Duljina vlakanaca juvenilnog drva hibrida Paulovnije

Baković, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:778892

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ

OBLIKOVANJE PROIZVODA OD DRVA

IVAN BAKOVIĆ

DULJINA VLAKANACA JUVENILNOG DRVA HIBRIDA PAULOVNIJE

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2020.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

DULJINA VLAKANACA JUVENILNOG DRVA HIBRIDA PAULOVNIJE

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Oblikovanje proizvoda od drva

Predmet: Metode istraživanja strukture drva

Ispitno povjerenstvo: 1.izv.prof.dr.sc Bogoslav Šefc

2. dr.sc. Iva Ištok

3. doc.dr.sc. Vjekoslav Živković

Student: Ivan Baković

JMBAG: 0068228260

Broj indeksa: 1031/18

Datum odobrenja teme: 17.04.2020.

Datum predaje rada: 21.09.2020.

Datum obrane rada: 25.09.2020.

Zagreb, rujan 2020.

Dokumentacijska kartica

Naslov	Duljina vlakanaca juvenilnog drva hibrida paulovnije
Title	Fiber lenght of Paulownia Hibryds juvenile wood
Autor	Ivan Baković
Adresa autora	Mokronoge bb, Tomislavgrad, Bosna i Hercegovina
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Izv.prof.dr.sc Bogoslav Šefc
Komentor	dr.sc. Iva Ištok
Godina objave	2020.
Obujam	27 stranica, 11 slika, 5 tablica
Ključne riječi	duljina vlakanaca; juvenilno drvo; paulovnija
Key words	fiber lenght; juvenile wood; Paulownia
Sažetak	Neusklađenost ponude i potražnje na tržištu drvnih proizvoda predstavlja veliki problem kako proizvođačima, tako i prerađivačima drvnih sirovina. Ovaj problem pokušava se riješiti sadnjom brzorastućih, genetski modificiranih vrsta drva. Jedan od važnijih predstavnika ove skupine je paulovnija (*Paulownia sp*.). Genetski poboljšani klonovi paulovnije uzgajaju se razne namjene a osnovne su proizvodnja drva za biomasu i proizvodnju pulpe i papira. Za odabir klonova pogodnih za pojedinu namjenu poželjno je poznavati anatomska svojstva drva koja su usko povezana uz njegova svojstva i kvalitetu.

	IZJAVA **O IZVORNOSTI RADA**	**OB ŠF 05 07**
		Revizija: 1
		Datum:28.6.2017.

„Izjavljujem da je moj *diplomski rad* izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam *koristio* drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

_____

vlastoručni potpis

Ivan Baković

U Zagrebu, *18.09.2020.*

Sadržaj

1. UVOD 1
1.1. Upotreba paulovnije 2
1.2. Svojstva drva paulovnije 3
1.3. Juvenilno drvo 5
1.4. Dosadašnja istraživanja anatomskih svojstava drva paulovnije 9
2. CILJ RADA 11
3. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA 12
4. MATERIJAL I METODE 14
4.1. Izrada macerata 14
4.2. Mjerenje duljine drvnih vlakanaca 15
4.3. Obrada rezultata istraživanja 16
5. REZULTATI I RASPRAVA 17
6. ZAKLJUČAK 23
LITERATURA 24
POPIS SLIKA 26
POPIS TABLICA 27

1. UVOD

Uzimajući u obzir rastući trend potrošnje drva kao sirovine, sve je veći interes za uzgojem brzorastućih vrsta na plantažama u kratkim ophodnjama, posebno na područjima s tlom koje je nezadovoljavajuće kvalitete u pogledu poljoprivredne proizvodnje (Popović i Radošević, 2011).

Jedan od glavnih predstavnika ove skupine je paulovnija (*Paulownia sp.).* Paulovnija uz svoj izrazito brz rast i proizvodnju biomase ima značajnu ulogu u ekologiji. Listovi paulovnije apsorbiraju do deset puta više ugljikovog dioksida od ostalih vrsta a korijen upija teške metale iz tla i tako obnavlja tlo.

Na temelju anatomije cvijeta i sjemena, paulovnija pripada porodici *Scrophulariaceae* koja uglavnom uključuje zeljaste vrste. Najvažnije vrste ovog roda su *P. albiphloea*, *P. australis*, *P. catalpifolia, P. elongata, P. fargesii, P. fortunei, P. kawakamii i P. tomentosa* (Icka i sur., 2016). To su brzorastuće vrste koje potječu iz Kine, s kratkim periodima ophodnje, što ih čini pogodnim za plantažni uzgoj, a sve s ciljem osiguravanja dovoljne količine sirovine za drvoprerađivačku industriju. One imaju male zahtjeve za uzgoj u pogledu kvalitete tla (Popović i Radošević, 2011).

Paulovnija je listopadno drvo i može doseći visinu od 20 - 30 m, a u prirodnim uvjetima i do 50 m, što je zabilježeno u Kini, njenom izvornom staništu. Prsni promjer joj može doseći 2 m. Stablo paulovnije ima sklonost formiranja velikog broja grana ako se uzgaja na otvorenom prostoru, dok u šumi ima sklonost oblikovanja ravnog debla. Kora paulovnije je smeđa do crna, glatka na mladom stablu, a s vremenom se postupno razvijaju uzdužne pukotine (Icka i sur., 2016). Većina vrsta izuzetno brzo raste te se komercijalno upotrebljivo drvo može proizvesti nakon 15 godina, dok se drvo manje kvalitete dobiva već nakon 6-7 godina. U prirodnim uvjetima tijekom 10 godina rasta paulovnija razvija deblo promjera 30 - 40 cm na prsnoj visini (1,3 m od razine zemlje), volumena od 0,3 - 0,5 m^3. Svako stablo paulovnije starosti od 5 do 7 godina može proizvesti 1 m^3 drva na površini s gustoćom od 2000 stabala/ha, dajući ukupnu proizvodnju od 330 t/ha. Na površinama zasađenim manjim brojem stabala po jedinici površine može se ostvariti proizvodnja od 150 t/ha (Akyldiz i Kol, 2010).

Stablo paulovnije se može uzgajati na različitim vrstama tla i podnosi širok raspon klimatskih uvjeta (H'ngi sur., 2016). Optimalni uvjeti za uzgoj paulovnije postižu se na visini od 200-1300 m nadmorske visine, s prosječnom godišnjom

temperaturom 15-23 ° C i godišnjim padalinama 1400-2800 mm. Paulovnija nije sklona napadu termita i gljiva uzročnika truleži (Icka i sur., 2016).

1.1. Upotreba paulovnije

Iskorištavanje biomase iz brzorastućih kultura poznato je širom svijeta. Među mnogim drvenastim i zeljastim kulturama brzog rasta, paulovnija se smatra „čarobnom“ zbog svog brzog prirasta i velike količine drvne mase proizvedene u kratkom vremenskom razdoblju (Icka i sur., 2016). Zbog brzog rasta i visoke koncentracije celuloze od 440 g celuloze/kg, procjenjuje se da je drvo paulovnije pogodno za upotrebu u industriji celuloze te kao kruto biogorivo. Cvijeće i lišće paulovnije dobar su izvor masti, šećera i bjelančevina za ishranu goveda, a također se mogu koristiti i za kompost kao zeleno gnojivo (Yadav i sur., 2013). Paulovnija ima visoki koeficijent fiksacije ugljika koji je potreban za brzi rast biomase. Stablo apsorbira oko 22 kg CO_2 i ispusti 6 kg O_2 godišnje, postigavši do sada pročišćavanje tisuće kubičnih metara zraka (Icka i sur., 2016). Prisutnost velikog korijenovog sustava povezanog s visokim vegetativnim rastom, uz vrlo brzu izmjenu hranjivih tvari, doprinosi korištenju ove vrste za fitoremedijaciju zemlje od teških metala (Icka i sur., 2016).

U Kini i nekim drugim azijskim zemljama drvo paulovnije koristi se za razne namjene poput proizvodnje namještaja, u graditeljstvu, za glazbene instrumente, u brodogradnji, u proizvodnji zrakoplova, kutija za pakiranje, lijesova, papira, furnirskih ploča i dr. Njegova izvorna kora korištena je u kineskoj biljnoj medicini kao sastavni lijek za zarazne bolesti poput gonoreje i erizipele (Akyldiz i Kol, 2010). Dobra rezonanca čini ga vrlo cijenjenim i traženim kod izrade glazbenih instrumenata (H’ngi sur., 2016).

1.2. Svojstva drva paulovnije

Paulovnija je prstenasto porozna, ponekad semi-prstenasto porozna vrsta drva s 3 do 5 velikih pora u nizu u ranom drvu i velikih do srednjih pora kasnog drva (https://www.wood-database.com/paulownia/). Bjeljika je sivobijela, često svijetlosmeđa, dok je srž crvenkastosmeđa ili jednolično svijetlosmeđa. Sirovo drvo je vrlo često neugodnog mirisa, dok suho drvo nema karakterističan miris (https://drvotehnika.info/clanci/tehnicka-svojstva-i-upotrebljivost-drveta-paulovnije-paulownia-).

Analize kemijskog sastava drva paulovnije pokazuju kako ono sadrži: 50,55% celuloze, 21,36% lignina, 131,6% hemiceluloze, 14,0% ekstraktiva i 0,49% pepela (Yadav i sur., 2013). Prisutnost lignina, hemiceluloza i celuloze u drvu paulovnije usporediva je s tvrdim vrstama drva (Icka i sur., 2016).

Gustoća apsolutno suhog drva iznosi 294 kg/m^3. Ovo drvo ima veliku poroznost – 80,4%, a točka zasićenosti vlakanaca iznosi 29%. Međutim, stabilnost dimenzija drva paulovnije je veća nego kod ostalih komercijalnih vrsta (https://drvotehnika.info/clanci/tehnicka-svojstva-i-upotrebljivost-drveta paulovnije-paulownia-). Radijalno utezanje drva paulovnije iznosi 2.4%, tangentno 3.9%, volumno 6.4%, a omjer tangentnog i radijalnog utezanja iznosi 1.6 (https://www.wood-database.com/paulownia/).

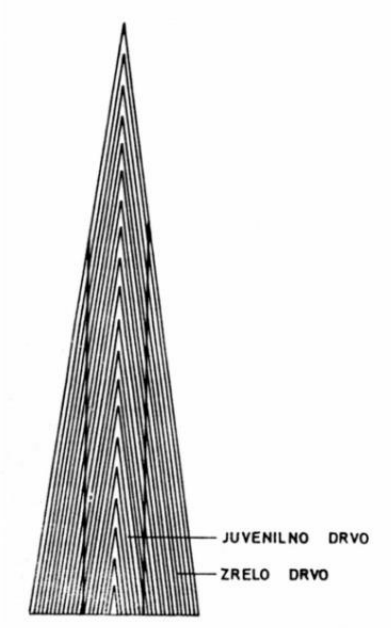
U proizvodnji drvne biomase količina energije koja se dobiva po jednom kilogramu ili metru kubnom drva jedan je od pokazatelja njegove kvalitete. U tom smislu drvo paulovnije je tzv. „mali proizvođač“ energije uzimajući u obzir metar kubni drvne biomase. Usporedbe radi, 1 m^3 paulovnije sadržaja vode 15% daje oko 1069 kWh toplinske energije, dok ista količina hrasta izgaranjem proizvodi skoro dva puta veću količinu energije – 2.363 kWh. Ovakvi rezultati posljedica su manje gustoće paulovnije, ali činjenica je da 1 kg bilo kojeg drva istog sadržaja vode daje približno istu količinu toplinske energije zato što je kemijski sastav svih vrsta približno isti (po kemijskoj strukturi i udjelu pojedinih kemijskih elemenata).

Što se tiče mehaničkih svojstava, drvo paulovnije je zahvaljujući svojoj maloj gustoći na dnu ljestvice po čvrstoći i tvrdoći u usporedbi s drugim komercijalnim vrstama kao što su hrast, bukva, smreka i topola. Čvrstoća na savijanje iznosi 44 N/mm^2, čvrstoća na tlak paralelno s vlakancima iznosi 26 N/mm^2, tvrdoća po Brinellu okomito na smjer vlakanca 9 N/mm^2, tvrdoća po Brinellu u smjeru vlakanaca 20

N/mm^2 (https://drvotehnika.info/clanci/tehnicka-svojstva-i-upotrebljivost-drveta-paulovnije-paulownia-). Prema dosadašnjim spoznajama, tehnička vrijednost nekog drva kao materijala je visoka, ako je njegova čvrstoća velika, a gustoća mala. To je konstatacija koja predstavlja osnovu u izboru konstrukcijskog materijala. Kao mjera tehničke kvalitete drva i njegove upotrebe u graditeljstvu služi koeficijent kvalitete. On se određuje kao odnos između čvrstoće na tlak paralelno s vlakancima (u kp/cm^2) i gustoće drva (pri 15% sadržaja vode pomnoženo sa 100). Koeficijent kvalitete drva paulovnije prosječno iznosi 8,8. Na osnovu ove vrijednosti, a prema Monnin-ovoj tablici o kvaliteti drva, drvo paulovnije bi se svrstalo u drvo dobre kvalitete (koeficijent veći od 8). Na osnovu svih ovih podataka može se zaključiti kako se drvo paulovnije ne može upotrijebiti u nekim zahtjevnijim konstrukcijama gdje je potrebna velika čvrstoća i otpornost. Pored ove činjenice, drugi rezultati pokazuju da se paulovnija brzo prirodno suši, bez vitoperenja i pucanja. Vrlo lako se obrađuje, boji i lakira. Dobrih je izolacijskih svojstava i otporna je na gljive uzročnike truleži (https://drvotehnika.info/clanci/tehnicka-svojstva-i-upotrebljivost-drveta-paulovnije-paulownia-).

1.3. Juvenilno drvo

Postoje tri ontogenetske faze razvoja svakog stabla; dob mladosti, zrelosti i starosti, a trajanje pojedine faze je genetski uvjetovano. Ontogenetski razvoj stabla uvjetovan je ontogenetskim razvojem kambija, koji proizvodi njegovo drvo. Kambij u prvim godinama svog djelovanja proizvodi juvenilno drvo koje predstavlja centralni valjak u deblu. Nakon toga slijedi faza proizvodnje zrelog ili adultnog drva koje okružuje juvenilno drvo i ima oblik šupljeg valjka (Slika 1). Samo kod vrlo starih stabala dolazi i do faze proizvodnje prezrelog drva (Trajković i Šefc, 2017).



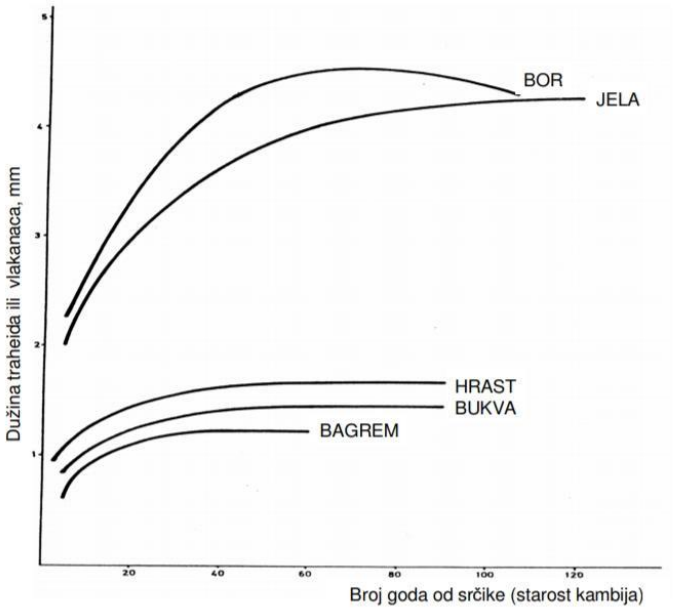
Slika 1. Skica radijalnog presjeka debla s označenim dijelovima juvenilnog i zrelog drva (Špoljarić, 1978).

Strukturu juvenilnog drva karakterizira značajna promjena morfoloških karakteristika drvnih stanica, od kojih je promjena dimenzija stanica drva najizraženija. Uz nju su usko vezane promjene u udjelu i rasporedu stanica u drvu te promjene u debljini, submikroskopskoj strukturi i kemizmu stijenki stanica drva. Unutar zrelog drva ovakve promjene ne postoje pa se zona u kojoj ove promjene prestaju ili se naglo smanjuju smatra graničnom zonom između juvenilnog i zrelog drva.

Vremensko razdoblje stvaranja juvenilnog drva ovisi o vrsti drva; kod četinjača ono može potrajati i do 60 godina, kod listača s difuznim rasporedom elemenata 50 godina, kod listača s etažnim rasporedom elemenata građe drva do 20 godina. Ekološki čimbenici u kojima stabla rastu imaju utjecaj na širinu zone juvenilnog drva. Stabla koja rastu u ekološki povoljnim uvjetima će uz visok visinski i debljinski prirast imati i visok udio juvenilnog drva (Trajković i Šefc, 2017).

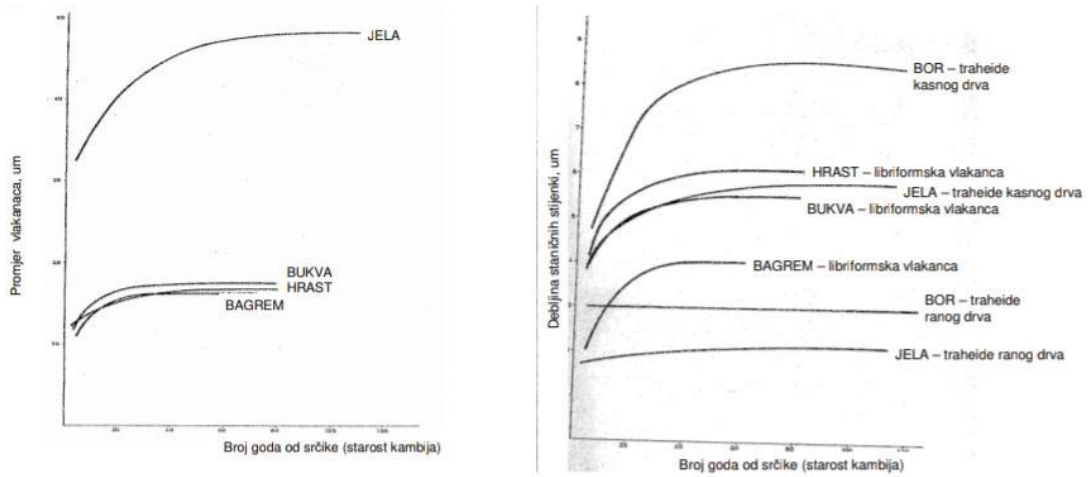
Karakteristike juvenilnog drva četinjača:

- Nagli porast dužine i promjera traheida od najmlađeg goda uz srčiku do zone zrelog drva gdje postaje konstantan (Slika 2). Traheide zrelog drva su 200 do 300% duže od traheida u prvim godovima juvenilnog drva.



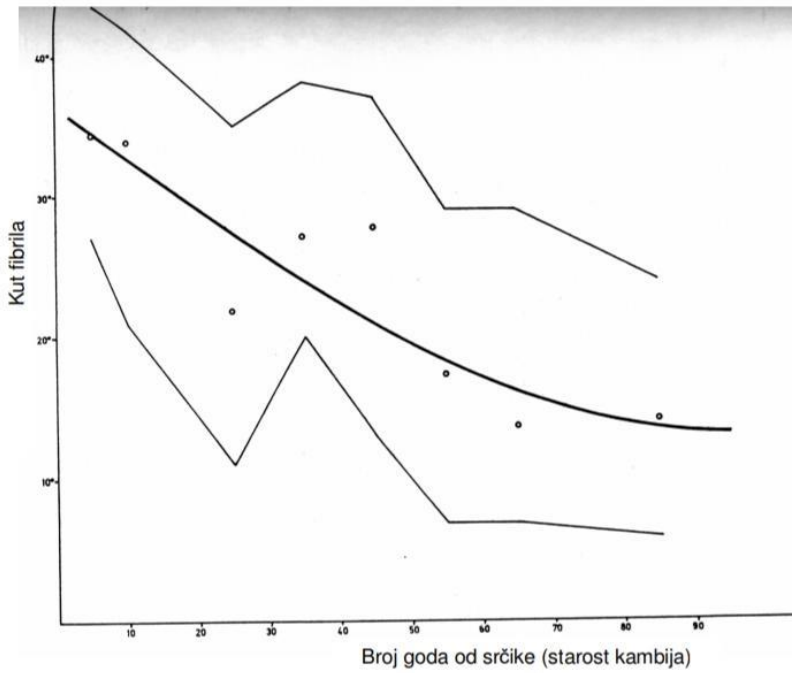
Slika 2. Promjena dužina traheida i vlakanaca u radijalnom smjeru od srčike prema kambiju u drvu debla nekih domaćih vrsta drveća (Petrić i Bađun, 1985).

- Rast debljine staničnih stijenki kasnog drva (stanične stijenke traheida kasnog drva su u zrelom drvu 80% deblje nego u prvim godovima uz srčiku).
- Debljina staničnih stijenki traheida ranog drva podjednaka je u juvenilnom i zrelom drvu (Slika 3).



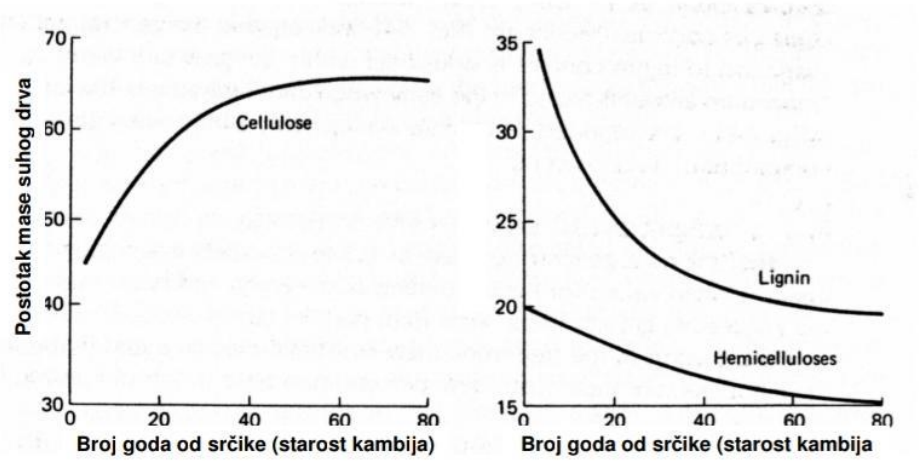
Slika 3. Promjeri (lijevo) i debljine stijenki (desno) traheida i vlakanaca od srčike prema kori (Petrić i Bađun, 1985).

- Kut uvijanja mikrofibrila srednjeg podsloja sekundarnog sloja staničnih stijenki traheida u juvenilnom drvu naglo opada od prvih godova uz srčiku do zone zrelog drva u kojoj ostaje konstantan (Slika 4). Kut uvijanja mikrofibrila kreće se od 55° u juvenilno drvu do 7° u zrelom drvu.



Slika 4. Kut uvijanja mikrofibrila u stijenkama traheida jele od srčike prema kori (Petrić i Bađun, 1985).

- Kemijski sastav između juvenilnog i zrelog drva također se razlikuje; od srčike prema zoni zrelog drva udio lignina opada, a udio celuloze raste (Slika 5).



Slika 5. Raspored kemijskih sastojaka u drvu četinjača od srčike prema kori (Panshin i deZeeuw, 1980).

- Udio ekstraktivnih tvari u srži jedričavih vrsta drva raste od srčike prema zoni zrelog drva, gdje ostaje približno konstantan (Trajković i Šefc, 2017).

Karakteristike juvenilnog drva listača:

- Karakteristike juvenilnog drva listača slične su karakteristikama juvenilnog drva četinjača ali su manje izražene
- Dužina vlakanaca raste od srčike prema zoni zrelog drva gdje ostaje konstantna. Dužina vlakanaca zrelog drva je za 100% duža od dužine vlakanaca juvenilnog drva.
- Rast debljine staničnih stijenki drvnih vlakanaca od srčike prema zoni zrelog drva. Stanične stijenke drvnih vlakanaca u zrelom drvu su do 50% deblje od stijenki vlakanaca prvih godova u juvenilnom drvu.
- Kut uvijanja mikrofibrila opada od srčike prema zoni zrelog drva. Kut uvijanja mikrofibrila kreće se od 28° u juvenilnom drvu do 10° u zrelom drvu.
- Promjer i dužina članaka traheja rastu od srčike do zone zrelog drva, gdje su konstantni.
- U prstenasto-poroznim vrstama raspored provodnih elemenata u prvim godovima juvenilnog drva nije tipičan, već postupno prelazi iz semi-prstenastoporoznog u pravilan prstenasto-porozan raspored.

- Od srčike prema zoni zrelog drva udio lignina opada, a udio celuloze raste (Trajković i Šefc, 2017).

Godovi juvenilnog drva listača i četinjača u pravilu su širi od godova u zrelom drvu. Širina godova obično opada od srčike prema kori.

Juvenilno drvo duž debla podjednake je strukture i širine, pa njegov udio u strukturi debla raste od panja prema vrhu debla. Gornji dijelovi debla izgrađeni su pretežno od juvenilnog drva (Trajković i Šefc, 2017).

1.4. Dosadašnja istraživanja anatomskih svojstava drva paulovnije

H'ng i sur. (2016) istraživali su novi hibrid zelene paulovnije (*Paulownia elongata X Paulownia fotunel i* tropska *Paulownia spp.*) star tri godine, visine 12 m i promjera 30 cm na prsnoj visini. U ovom istraživanju određivana su anatomska, fizička i mehanička svojstva drva, a dobiveni rezultati su uspoređeni s onima komercijalnih vrsta paulovnije. Utvrđena je prosječna duljina vlakanaca 0,905 mm, prosječni promjer vlakanaca 34,59 µm, promjer lumena 26,80 µm i debljina stanične stijenke 3,89 µm. Tri godine stara zelena paulovnija može se upotrebljavati za proizvodnju papira i kao masivno drvo za namještaj.

Vilotić i sur. (2015) istraživali su utjecaj staništa i prihrane na dimenzije drvnih vlakanaca. Istraživanje je provedeno na drvu dvogodišnje *Paulownia elongata SY Hu* s dva različita staništa: Obrenovac - Veliko polje i Ub – Pambukovica. Mjereno je 30 vlakanaca svakog od 3 uzorka koji su činili jednu skupinu, s tim da su po dva uzoraka iz svake skupine bila tretirana prihranom (gnojivom). Rezultati pokazuju značajne statističke razlike duljine vlakanaca između različitih staništa; srednja vrijednost duljine vlakanaca u Obrenovcu iznosila je 0,459 mm dok je u Pambukovici duljina vlakanaca bila znatno manja (0,371 mm). To odstupanje u srednjim vrijednostima duljine vlakanaca ukazuje kako staništa i njihova svojstva uvelike utječu na duljinu vlakanaca. Na temelju analize srednjih vrijednosti duljine vlakanaca u Obrenovcu može se zaključiti da je prosječna vrijednost duljine vlakanaca kontrolnog uzorka (0, 459 mm) veća od uzoraka tretiranih prehranom (0,441 i 0,409 mm), što ukazuje kako gnojidba nije utjecala na duljinu vlakanaca na ovom staništu. Upravo suprotno, u

Pambukovici je duljina vlakanaca kontrolnog uzorka (0,371 mm) manja od uzoraka tretiranih gnojivom (0,457 i 0,478 mm). Na temelju toga može se zaključiti da je gnojidba pozitivno utjecala na duljinu vlakanaca na ovom staništu. Nije utvrđena značajna statistička razlika u prosječnom promjeru vlakanaca na ispitivanim uzorcima.

Ates i sur. (2008) su ispitivali anatomske, morfološke i kemijske karakteristike drva *Paulownia elongata*. Za potrebe ovog istraživanja uzeto je drvo dvogodišnjeg hibrida *Paulownie elongata* s plantaže na zapadu Turske. Stabla su bila visine 6,0-7,5 m i prsnog promjera 27-33 cm. Glavni cilj ovog istraživanja bio je utvrditi pogodnost *Paulownia elongata* kao potencijalnog izvora lignoceluloznih vlakanaca za papir i kompozitne materijale. Iz ovog istraživanja mogu se izvući sljedeći zaključci: lignin, holoceluloza i celuloza u drvu paulovnije mogu se usporediti s tvrdim vrstama drva. *Paulownia elongata* ima značajno veću topivost u vodi, alkalijama i alkoholu-benzenu nego druge vrste drva, što je uzrokovalo niži prinos pulpe. Drvo paulovnije ima manji udio vlakanaca i veći udio parenhima. Vlakanca paulovnije imaju niži koeficijent elastičnosti. Iako se ova vlakana smatraju materijalima niske kvalitete, mogu se koristiti za proizvodnju papira ako se miješaju s dugim vlaknastim materijalima.

2. CILJ RADA

U Hrvatskoj su znanstvena istraživanja o svojstvima drva paulovnije u začetku. Anatomska svojstva drva su usko vezana uz njegovu kvalitetu. Cilj rada je izmjeriti duljine vlakanaca juvenilnog drva dva hibrida paulovnije; *Paulownia Bellissima* i *Paulownia Shan Tong.* Na osnovu dobivenih rezultata napravit će se usporedba duljine vlakanaca između pet stabala unutar hibrida i između dva hibrida. Također, napravit će se usporedba duljine vlakanaca istraživanih hibrida i nekih brzorastućih listača čije su vrijednosti duljine vlakanaca poznate iz literature. Na osnovu varijacije duljine vlakanaca cilj je doći do određenih zaključaka po pitanju kvalitete i upotrebe drva paulovnije. Rezultati će doprinijeti selekciji hibrida paulovnije po pitanju anatomskih svojstava i kvalitete.

3. PROBLEMATIKA ISTRAŽIVANJA

Drvo je proizvod metabolizma živog stabla, a uslijed fiziologije stabla i vanjskih utjecaja na njegov rast ono je svojstveno varijabilna materija. S obzirom na različitost vrsta drva, razlikuju se i anatomska, fizikalna, kemijska i druga svojstva. Varijacije svojstava drva su veće unutar pojedinog stabla nego između stabala iste vrste drva. Do varijacije između stabala iste vrste dolazi zbog nasljednih karakteristika, odnosno one su pod genetskom kontrolom. Struktura drva također varira tijekom rasta stabla. Kao najbolji primjer takve varijabilnosti možemo istaknuti širinu goda, koja nije ujednačena promatrajući u radijalnom smjeru, od srčike prema kori. Varijacije svojstava su prisutne do određene starosti, nakon čega dolazi do stagnacije i postaju konstantne, a ovaj prijelaz predstavlja granicu između juvenilnog i zrelog drva. Varijacije karakteristika drva unutar stabla temeljno su povezane sa starosti kambija i promjenama u njegovoj aktivnosti pod vanjskim utjecajima (Ištok, 2016).

Razlikujemo nekoliko vrsta varijacija svojstava drva unutar stabla; varijacije unutar goda, varijacije u radijalnom smjeru, varijacije u longitudinalnom smjeru. Kvaliteta drva za određenu namjenu određena je varijabilnošću jedne ili više karakteristika drvnih vlakanaca koje utječu na njegovu strukturu i fizikalna svojstva. Najizraženije promjene s anatomskog, kemijskog i mehaničkog gledišta zabilježene su kod drvnih vlakanaca.

Stabla koja se uzgajaju u kratkim rotacijama proizvode drvo s velikim udjelom juvenilnog drva, ali ono nije karakteristika isključivo brzorastućih vrsta. Proizvodnja juvenilnog drva povezana je sa starošću, što znači da je neovisno o brzini prirasta. Vrijeme formiranja zone juvenilnog drva nije ujednačeno kod različitih vrsta drva, a može varirati i između stabala unutar pojedine vrste drva. Juvenilno drvo karakteriziraju nagle promjene u strukturi drva.Glavne anatomske karakteristike koje se mijenjaju unutar te zone su duljina drvnih vlakanaca, promjer stanica, debljina stijenki stanica te volumni udjeli traheja i vlakanaca (Ištok, 2016).

Zbog varijabilnosti svojstava, upotrebljivost juvenilnog drva je ograničena. Juvenilno drvo predstavlja problem u proizvodnji papira i furnira. Papir napravljen iz juvenilnog drva ima manju čvrstoću na kidanje, ali veliku čvrstoću na vlak te navedena svojstva određuju vrstu papira za koju je takva sirovina pogodna. U

proizvodnji furnira, stabla s velikim udjelom juvenilnog drva otežano se režu. Iz navedenih razloga iskoristivost zone juvenilnog drva smatra se manjom u usporedbi sa zonom zrelog drva (Ištok, 2016).

Uvidom u literaturu uočljiv je značaj varijabilnosti anatomskih svojstava drva. Istraživanja u području anatomskih svojstava drva paulovnije u najvećoj mjeri se odnose na istraživanja dimenzija drvnih vlakanaca.

4. MATERIJAL I METODE

Na oglednom dobru Instituta za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu 19.05.2015. godine posađen je nasad paulovnije za proizvodnju biomase sadnjom sadnica starosti šest mjeseci dobivenih iz kulture tkiva. Sadnice su nabavljene u rasadniku "Florand" Hajdukovo. Posađena su dva hibrida paulovnije; *Paulownia tomentosa x fortunei* (Shan Tong) porijeklom iz Kine i *Paulownia elongata* x *fortunei* (Bellissima) porijeklom iz Bugarske.

Nasad je posađen u razmaku 2x3 m što je razmak koji se koristi prilikom sadnje nasada za proizvodnju biomase. Tijekom godine, izvršeno je jedno prihranjivanje mineralnim gnojivom KAN i zaliven je tri puta s po 20 litara vode po svakoj sadnici. U proljeće 2016. godine prije kretanja vegetacije sve sadnice su čepirane na 10-12 cm iznad zemlje. Naradne tri godine nasadom je upravljano kao s klasičnim nasadom topole. Svake godine uklanjani su zaperci i uklanjane su bočne grane do visine od 2 metra. U proljeće 2018. godine izvršeno je uzorkovanje posječenih stabala, a uzorci su poslani na analizu.

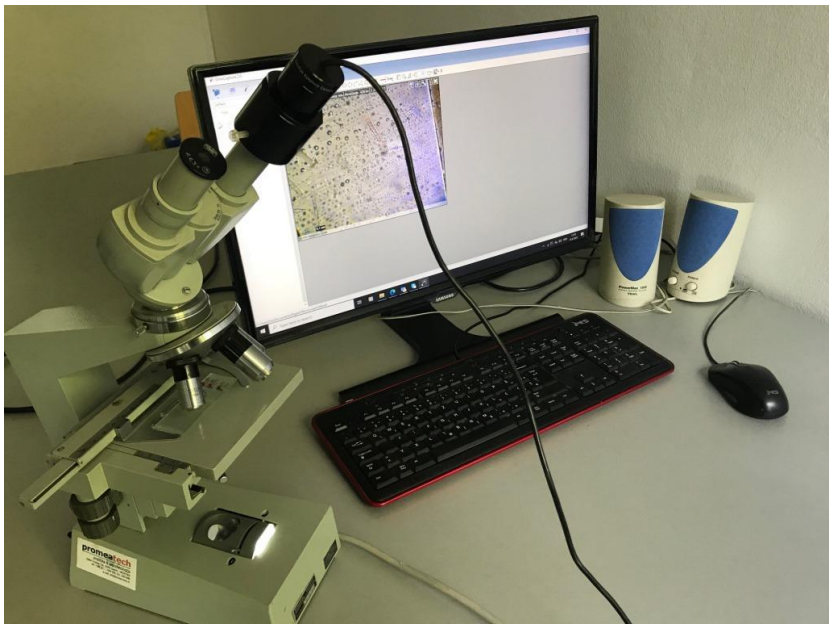
4.1. Izrada macerata

Prvi korak u cilju mjerenja duljine drvnih vlakanaca bio je izrada preparata maceriranog materijala. Postupak maceracije proveden je standardnim laboratorijskim postupkom prema Franklinu (1945).

Dobivene probe su isječene u iverje veličine šibice i stavljene u označene epruvete. Maceracija je provedena u Franklinovom reagensu (30%-tni vodikov peroksid i octena kiselina u omjeru 1:1) u sušioniku pri temperaturi 60°C kroz 48 sati. Nakon završetka maceracije, sadržaji epruveta su isprani pet puta u destiliranoj vodi i pet puta u etilnom alkoholu (96%). Nakon toga u epruvete je dodano bojilo astra-blue da djeluje deset minuta. Obojeni macerirani materijal prebačen je na predmetno staklo uz dodatno razvlaknjivanje i uklopljen u glicerin-želatinu.

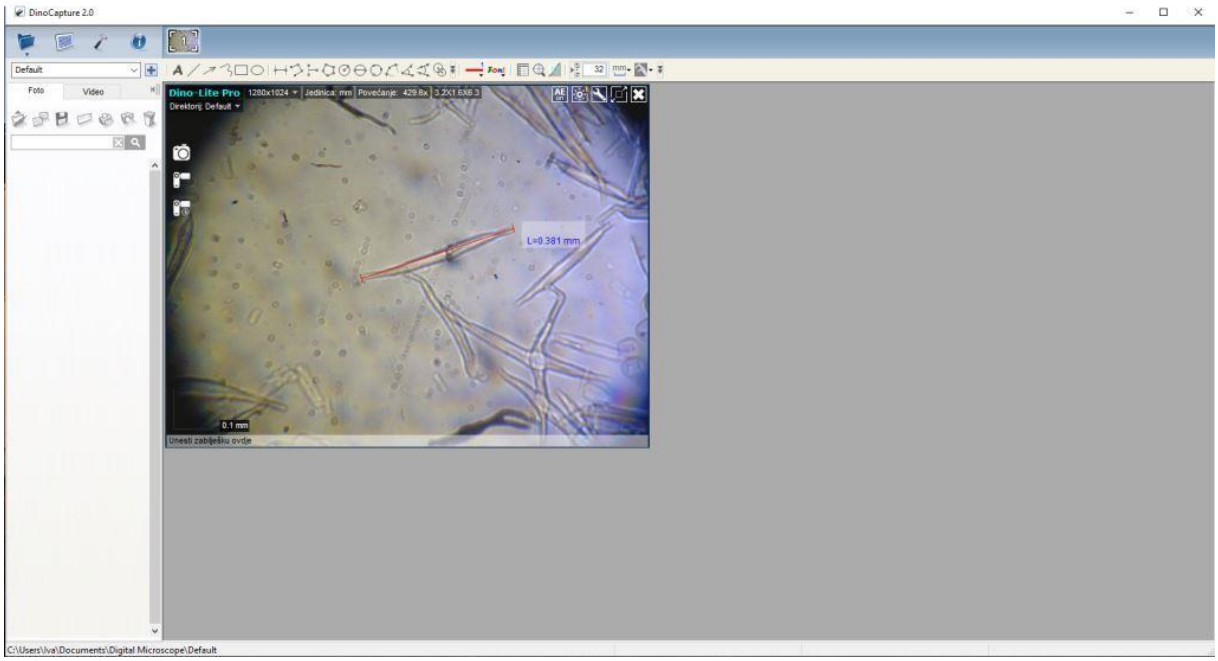
4.2. Mjerenje duljine drvnih vlakanaca

Mjerenje duljine drvnih vlakanaca provedeno je pomoću sustava sastavljenog od računala koje je spojeno sa svjetlosnim mikroskopom (Carl Zeiss Jena) pomoću digitalne kamere Dino-Lite i pripadajućeg računalnog programa DinoCapture 2.0. (Slika 6).



Slika 6. Radna stanica na kojoj je provedeno mjerenje duljine vlakanaca (Autor, 2020).

Prije samog početka mjerenja bilo je potrebno kalibrirati sustav. Unošenjem vrijednosti uvećanja mikroskopa i uz pomoć određene poznate udaljenosti koju smo dobili pomoću skale mikrometra, sustav je sam izračunao korekcijski faktor i bio je spreman za mjerenje. Mjerenje je provedeno na najmanjem povećanju objektiva (3,2x). Drvna vlakanca su mjerena na tzv. „živoj slici“ korištenjem opcije za udaljenost dvije točke linije (Slika 7.). Mjerenje je provedeno na 10 preparata od svakog hibrida (dva goda svakog od pet stabala), a na svakom preparatu je mjereno 30 cijelih i relativno ravnih drvnih vlakanaca.



Slika 7. Izmjereno drvno vlakance u programu Dino Capture 2.0. (Autor, 2020).

4.3. Obrada rezultata istraživanja

Podaci dobiveni mjerenjem duljine vlakanaca juvenilnog drva hibrida Bellissima i Shan Tong sortirani su u MS Excelu u baze za daljnju statističku obradu. Statistička obrada izvršena je u programskom paketu Statistica 10. Korišten je model analize varijance ponovljenih mjerenja. Statistička značajnost određena je p-vrijednošću. Ako je p-vrijednost manja ili jednaka 0,05, nul-hipoteza se odbacuje, a razlike se proglašavaju statistički značajnim. U suprotno navedenom (p>0,05), nul-hipoteza se ne odbacuje, a razlike nisu statistički značajne.

5. REZULTATI I RASPRAVA

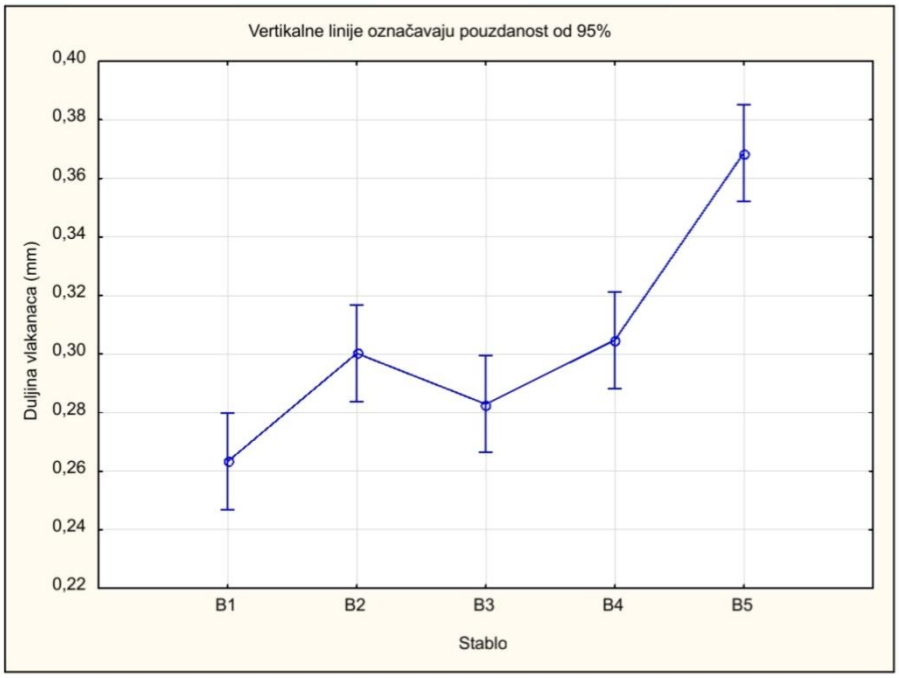
Rezultati istraživanja temelje se na aritmetičkoj sredini izmjerenih vrijednosti duljine vlakanaca drva hibrida Bellissima i Shan Tong. U cilju istraživanja varijacije duljine vlakanaca juvenilnog drva, dobiveni podaci prikazani su grafički, uz pripadajuću deskriptivnu statistiku i rezultate analize varijance ponovljenih mjerenja. Također je napravljena i usporedba s dosadašnjim istraživanjima duljine vlakanaca brzorastućih listača iz literature.

Tablica 1. Statističke vrijednosti duljine vlakanaca juvenilnog drva hibrida Bellissima i Shan Tong.

Varijabla	Broj mjerenja	Godovi (udaljenost od srčike)			
		1		2	
		Arit.sr.	St. dev.	Arit.sr.	St. dev.
Ukupno	600	0,343	0,088	0,304	0,070
Bellissima	300	0,330	0,094	0,278	0,056
Shan Tong	300	0,356	0,082	0,329	0,084

Tablica 2. Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja duljine vlakanaca juvenilnog drva pet stabala hibrida Bellissima.

Izvor varijabilnosti	Suma kvadrata	Broj stupnjeva slobode	Varijanca	F	p
Stablo	0.37886	4	0.09472	22.610	0.000000
Pogreška	0.60741	145	0.00419		

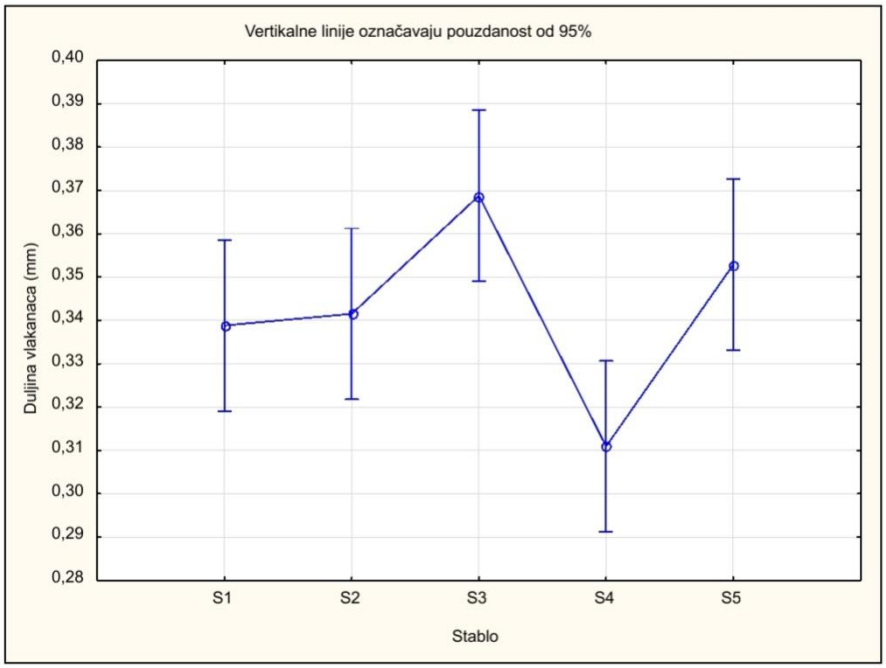


Slika 8. Duljina vlakanaca juvenilnog drva pet stabala hibrida Bellissima.

Razlika u duljini drvnih vlakanaca juvenilnog drva pet stabala hibrida Bellissima je statistički vrlo značajna (Tablica 2.), a postotno između najmanje i najveće vrijednosti stabala iznosi čak 27%. Najkraća drvna vlakanca ima stablo B1, pri čemu je aritmetička sredina duljine drvnih vlakanaca 0,263 mm, a najdulja stablo B5 s aritmetičkom sredinom 0,369 mm (Slika 8.).

Tablica 3. Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja duljine vlakanaca juvenilnog drva pet stabala hibrida Shan Tong.

Izvor varijabilnosti	Suma kvadrata	Broj stupnjeva slobode	Varijanca	F	p
Stablo	0.10850	4	0.02713	4.537	0.001757
Pogreška	0.86701	145	0.00598		

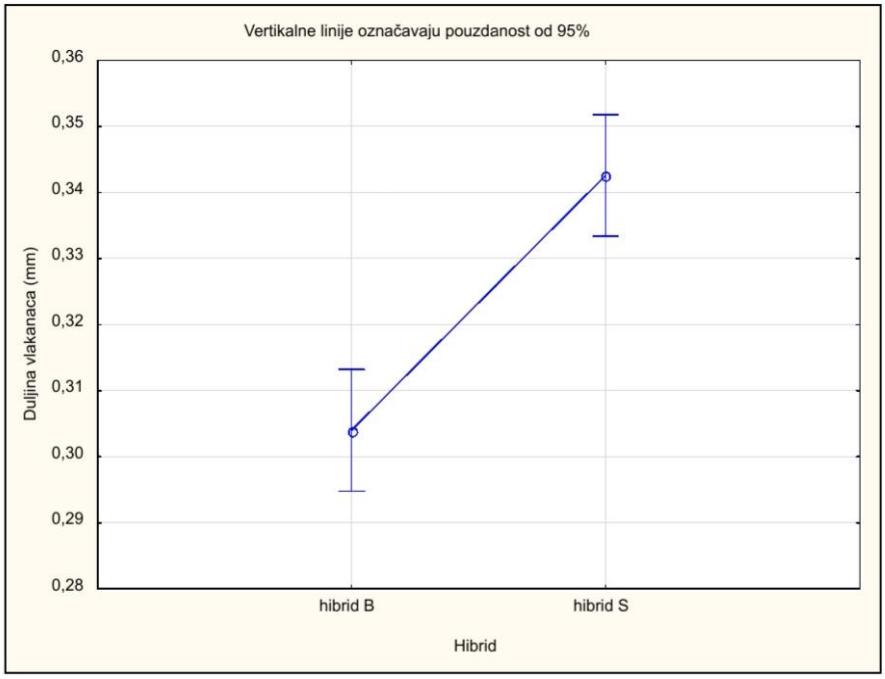


Slika 9. Duljina vlakanaca juvenilnog drva pet stabala hibrida Shan Tong.

Duljina drvnih vlakanaca juvenilnog drva pet stabala hibrida Shan Tong se razlikuje. Najkraća drvna vlakanca ima stablo S4, pri čemu je aritmetička sredina duljine drvnih vlakanaca 0,311 mm, a najdulja stablo S3 s aritmetičkom sredinom 0,369 mm (Slika 9.). Analiza varijance ponovljenih mjerenja potvrđuje da je ta razlika statistički vrlo značajna, dok ona u postotku iznosi 15 % (Tablica 3).

Tablica 4. Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja duljine vlakanaca juvenilnog drva hibrida Bellissima i Shan Tong.

Izvor varijabilnosti	Suma kvadrata	Broj stupnjeva slobode	Varijanca	F	p
Hibrid	0.22349	1	0.22349	33.949	0.000000
Pogreška	1.96179	298	0.00658		

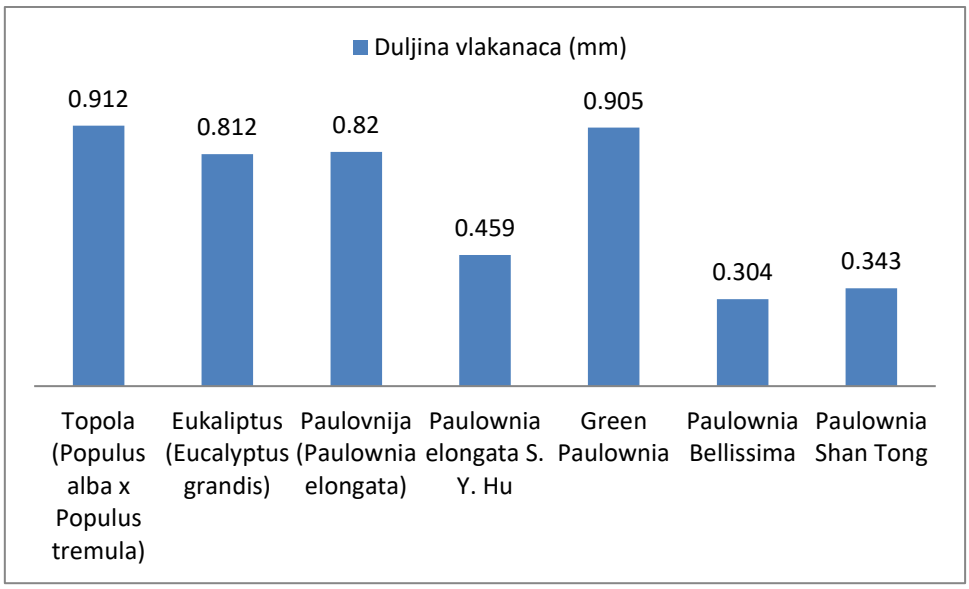


Slika 10. Duljina vlakanaca juvenilnog drva hibrida Bellissima i Shan Tong.

Razlika u duljini drvnih vlakanaca juvenilnog drva između hibrida Bellissima i Shan Tong je statistički vrlo značajna (Tablica 4), a u postotku iznosi 11 %. Hibrid Bellissima ima kraća drvna vlakanca s aritmetičkom sredinom 0,304 mm, dok je aritmetička sredina duljine vlakanaca hibrida Shan Tong nešto veća i iznosi 0,343 mm.

Tablica 5. Usporedba duljine vlakanaca drva topole, eukaliptusa i nekih vrsta paulovnije.

Izvor	Vrsta drva	Starost (g)	Duljina vlakanaca (mm)
Semen i sur. (2001)	Topola (*Populus alba x Populus tremula*)	4	0,912
Bhat i sur. (1990)	Eukaliptus (*Eucalyptus grandis*)	3	0,812
Ates i sur. (2008)	Paulovnija (*Paulownia elongata*)	2	0,820
Vilotić i sur. (2013)	*Paulownia elongata S. Y. Hu*	2	0,459
H'ng i sur. (2016)	*Green Paulownia*	3	0,905
Autor (2020)	*Paulownia Bellissima*	3	0,304
Autor (2020)	*Paulownia Shan Tong*	3	0,343



Slika 11. Grafički prikaz usporedbe duljine vlakanaca

Ako usporedimo duljine vlakanaca klonova Bellissima i Shan Tong s drvom topole, eukaliptusa i drvom nekih vrsta i klonova paulovnije možemo primijetiti da su

dobivene vrijednosti duljine vlakanaca iz ovog istraživanja relativno male u odnosu na podatke iz literature. Duljina vlakanaca topole je najveća, iznosi 0,912 mm i gotovo je tri puta veća od izmjerenih vrijednosti hibrida paulovnije. U tablici se ističu „zelena“ paulovnija i paulovnija elongata koje imaju poprilično duža vlakanca od ostalih klonova paulovnije (0,905 i 0,820 mm), čak veća i od eukaliptusa (0,812 mm).

6. ZAKLJUČAK

Iz rezultata istraživanja duljine vlakanaca juvenilnog drva hibrida paulovnije možemo zaključiti da postoje značajne varijacije duljine drvnih vlakanaca. Razlika u duljini vlakanaca juvenilnog drva između hibrida Bellissima i Shan Tong je statistički vrlo značajna. Hibrid Shan Tong ima duža drvna vlakanca od hibrida Bellissima. Razlike su također uočljive i statistički značajne unutar pojedinog hibrida, a posebno unutar hibrida Bellissima. Također, velike su razlike u duljinama vlakanaca u usporedbi s brzorastućim listačama kao što su topola i eukaliptus te neke vrste i hibridi paulovnije.

Iz navedenog možemo zaključiti da prilikom sadnje paulovnije moramo obratiti pozornost na odabir vrste ili hibrida i njihova anatomska svojstva. Anatomska svojstva drva su usko povezana s njegovom kvalitetom i diktiraju nam u koje svrhe dobivenu drvnu sirovinu možemo koristiti.

LITERATURA

1. Akyildiz, M. H. i Kol, H. S. (2010): Some technological properties and uses of paulownia (Paulownia tomentosa Steud.) wood. Journal of Environmental Biology Triveni Enterprises, Lucknow (India).
2. Ates, S.; Yonghao N.; Akgul, M.; Tozluoglu, A. (2008): Characterization and evaluation of Paulownia elongota as a raw material for paper production. African Journal of Biotechnology Vol. 7 (22), pp. 4153-4158.
3. Bhat, K. M.; Bhat, K. V.; Dhamodaran, T. K. (1990): Wood density and fibre length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. Division of Wood Science, Kerala Forest Research Institute, Peechi 680, Vol.22 No.1 pp.54-61 ref.19.
4. Franklin, G.L. (1945): Preparation of thin-wood sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. Nature 155, 51.
5. H'ng, P. S. ; Li, K. L.; Cheng, Z. Z.;Tang, C. H.; Wong, Y. S.; Foo, S. L.; Aw, T. H.; Wan, K. F. (2016): Anatomical features, fiber morphological, physical and mechanical properties of three years old new hybrid paulownia: Green Paulownia, Research Journal of Forestry, ISSN 1819-3439.
6. Icka, P.; Damo, R.; Icka, E. (2016): Paulownia tomentosa, a fast growing timber, 10. 10.1515/agr-2016-0003.
7. Ištok, I. (2016): Anatomska svojstva juvenilnog drva bijele topole (Populus alba L.) uz rijeku Dravu. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.
8. Panshin, A.J. i de Zeeuw, C. (1980): The text-book of wood technology, vol.I. Structure, identification, defects, and uses of commercial woods of the United States and Canada. McGraw - Hill, New York.
9. Petrić, B. i Bađun, S. (1985): Strukturne karakteristike i svojstva juvenilnog drva, Bilten ZIDI, 13 (6): 91-113.
10. Popović, J. i Radošević, G. (2011): Paulownia elongata S. Y. Hu - Anatomical and Chemical Properties of Wood Fibers. Prerada drveta, 9(34-35): 15-22
11. Semen, E.; Kuo, M.; Su, Y.; Hall, R. B.; Stokke, D. D. (2001): Physical Properties of Kraft Pulp from Four-YearOld Aspen Hybrids and Crosses. Forestry Publications. 20.
12. Špoljarić, Z. (1978): Anatomija drva (struktura i rast drveta), skripta, Zajedn. odgoja i usmjer.obrazov. šum. i drv. ind. Hrvatske, Zagreb.

13. Trajković, J. ; Šefc, B. (2017): Anatomija drva-Skripta za studente sveučilišnog preddiplomskog studija Drvne tehnologije Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.
14. Todorović, N., Tehnička svojstva i upotrebljivost drveta paulovnije (Paulownia). Drvotehnika.info.
URL:(https://drvotehnika.info/clanci/tehnicka-svojstva-i-upotrebljivost-drveta-paulovnije-paulownia-)
(12.9.2020.)
15. The Wood Database
URL: (https://www.wood-database.com/paulownia/)
(12.9.2020.)
16. Vilotić, D.; Popović, J.; Mitrović, S.; Šijačić-Nikolić, M.; Ocokoljić, M.; Novović, J.; Veselinović, M. (2013): Dimensions of Mechanical Fibres in Paulownia elongata S. Y. Hu Wood from Different Habitats, *Drvna industrija, 66* (3), 229-234.
17. Yadav, N. K.; Brajesh, N. V.; Kyle, H.; Jennifer, F. L.; Whitley, M. S.; Sadanand, A. D.; Nirmal, J. (2013): A Review of Paulownia Biotechnology: A Short Rotation, Fast Growing Multipurpose Bioenergy Tree" American Journal of Plant Sciences, 2013, 4, 2070-2082.

POPIS SLIKA

Slika 1. Skica radijalnog presjeka debla s označenim dijelovima juvenilnog i zrelog drva (Špoljarić, 1978).
Slika 2. Promjena dužina traheida i vlakanaca u radijalnom smjeru od srčike prema kambiju u drvu debla nekih domaćih vrsta drveća (Petrić i Bađun, 1985).
Slika 3. Promjeri (lijevo) i debljine stijenki (desno) traheida i vlakanaca od srčike prema kori (Petrić i Bađun, 1985).
Slika 4. Kut uvijanja mikrofibrila u stijenkama traheida jele od srčike prema kori (Petrić i Bađun, 1985).
Slika 5. Raspored kemijskih sastojaka u drvu četinjača od srčike prema kori (Panshin i deZeeuw, 1980).
Slika 6. Radna stanica na kojoj je provedeno mjerenje duljine vlakanaca (Autor, 2020).
Slika 7. Izmjereno drvno vlakance u programu Dino Capture 2.0. (Autor, 2020).
Slika 8. Duljina vlakanaca juvenilnog drva pet stabala hibrida Bellissima.
Slika 9. Duljina vlakanaca juvenilnog drva pet stabala hibrida Shan Tong.
Slika 10. Duljina vlakanaca juvenilnog drva hibrida Bellissima i Shan Tong.
Slika 11. Grafički prikaz usporedbe duljine vlakanaca.

POPIS TABLICA

Tablica 1. Statističke vrijednosti duljine vlakanaca juvenilnog drva hibrida Bellissima i Shan Tong.

Tablica 2. Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja duljine vlakanaca juvenilnog drva pet stabala hibrida Bellissima.

Tablica 3. Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja duljine vlakanaca juvenilnog drva pet stabala hibrida Shan Tong.

Tablica 4. Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja duljine vlakanaca juvenilnog drva hibrida Bellissima i Shan Tong.

Tablica 5. Uspordba duljine vlakanaca drva topole, eukaliptusa i nekih vrsta paulovnije.