Drvo paulovnije i njeni klonovi

Kučinić, Marko

Undergraduate thesis / Završni 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:108:406470

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ
DRVNA TEHOLOGIJA

MARKO KUČINIĆ

DRVO PAULOVNIJE I NJENI KLONOVI

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, RUJAN, 2020.

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

AUTOR:	Marko Kučinić 04.06.1997 ,Zagreb 00682295551
NASLOV:	Drvo paulovnije i njeni klonovi
PREDMET:	Tehnička svojstva drva 2
MENTOR:	doc.dr.sc. Tomislav Sedlar
IZRADU RADA JE POMOGAO:	Branimir Jambreković, mag.ing.techn.lign.
RAD JE IZRAĐEN:	Sveučilište u Zagrebu- Šumarski fakultet Zavod za znanost o drvu
AKAD. GOD:	2019/20
DATUM OBRANE:	11.09.2020
RAD SADRŽI:	Stranica: 28 Slika: 12 Tablica: 7 Navoda literature: 16

SAŽETAK:

Paulovnija i njezini klonovi pojavljuju se u sve većem broju na inozemnom i domaćem tržištu, u obliku sadnica, biomase ili trupaca. Sadnja plantaža paulovnije je u velikom rastu kako u Europi tako i u Republici Hrvatskoj, no unatoč tomu veliki broj uzgajivača ne zna u koju svrhu se to stablo sadi, niti gdje će svoj proizvod plasirati. Uglavnom se drvo paulovnije koristi za proizvodnju drvnih vlakana i biomase. Radi svojeg brzog rasta tj. brze obnove drvne sirovine postoji interes da se koristi i u proizvodnji ploča, namještaja ili nekih drugih finalnih proizvoda u drvnoj industriji. Na taj način bi se smanjila cijena drvne sirovine te omogućila veća konkurentnost hrvatskih tvrtki na tržištu. Mogućnost implementacije paulovnije u finalne proizvode od drva ovisi o njezinim tehničkim i tehnološkim svojstvima, zahtjevima tijekom uzgoja i utjecaju na okoliš. Postavlja se pitanje isplativosti sadnje paulovnije u usporedbi s nekim brzorastućim domaćim vrstama o čijim svojstvima i uzgoju se zna mnogo više. Zbog svega navedenog postoji potreba za procjenom kvalitete drva paulovnije i njenog potencijala u hrvatskom šumarstvu i drvnoj industriji.

Ključne riječi: paulovnija, plantažna sadnja, brzorastuće vrste, kvaliteta drva

SUMMARY:

Paulownia and its clones are present in domestic and foreign markets for plantations, biomass, and trunks. Plantation breeding of paulownia is increasing in Europe and Croatia, but what so ever a large number of plantation owners don't know the purpose of planted trees or the market intended for wood sale. Paulownia wood is mainly used for wood fibers and biomass production. Because of its fast-growing capabilities and fast production of wood material, there is an interest in use for the manufacturing of boards, furniture and other final products in the wood industry. This would reduce the price of wood material and allow better competitiveness of Croatian companies on the market. The possibility of implementation of paulownia into final wood products depends on its technical and technological properties, growing requirements and impact on the environment. There are questions about the profitability of planting paulownia as opposed to native fast-growing wood species with known properties and growing needs we know much more. Due to all mentioned there is a need for the assessment of the quality of paulownia wood and its potential in the Croatian forestry and wood industry.

Keywords: paulownia, plantation planting, fast-growing species, wood quality

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

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

_____

vlastoručni potpis

Marko Kučinić

U Zagrebu, *11.rujna.2020*

Sadržaj

1. UVOD 6

2. HIPOTEZA RADA 8

3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA 9

3.2. Uzgoj paulovnije i njenih klonova 9

3.3. Svojstva paulovnije i njezinih klonova 11

3.3.1. Mehanička svojstva 11

3.3.2. Kemijska svojstva 13

3.3.3. Anatomska svojstva 14

3.4. Uporaba drva paulovnije i njenih klonova 15

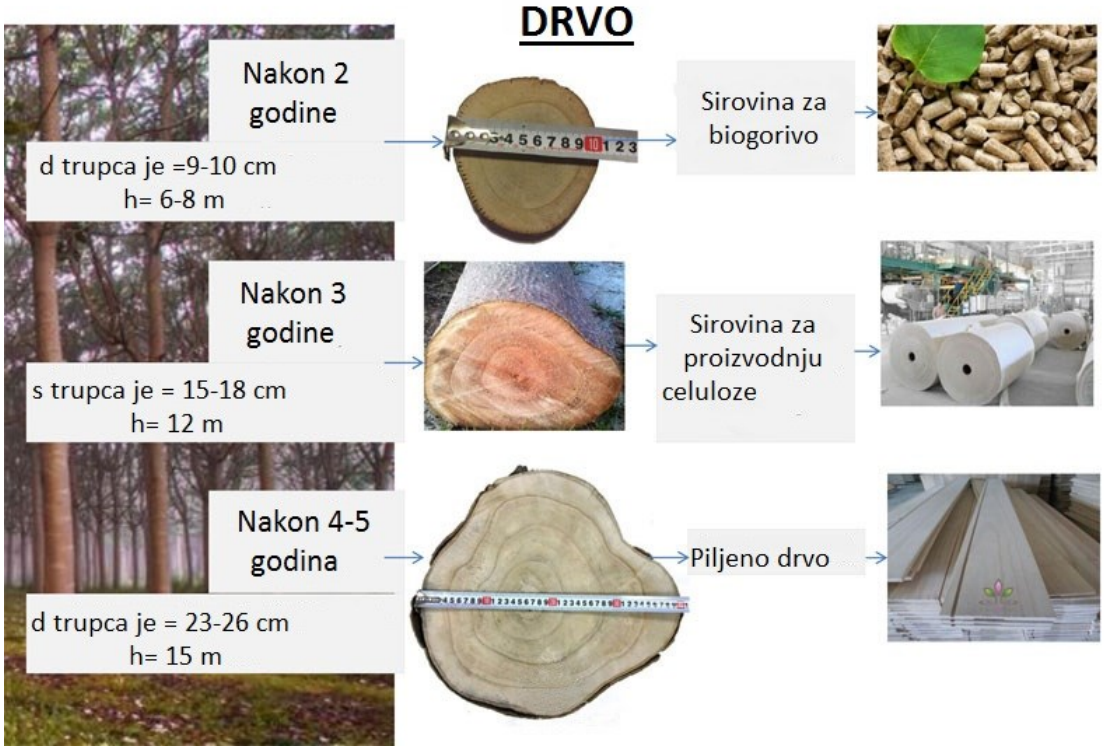
4. RASPRAVA 19

5. ZAKLJUČAK 25

6. POPIS LITERATURE 27

1. UVOD

U današnje vrijeme sve je veća potreba za drvnom sirovinom. Dio te potrebe pokušava se zadovoljiti sadnjom brzorastućih vrsta drva. Brzorastućim vrstama drva smatraju se one vrste drva koje u kratkom vremenskom razdoblju postižu optimalni promjer tj. imaju ekstremno brzi prirast. U te vrste spada i *Paulownia sp.*, koja je izrazito brzog rasta (ophodnja od 5 do 10 godina) (Sedlar i sur., 2020). Paulovnija potječe iz jugoistočne Azije, odnosno s prostora Kine i Japana. U normalnim uvjetima nakon 10 godina stablo Paulovnije dostiže prsni promjer od 30 - 40 cm i volumen od 0,3 – 0,5 m^3 (Zhao-Hua i sur., 1986). Takve vrste se uglavnom koriste za proizvodnju drvnih vlakana i biomase radi velike potrebe za sirovinom koja se može ostvariti kratkom ophodnjom stabala. Paulovnija je karakteristična radi vrlo brzog rasta u juvenilnoj fazi rasta. Vertikalni rast je do 4 m tijekom druge godine, a unutar istog vremenskog perioda rast u promjeru je oko 5 – 7 cm (Vilotić i sur., 2013).



Slika 1. Prikaz rasta paulovnije u određenim vremenskim razdobljima (Izvor: http://eco-investments.ru)

U Europi su prisutni i klonovi paulovnije koji se plantažno sade i u Republici Hrvatskoj. Ti klonovi se uglavnom koriste za proizvodnju drvnih vlakana i biomase

(slika 1.). Neki od tih klonova su: Shan Tong (*Paulownia fortunei* × *Paulownia tomentosa*), 9501 ((*Paulownia fortunei* × *Paulownia elongata*) × (*Paulownia fortunei* × *Paulownia tomentosa*)), BELLISSIA (*Paulownia elongata hybrid*, PAULEMIA (*Paulownia elongata* × *Paulownia fortunei* × *Paulownia kawakamii*), Pao Tong Z07, OXI i dr. Zbog brzog rasta, paulovnija se sve više pokušava implementirati kao materijal za izradu namještaja, drvnih ploča, instrumenata, drvnih konstrukcija i slično. Paulovnija se koristi u proizvodnji stolova i stolica (Zhao-Hua i sur., 1986). Time se želi postići manja cijena ulazne sirovine te omogućiti konkurentnost tvrtki. Općenito vrste drva koje imaju veliki godišnji debljinski prirast, imaju manju gustoću te lošija tj. nepovoljnija tehnička svojstva od vrsta koje imaju manji prirast kao neke domaće vrste drva, npr. *Populus alba* (vrsta drva s manjom gustoćom 0,42 g/cm^3) i *Quercus robur* (vrsta drva većom gustoćom 0,65 g/cm^3). Osim lošijih fizičkih i mehaničkih svojstava upitna je i potreba klonova paulovnije za mineralnim tvarima i vodom tijekom uzgoja te utjecaj njezina uzgoja na tlo i okoliš. Preciznije, koliki su zahtjevi paulovnije te potrebna ulaganja u njen uzgoj, a da bi se ti zahtjevi postigli s rezultatom drva optimalnih svojstva za određene potrebe. Stoga se moraju razmotriti prednosti i mane uzgoja paulovnije i njenih klonova u usporedbi s nekim domaćim vrstama drva. Svojstva tih vrsta drva su uglavnom poznata, kao i zahtjevi za njihov uzgoj. Potrebno je procijeniti kvalitetu i potencijal drva paulovnije u šumarstvu i drvnoj industriji.

2. HIPOTEZA RADA

- drvo paulovnije i njeni klonovi ne predstavljaju prijetnju hrvatskom eko sustavu te ne postoje veliki zahtjevi za uzgoj istih
- drvo paulovnije i njeni klonovi rezistentni su na napade insekata i gljiva
- drvo paulovnije i njeni klonovi pogodni su za proizvodnju drvnih vlakana i biomase
- drvo paulovnije i njeni klonovi svojim tehničkim i tehnološkim svojstvima pogodni su za proizvodnju finalnih proizvoda

3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

3.2. Uzgoj paulovnije i njenih klonova

Paulovnija se naziva i kinesko carsko drvo, princezino drvo ili Kiri drvo (Zhao-hua i sur., 1986). Ostatku svijeta postala je zanimljiva za uzgoj radi iznimno brzog rasta. Većina vrsta paulovnije mogu se komercijalno koristiti već nakon 15 godina, a sirovina niže kvalitete već nakon 6 do 7 godina (Ates i sur., 2008). Zbog brzog rasta dovodi se u pitanje njen utjecaj na okoliš jer ima velike zahtjeve za vodom i hranjivim tvarima. Paulovnija je vrlo agresivna vrsta koja se brzo rasprostranjuje po prirodnim staništima uključujući šume, obalna područja i strme krševe (Remaley, 2005). Iz tog ra zloga postaje veliki problem domicijalnom staništu, jer nakon sadnje paulovnije postoji mogućnost problema s iskorijevanjem iste. Nakon sječe, potrebno je cijeli korijenov sustav u potpunosti odstraniti jer dijelovi mogu proklijati (Remaley, 2005). Paulovnija također ima vrlo velike listove te tako stvara sjenu drugim biljkama, a na taj način „krade“ svjetlost i potiče svoj rast (Slika 2.). Listovi mogu doseći duljinu od 15-30 cm i širinu od 10-12 cm (Icka i sur., 2016).

Slika 2. Mjerenje lista klona paulovnije
(Izvor: https://www.pinterest.com)

Paulovnija ima velike zahtjeve za vodom, naročito u toplim mjesecima. Brzo raste u periodu od lipnja do rujna. U tom je periodu oko 65% godišnjih padalina što je u skladu s periodom rasta vrste (Zhao-Hua i sur., 1986). Iz tog se razloga prilikom sadnje paulovnije treba postaviti sustav za navodnjavanje koji bi osigurao potrebnu količinu vode (30-40 litara unutar 1-2 tjedna, po biljci) (Slika 3.). Sustav navodnjavanja prskalicama koji je primijenjen u pokusu rezultirao je porastom broja listova paulovnije i njihove površine, što je rezultiralo povećanjem godišnjeg prirasta (Ptach i sur., 2018). Nakon nekoliko godina sustav navodnjavanja više nije potreban jer stablo postaje otpornije zbog razvijenog korijenovog sustava te zahtijeva vrlo malo održavanja (El-Showk S. i El-Showk N., 2003).

Slika 3. Navodnjavanje sadnice paulovnije
(Izvor: https://www.kalliergeia.com)

Pozitivan utjecaj je veća adsorpcija CO_2 iz atmosfere tijekom razdoblja rasta. U usporedbi s drugim vrstama, zbog brzog rasta tj. velikih listova, stablo apsorbira oko 22 kg CO_2 i ispusti 6 kg O_2 u jednoj godini (Icka i sur., 2016). To uvelike pridonosi čišćenju zraka u okolini u kojoj raste.

3.3. Svojstva paulovnije i njezinih klonova

U Aziji je prisutno nekoliko vrsta paulovnije koje se razlikuju u određenim svojstvima. Neke vrste bolje rastu na glinenoj zemlji dok neke na pješčanim. Na isključivo glinenoj zemlji najbolje rastu *P. fortunei*, *P. tomentosa*, *P. albiphloea*, dok je rast *P. elongate* inferioran (Zhao-Hua i sur., 1986). Jedan od razloga stvaranja klonova je i njihova prilagodba klimatskim uvjetima i tlu, odnosno načinu uzgoja što direktno utječe na svojstva drva.

3.3.1. Mehanička svojstva

Jedno od najznačajnijih svojstava paulovnije je gustoća drva. Mnogi autori ju uspoređuju iako se gustoća razlikuje s obzirom na sadržaj vode i vrstu paulovnije. Veliku važnost ima i utjecaj lokaliteta te ostali parametri koji utječu na rast stabla i direktno na svojstva drva. Volumno utezanje iranske paulovnije (*P. fortunei*) je manje od *P. tomentosa, P. elongata* i *P. fortunei*, dok je gustoća umjetno sušenog drva manja od gustoće drva *P. tomentose* koja raste u Turskoj i veća od *P. elongate* i *P. fortunei* iz Kine (Kiaei, 2013). Gustoća uzoraka je određena kao masa osušenog uzorka i volumena na 12% sadržaja vode u drvu (podaci iznose 350 kg/m^3) (Kamperidou i sur., 2018). Gustoća umjetno sušenog drva (sadržaj vode 15%) je 260–330 kg/m^3 (Zhao-Hua i sur., 1986). Raspon gustoće umjetno sušenog drva je 228-297 kg/m^3 dok je prirodno sušenog na 12% sadržaja vode 249-335 kg/m^3 (Kiaei, 2013). Klon paulovnije in Vitro 112 tako prirodno sušen na 12% sadržaja vode ima gustoću od 231.6 kg/ m^3 .Gustoća prirodno sušenog drva klona in Vitro 112 je više od 20% manja od gustoće drva *Paulownia tomentose* (Koman i Feher, 2020). Iz prikazanih podataka može se zaključiti da su paulovnija i njeni klonovi prosječno manje mase u usporedbi s drugim vrstama. Mala masa je velika prednost drva paulovnije (Zhao-Hua i sur., 1986). Uz gustoću spominje se i utezanje kao jedno od svojstava koje je prednost paulovnije. Koeficijent utezanja drva paulovnije (0.27-0.37%) je manji od najčešće korištenih četinjača i listača (Zhao-Hua i sur., 1986). Iz tog razloga paulovnija se smatra povoljnijom vrstom jer tijekom umjetnog sušenja u sušionicama se pojavljuje manje grešaka. Za usporedbu, pod istim uvjetima se sušila topola s

pojavom jake koritavosti i raspucanih čela (Zhao-Hua i sur., 1986). Omjeri tangencijalnog i radijalnog utezanja su povoljniji u usporedbi sa drugim vrstama drva, što rezultira kvalitetnijim sušenjem drva i manjom sklonosti savijanju i drugim greškama sušenja (Koman i Feher, 2020). Paulovnija je zbog male gustoće dobar toplinski i električni izolator. Toplniska vodljivost 8 vrsta paulovnije je 0.063-0.086 Kcal m^{-1} hr^{-1} $°C^{-1}$ (Zhao-Hua i sur., 1986). Isti autori navode da paulovnija ima najmanju vodljivost topline i električne energije u usporedbi s drugim vrstama na kojima se mjerenje provodilo. Zbog gustoće, vrijednosti tvrdoće i čvrstoće su male (Koman i Feher, 2020). Prema Zhao-Hua i sur. (1986) tlačno naprezanje paralelno na vlakanca iznosi od 15.59-21.86 N/mm^2, a čvrstoća savijanja između 28.34-40.69 N/mm^2, ovisno o vrsti (slika 4. i 5.). Za klon in Vitro 112, prema Komanu i Feheru (2020), prosječno tlačno naprezanje paralelno na vlakanca iznosi 19.9 N/mm^2, a čvrstoća savijanja 32.3 N/mm^2.

Vrste drva (lat.)	Lokacija	Gustoća (g/cm3)		Koeficijent utezanja (%)			Tlačno naprezanje paralelno na vlakanca (kgf/cm2)	Čvrstoća savijanja (kgf/cm2)	Modul elastičnosti (1.000 kgf/cm2)	Čvrstoća na smicanje paralelno na vlakanca (kgf/cm2)	
		Apsolutno suho stanje	Prirodno sušeno	Radijalno	Tangencijalno	Volumno				Radijalno	Tangencijalno
P. catalpifolia	Sueng County, Henan Province (34° 52')	0.233	0.290	0.093	0.216	0.344	196	329	54	41	47
P. elongata	Fugou County, Henan Province Lankao County, Hanan Province (34° 20')	0.209 0.243	0.264 0.283	0.076 0.147	0.187 0.269	0.292 0.453	159 197	289 356	42 44	44 40	44 39
P.farbesii	Muchuan County, Szechuan Province (29° 00')	0.219	0.269	0.107	0.216	0.334	160	363	52	42	35
P. fortunei	Gulin County, Szechuan Province (28° 10')	0.258	0.309	0.110	0.210	0.320	188	405	63	56	50
P. tomentosa	Fugou County, Henan Province Shu County, Anhei Province (34° 20')	0.236 0.231	0.315 0.278	0.105 0.079	0.203 0.164	0.327 0.261	223 200	406 381	48 50	51 47	56 45
P. tomentosa var. tsinlingensis	Fugou County, Henan Province (34° 20')	0.279	0.347	0.107	0.208	0.333	220	415	58	59	54

Tablica 1. Fizička imehanička svojstva drva 6 vrsta paulovnije 1.dio

(Izvor: Zhao-Hua i sur. (1986.). Paulownia in China: Cultivation and Utilization)

Tlačno naprezanje ookomito na vlakanca (kgf/cm2)				Vlačno naprezanje paralelno na vlakanca (kgf/cm2)	Čvrstoća na udarac (kgf*m/cm2)	Tvrdoća (kgf/cm2)			Čvrstoća na cijepanje (kgf/cm2)		Koeficijent kvalitete
Parcialno tlačno naprezanje na točki proporcionalnosti		Tlačno naprezanje na točki proporcionalnosti									
Radijalno	Tangencijalno	Radijalno	Tangencijalno			Poprečno	Radijalno	Tangencijalno	Radijalno	Tangencijalno	
28	20	17	11	524	0.171	151	87	94	7.7	8.3	1,810
22 24	16 22	14 16	12 12	394 ---	0.132 0.180	125 195	84 99	86 122	7.6 6.5	6.3 6.3	1,697 1,954
21	24	14	18	518	0.214	171	114	121	7.6	6.1	1,944
29	27	21	19	563	0.325	215	124	124	7.6	7.4	1,919
35 23	28 22	20 16	20 13	605 343	0.348 0.240	183 189	117 98	135 106	10.9 7.0	9.6 6.0	1,997 2,090
30	30	17	220	568	0.416	198	142	143	10.2	9.8	1,830

Tablica 2. Fizička imehanička svojstva 6 vrsta paulovnije 2.dio
(Izvor: Zhao-Hua i sur. (1986.). Paulownia in China: Cultivation and Utilization)

3.3.2. Kemijska svojstva

Kod kemijskih svojstava paulovnije važno je istaknuti da Peterson S. (2019.) navodi prisutnost minerala silicija tj. silicijev dioksid (SiO_2) u drvu paulovnije. Posljedica toga je brže zatupljivanje oštrice alata prilikom obrade drva, radi visoke tvrdoće silicija (6-7 GPa). Drvo paulovnije ima dobru sposobnost držanja čavla i vijaka i dobro se obrađuje, iako visoka koncentracija minerala može jako brzo zatupljivati oštrice (Schmidt, 2005). Zhao-Hua i sur. (1986) navode da svježe drvo *P. elongata* ima udio od 0.21% pepela te 75.74% holoceluloze, te 43.61% α- celuloze i 20.5% lignina (slika 6.). Kora drva pokazuje veću koncentraciju pepela unutar iste vrste tj. koncentracija pepela u srži i bijeli je 0.33% dok u kori iznosi 2.99% (Kamperidou i sur., 2018). To omogućuje korištenje drva paulovnije za pelete, također i grana promjera od oko 5 cm bez povećanja koncentracije pepela u peletima (Kamperidou i sur., 2018). Koncentracije lignina, holoceluloze i α- celuloze u drvu *P. elongata* su usporedivi s vrstama drva veće gustoće (eukaliptus i sl.) i čestih nedrvnih vlaknastih materijala (slama, bambus i slično) (Ates i sur. ,2008).

Materijali	Holoceluloza (%)	a-celuloza (%)	Lignin (%)	Pepeo (%)	Benzen (%)	1% NaOH (%)	Hladna voda(%)	Vruća voda (%)
Paulownia	75.74	43.61	20.5	0.21	3.75	24.5	8.5	10.5
(S.d.)	(0.42)	(0.29)	(0.28)	(0.01)	(0.04)	(0.71)	(0.69)	(0.96)
Eucalyptus	80.42	50.17	23.30	0.47	1.35	23.56	5.62	9.91
Bambus	70.5	43.3	24.5	1.35	3.94	25.1	----	6.47
Pšenična slama	74.5	38.2	15.3	4.7	7.8	40.59	10.75	13.99
Ražena slama	74.1	44.4	15.4	3.2	9.2	39.2	10.2	13.0
Stabljika Kukuruza	64.8	35.6	17.4	7.5	9.5	47.1	---	14.8
Stabljika duhanova	67.6	37.5	19.5	7.3	6.5	42.9	15.8	19.1
Stabljika suncokreta	74.9	37.5	18.2	8.2	7.0	29.8	15.5	16.5
Stabljika Pamuka	77.6	---	21.4	4.2	3.0	21.9	---	---
Trska	77.9	47.5	18.7	3.9	4.0	28.3	3.3	3.8
Kenaf	81.2	37.4	14.5	4.1	5.0	34.9	11.7	12.8
Kanabis	86.74	63.77	6.59	---	4.23	29.55	7.75	9.06
Četinjače	68-74	40-4	25-32	<1	---	---	2-6	2-5
Listopadna drveća	70-81	38-4	17-26	<1	---	---	3-6	3-6

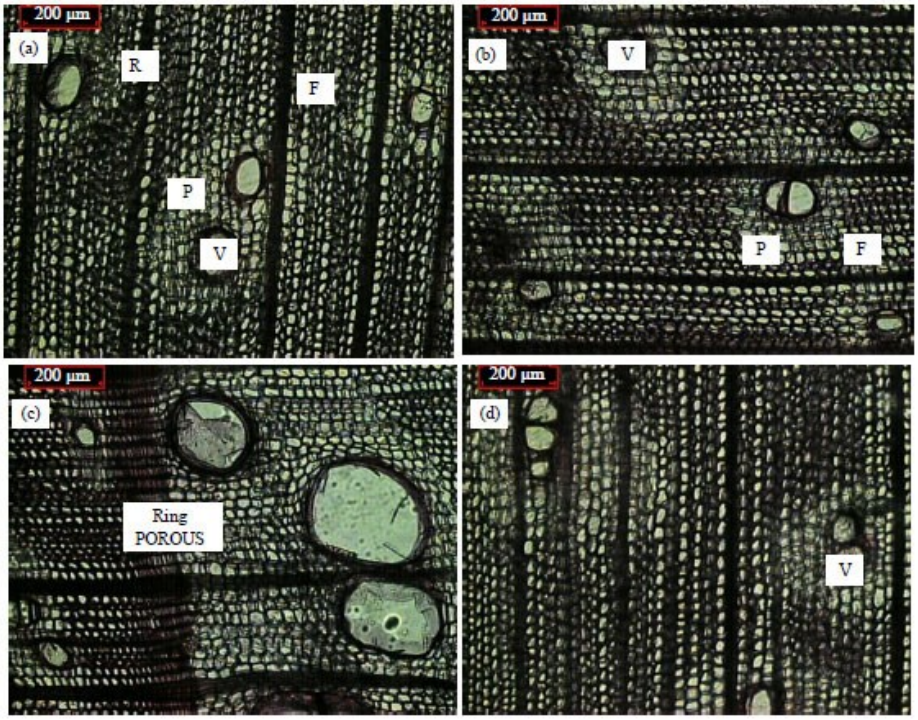
S.d.- Standardna devijacija

Tablica 3. Koncentracija kemijskih spojeva različitih sirovina
(Izvor: Zhao-Hua i sur. (1986.). Paulownia in China: Cultivation and Utilization)

3.3.3. Anatomska svojstva

Paulovnija radi vrlo brzog rasta zahtjeva velike količine vode i hranjivih tvari. Uz velike listove i korijenje, o anatomskoj građi ovisi protok vode i hranjivih tvari kroz stablo. Postoji mnogo faktora, kao što su tlo i klima koji utječu na anatomska svojstva drva (Zhang i Zhong, 1992). Anatomska građa direktno utječe na kvalitetu drva. Izmjerene vrijednosti duljine vlakanaca paulovnije su 0.905 mm (juvenilno drvo Green paulovnije 3 g. starosti) (San i sur., 2016). Autori navode da *P. elongata* ima 0.82 mm duga vlakanca, dok *P. fortunei* ima oko 1.002 mm. Duljina vlakanaca *P. elongata* je manja od duljine vlakanaca vrsta drva manje gustoće (oko 2.7 -4.6 mm) i blizu vrijednosti vrsta drva veće gustoće (oko 0.7 -1.6 mm) (Ates i sur., 2008). Prema San i sur. (2016.) promjer vlakanaca juvenilnog drva paulovnije starosti 3 godine iznosi 34.59 μm , a zrelog drva 30.55-36.3 μm (slika

7.). Promjer vlakanaca drva *P. elongata* je oko 36.3 μm te je u rasponu vrsta drva veće gustoće (20-40 μm) Ates i sur., 2008). Vrijednosti promjera lumena juvenilne drva Green paulovnije (klon paulovnije koji je star 3 godine) su veće od drva *P. fortunei*, ali manje od drva *P. elongata* koje iznosi 19.2 μm (San i sur., 2016.). U usporedbi s drugim vrstama drva, *P. elongata* ima manji udio vlakanaca i veći udio parenhimskih stanica (Ates i sur., 2008).



Slika 4. Poprečni presjek drva paulovnije, povećanje 100X (a i b) perforacija, komprimirana vlakanca prikazuju granicu goda, kasno drvo i (d) različite pore, F: vlakanca, P:parenhimske stanice, R:drvni traci, V: pore
(Izvor: San H. P. i sur. (2016.). Anatomical Features, Fiver Morphological, Physical and Mechanical Propertirs of Tree Years Old New Hybrid Paulownia: Green Paulownia)

3.4. Uporaba drva paulovnije i njenih klonova

Uspješan razvoj i korištenje paulovnije u Kini može se primijeniti u drugim državama koje imaju slične probleme između potrebe za agrokulturama i potrebama u drvnoj proizvodnji (Zhao-Hua i sur., 1986). Klonovi paulovnije u Europi se uglavnom koriste za proizvodnju drvnih vlakana i biomase. Takav trend je prisutan i u Kini koja tako pokušava zadovoljiti veliku potrebu za sirovinom. Drvo paulovnije u svakom slučaju može ispuniti zahtjeve za najbolju standardnu klasu

peleta (EN plus A1) (Kamperidou i sur., 2018). Uz dobra svojstva za izradu peleta i veliki prinos, može se koristiti u proizvodnji papira uz kombiniranje s drugim materijalima radi smanjenja troška proizvodnje. Drvna vlakanca *P. elongate* mogu se koristiti u papirnoj industriji ako se pomiješaju s dugim vlaknastim materijalima kao što su slama, kukuruzna trska i sl. (Ates i sur.,2008). Glavna prednost paulovnije je mala masa koja stoga paulovniju svrstava kao poželjno drvo za ambalažu. Paulovnija ima oko 40% manju masu od ostalih vrsta drva pa se tako povećava volumen za dostavu zbog manje mase ambalaže (Zhao-Hua i sur., 1986). Mala gustoća drva može biti prednost, kao na primjer u industriji ambalaže (Koman i Feher, 2020). Ambalaža od drva paulovnije smanjuje ukupnu masu tereta te omogućuje prijevoz veće količine dobara ili smanjuje potrošnju goriva tokom prijevoza. Uz ambalažnu primjenu, spominje se uporaba drva paulovnije za izolaciju. Vuna od drva paulovnije idealan je materijal za filtre, izolacijski materijal za sisteme za hlađenje, a piljevina za pokrivanje podova štala ili posuda za nuždu kućnih životinja ili za proizvodnju igračaka (Zhao-Hua i sur., 1986) (slika 8.).

Slika 5. Ukrasna kutijica izrađena od paulovnije
(Izvor: https://www.family-nation.com)

Na prostoru Kine postoji običaj koji nalaže da se drvo paulovnije sadi kada se rodi kćer i nakon udaje drvo se koristi za izradu kutijica za nakit ili kutiju za posteljinu (Zhao-Hua i sur., 1986). To pokazuje da drvo paulovnija u Aziji ima široku primjenu u proizvodnji galanterije i namještaja još od daleke prošlosti (Slika 9.). Drvo paulovnije gustih godova i ravne žice je jako dobro za posude za ulje, vino ili pivu, kutijice za čaj, hranu ili sjemenje usjeva (Zhao-Hua i sur., 1986).

Slika 6. Namještaj od paulovnije
(Izvor: http://fortunewoods.com)

Drvo paulovnije se koristi i za izradu raznih drvnih ploča. Trupci paulovnije velikih su promjera i bez kvrga te se drvo dobro lijepi i dobar je materijal za furnirske ploče (Zhao-Hua i sur., 1986). Uz furnirske ploče, izrađuju se masivne ploče i stolarske ploče. Drvo paulovnije ima dobra akustična svojstva pa se tako koristi za izradu tradicionalnih instrumenata (Slika 10.). Glasnjača kineskih tradicionalnih instrumenata uvijek se izrađuje od paulovnije (Zhao-Hua i sur., 1986).

Slika 4. Kineski tradicionalni instrument izrađen iz drva paulovnije
(Izvor: https://www.aliexpress.com)

Drvo paulovnije se u Aziji koristi za gradnju drvnih konstrukcija i drugih sličnih primjena. Čvrstoća drva nije velika tako nije primjerena kada je potrebna mehanička čvrstoća, ali svejedno ima široku primjenu kod kuća (slika 11.) (Zhao-Hua i sur., 1986.). Manjak čvrstoće se nadomještava većim dimenzijama građe.

Slika 5. Piljenica paulovnije
(Izvor: https://www.woodcraft.com)

4. RASPRAVA

Paulovnija je stablo koje potječe iz jugoistočne Azije i još uvijek je nepoznanica u Europi. U Europi se tek otkriva kao materijal za industrijsku ili drugu proizvodnju i to uglavnom od klonova paulovnije. Primjena drva paulovnije je široka, ide od industrijskih primjena, kroz agro-kulturne i medicinske primjene do ukrasnih funkcija u parkovima i vrtovima (Koman i sur., 2017). Problem tijekom uzgoja paulovnije su veliki zahtjevi za vodom tijekom rasta (ljetni mjeseci) i potrebe za velikim ulaganjima da bi se ostvarili idealni uvjeti za rast. Paulovnija raste brzo od lipnja do rujna, a u Aziji 65% godišnjih padalina je unutar tog razdoblja (Zhao-Hua i sur., 1986). Za idealan rast neke domaće vrste kao hrastovine ili topolovine je također poželjno imati plantažne nasade te tako osigurati što veću kvalitetu sirovine, a po potrebi primijeniti i navodnjavanje. Paulovnija nakon obaranja ponovno raste iz panja, točnije rast kreće iz bijeli (slika 12).

Slika 9. Rast paulovnije iz panja već oborenog stabla
(Izvor: https://paulownia.pro)

Zato je kvaliteta „druge generacije“ (i kasnijih generacija) paulovnije iz panja upitna jer rast započinje u bijeli tj. u rubnom dijelu panja. To može prouzročiti grešku sabljastog rasta jer bi se stablo radi stabilnosti moglo zakriviti. Uz to postoji prijetnja od brzog rasprostranjivanja paulovnije i njenih klonova tj. ugrožavanja lokalne bio raznolikosti. Paulovnija je vrlo agresivna vrsta koja se brzo rasprostranjuje po šumama, obalama i strminama krševa (Remaley, 2005). Glavni

razlog tomu su isključivo ljudi koji uglavnom ne istražuju o mogućim posljedicama sadnje paulovnije već žele postići što veću ekonomsku korist. Stoga sade stabla iz sjemenja koji kupuju putem interneta, a ne iz ovlaštenih plantažnih nasada koji reguliraju invazivnost tj. uzgajaju klonove. Time se stvara veliki problem šumarima koji će teško suzbiti paulovniju ako se krene nekontrolirano širiti. Uz nedostatke također postoje i prednosti. Jedna takva je da je paulovnija medonosna biljka, te bi tako pomogla pčelarima i pčelama. Također se koristi kao ukrasno stablo. Mnogi parkovi i vrtovi u Europi su staništa paulovnije. Kao ukrasno stablo u gradskim parkovima može pomoći u pročišćavanju zraka. Stablo paulovnije adsorbira oko 22 kg CO_2 i ispusti 6 kg O_2 u jednoj godini rasta (Icka i sur., 2016). Tako da sadnja uz prometnice (slika 13.) ili u centru grada gdje je zagađenje veliko može pomoći smanjenjem zagađenja zraka.

Slika 6. Paulovnija u cvatu kraj prometnice
(Izvor: https://www.facebook.com/PaulovnijaPaulowniaCroatia)

U Hrvatskoj se klonovi paulovnije sade radi proizvodnje drvnih vlakana i biomase. Podaci o svojstvima klonova paulovnije su oskudni i nisu primjenjivi na klonove koji rastu u Hrvatskoj. Radi toga su potrebni podaci o svojstvima paulovnije i njenih hibrida koji se uzgajaju na prostoru Republike Hrvatske (Sedlar i sur., 2020). Radi toga ne znamo kvalitetu klonova iz Hrvatske i najbolju implementaciju drvne sirovine. Prema nekim podacima iz literature, sadnja paulovnije i njenih klonova za proizvodnju biomase i drvnih vlakana je opravdana

jer navodi se da je koncentracija pepela dovoljno mala te je moguća proizvodnja peleta visoke kvalitete. Drvo paulovnije u svakom slučaju može ispuniti zahtjeve za najbolju standardnu klasu peleta (EN plus A1) (Kamperidou i sur., 2018). Problem je u gustoći, jer drvo paulovnije ima malu gustoću, ali to se može nadomjestiti velikim godišnjim prirastom stabla. Ako se gustoća poveća (komprimiranje usitnjenog drva) (slika 14.) ogrjevno drvo tako može imati visoku temperaturu. Tako usitnjavanje drva paulovnije i izrada peleta svakako može smanjiti troškove proizvodnje i u konačnici cijenu peleta i briketa u odnosu na druge vrste drva.

Slika 7. Peleti od paulovnije
(Izvor: https://www.alibaba.com)

Iako se ove vrste vlakanaca smatraju kao materijal loše kvalitete, ipak se mogu koristiti za papirnu industriju ako se miješaju s drugim vlaknastim materijalima (slama, bambus i sl.) (Ates i sur.,2008). Radi male gustoće druga svojstva kao čvrstoća i tvrdoća su također manjih vrijednosti. To ne mora nužno biti loša stvar jer mala masa paulovnije je i prednost. Paulovnija je oko 40% lakša od ostalih vrsta drva, a volumen za dostavu se može znatno povećati kada se koristi za kutije za pakiranje (Zhao-Hua i sur., 1986). Klonovi paulovnije mogu zamijeniti neke domaće vrste koje se koriste za izradu ambalaža (jelovina, smrekovina i sl.). To bi rezultiralo manjoj masi i tako povećanjem broja pakiranja ili manjoj potrošnji goriva. Problem kod takve ambalaže može biti lako oštećenje radi male tvrdoće i čvrstoće drva. Takav problem se pojavljuje i kod proizvodnje namještaja i drvnih konstrukcija gdje je potrebna mehanička tvrdoća i čvrstoća. Stoga namještaj izrađen od paulovnije i klonova ima ograničenja kod namještaja koji se često koristi, iako literatura navodi da se paulovnija u Kini koristi za izradu stolova i

stolica (Zhao-Hua i sur., 1986). Takav se problem pojavljuje kod izrade podova, jer paulovnija je podložna habanju. Kod višeslojnog parketa se to može riješiti lijepljenjem furnira neke druge vrste veće tvrdoće,na površinu parketa, dok se za ostale slojeve može koristiti paulovnija. Literatura navodi malo bubrenje i utezanje (literatura?)pa bi to u teoriji rezultiralo stabilnijim parketom i kod podnog grijanja. Neki od tih podataka su diskutabilni radi toga što rijetko koja literatura navodi normu po kojoj su rađena mjerenja jer uglavnom potječu iz države koje ne koriste EN ili ISO norme. proizvodi od paulovnije, u slučaju da nije moguće koristiti drugu vrstu drva, morali bi biti većih dimenzija da bi se zadovoljio potreban faktor sigurnosti. Drugi način je podvrgnuti drvo nekom kemijskom ili drugom tretiranju da bi se poboljšala svojstva drva. Primjena paulovnije kod izrade ploča (slika 15.) bi mogla dati dobre rezultate jer kod takvih ploča uz drvo bitno je i ljepilo koje se koristi. Drvo paulovnije velikih je promjera i nema kvrga, dobro se lijepi (dobra adhezija i kohezija) i dobar je materijal za furnirske ploče (Zhao-Hua i sur., 1986). Izolacijska svojstva paulovnije bi svakako mogla biti vrlo dobra radi male gustoće i male toplinske vodljivosti. Toplinska vodljivost na 8 vrsta paulovnije je 0.063-0.086 Kcal m-1 hr-1 °C-1 (Zhao-Hua i sur., 1986). primjena ploča paulovnije bi mogla dati dobre rezultate kod izolacije, dok usitnjavanje drva bi ujedno smanjilo i gustoću materijala pa bi svojstva bila drugačija.

Slika 8. Masivne ploče paulovnije
(Izvor: https://www.ccjiusiwoods.com)

Tablica 4. Deskriptivna statistička analiza fizičkih svojstava hibrida paulovnije 9501 i Shan Tong (Izvor: Sedlar i sur. (2020). Physical Properties of Juvenile Wood from two Paulownia Hybrids.)

Svojstvo	*Hibrid*	N	*Srednja vrijednost*	SD	Min	Max
Gustoća u apsolutno suhom stanju	9501	34	0.249 a	0.016	0.221	0.295
	Shan Tong	34	0.237 b	0.019	0.201	0.277
Nominalna gustoća	9501	34	0.233 a	0.014	0.208	0.272
	Shan Tong	34	0.220 b	0.017	0.187	0.252
Gustoća na maksimalnom sadržaju vode	9501	34	0.719 a	0.078	0.600	0.917
	Shan Tong	34	0.669 b	0.063	0.562	0.850
Longitudinalno utezanje	9501	34	0.30 a	0.202	0.04	0.74
	Shan Tong	34	0.35 a	0.332	0.04	1.20
Radialno utezanje	9501	34	2.35 a	0.489	1.61	3.42
	Shan Tong	34	2.47 a	0.631	1.67	4.69
Tangencialno utezanje	9501	34	4.95 a	0.643	4.05	6.26
	Shan Tong	34	5.30 a	0.969	3.80	8.02
Volumno utezanje	9501	34	8.32 a	1.054	6.62	10.23
	Shan Tong	34	7.81 a	1.409	5.13	11.21
Maksimalni sadržaj vode	9501	34	208 a	19.432	172	253
	Shan Tong	34	204 a	19.093	166	237

Bilješka: Rezultati s različitim slovima statistički se značajno razlikuju prema Duncanovom testu;
N – broj uzoraka; SD – standardna devijacija; Min – minimum; Max - maksimum

Tablica 5. Usporedba vrijednosti utezanja s poznatom literaturom (Izvor: Sedlar i sur. (2020). Physical Properties of Juvenile Wood from two Paulownia Hybrids.)

Svojstvo	*Hibrid* 9501 *(vlastito istraživanje)*	*Hibrid* Shan Tong *(vlastito istraživanje)*	*P. elongata* (Šoškić *i sur*.,, 2003)	*P. fortunei* (Šoškić *i sur.*, 2003)	*P. tomentosa* (Kiaei, 2013)	*P. fortunei* (Komán *i sur.*, 2017)
Radialno utezanje	2.35	2.47	2.49	2.54	-	2.20
Tangencialno utezanje	4.95	5.30	4.74	4.79	-	3.89
Volumno utezanje	8.32	7.81	8.31	8.35	7.54	6.94

Tablica 6. Analiza varijance (ANOVA) fizičkih svojstava juvenilnog drva hibrida paulovnije 9051 i Shan Tong

(Izvor: Sedlar i sur. (2020). Physical Properties of Juvenile Wood from two Paulownia Hybrids.)

Svojstvo	*Varijabilnost*	SS	DF	MS	F	p
Gustoća u apsolutno suhom stanju	Između grupa	0.003	1	0.003	8.41	**0.005**
	Unutar grupa	0.020	66	0.000		
	Ukupno	0.023	67			
Nominalna gustoća	Između grupa	0.003	1	0.003	12.67	**0.000**
	Unutar grupa	0.015	66	0.000		
	Ukupno	0.018	67			
Gustoća na maksimalnom sadržaju vode	Između grupa	0.043	1	0.043	8.649	**0.005**
	Unutar grupa	0.329	66	0.005		
	Ukupno	0.372	67			
Longitudinalno utezanje	Između grupa	0.513	1	0.051	0.678	0.413
	Unutar grupa	4.990	66	0.076		
	Ukupno	5.503	67			
Radialno utezanje	Između grupa	0.262	1	0.262	0.822	0.368
	Unutar grupa	21.028	66	0.319		
	Ukupno	21.290	67			
Tangencialno utezanje	Između grupa	2.038	1	2.038	3.014	0.087
	Unutar grupa	44.634	66	0.676		
	Ukupno	46.672	67			
Volumno utezanje	Između grupa	4.244	1	4.244	2.722	0.103
	Unutar grupa	102.903	66	1.559		
	Ukupno	107.147	67			
Maksimalni sadržaj vode	Između grupa	233.0	1	233.0	0.628	0.430
	Unutar grupa	24491.0	66	0.781		
	Ukupno	24724.0	67			

Bilješka: SS – suma kvadarata; DF – stupnjevi slobode; MS – varijanca; F – *F* vrijednost; p - signifikantnost

Tablica 7.Odnos između gustoće i utezanja juvenilnog drva hibrida paulovnije 9501 i Shan Tong

(Izvor: Sedlar i sur. (2020). Physical Properties of Juvenile Wood from two Paulownia Hybrids.)

	R	Jednadžba	F	p
***Odnos između gustoće u apsolutno suhom stanju i utezanja* (9501)**				
Longitudinalno utezanje	0.02	$y = -0.2412x + 0.3562$	0.113^{NS}	0.916
Radialno utezanje	0.4635	$y = 14.37x - 1.2347$	8.751^{*}	0.006
Tangencialno utezanje	0.3073	$y = 12.521x + 1.8261$	3.334^{NS}	0.077
Volumno utezanje	0.5014	$y = 33.496x - 0.0413$	10.745^{*}	0.003
***Odnos između gustoće u apsolutno suhom stanju i utezanja* (Shan Tong)**				
Longitudinalno utezanje	0.0980	$y = -1.7501x + 0.7663$	0.311^{NS}	0.581
Radialno utezanje	0.3468	$y = 11.758x - 0.3161$	4.375^{*}	0.045
Tangencialno utezanje	0.3045	$y = 15.854x + 1.5333$	3.268^{NS}	0.080
Volumno utezanje	0.3183	$y = 24.102x + 2.0868$	3.609^{NS}	0.067

Bilješka: * signifikantno kod < 0.05; NS - nesignifikatno; R – koeficijent korelacije; F – *F* vrijednost; p – signifikatnost

5. ZAKLJUČAK

Podaci o paulovniji i klonovima paulovnije su dosta oskudni za valjanu procjenu potencijala u Republici Hrvatskoj. Tijekom rasta stabla bonitet tla, količina padalina i drugi parametri su vrlo bitni jer direktno utječu na svojstva drva. Pošto nisu postojali podaci o svojstvima klonova paulovnije koji rastu na prostoru Hrvatske. Sedlar i sur. (2020.) objavili su ispitivanje fizičkih svojstava juvenilnog drva dva hibrida paulovnije (hibrid 9501 i Shan Tong). Dobiveni podaci pokazuju da paulovnija iz Hrvatske ima slične vrijednosti u odnosu na dostupnu literaturu. Razlika između dva ispitana hibrida uglavnom je u gustoći no ta razlika je oko 6%. Dobiveni podaci (tablica 4., 5., 6., 7.) su preliminarni pa je potrebno provesti mjerenja i na drvu starijem od 5 godina. Isto tako potrebno bi bilo izračunati ekonomsku korist klonova paulovnije s obzirom na ulaganja u odnosu na domaće vrste drva. Paulovnija se treba biti saditi uz kontrolu države tj. šumara radi prijetnje koju predstavlja ekosustavu. Isto tako sadnja bi morala biti ograničena isključivo na birane klonove paulovnije najboljih svojstava koji su prisutni u Europi. Ti klonovi uz dosadašnju svrhu sadnje za biomasu i drvna vlakna imaju potencijal u proizvodnji nekih proizvoda od drva. Paulovnija radi kratkog ophoda može konkurirati domaćim mekim vrstama drva. Tako bi primjena paulovnije u proizvodnji ambalaža (paleta ili drvenih kutija) mogla imati prednosti za gospodarstvo. Paulovnija bi se mogla koristiti i u papirnoj industriji kao celulozno drvo, a i kao do sada za proizvodnju biomase i drvnih vlakana. Također je moguća proizvodnja proizvoda s malom masom kao što su daske za surfanje ili izolacijski materijali. Suveniri, galanterija i sl. može se izrađivati iz drva paulovnije. Paulovnija ima mogućnost zamjene nekih domaćih vrste drva u dijelovima industrije gdje nema potrebe za određenim svojstva već smanjenje cijene proizvoda. No paulovnija nikako ne može zamijeniti vrste drva kao što su jasenovina, bukovina, javorovina ili hrastovina koje imaju mnogo bolja svojstva i potražnju unatoč većoj cijeni. Razlog tomu je mala mogućnosti hrvatske drvne industrije da konkurira svjetskom tržištu kvantitetom proizvoda, ali to uspijeva velikom kvalitetom proizvoda od domaćih vrsta drva. Tako paulovnija u Azijskim državama gdje sirovina nije dobre kvalitete, a proizvodi uglavnom moraju biti što manje cijene, ali u više primjeraka ima tržište dok u hrvatskoj ne može konkurirati mnogim domaćim vrstama drva radi lošijih svojstava. Tako države poput Kine opravdavaju široku

primjenu paulovnije. No Republika Hrvatska bi samo kombinacijom paulovnije sa vrstama drva koje su imale svrhu smanjenja cijene izrade proizvoda i domaćih vrsta postigla bolju konkurentnost na svjetskom tržištu.

6. POPIS LITERATURE

1. Ates S., Ni Y; Akgul M; Tozluoglu A.,2008.: Characterization and evaluation of paulownia elongata as a raw material for paper production. African Journal of Biotechnology, Vol.7(22), pp.4153-4158.
2. El-Showk S.; El-Showk N.,2003: The Paulownia Tree An Alternative for Sustainable Forestry. The Farm. http://cropdevelopment.org/docs/PaulowniaBooklet.pdf (pristupljeno 15.lipnja.2020.)
3. Icka P.; Damo R.; Icka E., 2016: Paulownia Tomentosa, a Fast Growing Timber. Annals ”Valahia” University of Targoviste - Agriculture 10(1)DOI:10.1515/agr-20016-003.
4. Kamperidou V.; Lykidis C.; Barmpoutis P.,2018: Utilization of Wood and Bark of Fast-Growing Hardwood Species in Energy Production. Jornal of Forest Science, 64 (4): 164-170. DOI: 10.17221/141/2017-JFS
5. Kiaei M., 2013: Technological properties of Iranian cultivated paulownia wood (*Paulownia fortunei*). Cellulose Chemistry and Technology 47(9):735-743.
6. Koman, S.; Feher, S., 2020: Physical and mechanical properties of Paulownia clone in vitro 112. Eur. J. Wood Prod. 78, 421–423. https://doi.org/10.1007/s00107-020-01497-x
7. Koman S.; Feher S.; Vityi A., 2017: Physical and mechanical properties of *Paulownia tomentosa* wood planted in Hungaria. Wood research 2 (2):335-340.
8. Peterson C. S., 2019: Silica-Milled Paulownia Biochar as Partial Replacement of Carbon Black Filler in Natural Rubber. Journal of Coposites Science, 3(4), 107; https://doi.org/10.3390/jcs3040107
9. Ptach W.; Łangowski A.; Rolbiecki R.; Rolbiecki S.; Jagosz B.; Grybauskienė V.; Kokoszewski M., 2018: The Influence of Irrigation on the Growth of Paulownia Trees at the First Year of Cultivation in a Light Soil. Conference Paper DOI: 10.15544/ED.2017.121.

10. Remaley T., 2005: Fact Sheet: Princess Tree. https://www.invasive.org/weedcd/pdfs/wgw/princesstree.pdf (pristupljeno 15. lipnja.2020.)
11. San H.P.; Long L.K.; Zhang C.Z.; Hui T.C.; Seng W.Y.; Lin F.S; Hun A.T.; Fong W.K., 2016: Anatomical Features, Fiber Morphological, Physical and Mechanical Properties of Three Years Old New Hybrid Paulownia: Green Paulownia. Research Journal of Forestry, 10: 30-35. DOI: 10.3923/rjf.2016.30.35
12. Schmidt U., 2005: Wood Sense:Royal Paulownia. Wood Craft. https://www.woodcraft.com/blog_entries/woodsense-royal-paulownia (pristupljeno 15.Lipnja.2020.)
13. Sedlar, T.; Šefc, B.; Drvodelić, D.; Jambreković, B.; Kučinić, M.; Ištok, I., 2020: Physical Properties of Juvenile Wood of Two Paulownia Hybrids. Drvna industrija, 71 (2), 179-184. https://doi.org/10.5552/drvind.2020.1964. https://doi.org/10.5552/drvind.2020.1964.
14. Vilotić, D.; Popović, J.; Mitrović, S.; Šijačić-Nikolić, M.; Ocokoljić, M.; Novović, J.; Veselinović, M., 2015: Dimensions of Mechanical Fibres in Paulownia elongata S. Y. Hu Wood from Different Habitats. Drvna industrija, 66 (3), 229-234. https://doi.org/10.5552/drind.2015.1365
15. Zhang, S.Y.; Zhong, Y., 1992: Structure-property relationship of wood in East-Liaoning oak. Wood Sci.Technol. 26, 139–149. https://doi.org/10.1007/BF00194469
16. Zhao-Hua Z.; Ching-Ju C.; Xin-Yu L.; Gao X.Y., 1986: Paulownia in China: Cultivation and Utilization by Chinese Academy of Forestry Staff. Asian network for biological sciences and international development research centre Peking.