradi venčasto porozne strukture na gostoto močno vpliva razmerje med deležem ranega in kasnega lesa. Enaka razmerja kažejo tudi primerjave osnovne gostote (Pregl. 7 in Slika 26).

Preglednica 6: Gostote v absolutno suhem stanju ( $\rho_0$ ) za posamezne kolute in povprečna vrednost vseh štirih.

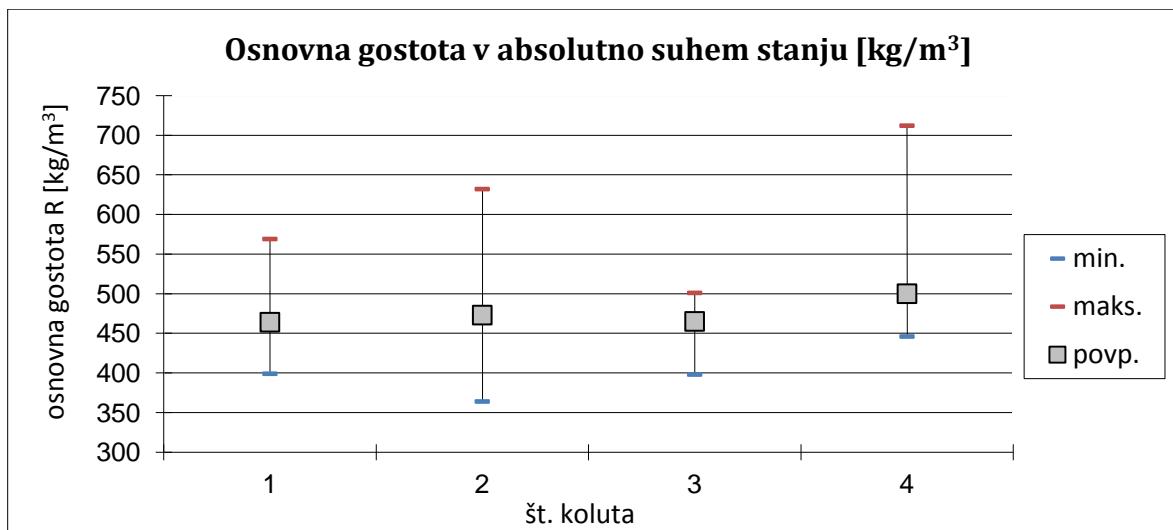
$\rho_0 [\text{kg/m}^3]$	Kolut				POVPREČNO
	1	2	3	4	
Št. vzorcev	73	73	73	73	
<b>Povprečje</b>	<b>503</b>	<b>508</b>	<b>509</b>	<b>537</b>	<b>514</b>
Min.	429	387	444	432	
Maks.	614	649	558	675	
Standardni odklon	37,5	48,0	38,4	51,2	
Koeficient variacije [%]	7,5	9,4	7,5	9,5	



Slika 25: Porazdelitev minimalne, povprečne in maksimalne gostote v absolutno suhem stanju.

Preglednica 7: Osnovna gostota (R) za posamezne kolute in povprečna vrednost vseh štirih.

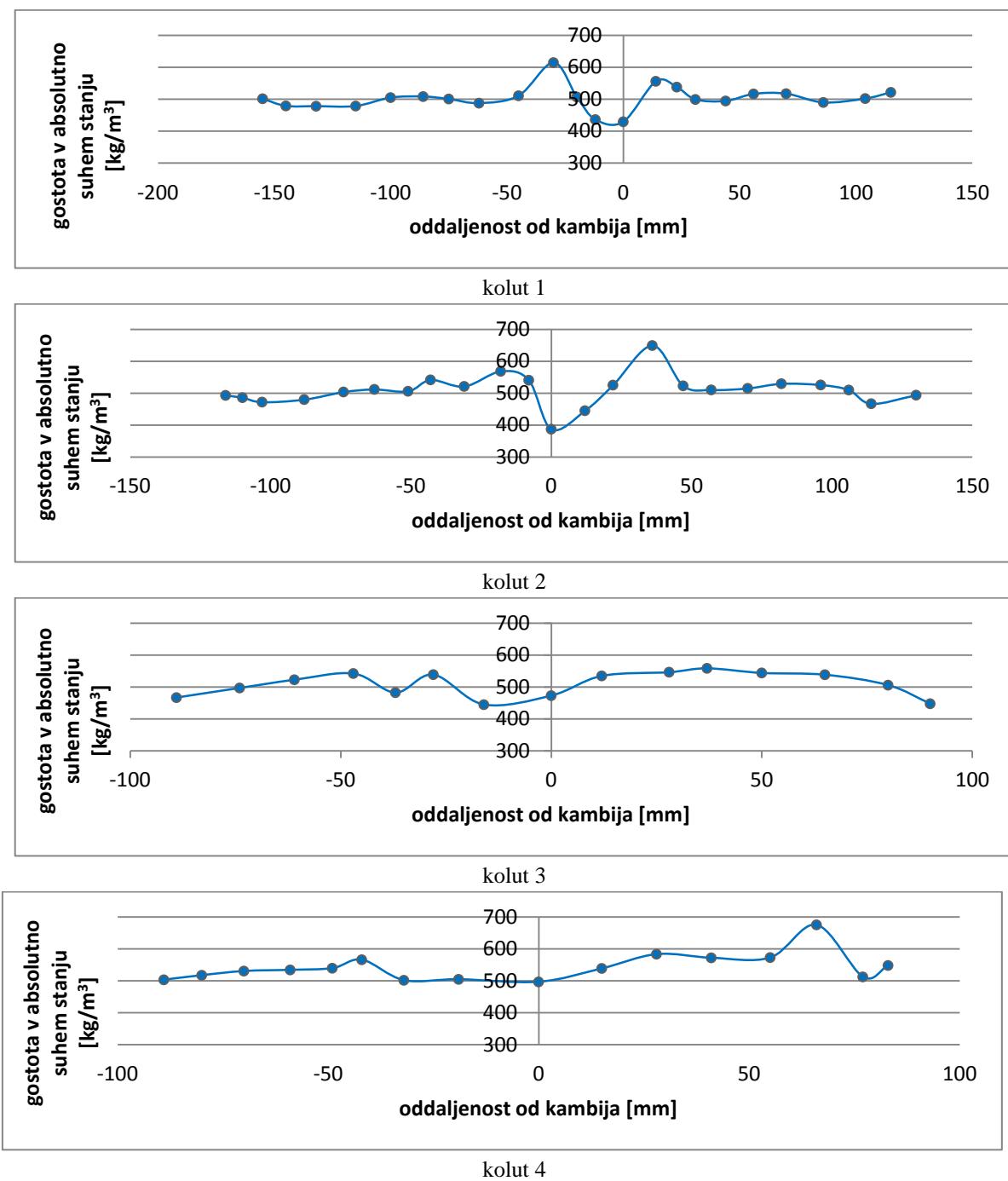
$R$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Kolut				POVPREČNO
	1	2	3	4	
Št. vzorcev	73	73	73	73	
<b>Povprečje</b>	<b>464</b>	<b>473</b>	<b>465</b>	<b>500</b>	<b>476</b>
Min.	399	364	398	446	
Maks.	569	632	501	712	
Standardni odklon	34,1	45,9	32,3	60,9	
Koeficient variacije [%]	7,3	9,7	7,0	12,2	



Slika 26: Porazdelitev maksimalne, povprečne in minimalne osnovne gostote.

Na Sliki 27 vidimo, da ima vzorec skozi celoten radialni prerez dokaj enakomerno gostotno porazdelitev, variira le v območju stržena, kar je vidno pri kolutih 1 in 2. Le pri kolutu 4 je večje odstopanje na periferiji, kar je lahko posledica širin branik oziroma deležev ranega in kasnega lesa.

Točko nasičenosti celičnih sten (TNCS) smo izračunali iz razmerja med volumskim skrčkom ( $\beta_V$ ) in osnovno gostoto (R) ob korekciji gostote vezane vode ( $\rho_{vv}$ ), ki znaša 1130 kg/m<sup>3</sup>. Povprečna TNCS znaša 19,3 %, kar je zelo malo, saj v splošnem uporabljamo vrednost 30 %. Najvišja vrednost TNCS znaša 29,9 %, najnižja pa 5,3 %.



Slika 27: Octovec (*Rhus typhina* L.): radialna porazdelitev gostote v absolutno suhem stanju za posamezne kolute.

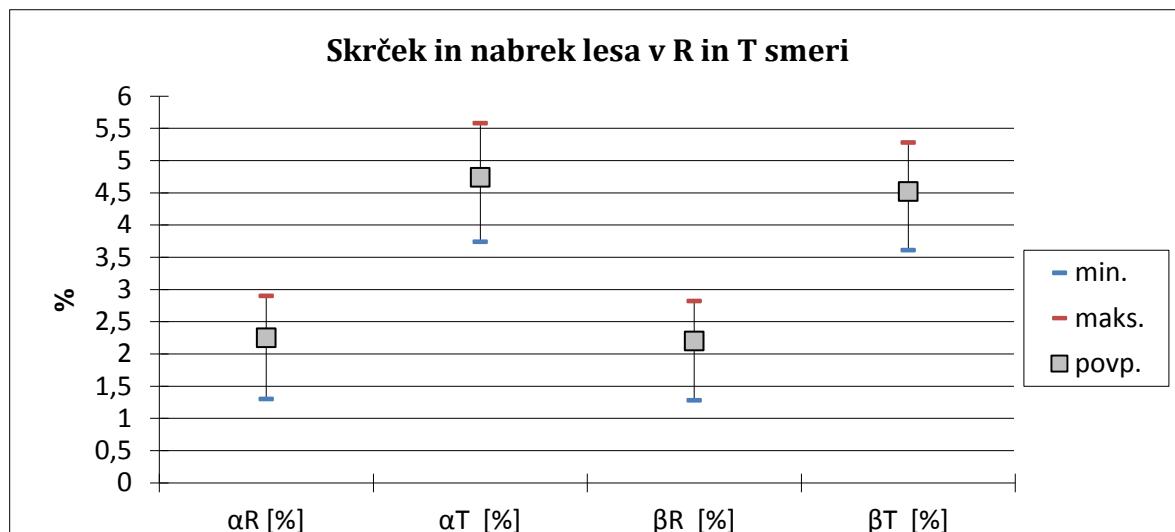
#### 4.3.3 Krčenje in nabrekanje

Krčenje oziroma nabrekanje lesa octovca je v primerjavi s poznanimi komercialnimi lesnimi vrstami zelo majhno (Pregl. 8 in Slika 28). Nabrek v radialni smeri je v povprečju 2,2 % (od 1,3 % do 2,9 %). Povprečni nabrek v tangencialni smeri je 4,7 % (od 3,7 % do 5,6 %). Podobna opažanja se kažejo tudi pri skrčkih. Prečna krčitvena anizotropija je 2,05 in je

primerljiva z vrednostmi pri številnih komercialnih lesnih vrstah. Vzdolžno krčenje je zanemarljivo.

Preglednica 8: Radialni ter tangencialni skrček in nabrek.

	Nabrek		Skrček	
	$\alpha_R$ [%]	$\alpha_T$ [%]	$\beta_R$ [%]	$\beta_T$ [%]
Št. vzorcev	32	32	32	32
<b>Povprečje</b>	<b>2,2</b>	<b>4,7</b>	<b>2,2</b>	<b>4,5</b>
Min.	1,3	3,7	1,3	3,6
Maks.	2,9	5,6	2,8	5,3
Standardni odklon	0,4	0,4	0,4	0,4
Koeficient variacije [%]	17,0	8,8	16,7	8,4



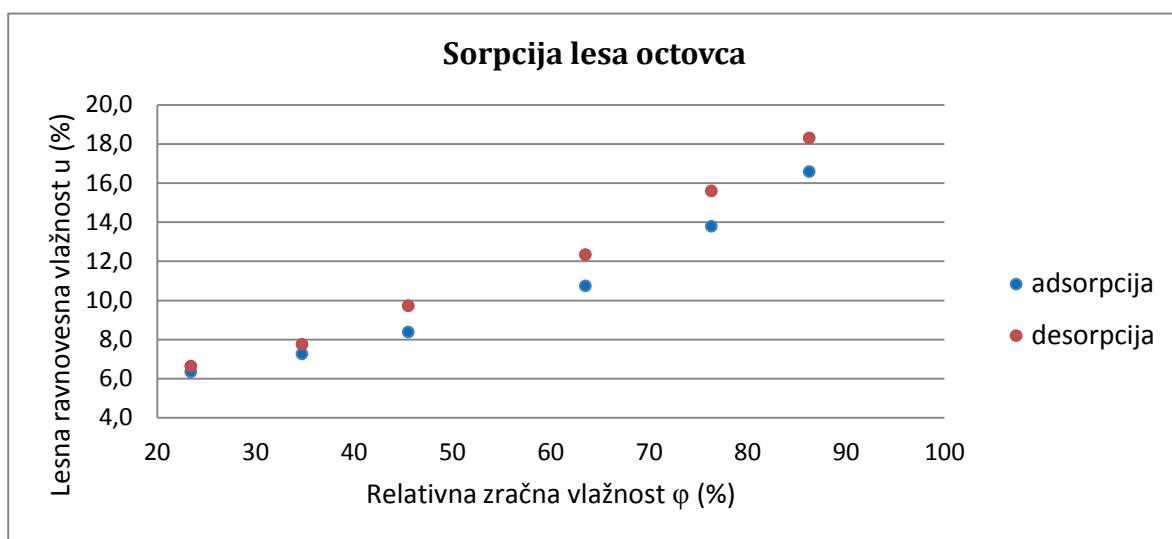
Slika 28: Octovec (*Rhus typhina* L.): skrček in nabrek v radialni in tangencialni smeri.

#### 4.3.4 Sorpcijske lastnosti

Zaradi neskladja adsorpcije in desorpcije je ravnovesna vlažnost lesa pri adsorpciji (navlaževanju) vedno nižja od tiste v desorpciji (sušenju) (Slika 29 in Pregl. 9). Oblika sorpcije je pri lesu octovca tipa II, ki je najbolj značilna za les.

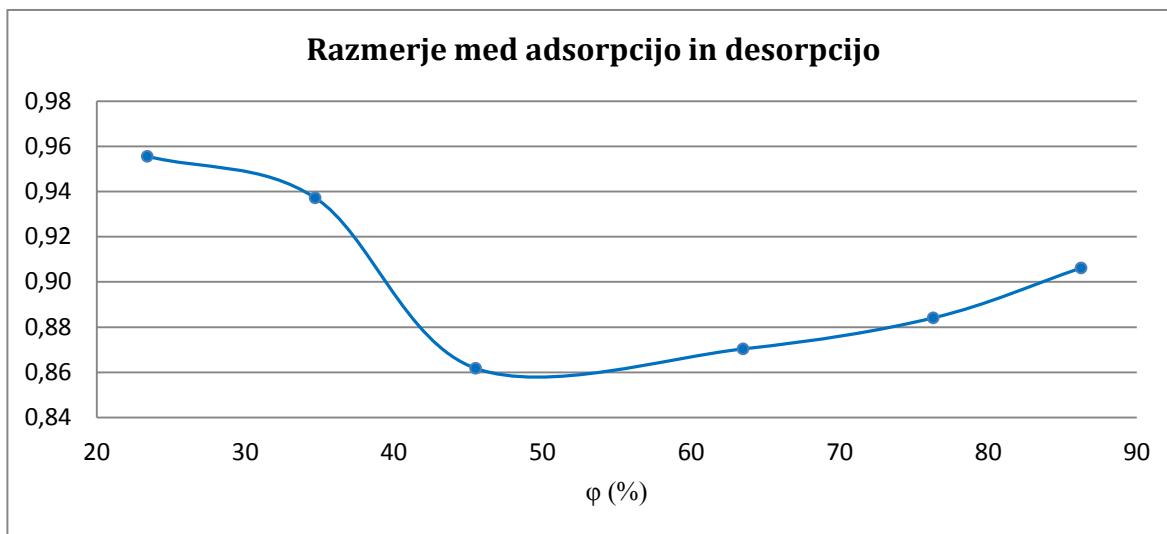
Preglednica 9: Ravnovesne vlažnosti lesa v procesu sušenja (desorpcije) in navlaževanja (adsorpcije) pri relativni zračni vlažnosti ( $\phi$ ) in temperaturi  $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

	$\phi$ (%)	Relativna vlažnost $u_r$ [%]	
		Adsorpcija	Desorpcija
Svež les		63,3	61,5
ZnSO <sub>4</sub>	86,2	16,6	18,3
NaCl	76,3	13,8	15,6
NaNO <sub>2</sub>	63,5	10,7	12,3
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	45,5	8,4	9,7
MgCl <sub>2</sub>	34,7	7,3	7,7
CH <sub>3</sub> COOK	23,4	6,3	6,6



Slika 29: Octovec (*Rhus typhina* L.): ravnovesne vlažnosti lesa, dosežene pri različnih relativnih zračnih vlažnostih v procesu desorpcije (sušenja) in adsorpcije (navlaževanja).

Če ravnoesno lesno vlažnost pri postopku adsorpcije delimo z ravnoesno vlažnostjo lesa pri procesu desorpcije, dobimo razmerje adsorpcija/desorpcija (A/D), ki je pri lesu octovca dosegla najnižjo vrednost 0,86 pri relativni zračni vlažnosti 44 % (Slika 30).



Slika 30: Razmerje ravnovesnih vlažnosti adsorpcije in desorpcije.

#### 4.3.5 Kazalniki dimenzijske stabilnosti

Že ugotovljeno majhno krčenje lesa octovca se odraža tudi v kazalnikih dimenzijske stabilnosti (Pregl. 10).

Preglednica 10: Kazalniki dimenzijske stabilnosti.

	q <sub>R</sub> [%/%%]	q <sub>T</sub> [%/%%]	q <sub>T</sub> –q <sub>R</sub> [%/%%]	q <sub>T</sub> /q <sub>R</sub>	h <sub>R</sub> [%/%%]	h <sub>T</sub> [%/%%]	h <sub>T</sub> –h <sub>R</sub> [%/%%]	s [%/%%]
Št. vzorcev	16	16	16	16	16	16	16	16
<b>Povprečje</b>	<b>0,11</b>	<b>0,22</b>	<b>0,11</b>	<b>2,1</b>	<b>0,017</b>	<b>0,034</b>	<b>0,017</b>	<b>0,16</b>
Min.	0,08	0,15	0,05	1,4	0,012	0,026	0,008	0,13
Maks.	0,19	0,29	0,17	2,9	0,028	0,040	0,023	0,17
Standardni odklon	0,03	0,04	0,03	0,4	0,004	0,004	0,004	0,01
Koeficient variacije [%]	26,87	16,80	28,99	19,8	24,810	11,843	24,925	6,82

Diferencialni nabrek v radialni smeri (q<sub>R</sub>) se giblje od 0,08 do 0,19 %/%, povprečna vrednost pa znaša 0,11 %/%.

Povprečni diferencialni nabrek v tangencialni smeri (q<sub>T</sub>) je 0,22 %/%, najvišja vrednost pa je 0,29 %/%. Če povprečno vrednost primerjamo s kriteriji v Preglednici 3, jo lahko ocenimo kot ugodno, saj je nižja od 0,3 %/%.

Največja razlika med tangencialnim in radialnim diferencialnim nabrekom (q<sub>T</sub>–q<sub>R</sub>) je 0,17 %/%, povprečna pa 0,11 %/%. Tudi ta dimenzijski kazalnik lahko ocenimo kot ugodnega.

Anizotropija lesa ( $q_T/q_R$ ) je v območju od 1,4 do 2,9, povprečna pa znaša 2,1, kar po kriterijih za ocenjevanje dimenzijske stabilnosti pomeni neugodno.

Najnižji koeficient nabreka v radialni smeri ( $h_R$ ) je 0,012 %/%, najvišji pa 0,028 %/%, povprečni  $h_R$  pa znaša 0,017 %/%.

Povprečni koeficient nabreka v tangencialni smeri ( $h_T$ ) znaša 0,034 %/% in tudi ta kazalnik dimenzijske stabilnosti je ugoden.

Razlika koeficientov nabreka ( $h_T - h_R$ ) je od 0,008 do 0,023 %/%, povprečna vrednost pa 0,017 %/%. Po Preglednici 3 lahko povprečno vrednost ocenimo kot ugodno.

Povprečni sorpcijski koeficient ( $s$ ) znaša 0,16 %/%, kar lahko ocenimo kot normalni sorpcijski koeficient.

Standardni odklon je največji pri anizotropiji lesa ( $q_T/q_R$ ), ki je 0,4, in s tem je tudi edini, ki je višji kot 0,1. Radialni in tangencialni nabrek ter njuna razlika imajo standardni odklon v območju od 0,3 do 0,4. Koeficient nabreka v radialni in tangencialni smeri ter njuna razlika pa imajo najmanjši standardni odklon, ki je 0,004.

#### 4.4 MEHANSKE LASTNOSTI

##### 4.4.1 Tlačna trdnost lesa octovca

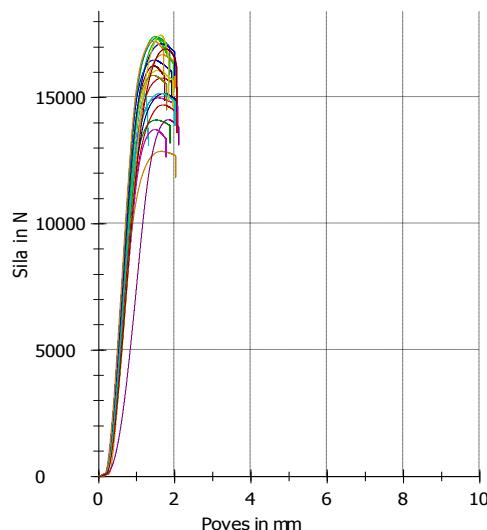
Tlačne trdnosti octovca v vzdolžni smeri so od 31 do 44 MPa, povprečna pa 39 MPa (Pegl. 11).

Modul elastičnosti pri tlaku v povprečju znaša 10,2 GPa, pri čemer je najnižja vrednost 6,6 GPa, najvišja pa 12 GPa (Pegl. 11 in Slika 32).

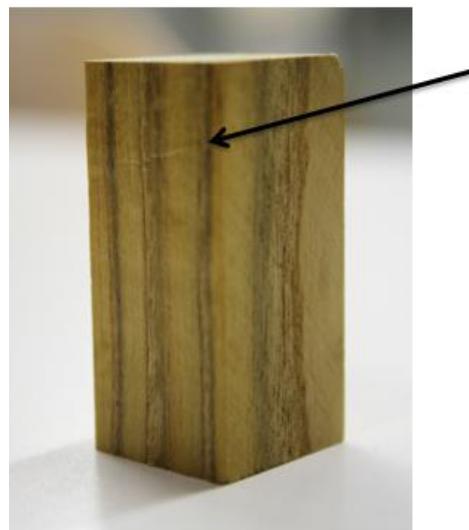
Preglednica 11: Tlačne lastnosti lesa octovca ( $F_{\text{maks}}$  – sila porušitve ,  $\sigma_{II}$  – tlačna trdnost , E – modul elastičnosti,  $\rho_{11\%}$  – gostota lesa pri 11 % vlažnosti lesa).

	$F_{\text{maks}}$ N	$\sigma_{II}$ $N/mm^2$	E GPa	$\rho_{11\%}$ $kg/m^3$
Št. vzorcev	22	22	22	22
<b>Povprečje</b>	<b>15819,0</b>	<b>39,4</b>	<b>10,2</b>	<b>529</b>
Min.	12869	31,74	6,6	505
Maks.	17470	43,61	12	560
Standardni odklon	1322,64	3,41	1,24	
Koeficient variacije [%]	8,36	8,66	12,14	

Pri maksimalnih napetostih se je najpogosteje pokazala uklonska deformacija ali pa je prihajalo do strižnih porušitev (Slika 32).



Slika 31: Napetostno-deformacijski diagram tlačnega poskusa lesa octovca.



Slika 32: Porušitev na vzorcu tlačnega preskusa.

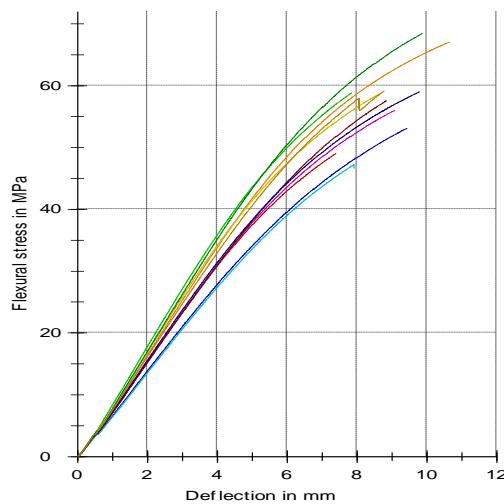
#### 4.4.2 Upogibna trdnost lesa octovca

Upogibna trdnost lesa octovca je od 47 do 68,4 MPa, povprečje pa je 57,6 MPa (Pregl. 12).

Modul elastičnosti je majhen, saj je najvišja vrednost 5,3 GPa, najnižja pa 3,9 GPa. Povprečna vrednost modula elastičnosti je 4,7 GPa (Pregl. 12 in Slika 33).

Preglednica 12: Podatki upogibnega testa lesa octovca ( $F_{\text{maks}}$  – sila porušitve,  $\sigma_{II}$  – upogibna trdnost, E –modul elastičnosti,  $\rho_{11\%}$  – gostota lesa pri 11 % vlažnosti lesa).

	$F_{\text{maks}}$ N	$\sigma_{II}$ $\text{N/mm}^2$	E GPa	$\rho_{11\%}$ $\text{kg/m}^3$
Št. vzorcev	11	11	11	11
<b>Povprečje</b>	<b>1199,5</b>	<b>57,6</b>	<b>4686,4</b>	<b>534</b>
Min.	984	47,2	3980	514
Maks.	1400	68,4	5300	551
Standardni odklon	126,63	6,47	435,83	
Koeficient variacije [%]	10,56	9,30	11,23	



Slika 33: Napetostno-deformacijski diagram za upogibni preizkus lesa octovca.

Nizke vrednosti E-modula in upogibne trdnosti lesa so posledica odklonov poteka vlaken, saj aksialni elementi ne potekajo premo, pri izdelavi vzorcev pa je bilo zelo težko zagotoviti orientiranost v vzdolžni smeri. Način in oblika zloma kaže na prevladujoč vpliv odklona vlaken na upogibno trdnost in E-modul (Slika 34).



Slika 34: Porušeni vzorci po upogibnem testu.

#### 4.4.3 Strižna trdnost lesa octovca

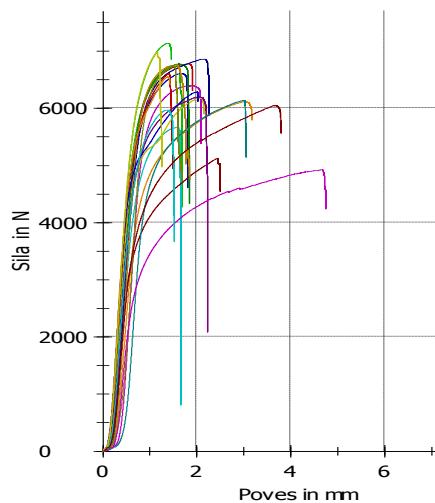
Strižne trdnosti lesa octovca so od 12 MPa do 18 MPa, povprečna vrednost je 15,7 MPa (Pregl. 13 in Slika 35).

Strižni modul lesa v povprečju znaša 4,3 GPa, pri čemer je najnižja vrednost 3,1 GPa, najvišja pa 5,0 GPa (Pregl. 13 in Slika 36).

Preglednica 13: Rezultati strižnega testa lesa octovca ( $F_{\text{maks}}$  – sila porušitve,  $\tau$  – strižna trdnost,  $\rho_{11\%}$  – gostota lesa pri 11 % vlažnosti lesa).

	$F_{\text{maks}}$ N	$\tau$ $\text{N/mm}^2$	$\rho_{11\%}$ $\text{kg/m}^3$
Št. vzorcev	22	22	22
<b>Povprečje</b>	<b>6348,2</b>	<b>15,7</b>	<b>529</b>
Min.	4928	12,29	501
Maks.	7140	17,9	552
Standardni odklon	551,88	1,39	
Koeficient variacije [%]	8,69	8,85	

Vzorce smo v poskusu obremenjevali do porušitve in pri tem je prišlo do vidnih sprememb (Slika 36).



Slika 35: Napetostno-deformacijski diagram strižnega testa lesa octovca.



Slika 36: Porušeni vzorec lesa pri strižnem testu.

## 5 RAZPRAVA

Za relativno oceno lastnosti octovca smo njegove lastnosti primerjali še z lipovino (*Tilia platyphyllos* Scop.) in lesom domačega kostanja (*Castanea sativa* Mill.) (Wagenführ, 1985). Lipovino smo izbrali, ker ima podobno gostoto kot les octovca, kostanjevino pa zaradi večasto porozne strukture lesa.

Preglednica 14: Primerjava lesa octovca, lipe in kostanja. Vrednosti za lipo in kostanj so povzete po Wagenführ, 1985.

	OCTOVEC ( <i>Rhus typhina</i> L.)	LIPA ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.)	KOSTANJ ( <i>Castanea sativa</i> Mill.)
<b>MIKROSKOPSKE LASTNOSTI</b>			
<b>FIZIKALNE LASTNOSTI</b>			
$\rho_0$ [kg/m <sup>3</sup> ]	430–510–600	320–490–560	530–590
TNCS [%]	18–20	32–35	32–35
Pvl [%]	60	68	61
$\beta_R$ [%]	2,2	5,5	4,3
$\beta_T$ [%]	4,52	9,1	6,4
<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
Tlačna trdnost [MPa]	31–39–44	26–52–78	40–52–57
Upogibna trdnost [MPa]	47–57–68	46–106–147	64–77–91
Strižna trdnost [MPa]	12,3–15,7–17,9	4,0–4,5–6,0	8,0–9,5
E-modul [GPa]	3,1–5,3–12,0	5,8–7,4–17,2	9,0

V primerjavi s kostanjevino ima les octovca tako v ranem kot v kasnem lesu manjše dimenzijske razlike. Razlika je kar za 50–100 µm v ranem lesu, v kasnem pa za 20 µm.

Slednje nakazuje, da je bila v našem primeru bolj upravičena uvrstitev lesa octovca med polvenčasto porozne vrste.

Octovec ima v absolutno suhem stanju nekoliko višjo gostoto kot lipa. Povprečna gostota octovca je za  $20 \text{ kg/m}^3$  višja od lesa lipe. Kostanj ima pa za približno  $20 \text{ kg/m}^3$  višjo gostoto od octovca.

Točka nasičenja celičnih sten je pri octovcu zelo nizka v primerjavi z lipo in kostanjem, kar posledično vpliva tudi na skrčke. Oba skrčka, tako v radialni kot v tangencialni smeri, sta nižja od skrčka pri lipi in pri kostanju.

Delež por v lesu je pri vseh treh zelo podoben, saj je razlike le nekaj odstotkov.

Mehanske lastnosti so močno povezane z gostoto, kar lahko opazimo tudi pri octovcu, saj so nekatere mehanske lastnosti podobne lesovom s srednjo gostoto.

Lipa spada med listavce z nizko trdnostjo in tako lahko rečemo, da ima octovec res nizko trdnost, saj so rezultati tlačne in upogibne trdnosti še občutno nižji od znanih podatkov za les lipe. Najvišji rezultat tlačne trdnosti pri octovcu je 44 MPa, pri lipi pa 78 MPa, torej je slednji višji kar za 34 MPa. Če pa primerjamo srednje vrednosti, je tlačna trdnost lipe višja za 13 MP. Najvišja upogibna trdnost pri lipi je kar dvakrat višja od najvišje vrednosti pri octovcu. Razlika med lesovoma je kar 79 MPa. Tudi srednja vrednost octovca je skoraj dvakrat nižja od srednje vrednosti pri lipi. Iz tega lahko povzamemo, da octovec ni primeren za konstrukcijske elemente, saj so njegove vrednosti pri tlačni in upogibni trdnosti prenizke.

Pravo nasprotje pa je strižna trdnost, saj je pri octovcu višja kot pri kostanju. Vzrok tako visokih rezultatov je lahko sam test, saj obremenitev ni bila čisto strižna – bila je kombinacija striga in tlaka, prisoten je bilo celo minimalen vrtilni moment. Torej je rezultat tako imenovanega strižnega testa navidezna strižna napetost in je zaradi tega višji. Primerjava strižne napetosti z lipo in kostanjem bi bila bolj smiselna, če bi tudi na teh dveh naredili enak test kot pri octovcu.

Octovec ima nizek E-modul, kar smo ugotovili tudi pri eksperimentih, saj so se pri upogibnem testu vzorci razleteli. Njegov povprečni E-modul znaša 5,3 GPa, povprečni E-modul lipe pa 7,4 GPa.

## 6 SKLEP

Raziskava octovca (*Rhus typhina* L.) je pokazala, da ima njegov les več različnih zelenih oziroma rjavih odtenkov. Spada med venčasto ali polvenčasto porozne lesne vrste. Aksialni parenhim v lesu je pičel. V lesu so prisotni anorganski vključki, kot so kristali ter druze. Povprečna vlažnost svežega lesa octovca je bila 58,2 %, njegova gostota v absolutno suhem stanju pa  $514 \text{ kg/m}^3$ . Krčenje oziroma nabrekanje je bilo majhno, če primerjamo s komercialnimi lesnimi vrstami, saj je nabrek v radialni smeri v povprečju meril 2,2 %, v tangencialni pa 4,7 %. Kazalniki dimenzijske stabilnosti so ugodni, razen sorpcijskega kvocienta, ki je normalen, in anizotropije, ki je neugodna. Mehanske lastnosti smo primerjali z lipo in domačim kostanjem. Rezultati tlačne in upogibne trdnosti octovca so občutno nižji od znanih podatkov za les lipe. Najvišji rezultat tlačne trdnosti pri octovcu je 44 MPa, upogibne pa 68 MPa.

Octovec bi bil težko uporaben v široki industriji, ker bi ob večjem povpraševanju težko zagotovili ustrezno količino lesa, saj ne doseže večjih premerov in visoke višine kot druge komercialno zanimive vrste.

Les bi lahko uporabljali za specialne izdelke ali kot dekor, saj je lep in poseben zaradi svoje zelene barve. S tem bi izdelku povečali dodano vrednost.

## 7 VIRI

Brus R. 2004. Drevesne vrste na Slovenskem. Ljubljana, Mladinska knjiga: 399 str.

Brus R. 2005. Dendrologija za gozdarje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 408 str.

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

de Wit H. C. D. 1978. Rastlinski svet 2 – semenovke. Ljubljana, Mladinska knjiga: 379 str.

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

Mills Colin, Hortus. 2010 - 2012 (26. feb. 2011)

<http://hortuscamden.com/search/results/e896ae660abe20250126dbdca3c84ec0/>  
(26. feb. 2011)

SIST ISO 3131, 1975. Les – določanje gostote pri fizikalno – mehanskih testiranjih. Wood – Determination of density for psysical and mechanical tests.

The PLANTS Database (Areal naravne razširjenosti octovca) (20. feb. 2011)

<http://luirig.altervista.org/schedenam/fnam.php?taxon=Rhus+typhina> (20. feb. 2011)

Tematski leksikon založbe Učila. 2002. Rastline, Učila: 361 str.

Van der Werf G. W., Sass – Klassen G.W., Mahren G. M. J., 2007. The impact of the 2003 summer drought on the intra – annual growth pattern of the beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry side in the Netherlands. *Dendrochronologia* 25: 103–112

Wagenführ R., Scheiber Ch. 1985. Holzatlas, Leipzig, VEB Fachbuchvertrag: 720 str.

Wood Explorer (21. feb. 2011)

<http://www.thewoodexplorer.com/maindata/we1039.html> (21. feb. 2011)

## ZAHVALA

Ob zaključku študija bi se rada zahvalila mentorju, prof. dr. Željku Gorišku za pomoč pri nastajanju diplomskega projekta. Hvala tudi prof. dr. Katarini Čufar za recenzijo.

Prav tako se zahvaljujem asistentoma dr. Alešu Stražetu in dr. Maksu Mereli, ter tehniškemu sodelavcu Luku Kržetu za pomoč pri eksperimentalnem delu.

Posebej pa bi se rada zahvalila materi za podporo in potrpežljivost v vseh letih študija.