

Primjena računalnih programa u analizi stanica drva

Vidnić, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:018166>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-19**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ
DRVNA TEHNOLOGIJA**

MARKO VIDNIĆ

**PRIMJENA RAČUNALNIH PROGRAMA U ANALIZI STANICA
DRVA**

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, RUJAN, 2016.

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

AUTOR:	Marko Vidnić 18.11.1993., Zagreb 0068218241
NASLOV:	Primjena računalnih programa u analizi stanica drva
PREDMET:	Anatomija drva
MENTOR:	doc. dr. sc. Bogoslav Šefc
IZRADU RADA JE POMAGAO:	Iva Ištok, mag. ing. techn. lign.
RAD JE IZRAĐEN:	Sveučilište u Zagrebu - Šumarski fakultet Zavod za znanost o drvu
AKAD. GOD.:	2015./2016.
DATUM OBRANE:	29.09.2016.
RAD SADRŽI:	Stranica:19 Slika: 7 Tablica:4 Navoda literature:7
SAŽETAK:	<p>Računalni programi za analizu slike primjenjivi su za analizu stanica drva. Mjerenjem udjela i promjera stanica, debljine njihovih stijenki, te međusobnih odnosa moguće je procijeniti kvalitetu drva. U završnom radu prikazana je primjena i postupak mjerenja računalnim programom ImageJ. Mjereni su udjeli i promjeri lumena traheja juvenilnog drva pet stabala klona 'L-12' iz plantažnog nasada i pet stabala bijele topole iz prirodne populacije na području Osijeka, gospodarska jedinica „Osječke podravske šume“.</p> <p>Juvenilno drvo bijele topole ima tek nešto veći udio lumena traheja u usporedbi s juvenilnim drvom klona 'L-12'. Navedena razlika statistički nije značajna, i u postotku iznosi svega 3 % .Juvenilno drvo klona 'L-12' ima tek nešto veći promjer lumena traheja u usporedbi s juvenilnim drvom bijele topole. Navedena razlika statistički nije značajna, a u postotku iznosi svega 2 %.</p>

SADRŽAJ

1. UVOD	4
1.1. PRIMJENA RAČUNALNIH PROGRAMA U ANALIZI STANICA DRVA.....	4
1.2. STRUKTURNE KARAKTERISTIKE DRVA TOPOLA.....	5
1.3. KARAKTERISTIKE DRVA I UPORABA TOPOLA	6
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	8
3. MATERIJALI I METODE	8
3.1. IZRADA TRAJNIH HISTOLOŠKIH PREPARATA	9
3.2. IZRADA FOTOGRAFIJA ZA MJERENJE UDJELA LUMENA STANICA.....	9
3.3. MJERENJE PROMJERA I UDJELA LUMENA TRAHEJA	11
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	14
4. 1. UDIO LUMENA TRAHEJA	14
4. 2. PROMJER LUMENA TRAHEJA.....	16
5. ZAKLJUČCI	18
6. LITERATURA	19

1. UVOD

1.1. PRIMJENA RAČUNALNIH PROGRAMA U ANALIZI STANICA DRVA

Specijalizirani računalni programi za analizu stanica drva uvelike pomažu u istraživanjima anatomskih svojstava drva. Analizom godova drva mogu se uočiti promjene u anatomskoj građi drva.

Analiza anatomskih svojstva stanica drva alternativa je analizi gustoće drva pomoću rendgenskih zraka. Gustoća drva, boja, mehanička i kemijska svojstva drva povezani su s anatomskom građom drva, na koju utječu klimatski uvjeti staništa drva. Mjerenjem udjela i promjera stanica (npr. traheja, traheida), debljine njihovih stijenki te međusobnih odnosa moguće je procijeniti kvalitetu drva. Programi za analizu slike vrše mjerenja na tankim listićima izrezanim pomoću mikrotoma ili izravno na površini drva, npr. na ranom drvu listopadnih vrsta. Programom za vizualizaciju i obradu podataka mogu se iščitati morfološki podaci o stanici drva prikazom godova u jednoj ili u više slika po jednom godu. Nespecijalizirani programi za analizu stanica drva ne mogu pružiti prikladne podatke za dendrološke studije. Takvi sustavi ne sadrže potrebna saznanja o godovima drva i o anatomskoj građi stanica drva (npr. ne mogu izračunati širinu goda), dok specijalizirani sustavi prepoznaju da stanična stijenka između dviju stanica mora biti podijeljena na 2 dijela kako bi se izračunala duljina stanica ili širina goda. Njihove univerzalne postavke omogućuju analizu različitih vrsta drva. Također podržavaju različite načine automatske i interaktivne analize, što omogućuje odabir redova stanica koji se žele analizirati.

Razvoj visokokvalitetnih digitalnih kamera učinio je analizu stanica drva dostupnijom no ikada.

Analiza stanica drva danas uglavnom provodi se na tanko odrezanim listićima drva. Za dobivanje slika na takvim uzorcima potreban je mikroskop s nastavkom za kameru i adapter kamere. Odrezani listići boje se organskim bojilom (najčešće se koristi safranin i *astra-blue*) radi poboljšanja kontrasta stijenki i lumena stanica.

To je idealno za dobivanje vrlo visoke rezolucije i preciznih slika, no polje prikaza je obično ograničeno tako da je nemoguće ili vrlo teško vidjeti cijele godove. Takve slike mogu se analizirati i njihovi podaci mogu biti naknadno integrirani u ovakvim programima kako bi se napravila analiza stanica na osnovi godova.

Alternativne metode pripreme uzoraka i slikanja većih područja također postoje, no nijedna se ne koristi univerzalno. One se provode pomoću skenera ili kamere i objektivna i pri prikladnom osvjetljenju. Nedostaci ovakvog pristupa su: nemogućnost postizanja slike s dovoljno kvalitetnim kontrastima između lumena i stijenki, a da ih se pritom ne ošteti, i dobivanje dovoljno dobre rezolucije za precizno prepoznavanje i analizu.

Prednost ovog pristupa je dobivanje slika s nekoliko godova, što olakšava njihovu analizu.

Takvi programi mogu analizirati slike dobivene skenerima ili digitalnim kamerama. Specijalne kamere mogu se instalirati na mikroskop pomoću adaptera (prilagodnika). Kamera se može postaviti direktno iznad mjesta gdje se postavlja uzorak tako da se dobiju slike sa željenim povećanjima. S računalom se kamera povezuje pomoću USB-ulaza.

1.2. STRUKTURNE KARAKTERISTIKE DRVA TOPOLA

Po pitanju makroskopskih karakteristika drva, drvo bijele topole je jedričavo, s crvenkasto žutom do žutosmeđom srži. Drvo topola (*Populus* spp.) je rastresito porozno, s uočljivim ili slabo uočljivim godovima, obično ravne žice te fine i jednolične teksture. Makroskopski je vrlo slično drvu vrba (*Salix* spp.), obzirom da pripadaju istoj porodici (*Salicaceae*). Spomenute vrste drva mogu se razlikovati prema strukturi drvnih trakova koja je različita. Drvo roda *Salix* ima heterocelularne drvene trakove, dok su oni roda *Populus* homocelularni.

Kao rastresito porozna listača, topolovina je izgrađena od članaka traheja, drvnih vlakana (libriformska vlakanca) i parenhima. Mikroskopska obilježja drva topola detaljno opisuju Trajković i Despot (1999). Pore su dobro vidljive tek povećalom, dok su gusti i uski drvni traci i povećalom teško uočljivi. Ima sitne traheje (promjera 80-100 μm), koje su brojne i guste (njih 40-180 na 1 mm^2 poprečnog presjeka), a

prema granici goda promjer im se smanjuje (Šumarska enciklopedija, 1983). Raspoređene su pojedinačno, u parovima, kratkim radijalnim nizovima od po 2-3 ili 5 te u skupinama. Njihov volumni udjel iznosi 22 do 44 %. Staničje drvnih trakova je homogeno. Traci su isključivo jednoredni, visoki od 10 do 15 stanica. Njihova gustoća je 8 do 13 trakova na mm tangentskog smjera. Drvna vlakanca su libriformska, dužine od 0,3 do 2,1 mm. Debljina njihovih staničnih stijenki iznosi od 2,2 do 4,7 μm , dok se širina lumena kreće od 11,5 do 23,5 μm . Volumni udio traheja iznosi 22-44 %, drvnih trakova 10-14 %, a drvnih vlakanca 56-63 %.

1.3. KARAKTERISTIKE DRVA I UPORABA TOPOLA

Drvo topola prirodno nije trajno što ograničava njegovu upotrebu u vanjskim uvjetima. Pregled karakteristika drva topola ukazuje na njegovu dobru obradljivost ručnim i strojnim alatima (Trajković i Despot, 1999). Pri obradi, alati moraju biti oštri kako bi se izbjeglo čupanje vlakance te vunaste i hrapave uzdužne površine, nedostaci do kojih uglavnom dolazi uslijed prisutnosti tenzijskog drva. Jednostavni i brzo se suši, iako može doći do pojave džepova vlage koji otežavaju sušenje. Površinski se lako obrađuje, a elementi iz topolovine se bez poteškoća spajaju i lijepo.

Osim velikog uzgojnog potencijala, topole imaju i široku namjenu i upotrebu. Opcije proizvoda iz drva topola su mnogobrojne. Još su stari Grci i Etruščani prepoznali vrijednost drva topole te su od njega radili štitove. Topolovina se nastavila koristiti za tu svrhu kroz Srednji vijek te je bila poznata zbog slične trajnosti kao hrastovina, ali značajno manje težine. U prošlosti se drvo topole u Italiji koristilo kao podloga u slikarstvu, a čuvena Mona Lisa i druge najpoznatije talijanske slike iz doba rane renesanse rađene su na drvu topole (<https://en.wikipedia.org/wiki/populus>).

U Europi se drvo topole najčešće koristi u proizvodnji pulpe, papira i kartonske ambalaže. Ostale namjene uključuju drvenu ambalažu (pelete, kutije i sanduke) i drvene ploče, koji se proizvode i u Argentini i Sjevernoj Americi. U Čileu, Rusiji, Indiji i Švedskoj od topole se proizvode šibice. Upotreba drva topole u konstrukcijske i građevne svrhe od velikog je značaja u Turskoj, Finskoj i

Argentini. Istraživane su i mogućnosti korištenja drva topole za konstrukcije lameliranih nosača koji su pokazali zadovoljavajuća mehanička svojstva u odnosu na druge vrste drva. Topole su vrlo pogodne za proizvodnju piljenog drva, dok se iz visoko kvalitetnih trupaca topole rade ljušteni furniri i šperploča (Dickmann, D.I. i Kuzovkina, J., 2014). Isti autori navode i proizvodnju izolacijskih, MDF i OSB ploča. Uz navedeno, drvo topole koristi se i u proizvodnji namještaja, naročito u Belgiji i Čileu. Integrirana uporaba topola uključuje visoku iskoristivost sirovine (Isebrands i dr., 1979). Kao primjer, trupci malog promjera i drvni ostaci mogu se koristiti u proizvodnji pločastog materijala. Takvi proizvodi mogu se dalje plasirati u industriju namještaja za proizvode dodane vrijednosti.

Veliki je naglasak i na globalnom korištenju topolovine u ogrjevnne svrhe te za proizvodnju bionergije. Iz perspektive energetske nasada za proizvodnju bioenergije u zemljama s umjerenom klimom, topole su se nametnule kao logičan izbor zbog brzo ostvarivog prinosa i relativno jednostavne kultivacije. Izražena je i ekološka uloga topola. Topole imaju snažan korjenski sustav za učinkovito usvajanje onečišćene vode iz tla. Pri tome se još jedna namjena topola odnosi na fitoremedijaciju, odnosno čišćenje slabije onečišćenih staništa (Laureysens i dr., 2004). Između ostalog, dugo godina koriste se za zaštitu od vjetra jer se selekcijom kultivara može upravljati širinom i visinom krošnje stabala te kao skloništa za brojne životinje. Poseban je naglasak stavljen i na sprečavanje porasta količine CO₂ u atmosferi kroz plantažno šumarstvo prema Kyoto protokolu. Tome pridonosi njihov brzi rast te omogućuje efektivnu sekvestraciju (pohranjivanje) ugljika.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Primjenom računalnog programa za analizu slike ImageJ izmjeriti udjele i promjere juvenilnog drva klona 'L-12' i juvenilnog drva bijele topole iz prirodne populacije na području Osijeka.

Usporediti izmjerene udjele i promjere lumena traheja juvenilnog drva klona 'L-12' sa juvenilnim drvom bijele topole iz prirodne populacije.

3. MATERIJALI I METODE

U svrhu istraživanja uzeto je pet stabala klona 'L-12' iz plantažnog nasada i pet stabala bijele topole iz prirodne populacije na području Osijeka, gospodarska jedinica „Osječke podravske šume“.

Prije obaranja, na svakom stablu označena je sjeverna strana i stablo je numerirano. Nakon obaranja, iz svakog stabla na prsnoj visini (1,30 m od tla) uzet je kolot debljine oko 50 mm i numeriran. Iz kolotova su izrezani radijalni segmenti širine približno 50 mm, označeni smjerom glavnih strana svijeta. Na izrezanim radijalnim segmentima bijele topole iz prirodne populacije i klona bijele topole 'L-12' odabrani su 2., 4., 6., 8. i 10. god od srčike.

Svaki označeni god isječen je u obliku pravokutne probe dimenzija 10 (T) × 10 (R) × 20 (L) mm. Svaka isječena proba označena je odgovarajućom oznakom radi lakšeg raspoznavanja. Priprema uzoraka uključivala je rezanje proba na potrebne dimenzije i njihovo omekšavanje. Omekšavanje uzoraka provedeno je kuhanjem u destiliranoj vodi u trajanju od 3 sata. Omekšani uzorci zatim su pohranjeni u označene staklenke s destiliranom vodom i malo 96%-tnog etilnog alkohola te tako pripremljeni za daljnju obradu.

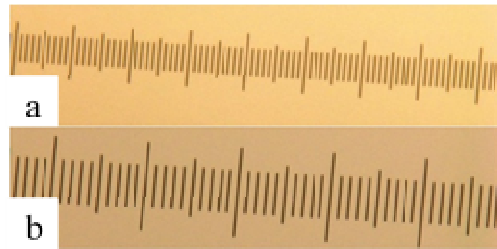
3.1. IZRADA TRAJNIH HISTOLOŠKIH PREPARATA

Histološki preparati poprečnog presjeka izrađeni su za potrebe mjerenja udjela i lumena traheja.

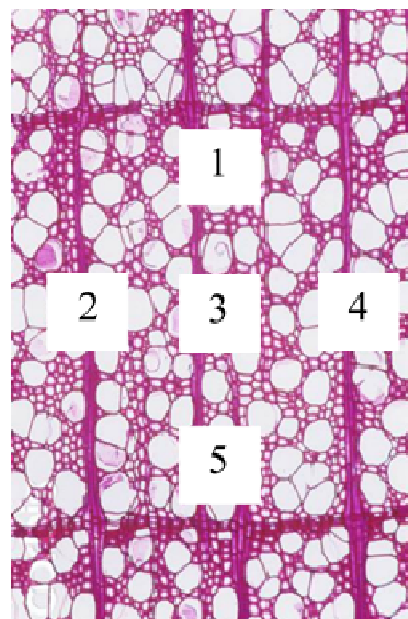
Nakon omekšavanja, iz svake probe na mikrotomu su izrezani listići poprečnog presjeka debljine 30 µm. Neposredno prije bojanja, isprani su tri puta u destiliranoj vodi. Izrezani listići obojani su prvo bojilom safraninom (0,5% alkoholna mješavina) u trajanju od pet minuta te isprani tri puta u 70%-tnom etilnom alkoholu i tri puta u 96%-tnom etilnom alkoholu. U sljedećem koraku obojani su bojilom astra-blue (0,5% alkoholna mješavina) također u trajanju od pet minuta, uz ispiranje tri puta u 70%-tnom etilnom alkoholu i tri puta u 96%-tnom etilnom alkoholu. Nakon bojanja, listići su radi dehidracije ostavljeni u petrijevoj posudici u 96%-tnom etilnom alkoholu do uklapanja. Uklopljeni su u sintetskom mediju Euparalu na mikroskopskim stakalcima pomoću pokrovnih stakalaca, uz istiskivanje mjehurića zraka. Svaki mikroskopski preparat označen je i izrađena je njegova replika. Na izrađene mikroskopske preparate postavljeni su utezi kako bi se istisnuli zaostali mjehurići zraka te su ostavljeni da se dobro osuše.

3.2. IZRADA FOTOGRAFIJA ZA MJERENJE UDJELA LUMENA STANICA

Stereo mikroskopom modela *Axio Zoom.V16* (proizvođač Carl Zeiss) i na njega postavljenom digitalnom kamerom rezolucije 5 megapiksela snimljeno je pet fotografija poprečnog presjeka u svakom odabranom godu (prema Peszlen, 1994). Korišteno je povećanje 100x za snimanje lumena traheja i povećanje 160x za snimanje lumena drvnih vlaknaca. Za potrebe umjeravanja, snimljena/fotografirana je skala objekt mikroskopa kod odabranih povećanja (Slika 1.). U svrhu odabira zadovoljavajućih detalja za fotografiranje, živa slika prikazana je na računaru u programu za analizu slike AxioVision. Pet fotografija snimljeno je prema sljedećoj shemi: jedna iz zone ranog drva, jedna iz zone kasnog drva i tri iz središnje zone svakog goda (Slika 2.).



Slika 1. Izgled skale objekt mikrometra: a) povećanje 100x, b) povećanje 160x.



Slika 2. Shema snimanja fotografija poprečnog presjeka za svaki pojedini god.

3.3. MJERENJE PROMJERA I UDJELA LUMENA TRAHEJA

Postupak mjerenja u programu ImageJ, obrada podataka na računalu i izračunavanje udjela lumena traheja provedeni su na sljedeći način:

1. prije samog mjerenja, udaljenost u sustavu ImageJ na zaslonu računala umjerena je s prethodno snimljenom fotografijom mjerne skale (μm)
2. željena fotografija (Slika 3.) uvedena je u program ImageJ
3. odabrana je opcija 8-bitne slike (1 piksel prikazan je s 8 bitova)
4. na alatnoj traci programa sustav automatski prikaže ukupnu površinu slike (μm^2)
5. alatom za analizu čestica označeni su svi lumeni traheja (Slika 4.)
6. u programu su odabrane opcije mjerenja površine i promjera označenih lumena traheja (μm) (Slika 5.)
7. dobiveni podaci prebačeni su u MS Excel za daljnju obradu rezultata
8. udio lumena traheja izračunat je prema sljedećem izrazu (1):

$$U_{LT} = \frac{\sum A_{LT}}{A_{SL}} * 100 \quad (\%) \quad (1)$$

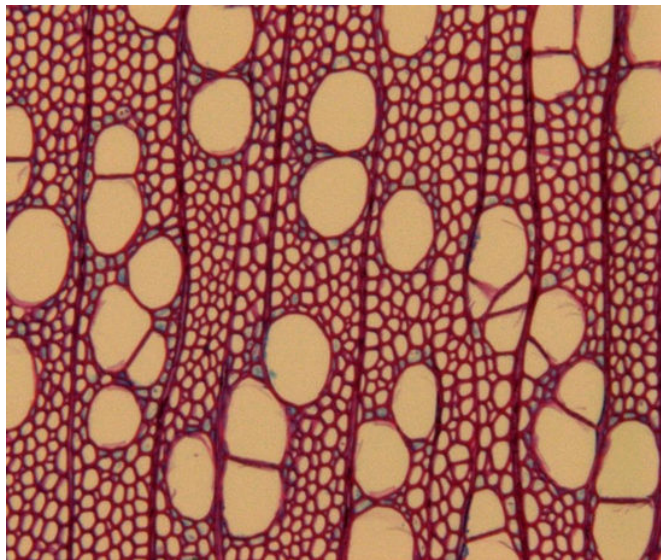
Legenda:

U_{LT} - udio lumena traheja

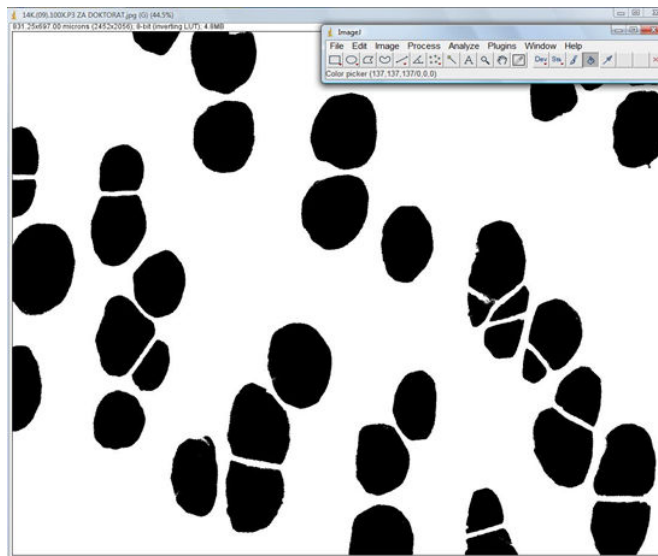
A_{LT} – površine svih lumena traheja (μm^2)

A_{SL} - ukupna površina slike (μm^2)

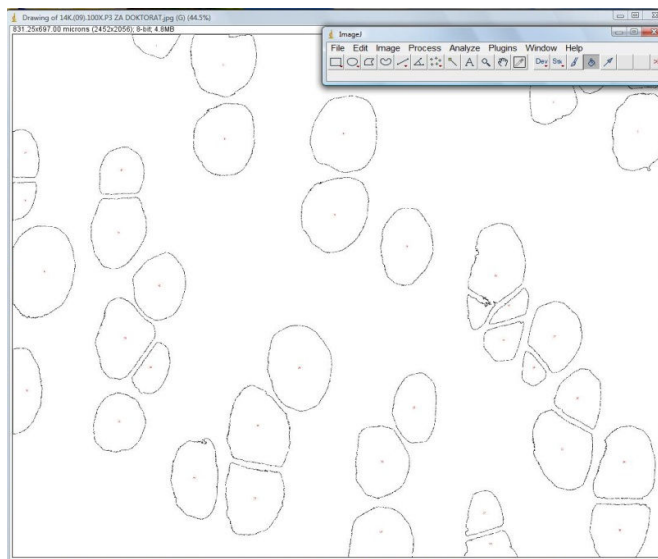
9. za svaku od pet izmjerenih fotografija izračunat je udjel lumena traheja (%) i aritmetička sredina izmjerenih promjera lumena traheja (μm), koji su korišteni za daljnju statističku obradu podataka.



Slika 3. Fotografija poprečnog presjeka (povećanje 100x) na kojem su mjereni udjeli lumena traheja.



Slika 4. Lumeni traheja označeni za mjerenje u programu ImageJ.



Slika 5. Izmjereni lumeni traheja u programu ImageJ.

4. REZULTATI I RASPRAVA

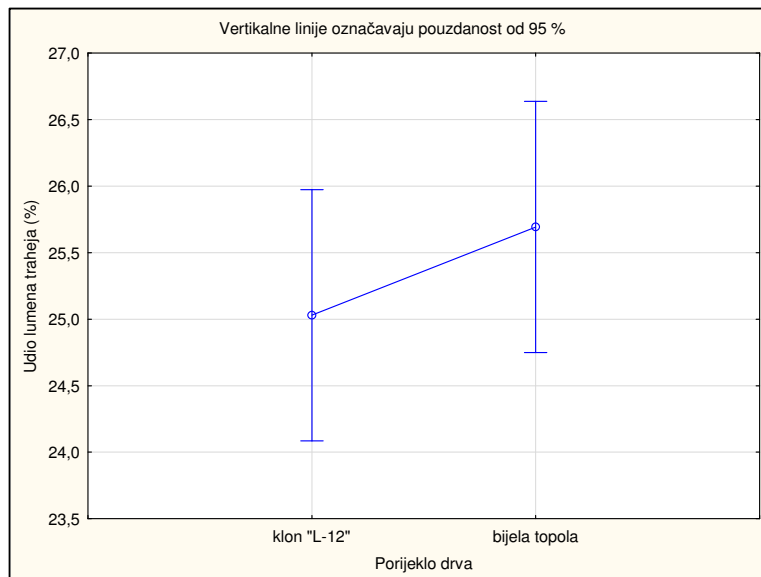
4. 1. UDIO LUMENA TRAHEJA

Tablica 1. Deskriptivna statistika usporedbe udjela lumena traheja juvenilnog drva klona 'L-12' i juvenilnog drva bijele topole u radijalnom smjeru (pet godina), lokalitet na području Osijeka.

Varijabla	Broj mjer enja	Godovi (udaljenost od srčike)									
		2		4		6		8		10	
		Arit .sr.	St. dev.	Arit. sr.	St. dev.	Arit .sr.	St. dev.	Arit. sr.	St. dev.	Arit. sr.	St. dev .
Ukupno	50	25,617	5,156	23,800	4,235	24,583	4,044	27,067	3,561	25,739	2,862
klon □L-12□	25	25,152	5,791	23,252	2,953	24,284	4,149	26,646	3,124	25,814	2,743
bijela topola	25	26,082	4,505	24,349	5,222	24,882	3,999	27,488	3,970	25,664	3,031

Tablica 2. Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja udjela lumena traheja juvenilnog drva u radijalnom smjeru prema porijeklu drva (plantažno posađen klon 'L-12' i bijela topola iz prirodne populacije).

Izvor varijabilnosti	Suma kvadrata	Broj stupnjeva slobode	Varijanca	F	p
Porijeklo drva	27,5	1	27,5	0,998	0,322741
Pogreška	1322,5	48	27,6		
Godovi	307,9	4	77,0	5,591	0,000281
Godovi*porijeklo drva	12,0	4	3,0	0,218	0,928406
Pogreška	2643,6	192	13,8		



Slika 6. Prikaz usporedbe udjela lumena traheja juvenilnog drva klona 'L-12' i juvenilnog drva bijele topole.

Juvenilno drvo bijele topole ima tek nešto veći udio lumena traheja u usporedbi s juvenilnim drvom klona □L-12□, pri čemu aritmetička sredina udjela lumena traheja drva bijele topole iznosi 25,6 %, a drva klona „L-12“ 25,0 % (Slika 6.). Navedena razlika statistički nije značajna, dok i u postotku iznosi svega 3 %.

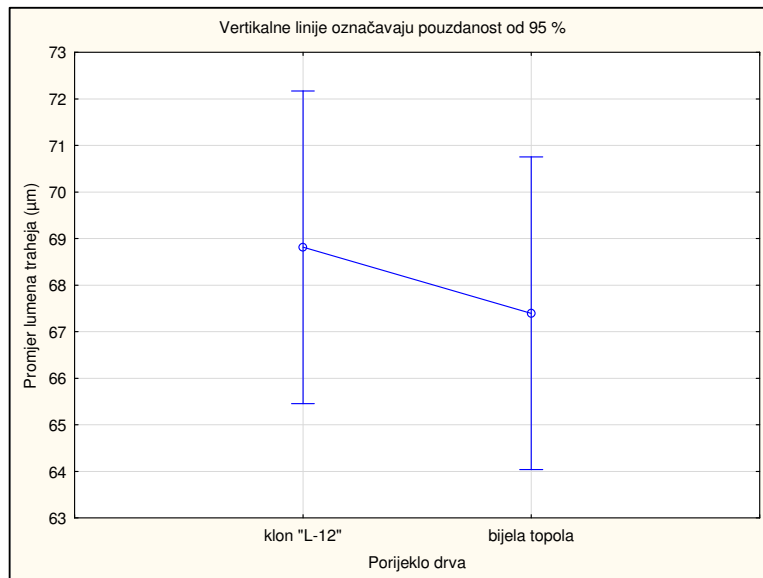
4. 2. PROMJER LUMENA TRAHEJA

Varij- bla	Broj mjer- e-nja	Godovi									
		2		4		6		8		10	
		Arit.sr .	St. dev.	Arit.sr.	St. dev.	Arit.sr.	St. dev.	Arit.sr.	St. dev.	Arit.sr .	St. dev.
Ukupn o	50	55,50	5,79	66,11	16,98	69,70	11,9 4	71,84	11,81	77,35	14,7 8
klon □L- 12□	25	54,81	5,65	64,76	11,42	74,07	12,2 8	71,80	12,15	78,60	13,7 5
bijela topola	25	56,18	5,96	67,46	21,31	65,33	10,0 2	71,88	11,71	76,11	15,9 4

Tablica 3. Deskriptivna statistika usporedbe promjera lumena traheja juvenilnog drva klona 'L-12' i juvenilnog drva bijele topole u radijalnom smjeru (pet godina), lokalitet na području Osijeka.

Tablica 4. Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja promjera lumena traheja juvenilnog drva u radijalnom smjeru prema porijeklu drva (plantažno posađen klon 'L-12' i bijela topola iz prirodne populacije).

Izvor varijabilnosti	Suma kvadrata	Broj stupnjeva slobode	Varijanca	F	p
Porijeklo drva	125	1	125	0,359	0,551692
Pogreška	16754	48	349		
Godovi	13251	4	3313	28,373	0,000000
Godovi*porijeklo drva	1022	4	256	2,188	0,071794
Pogreška	22418	192	117		



Slika 7. Prikaz usporedbe promjera lumena traheja juvenilnog drva klona 'L-12' i juvenilnog drva bijele topole.

Juvenilno drvo klona 'L-12' ima tek nešto veći promjer lumena traheja u usporedbi s juvenilnim drvom bijele topole, pri čemu aritmetička sredina promjera lumena traheja drva klona 'L-12' iznosi 68,8 µm, a drva bijele topole 67,4 µm (Slika 7.). Navedena razlika statistički nije značajna, a u postotku iznosi svega 2 % (Tablica 3. i 4.) .

5. ZAKLJUČCI

Primjenom računalnog programa ImageJ izmjereni su i uspoređeni udjeli i promjeri lumena traheja juvenilnog drva klona 'L-12' te juvenilnog drva bijele topole iz prirodne populacije na području Osijeka.

Juvenilno drvo bijele topole ima tek nešto veći udio lumena traheja u usporedbi s juvenilnim drvom klona 'L-12'. Navedena razlika statistički nije značajna, i u postotku iznosi svega 3 %.

Juvenilno drvo klona 'L-12' ima tek nešto veći promjer lumena traheja u usporedbi s juvenilnim drvom bijele topole. Navedena razlika statistički nije značajna, a u postotku iznosi svega 2 %.

6. LITERATURA

1. Dickmann, D.I. and Kuzovkina, J. (2014): *Poplars and Willows of the World, With Emphasis on Silviculturally Important Species*. U *Poplars and willows: trees for society and the environment*, Isebrands, J.G., Richardson, J., eds., CAB International and FAO, 8-91.
2. Isebrands, J.G., Sturos, J.A., Crist, J.B. (1979): *Integrated utilization of biomass: a case study of short rotation intensively cultured Populus raw material*. *Tappi*, 62, 67-70
3. Laureysens, I., Bogaert, J., Blust, R., Ceulemans, R. (2004): *Biomass production of 17 poplar clones in a short-rotation coppice culture on a waste disposal site and its relation to soil characteristics*. *Forest Ecology and Management*, 187, 295-309, sažetak
4. Peszlen, I. (1994): *Influence of age on selected anatomical properties of populus clones*, *IAWA Journal*, Vol. 15 (3), 311-321.
5. Šumarska enciklopedija 1 A-Grad, 1983., Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb
6. Trajković i Despot (1999) Trajković, J., Despot, R. (1999): *Topolovina*. *Drvna industrija*, 50 (2), 125.

INTERNETSKI ČLANCI

1. Wikipedia, 2016: <https://en.wikipedia.org/wiki/populu> (mrežni pristup 8.6.2016.)
2. http://regent.qc.ca/assets/wincell_about.html
3. <http://www.gisgeo.dk/course/demoeng/Tutorial/Tutorial.htm>
4. <https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf>