



TEHNOLOŠKE LASTNOSTI IN UPORABNOST LESA VELIKEGA PAJESENA V PRIMERJAVI Z LESOM VELIKEGA JESENA

TECHNOLOGICAL PROPERTIES AND USABILITY OF CHINESE SUMAC WOOD IN COMPARISON WITH ASH WOOD

Željko Gorišek^{1*}, Denis Plavčak¹, Aleš Straže¹, Maks Merela¹

UDK 630*812:630*181.1:176.1 Ailanthus altissima

Izvleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Izveček: Veliki pajesen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) spada med najbolj invazivne tujerodne drevesne vrste v Evropi in pri nas. Zaradi velike obnovitvene moči se hitro širi, predvsem na golosekih, na opuščeni kmetijskih površinah ter ob prometnih poteh. Botanično se razlikuje od velikega jesena (*Fraxinus excelsior* L.), sicer pa nanj značilno spominja z izgledom drevesa kot tudi s strukturnimi lastnostmi lesa. Zaradi tega smo primerjalno analizirali vizualne, anatomske in nekatere fizikalne ter mehanske lastnosti obeh lesnih vrst. V vseh anatomskih ravninah smo potrdili značilno vizualno in barvometrično podobnost obeh proučevanih lesov. Anatomsko se raziskani venčasto porozni lesni vrsti razlikujeta predvsem v velikosti in razporedu trahej ter parenhimskega tkiva. Lesova imata podobni gostoti, pajesen pa je bolj dimenzijsko nestabilen. Mehanske lastnosti lesa pajesena so le nekoliko slabše od tistih pri lesu velikega jesena. Določili pa smo 20 % manjšo upogibno togost ter povprečno 50 % nižjo trdoto lesa pajesena v primerjavi z lesom velikega jesena. Nasprotno pa je bila strižna trdnost pri pajesenu 30 % višja. Glede na ugotovljene lastnosti je les pajesena uporaben za predelavo v celulozo in papir, razne lesne plošče in delno za manj obremenjene konstrukcije, ki niso izpostavljene drastičnim klimatskim razmeram.

Ključne besede: les, veliki pajesen = *Ailanthus altissima*, veliki jesen = *Fraxinus excelsior*, anatomija lesa, fizikalne lastnosti, mehanske lastnosti, uporaba

Abstract: Chinese sumac (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) is one of the most invasive alien species in Europe, and also in Slovenia. Due to its great renewal power the species is spreading rapidly, especially in abandoned agricultural and forest areas and along the traffic routes. It is botanically different from the European ash (*Fraxinus excelsior* L.), but it has similar tree habitus as well as similar structural characteristics of the wood. For this reason, we analysed the visual, anatomical and some physical and mechanical properties of both wood species. In all anatomical planes, the typical visual and colorimetric similarity of both studied woods was confirmed. Anatomically both ring porous wood species differ mainly in size and distribution of vessels, axial parenchyma and ray tissue. Wood of both species has a similar density as well, but the Chinese sumac has greater shrinkage. Some of the mechanical properties are comparable, although Chinese sumac wood has a lower modulus of elasticity and hardness and greater shear strength than ash wood. We can recommend that the wood of Chinese sumac can be used for production of pulp and paper, various panels and partly for less loaded constructions, which are not exposed to drastic climatic variability.

Keywords: wood, Chinese sumac = *Ailanthus altissima*, European ash = *Fraxinus excelsior*, wood anatomy, physical properties, mechanical properties, end use

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Veliki pajesen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, družina *Simaroubaceae*) je med štirimi najbolj invazivnimi tujerodnimi drevesnimi vrstami v Evropi (Burch & Zedaker, 2003), in je tudi na seznamu inva-

zivnih vrst Ministrstva za okolje in prostor RS (Rastline – tujerodne invazivne, 2015) in Fitosanitarne uprave RS (Tujerodne invazivne ..., 2010). Zanimivo je poimenovanje drevesa, saj pri nas zasledimo tudi poimenovanja visoki pajesen ali navadni pajesen (Bioportal.si). Tako habitus drevesa kot tudi sam les sta nekoliko podobna velikemu jesenu (*Fraxinus excelsior* L., družina *Oleaceae*), v nadaljevanju jesen. Za *Ailanthus altissima* navajajo tudi ime visoki ajlant ali božje drevo, navezujoč se na izraz »ailanto« kar pomeni nebeško

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

* e-pošta: zeljko.gorisek@bf.uni-lj.si

drevo oz. drevo bogov – božje drevo. Od tod izhaja tudi angleško in nemško poimenovanje (tree of heaven, paradise tree, Götterbaum), pogosto pa ga zasledimo tudi pod imeni Chinese sumac ali stink tree, pa tudi false varnish tree, ghetto palm ali ch`ou ch`ou (Miller, 1990).

Veliki pajesen, v nadaljevanju pajesen, izhaja iz Kitajske in Moluških otokov, v Evropo so ga prinesli 1751. Prvi zapisi o gojenju v Sloveniji segajo v leto 1795 (Park Dol pri Ljubljani), kjer so ga gojili kot okrasno parkovno drevo. Ornamentalno olistanje ter videz drevesa sta pripomogla k priljubljenosti in hitremu širjenju po vrtovih in parkih. Nekaj desetletij kasneje so z njim pogozdovali opustela industrijska področja, rudniške izkope in kontaminirane pokrajine, pri nas pa tudi gole kraške površine (Anko, 1984a, 1984b). Uspeva tako na severni in južni polobli, med zemljepisnima širinama 22° in 43° (Feret, 1985). Zaradi generativnega in vegetativnega razmnoževanja je širjenje pajesena v naravnem okolju pogosto nekontrolirano (podivjano) (Brus et al., 2016).

Prilagodljivost in invazivno širjenje pajesena se izraža v hitrem odzivu na večje spremembe v sestojni klimi, intenzivni višinski rasti - tudi do 4 m na leto (Burch & Zedaker, 2003), izrazitem vegetativnem pomlajevanju in obilnem semenenju z dve- do triletno kaljivostjo semena (Feret, 1973). Pajesen izkazuje tudi večjo odpornost na saje, prašne delce in druge oblike onesnaževanja, vendar je občutljiv na višje koncentracije ozona (Gravano et al., 2003). Hitro oblikuje goste čiste sestoje, kar onemogoča pomlajevanje drugih vrst, ker v tla izloča tudi alelopatске snovi (Heisey, 1990), ki preprečujejo kaljenje in rast drugih vrst. Slednje vpliva na vrstno sestavo (biotsko raznovrstnost) in zmanjšuje konkurenčnost domačih vrst (Roženberger et al., 2017).

V Sloveniji se je pajesen najbolj razširil na Primorskem, kjer so ga zaradi velike obnovitvene moči in potenciala za širjenje na različnih rastiščih v 19. stoletju začeli vnašati v naravno okolje, danes pa se žal širi nenadzorovano (Brus et al., 2016). Drugod ga običajno zasledimo v bolj urbanih okoljih. Razrašča se tudi na posekah, po opuščeni kmetijskih površinah, ob prometnih poteh, na opuščeni industrijskih površinah in celo v skalnih ali zidnih razpokah.

Zgradba lesa pajesena je lahko zelo variabilna, saj zaradi prilagodljivosti nastaja v najrazličnejših okoljih in razmerah za rast. Venčasto porozna struk-

tura je zelo podobna kot pri lesu jesena, s povprečnim premerom trahej približno 230 µm v ranem lesu in 41 µm v kasnem lesu (Kudela & Mamonova, 2006). Na odprtem je priraščanje lahko zelo intenzivno, z letnimi prirastnimi plastmi, širokimi do 20 mm (Panayotov et al., 2011). Debla vsebujejo veliko juvenilnega lesa z opaznimi rastnimi napestmi, kar zahteva več previdnosti pri sušenju, saj se les znatno zvija in koriti. Pomanjkljivosti juvenilnega lesa so tudi manjša trdnost in dimenzijska nestabilnost, zato ga ne priporočajo za zahtevne izdelke. Večinoma razvrščajo pajesen med vrste z nekoliko slabšimi mehanskimi lastnostmi, čeprav Becker (2009) poroča o primerljivih vrednostih z javorjem, hrastom, jesenom in brezo. Tudi ameriški raziskovalci (Alden, 1995; Moslemi & Bhagwat, 1970) lastnosti in uporabnost pajesena primerjajo s srednje gostimi listavci, enako potrjuje tudi širša raziskava, opravljena na Kitajskem (Zhu et al., 2015).

V avtohtonem življenjskem prostoru na Kitajskem je v gospodarstvu vsestransko uporaben, pogosto pa se uporablja še za lesno kašo, kot kurivo, za pridobivanje oglja, pa tudi kot gradbeni les in za izdelavo palet. Listje in skorjo pajesena ponekod uporabljajo tudi za gojenje sviloprejk (Hu, 1979), za hrano drobnici (Azim et al., 2002) ali za farmacevtske namene (c.f. Kožuharova et al., 2016).

Za zahtevnejše izdelke je uporaba lesa pajesena omejena zlasti zaradi velikega deleža juvenilnega lesa in prisotnosti tenzijskega lesa (Kudela et al., 2006).

Pajesen na naš veliki jesen spominja po imenu, podoben pa mu je tudi po videzu drevesa in zgradbi lesa. Botanična različnost in navidezna podobnost obeh vrst sta razloga, da smo si zadali cilj, da proučimo njun les z vidika mikroskopske zgradbe ter fizikalno-mehanskih karakteristik. Določene lastnosti pajesena so sicer znane iz literature, ker pa so rastiščni pogoji pajesena v našem okolju povsem drugačni kot na izvornih rastiščih, predpostavljamo, da se rastni pogoji zrcalijo tudi v različnih fizikalno-mehanskih karakteristikah.

2 MATERIAL IN METODE

2 MATERIAL AND METHODS

Les velikega pajesena (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle), ki je bil izbran za raziskavo, izvira iz rastišč na območju Mestne občine Ljubljana in je bil posekan v okviru aktivnosti na projektu APPLAUSE

(APPLAUSE ..., 2017). Drevesa so rasla samostojno v parkih in vrtovih z značilnostmi samostojećih dreves. Les pajesena smo makroskopsko identificirali z vizualnim prepoznavanjem karakterističnih anatomskih znakov, mikroskopsko zgradbo pa smo podrobno proučili na preparatih vseh treh anatomskih ravnin. Anatomske znake smo pregledali s svetlobnim mikroskopom (Nikon Eclipse E800) in vrstičnim elektronskim mikroskopom (Quanta 250). Anatomske znake pajesena smo določili s ključem IAWA (IAWA committee, 1989) in jih primerjali z znaki jesena.

Barvno primerjavo med lesom pajesena in jesena smo izvedli s CIE L* a* b* standardizirano barvometrično analizo (SIST EN ISO 11664-4, 2011) na spektrofotometru X-Rite SP 62.

Proučili smo tudi radialne profile gostote in lesne vlažnosti. Iz svežih radialno orientiranih desk, izžaganih takoj po poseku dreves, smo izdelali prizme, ki smo jih v radialni smeri razsekali na 5 do 10 mm široke preizkušance. Po natančno določeni oddaljenosti od kambija smo preizkušancem izmerili maso in volumen v svežem in absolutno suhem stanju ter izračunali gostoto v absolutno suhem stanju (En 1) in vlažnost svežega lesa (En 3). Proučevani les je bil odvzet iz treh dreves z višine okoli dveh metrov nad tlemi, s premeri 27 cm, 30 cm in 42 cm in s 16, 29 in 39 branikami. Glede na starost in dimenzije je bil pričakovani delež juvenilnega lesa velik.

Preizkušance za proučevanje osnovnih fizikalno mehanskih lastnosti pajesena smo izdelali iz izbranih orientiranih radialnih desk, ki smo jih predhodno tehnično posušili v normalno-temperaturni konvekcijski sušilni komori. Ciljna vlažnost sušilnega postopka je bila 12 %, kar je bilo primerno vlažnostno stanje za pripravo materiala za nadaljnje preizkušanje.

Iz vsake deske smo izžagali po dva pravilno orientirana vzorca kvadratnega prereza (20 mm x 20 mm) in dolžine 600 mm (Slika 1), jih uravnovesili v normalni klimi (20 °C/65 %) in razžagali na standardne dolžine za določanje izbranih fizikalnih in mehanskih lastnosti (Preglednica 1).

Preizkušance za merjenje gostote in krčenja smo previdno osušili na absolutno suho stanje (pri 103 °C do konstantne mase), jih stehali (natančno na ± 0,001 g) in izmerili dimenzije (natančno na ± 0,01 mm). Nato smo preizkušance potopili v vodo in navlažili nad točko nasičenja celičnih sten ter tehtanje in merjenje dimenzij ponovili. Iz podatkov smo izračunali gostoto v absolutno suhem stanju (En 1)

in osnovno gostoto (En 2) kot tudi volumenski (En 4) ter vse tri linearne skrčke (En 5). Iz gostote in volumenskega skrčka smo izračunali tudi vlažnost točke nasičenja celičnih sten (En 6).

Gostota v absolutno suhem stanju	$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \text{ [kg/m}^3\text{]}$	(1)
----------------------------------	--	-----

Osnovna gostota	$R = \frac{m_0}{V_{vl}} \text{ [kg/m}^3\text{]}$	(2)
-----------------	--	-----

Vlažnost lesa	$u = \frac{m_{vl} - m_0}{m_0} 100 \text{ [%]}$	(3)
---------------	--	-----

Volumenski skrček	$\beta_v = \frac{V_{vl} - V_0}{V_{vl}} \times 100 \text{ [%]}$	(4)
-------------------	--	-----

Linearni skrčki - radialni, tangencialni, vzdolžni	$\beta_{R,T,L} = \frac{l_{vl,R,T,L} - l_{0,R,T,L}}{V_{vl,R,T,L}} \times 100 \text{ [%]}$	(5)
--	--	-----

Vlažnost točke nasičenja celičnih sten	$u_{TNCS} = \frac{\beta_v \times \rho_{vode}}{R} \text{ [%]}$	(6)
--	---	-----

Veličine v enačbah od 1 do 6 pomenijo:

- m_0 masa v absolutno suhem stanju [kg],
- m_{vl} masa pri vlažnosti nad točko nasičenja celičnih sten [kg],
- V_0 volumen v absolutno suhem stanju [m³],
- V_{vl} volumen pri vlažnosti nad točko nasičenja celičnih sten [m³],
- $L_{0,R,T,L}$ dimenzije v absolutno suhem stanju v radialni (R), tangencialni (T) ali vzdolžni (L) smeri [m],
- $L_{vl,R,T,L}$ dimenzije pri vlažnosti nad točko nasičenja celičnih sten v radialni (R), tangencialni (T) ali vzdolžni (L) smeri [m] in
- ρ_{vode} gostota v celične stene vrinjene vezane vode [kg/m³].

Mehanske lastnosti smo testirali na preizkušanjih, ki so bili pred meritvami uravnovešeni v normalni klimi (20 °C/65 %). Upogibno trdnost in statični modul elastičnosti, strižno trdnost ter tlačno trdnost smo preizkušali v vseh treh anatomskih smereh po standardnih metodah (Preglednica 1), le dinamični modul elastičnosti (E_d) smo določili z nedestruktivno metodo s prečnim upogibnim vzbujanjem prosto ležečih preizkušancev in zaznavanjem frekvenčnega odziva (Gorišek et al., 2016).



Slika 1. Priprava preizkušancev velikega pajesena za merjenje izbranih fizikalnih in mehanskih lastnosti.

Fig. 1 Samples of *Ailanthus altissima* wood prepared for determination of selected physical and mechanical properties.

Preglednica 1. Oznake in dimenzije preizkušancev za merjenje fizikalnih in mehanskih lastnosti velikega pajesena po standardnih metodah.

Table 1. Dimensions and methods used for determining selected physical and mechanical properties of *Ailanthus altissima* wood.

Št. No.	Dimenzije [mm]	Oznaka Symbol	Fizikalno-mehanska lastnost Physical-mechanical property	Metode Methods
1	20 × 20 × 20	ρ	Gostota/ Density	ISO 13061-2:2014
2	20 × 20 × 20	u	Vlačnost lesa/ Moisture content	ISO 13061-1:2014
3	20 × 20 × 20	β	Skrčki/ Shrinkage	ISO 13061-13:2017; ISO 13061-14:2017; ISO 13061-15:2017; ISO 13061-16:2017
4	340 × 20 × 20	E_d	Dinamični modul elastičnosti/ Dynamic modulus of elasticity	Gorišek et al. 2016
5	340 × 20 × 20	E_s	Modul elastičnosti/ Modulus of elasticity	ISO 13061-4:2014
6	40 × 20 × 20	$\sigma_{x }$	Tlačna trdnost – vzdolžno/ Compression strength - longitudinal	ISO 13061-17:2014
7	20 × 20 × 20	$\sigma_{x\perp LT}$	Tlačna trdnost – tangencialno/ Compression strength - tangential	ISO 13061-5:2014
8	20 × 20 × 20	$\sigma_{x\perp LR}$	Tlačna trdnost – radialno/ Compression strength - radial	ISO 13061-5:2014
9	20 × 20 × 20	τ_{PL}	Strižna trdnost - LR/ Shear strength - LR	ISO 3347-1976
10	20 × 20 × 20	τ_{LT}	Strižna trdnost LT/ Shear strength - LT	ISO 3347-1976
11	20 × 20 × 20	HB_P	Trdota P-ravnina/ Hardness - cross section	ISO 13061-12:2014
12	20 × 20 × 20	HB_T	Trdota T-ravnina/ Hardness - tangential section	ISO 13061-12:2014
13	20 × 20 × 20	HB_R	Trdota R-ravnina/ Hardness - radial section	ISO 13061-12:2014

Rezultate meritev fizikalnih in mehanskih lastnosti pajesena iz rastišč na območju Mestne občine Ljubljana smo v nadaljevanju primerjali z lastnostmi jesena (*Fraxinus excelsior* L.), ki smo jih zbrali iz arhiva Katedre za tehnologijo lesa (Gorišek, 1992; Možina, 1969) in iz relevantne svetovne literature (npr. Wagenführ & Scheiber, 1989).

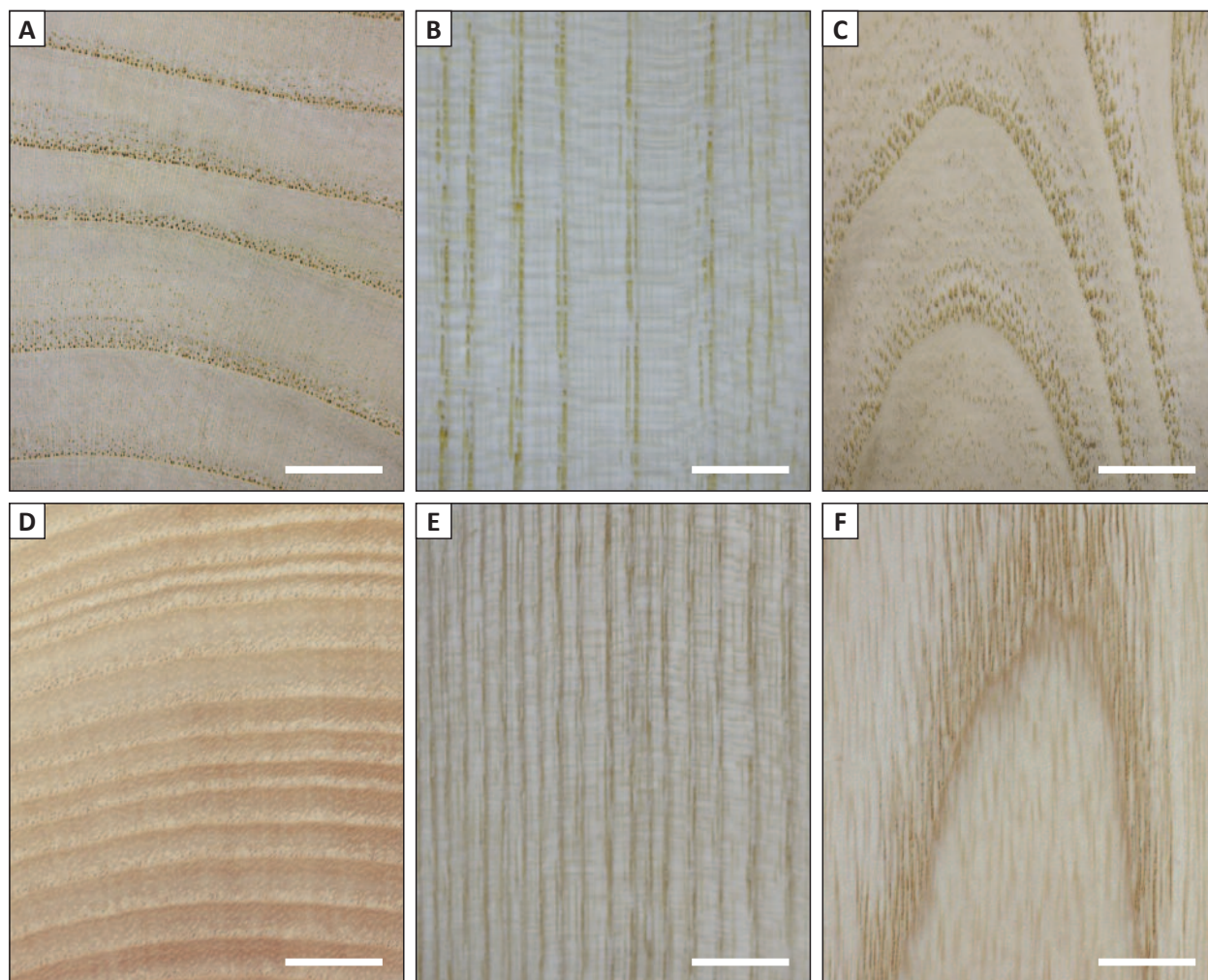
3 REZULTATI IN RAZPRAVA 3 RESULTS AND DISCUSSION

Les pajesena je blede rumen do svetlo rjav. Jetrovina se barvno ne loči od beljave, prav tako nismo zasledili diskoloriranega lesa. Glede na venčasto porozen razpored trahej in grobo teksturo in rahlo izražen naravni sijaj je po videzu podoben lesu

Preglednica 2. Barvnometrična primerjava (L^* – svetlost, a^* – vrednost na rdeče zeleni osi, b^* – vrednost na rumeno modri osi) lesa pajesena in jesena na prečni, radialni in tangencialni ravnini ter njuna celotna barvna razlika (ΔE).

Table 2. Colourimetric values (L^* – lightness, a^* – red-green axis, b^* – yellow-blue axis) and total colour difference (ΔE) of *Ailanthus altissima* wood and ash wood determined on cross, radial and tangential sections.

	<i>Ailanthus altissima</i>			<i>Fraxinus excelsior</i>			ΔE
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	
prečna ravnina/cross section	69,63	5,42	20,99	61,72	9,05	22,44	8,82
radialna ravnina/radial section	81,66	3,46	23,78	82,66	3,37	19,36	4,53
tangencialna ravnina/tangential section							
rani les/earlywood	74,55	7,29	29,07	76,62	6,53	20,71	8,65
kasni les/latewood	81,98	2,70	22,55	80,23	5,17	18,33	5,19



Slika 2. Prečna radialna in tangencialna ravnina lesa pajesena (a, b in c) in jesena (d, e in f), merilna daljica = 1 cm.

Fig. 2. Macroscopic view of *Ailanthus altissima* wood (a - cross, b - radial and c - tangential section) and ash wood (d - cross, e - radial and f - tangential section), scale bar = 1 cm

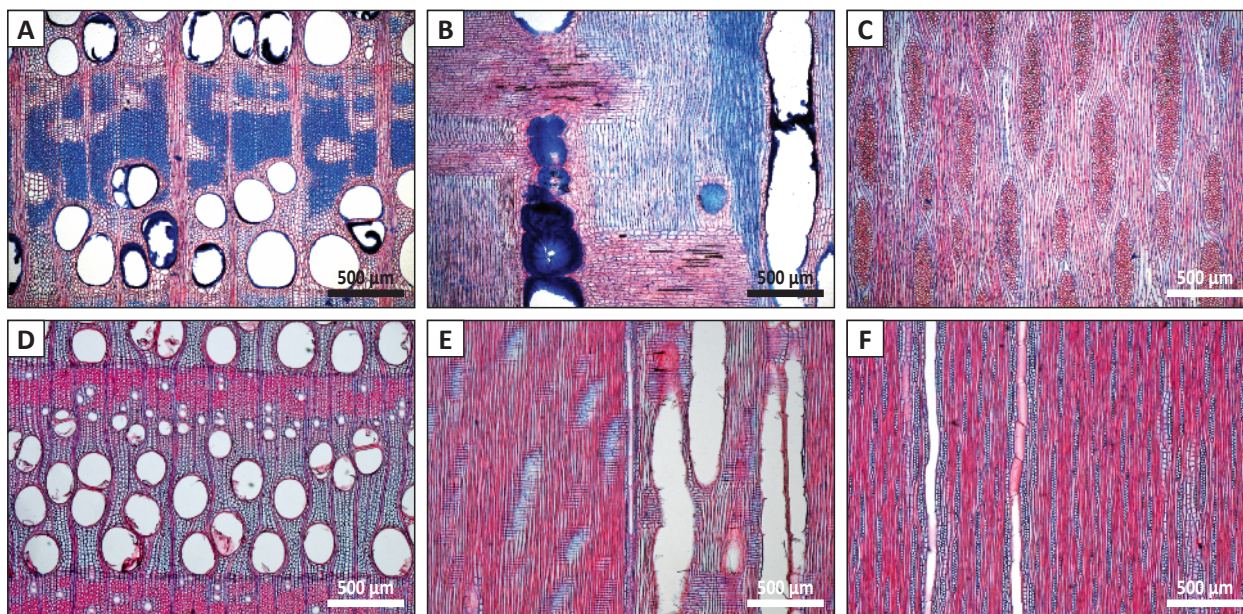
jesena. Barvna matrika kaže, da je tangencialna ravnina lesa pajesena nekoliko svetlejša od radialne, obe pa se značilno razlikujeta od temnejše prečne ravnine (Preglednica 2). Zanimiva je tudi primerjava svetlosti ranega in kasnega lesa na tangencialni ravnini, saj slednji izkazuje višjo svetlost. Temnejša barva ranega lesa je posledica temnejše obarvanih notranjih sten velikih por oz. trahej ranega lesa. Na barvnih oseh je sistem nekoliko pomaknjen k rdečim odtenkom, bolj izrazita pa je rumena os, kar potrjuje barvo, ocenjeno s prostim očesom. Na nobeni od anatomskih ravnin nismo zaznali značilnih razlik v barvi pajesena in jesena (t-test; $p \leq 0,05$). Celotna barvna razlika je bila največja na prečni ravnini ($\Delta E = 8,82$), najmanjša pa na radialni ($\Delta E = 4,53$).

Raziskani pajesen je imel široke branike (povprečna širina je bila pri prvem drevesu 16,7 mm, pri drugem 10,3 mm in pri tretjem 10,5 mm), na tangencialni ravnini pa so vidni tudi večredni trakovi, ki so obilnejši kot pri jesenu (Slika 2).

Makroskopski pregled kaže, da so pore (traheje ranega lesa) zelo velike, večinoma posamezne in lepo vidne s prostim očesom. V kasnem lesu so traheje majhne in grupirane ter niso vidne s prostim očesom. Zaradi obilnega aksialnega parenhima, ki jih obkroža, je na prečnem prerezu viden razpored

skupin trahej kasnega lesa v tangencialno usmerjenih pasovih. Na radialnem in tangencialnem prerezu pa tipičen videz lesu dajo predvsem vzdolžno prerezane velike pore ranega lesa, ki zaradi temnejše barve poudarjajo teksturo lesa.

Podroben mikroskopski pregled (Slika 3) kaže velikost trahej ranega lesa, pri katerih lahko tangencialni premer tudi presega 300 μm . V trahejah ranega lesa so vidni tudi gumozni depoziti (Preglednica 3 in Slika 3). Traheje kasnega lesa so bistveno manjše (premer do 20 μm) in grupirane v skupinah. Aksialni parenhim je v stiku s trahejami (paratrahealen), vazicentričen in krilast, v kasnem lesu pa je krilast konfluenten - zlivajoč (slika 3). Ob letnici v kasnem lesu najdemo tudi marginalni terminalni aksialni parenhim. Na tangencialnem prerezu so vidni večredni trakovi, večji med njimi so nad 10-redni. Pri pajesenu pogosto zasledimo tudi večji delež tenzijskega lesa z značilnimi želatinoznimi vlakni. Značilnost le-teh je večji delež celuloze in odsotnost lignina (Slika 3, prečni prerez – modro obarvana tkiva). Tenzijski les nastaja zaradi hitre rasti in posledično usmerjanja debla. O pogosti prisotnosti tenzijskega lesa pri pajesenu poročajo tudi drugi raziskovalci (Arnaboldi et al., 2003; Crivellaro & Schweingruber, 2013).



Slika 3. Mikroskopska zgradba lesa *Ailanthus altissima* in *Fraxinus excelsior* na prečnem (a in d), radialnem (b in e) in tangencialnem (c in f) prerezu. Svetlobna mikroskopija.

Fig. 3. Macroscopic wood structure of *Ailanthus altissima* (a - cross, b - radial and c - tangential section) and *Fraxinus excelsior* (d - cross, e - radial and f - tangential section). Light microscope.

Preglednica 3. Primerjava anatomskih znakov IAWA za Ailanthus altissima in Fraxinus excelsior (IAWA committee, 1989)

Table 3. Comparison of IAWA microscopic features of Ailanthus altissima and Fraxinus excelsior (IAWA committee, 1989).

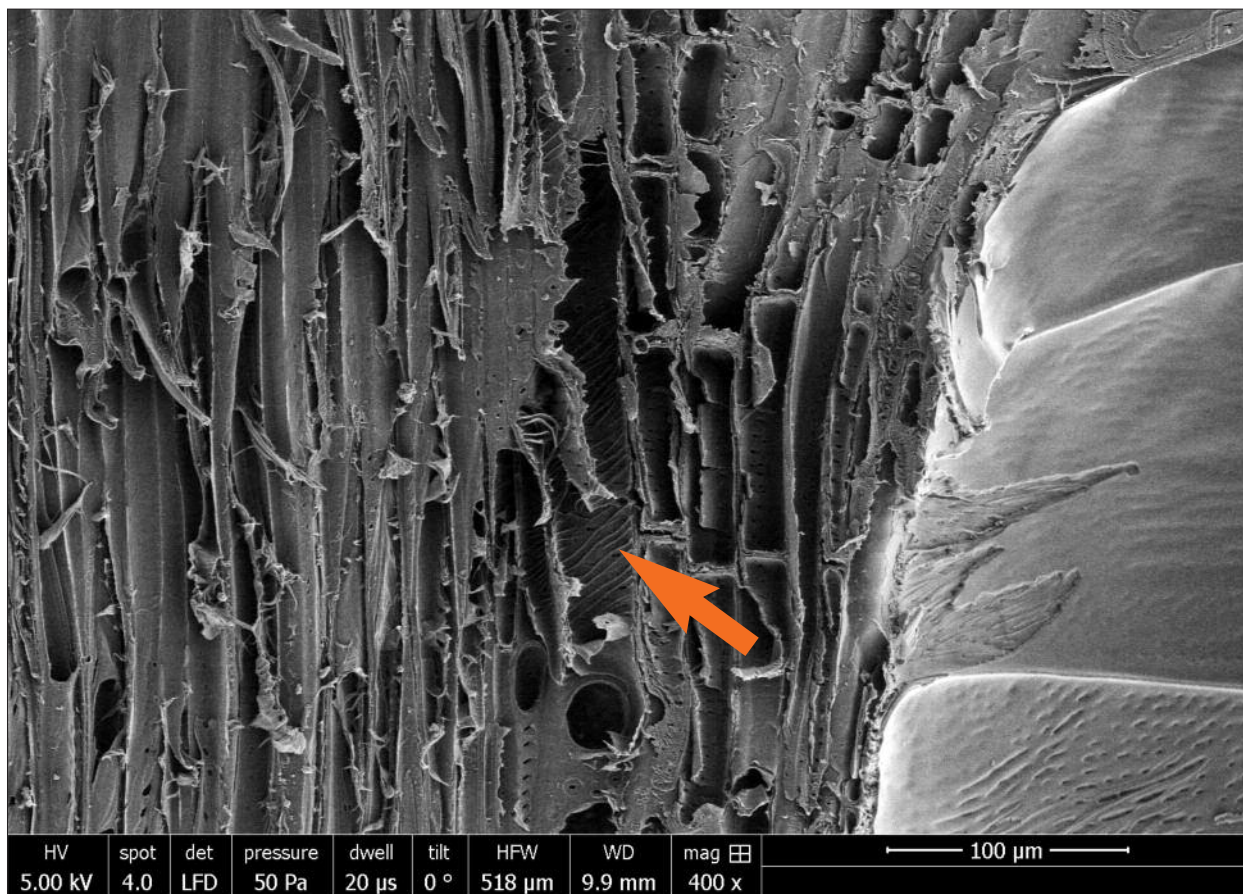
IAWA št./No.	Opis znaka IAWA	Description of IAWA feature	Ailanthus altissima	Fraxinus excelsior
1	Meje med prirastnimi kolobarji razločne	<i>Growth ring boundaries distinct</i>	✓	✓
3	Les venčasto porozen	<i>Wood ring-porous</i>	✓	✓
6	Traheje v tangencialnih pasovih	<i>Vessels in tangential bands</i>	✓	✗
11	Traheje v skupinah (skupkih)	<i>Vessel clusters common</i>	✓	✗
13	Enostavne perforirane ploščice	<i>Simple perforation plates</i>	✓	✓
22	Intervaskularne piknje izmenične	<i>Intervessel pits alternate</i>	✓	✓
23	Oblika izmeničnih pikenj poligonalna	<i>Shape of alternate pits polygonal</i>	✓	✓
24	Piknje - majhne - 4 µm ali manjše	<i>Pits - minute - ≤ 4 µm</i>	✗	✓
25	Piknje 4 do 7 µm	<i>Pits - small - 4 - 7 µm</i>	✓	✓
29	Piknje z izrastki	<i>Vestured pits</i>	✗	✓
30	Piknje med trahejami in trakovi z različnimi oboki; po velikosti in obliki podobne intervaskularnim piknjam	<i>Vessel-ray pits with distinct borders; similar to intervessel pits in size and shape throughout the ray cell</i>	✓	✓
36	Helikalne odebelitve v trahejnih elementih prisotne	<i>Helical thickenings in vessel elements present</i>	✓	✗
37	Helikalne odebelitve na celotni površini trahejnega elementa	<i>Helical thickenings throughout body of vessel element</i>	✓	✗
39	Helikalne odebelitve le v ožjih trahejnih elementih	<i>Helical thickenings only in narrower vessel elements</i>	✓	✗
42	Tangencialni premer trahej 100 do 200 µm	<i>Tangential diameter of vessels 100 - 200 µm</i>	✗	✓
43	Tangencialni premer trahej 200 µm ali več	<i>Tangential diameter of vessels ≥ 200 µm</i>	✓	✓
53	Tangencialni premer trahej: srednja vrednost, maksimum, minimum, st. odklon, razpon, 350 - 800 µm	<i>Tangential diameter of vessels: average, maximum, minimum, standard deviation 350 - 800 µm</i>	✓	✓
58	Gumozni in drugi depoziti v trahejah jedrovine	<i>Gums and other deposits in heartwood vessels</i>	✓	✗
61	Vlakna z enostavnimi do nekoliko obokanimi piknjami	<i>Fibres with simple to minutely bordered pits</i>	✓	✓
66	Neseptirana vlakna prisotna	<i>Non-septate fibres present</i>	✓	✓
69	Vlakna s tankimi do debelimi stenami	<i>Fibres thin- to thick-walled</i>	✓	✓
72	Vlakna z zelo debelimi stenami 900 - 1600 µm	<i>Fibres with very thick walls 900 - 1600 µm</i>	✓	✓
79	Aksialni parenhim vazicentričen	<i>Axial parenchyma vasicentric</i>	✓	✓
80	Aksialni parenhim krilast	<i>Axial parenchyma aliform</i>	✓	✓
82	Aksialni parenhim dolgo krilast	<i>Axial parenchyma winged-aliform</i>	✓	✓
83	Aksialni parenhim konfluenten	<i>Axial parenchyma confluent</i>	✓	✓
89	Aksialni parenhim v marginalnih ali navidezno marginalnih pasovih	<i>Axial parenchyma in marginal or in seemingly marginal bands</i>	✓	✓
92	Aksialni parenhim 4 (3 do 4) celice v parenhimskem pramenu	<i>Four (3 - 4) cells per parenchyma strand</i>	✓	✓
93	Aksialni parenhim 8 (5 do 8) celic v parenhimskem pramenu	<i>Eight (5 - 8) cells per parenchyma strand</i>	✗	✓
97	Trakovi 1 do 3 celice široki	<i>Ray width 1 to 3 cells</i>	✗	✓
99	Večji trakovi navadno 10 in več redni	<i>Larger rays commonly > 10-seriate</i>	✓	✗
102	Trakovi višji od 1 mm	<i>Ray height > 1 mm</i>	✓	✗
104	Vse trakovne celice ležeče	<i>All ray cells procumbent</i>	✗	✓
106	Celice osrednjega dela traku ležeče z eno vrsto pokončnih in/ali kvadratstih robnih celic	<i>Body ray cells procumbent with one row of upright and / or square marginal cells</i>	✓	✗
107	Celice osrednjega dela traku ležeče z večinoma 2 - 4 vrstami pokončnih in/ali kvadratstih robnih celic	<i>Body ray cells procumbent with mostly 2-4 rows of upright and / or square marginal cells</i>	✓	✗
110	Ovojne celice	<i>Sheath cells</i>	✓	✓
114	Število trakov 4 ali manj / mm	<i>Number of rays ≤ 4 / mm</i>	✓	✗
115	Število trakov 4 - 12 / mm	<i>Number of rays (4 - 12) / mm</i>	✗	✓
164	Evropa in zmerni pas Azije	<i>Europe and temperate Asia</i>	✓	✓
165	Evropa brez Sredozemlja	<i>Europe, excluding Mediterranean</i>	✓	✓
166	Sredozemlje vključno s Severno Afriko in Srednjim Vzhodom	<i>Mediterranean including Northern Africa and Middle East</i>	✓	✗
167	Zmerni pas Azije (Kitajska), Japonska, Sovjetska zveza	<i>Temperate Asia (China), Japan, Russia</i>	✓	✗
182	Severna Amerika, severno od Mehike	<i>North America, north of Mexico</i>	✓	✗
189	Drevo	<i>Tree</i>	✓	✓
192	Les s komercialnim pomenom	<i>Wood of commercial importance</i>	✓	✓
193	Osnovna relativna gostota nizka, 0,40 ali manjša	<i>Basic specific gravity low, ≤ 0.40</i>	✓	✗
194	Osnovna relativna gostota srednja, 0,40 - 0,75	<i>Basic specific gravity medium, 0.40 - 0.75</i>	✓	✓

Pregled zgradbe lesa (preglednica 3), je pokazal 22 razlik med pajesenom in jesenom. Prvi viden znak pajesena na prečnem prerezu so večje traheje ranega lesa in bistveno manjše traheje kasnega lesa. Slednje se pri pajesenu tudi pojavljajo v večjih skupinah, ki jih med seboj povezuje obilnejši konfluenten aksialni parenhim. Traheje kasnega lesa pajesena imajo tanke stene in za razliko od jesena imajo spiralne (helikalne) odebelitve (Slika 4). Trakovi pajesena so bistveno višji in širši. Pri jesenu so vse celice trakov ležeče (homogeni trak), medtem ko pri pajesenu na robu trakov najdemo od 1 do 3 vrste pokončnih oz. zidakastih celic (heterogeni trak).

Gostota v absolutno suhem stanju pri pajesenu je povprečno 614 kg/m^3 (Preglednica 2), kar vrsto uvršča med srednje goste lesove. Razlike med minimalnimi in maksimalnimi vrednostmi so relativno majhne, kar za venčasto porozne vrste ni najbolj

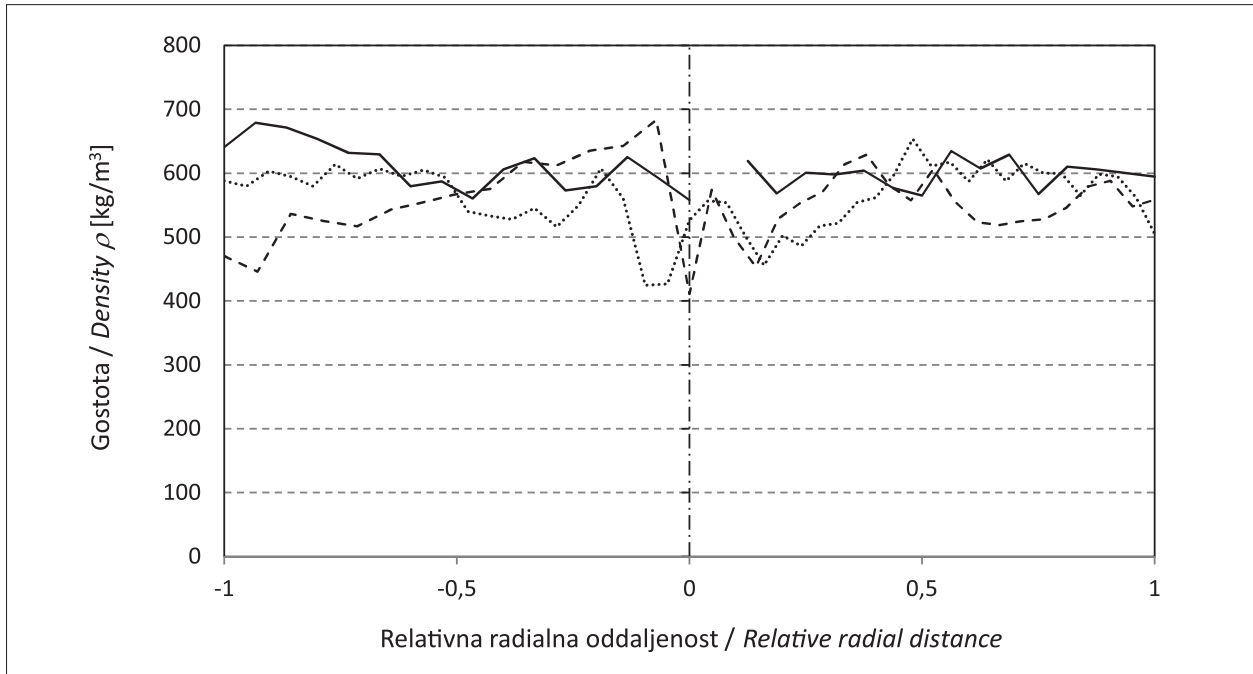
značilno (npr. pri jesenu gostota v absolutno suhem stanju variira med 410 in 820 kg/m^3) (Wagenführ & Scheiber, 1989). Pri pajesenu tudi ne moremo potrditi vpliva širine branik na gostoto, saj tudi pri dokaj velikem razponu širine branik (od $1,5$ do $17,1 \text{ mm}$) nismo ugotovili korelacije med širino branik in gostoto. Ugotavljamo le, da je pajesen v juvenilnem obdobju zelo hitro rastoča vrsta s širokimi letnimi prirastki, medtem ko je za kasnejše adultno obdobje značilen slabši debelinski prirastek. Večina dreves velikega pajesena je posekana v starosti 25 do 30 let, drevesa pa so pri nas redko starejša od 50 let. Glede na navedeno je delež juvenilnega lesa v deblih pajesena velik.

Gostota lesa proučevanih dreves pajesena je bila tik ob strženu najnižja, že po nekaj letih (branikah) pa večinoma doseže bolj ali manj konstantne vrednosti z manjšimi odkloni (Slika 5). Ugotovljena vlažnost lesa



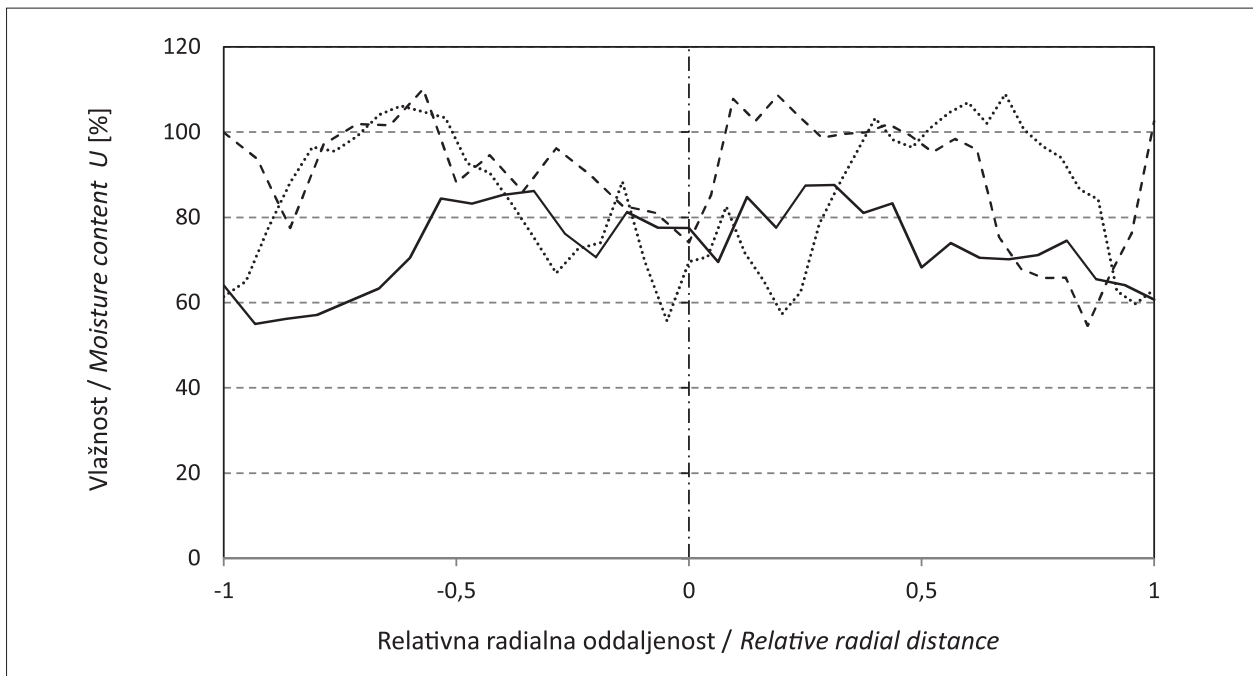
Slika 4. *Ailanthus altissima*, radialni prerez. V trahejah kasnega lesa so vidne helikalne odebelitve (puščica). Vrstična elektronska mikroskopija.

Fig. 4. *Ailanthus altissima* wood: radial section with Helical thickenings in late wood vessels (arrow). Scanning Electron Microscope.



Slika 5. Radialni razpored nominalne gostote treh dreves velikega pajesena (..... drevo 1 – $d = 41,5$ cm; — drevo 2 – $d = 27,5$ cm in - - - - - drevo 3 – $d = 31,0$ cm).

Fig. 5. Radial distribution of nominal density of *Ailanthus altissima* in three trees. Diameters (d): tree 1 – $d = 41.5$ cm; — tree 2 – $d = 27.5$ cm and - - - - - tree 3 – $d = 31.0$ cm.



Slika 6. Radialna porazdelitev vlažnosti treh dreves velikega pajesena (..... drevo 1 – $d = 41,5$ cm; — drevo 2 – $d = 27,5$ cm in - - - - - drevo 3 – $d = 31,0$ cm).

Fig. 6. Radial distribution of moisture content of *Ailanthus altissima* in three trees. Diameters (d): tree 1 – $d = 41.5$ cm; — tree 2 – $d = 27.5$ cm and - - - - - tree 3 – $d = 31.0$ cm.

je po celotnem prečnem prerezu dokaj visoka, kar pripisujemo juvenilnosti (Slika 6). Nekoliko nižje vrednosti na obodu, v prevodni beljavi tik pod skorjo, so posledice znižanja vlažnosti takoj po poseku.

Srednja gostota zračno suhega lesa pajesena je 641 kg/m³, osnovna gostota pa 522 kg/m³. Les s takšno gostoto ima najširši spekter možne uporabe. Primeren je za predelavo v celulozo in papir, za raznovrstne lesne plošče, za uporabo v pohištveni industriji, z nekaj zadržki pa tudi za konstrukcijske namene.

Pri pajesenu smo zaznali nadpovprečno veliko krčenje lesa v tangencialni smeri, medtem ko je krčenje v radialni smeri zmerno (Preglednica 4). Velika prečna krčitvena anizotropija zato kaže na oblikovno nestabilnost na prečnem prerezu, ki se izraža na rombastih deformacijah in veliki težnji h koritanju, k čemer so najbolj nagnjeni tangencialno orientirani elementi. Glede na srednjo gostoto lesa pajesena je njegovo volumensko krčenje ($\beta_V = 14,5\%$) veliko, po podatkih iz literature pa lahko celo presega 17 % (Panayotov et al., 2011). Posledica velikega krčenja je tudi visoka točka nasičenja celičnih sten, ki predstavlja v procesu sušenja kritičen prehod, ko se prične krčenje lesa, hkrati pa se pojavi še difuzijski upor. Predvidevamo, da je glede na izmerjene in izračunane vrednosti gostot in skrčkov napojitvena vlažnost pajesena 127,9 %, kar pomeni, da moramo iz prepojene beljave izločiti tudi do 700 kg vode, preden je les pajesena primeren za uporabo v večini predelovalnih postopkov.

Preglednica 4. Povprečne gostote lesa velikega pajesena pri vlažnosti 12 % ($\rho_u = 12\%$) in v absolutno suhem stanju (ρ_0), osnovna gostota (R), volumenski (β_V) in linearni skrčki (β_L , β_R in β_T) ter vlažnost pri točki nasičenja celičnih sten (u_{TNCS}) z osnovno statistiko v primerjavi z jesenom (Gorišek, 1992, Wagenführ & Scheiber, 1989).

*Table 4. Average values of density at 12% moisture content ($\rho_u = 12\%$), density in oven dry state (ρ_0), basic density (R), volume (β_V) and linear shrinkage (β_L , β_R and β_T) and fibre saturation point (u_{TNCS}) for *Ailanthus altissima* with basic statistics in comparison with *Fraxinus excelsior* wood.*

	Gostota / Density			Skrček / Shrinkage				Vlažnost TNCS/FSP
	$\rho_{u=12\%}$ [kg/m ³]	ρ_0 [kg/m ³]	R [kg/m ³]	β_V [%]	β_L [%]	β_R [%]	β_T [%]	u_{TNCS} [%]
Srednja vrednost/Average	641	614	522	14,9	0,5	4,0	11,0	35,2
Standardni odklon/St. Dev.	12,3	13,7	11,9	0,99	0,18	0,63	0,99	2,75
Koeficient variacije/c.v.	1,9	2,2	2,3	6,6	36,2	15,8	9,0	7,8
Minimum/Minimum	617	582	502	13,3	0,1	3,0	9,5	31,5
Maksimum/Maximum	655	634	541	16,2	0,7	5,1	12,5	40,6
Jesen/Ash wood	780	720	642	13,6	0,2	4,8	8,5	30,6

Sušenje lesa pajesena ni zahtevno, saj se ugodno suši tako nad točko nasičenja celičnih sten kot pod njo. Sušenje svežega lesa je ugodno in hitrejše kot pri lesnih vrstah s primerljivo gostoto. Pri načrtovanju sušenja je potrebno upoštevati visoko točko nasičenja celičnih sten, zato nastopi kritično območje relativno hitro (Preglednica 4). Večjo kontrolo zahteva tudi sušenje tangencialno orientiranih žagarskih sortimentov, ki so vsled velikega tangencialnega krčenja bolj podvrženi zvijanju in koritavosti, pri debelejših sortimentih tudi radialnim čelnim razpokam. Priporočljivo je obteževanje zložajev in premazovanje čel z neprepustnimi premazi. Pri izvajanju sušenja na prostem moramo les pajesena čim hitreje naletviti in ga postaviti v prezračen prostor, da preprečimo možnosti obarvanja in biotskih okužb.

V eksperimentalni konvekcijski sušilni komori smo pri previdnem režimu za sušenje žaganega lesa pajesena debeline 40 mm potrebovali 550 ur, oziroma smo sušili s povprečno sušilno hitrostjo 1,8 %/dan. Sušilni postopek ocenjujemo kot srednje zahteven s povprečno specifično porabo 1,6 kWh na kilogram izločene vode.

Pri statičnem upogibnem preizkusu smo opredelili togost velikega pajesena kot nizko s povprečnim modulom elastičnosti 11,7 GPa (Preglednica 5). Pričakovano višji dinamični modul ($E_d = 13,6$ GPa) vrsto uvršča v razred srednje togih lesov. V srednji razred ga razvrstimo tudi po upogibni in tlačni trdnosti. Tlačna trdnost v vzdolžni smeri je bila 3,3 krat večja kot v radialni smeri in 4,5 krat večja kot v tangencialni

Preglednica 5. Povprečne vrednosti in osnovna statistika dinamičnega (E_d) in statičnega (E_s) elastičnega modula, upogibne (σ_b) in tlačne trdnosti v vzdolžni ($\sigma_{c||}$), radialni ($\sigma_{c\perp R}$) in tangencialni ($\sigma_{c\perp T}$) smeri ter strižna modula v vzdolžno radialni (τ_{LR}) in tangencialni ravnini (τ_{LT}) velikega pajesena v primerjavi z jesenom (Wagenführ & Scheiber, 1989; Joudeikiene & Norvydas, 2005).

*Table 5. Average values and basic statistics for dynamic (E_d) and static (E_s) modulus of elasticity, bending strength (σ_b), compression strength in longitudinal ($\sigma_{c||}$), radial ($\sigma_{c\perp R}$) and tangential ($\sigma_{c\perp T}$) direction, shear strength in longitudinal-radial (τ_{LR}) and in longitudinal-tangential (τ_{LT}) planes of *Ailanthus altissima* in comparison with *Fraxinus excelsior* wood (Wagenführ & Scheiber, 1989; Joudeikiene & Norvydas, 2005).*

	Modul elastičnosti Modulus of elasticity		Upogibna trdnost Bending strength	Tlačna trdnost Compression strength			Strižna trdnost Shear strength	
	E_d [GPa]	E_s [GPa]	σ_b [MPa]	$\sigma_{c }$ [MPa]	$\sigma_{c\perp R}$ [MPa]	$\sigma_{c\perp T}$ [MPa]	τ_{LR} [MPa]	τ_{LT} [MPa]
Srednja vrednost/Average	13,6	11,7	111,6	53,3	16,1	11,8	18,7	17,9
Standardni odklon/St. Dev.	0,91	0,63	6,29	4,36	1,64	1,13	1,08	1,14
Koeficient variacije/c.v.	6,7	5,4	5,6	8,2	10,2	9,6	5,8	6,4
Minimum/Minimum	11,9	10,6	104,0	46,7	13,5	10,1	17,1	16,0
Maksimum/Maximum	15,3	12,9	123,0	59,4	17,8	13,3	20,5	19,5
Jesen/Ash wood	-	13,4	120	52	15,2	10,7	18,6	-

smeri. Podatki mehanskih lastnosti so primerljivi sicer redkimi podatki iz literature (npr. Moslemi & Bagwat, 1970, Brandner & Schickhofer, 2010).

Po trdoti lahko les pajesena razvrstimo med srednje trde lesove, kamor med drugim uvrščamo tudi črni bor, oreh in brest (Preglednica 6). Za lesene talne obloge bi z vidika trdote les pajesena lahko uporabili v manj obremenjenih prostorih.

Kot že omenjeno je les velikega pajesena po videzu in zgradbi zelo podoben lesu jesena. Z vidika

Preglednica 6. Povprečne vrednosti trdote na prečni (HB_p), vzdolžno radialni (HB_R) in vzdolžno tangencialni ravnini (HB_T) velikega pajesena v primerjavi z jesenom (Wagenführ & Scheiber, 1989).

*Table 6. Average values of hardness on cross- (HB_p), radial- (HB_R) and tangential sections (HB_T) of *Ailanthus altissima* in comparison with *Fraxinus excelsior* (Wagenführ & Scheiber, 1989).*

	HB_p	HB_R	HB_T
Srednja vrednost/Average	48,3	20,2	26,3
Standardni odklon/St. dev.	4,91	1,86	4,29
Koeficient variacije/c. v.	10,2	9,2	16,3
Minimum/Minimum	42,5	17,2	20,3
Maksimum/Maximum	58,1	22,8	32,3
Jesen/Ash wood	65,0	-	41,0

uporabnosti pa je zanimiva primerjava z relevantnimi fizikalnimi in mehanskimi lastnostmi (Slika 7). Primerjave s podatki iz arhiva Katedre za tehnologijo lesa (Možina, 1969; Gorišek, 1992) in relevantnimi podatki iz svetovne literature (Brandner & Schickhofer, 2010, Joudeikiene & Norvydas, 2005; Wagenführ & Schreiber, 1989) lahko zaključke strnemo takole. Če je gostota lesa pajesena le nekoliko nižja od jesena, moramo tem bolj izpostaviti veliko tangencialno krčenje. Velik tangencialni skrček je pogosto vzrok pojavljanju večjega števila sušilnih napak; bočnice so izrazito izpostavljene koritanju oziroma žlebatosti, k čemur prispeva tudi velika prečna krčivena anizotropija; tangencialno krčenje generira tudi močne sušilne napetosti, ki pri prekoračitvi trdnosti vodijo tako do površinskih razpok oz. poklin kot tudi do pogostejšega pojava čelnih razpok. Pričakujemo lahko močnejše zaskorjenje ali pri ostrejših pogojih sušenja tudi nastanek satastih razpok.

Les pajesena ima upogibno trdnost primerljivo z jesenom, v elastičnem območju pa kaže veliko večje podajnosti, saj je statični modul elastičnosti skoraj 15 % manjši kot pri jesenu. Tudi ostale nekoliko slabše mehanske lastnosti pajesena opozarjajo, da pri bolj obremenjenih izdelkih pajesena ne bi bil ustrezna zamenjava za jesen.

Zaradi velikega krčenja moramo biti pozorni tudi pri sušenju, ki pri ostrih pogojih lahko privede

do večjega števila razpok (poklin in čelnih razpok) predvsem na tangencialnih deskah, večja dimenzijska nestabilnost pa omejuje uporabo pajesena zlasti še v nihajočih klimatskih razmerah.

Glede na ugotovljene lastnosti menimo, da les pajesena predstavlja večji potencial za predelavo v celulozo in papir, iz njega lahko izdelujemo raznovrstne lesne plošče, ob pravilni sestavi kompozitov pa je uporaben tudi za konstrukcije, ki niso izpostavljene drastičnim klimatskim razmeram.

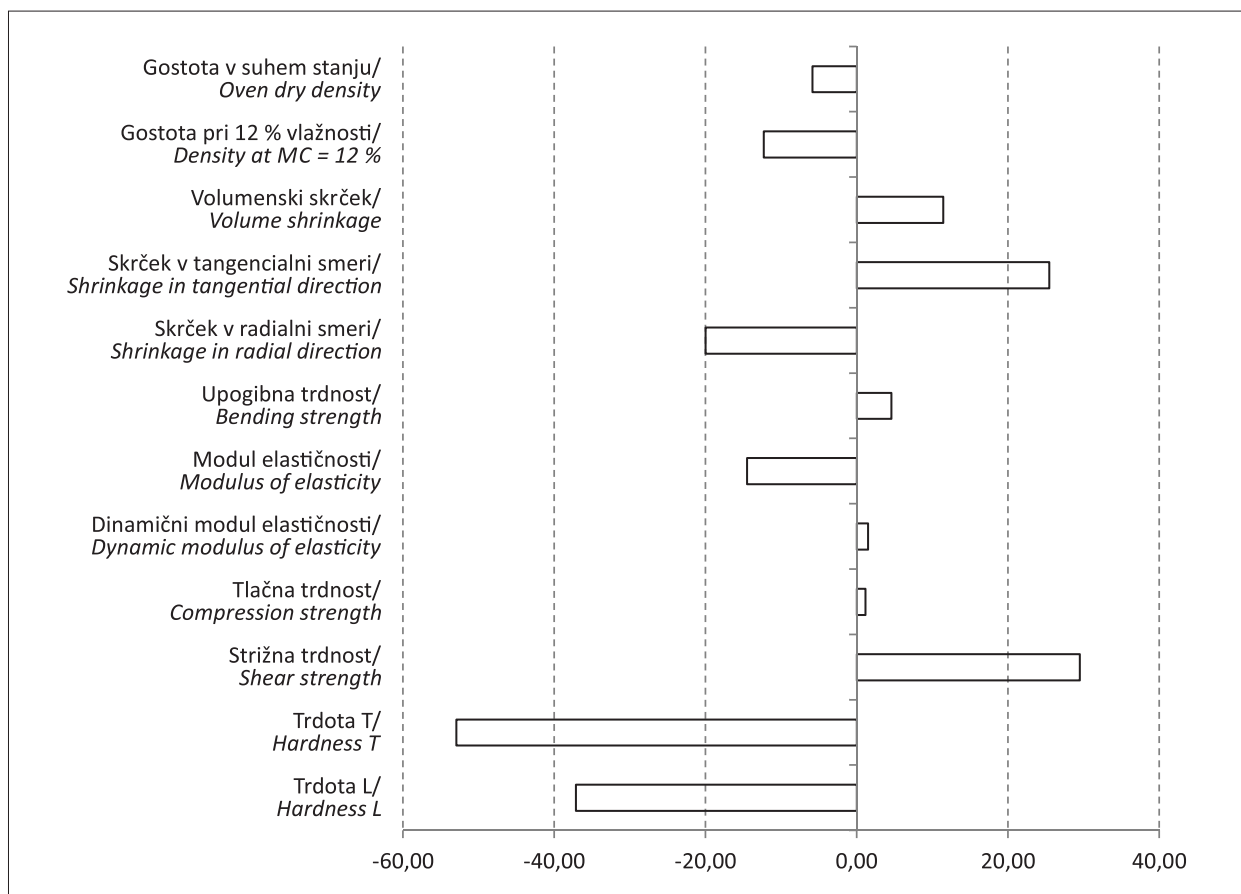
5 ZAKLJUČKI 5 CONCLUSIONS

Les drevesne vrste *Ailanthus altissima* – velikega pajesena je na pogled upravičeno primerljiv z lesom našega velikega jesena (*Fraxinus excelsior*), pregled mikroskopskih znakov pa kaže več razlik.

Traheje ranega lesa so zelo velike in lahko vsebujejo gumozne depozite. Traheje kasnega lesa pa imajo značilne helikalne odebelitve in tanjše stene kot so stene trahej kasnega lesa pri jesenu. Večje skupine trahej kasnega lesa so obdane z obilnejšim paratrahealnim, tudi krilato konfluentnim aksialnim parenhimom. Trakovi lesa pajesena so heterogeni ter višji in širši od homogenih trakov pri jesenu.

Gostota lesa pajesena je v povprečju nekoliko manjša in manj variabilna kot pri jesenu. Les pajesena ima izrazito tangencialno krčenje, kar zahteva večjo pozornost pri sušenju in pri uporabi v izpostavljenih klimatskih razmerah.

Kljub nekaterim podobnim fizikalno-mehanskim lastnostim pa zaradi nekaterih izrazito odstopajočih vrednosti lesa pajesena ne moremo priporočiti za zamenjavo lesa jesena. Med lastnostmi, ki omejujejo in zmanjšujejo možnost rabe pajesena, so predvsem



Slika 7. Primerjava izbranih fizikalnih in mehanskih lastnosti lesa velikega pajesena (levo) in velikega jesena (desno) z odstotnimi razlikami.

Fig. 7. Comparison of selected physical and mechanical properties of *Ailanthus altissima* (left) in comparison with *Fraxinus excelsior* (right) wood.

velik delež juvenilnega lesa in pogosta prisotnost tenzijskega lesa, nadpovprečno krčenje, slabši modul elastičnosti in nizka trdota. Odsvetujemo uporabo lesa pajesena za izdelke, ki so mehansko obremenjeni kot tudi tiste, ki so izpostavljeni ostrejšim klimatskim pogojem ali nihanjem.

Les pajesena je potencialno primeren za predelavo v celulozo in papir in za kompozitne plošče iz dezintegriranega lesa.

6 POVZETEK 6 SUMMARY

The Chinese sumac (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) is among the four most invasive non-native species in Europe, including in Slovenia. The Chinese sumac originates from China and the Maluku Islands, and was brought to Europe in the 18th century. The first records on cultivation in Slovenia date back to 1795, when they began to plant it as a park tree. Later, with the beginning of afforestation, and in particular in Karst areas in Slovenia, it became invasive. It also grows in forest clearings, abandoned agricultural land, along traffic routes, on abandoned industrial areas, and in rocky terrain or in wall cracks.

Chinese sumac wood has some similarities to European ash (*Fraxinus excelsior* L.) wood that is native in Slovenia. The two species are similar regarding tree appearance and the structure of the wood. This was the main reason for the present study, where we analysed visual, anatomical and selected physical and standard mechanical properties of both wood species.

Chinese sumac wood for experimental work was obtained from three park trees from Ljubljana, felled in the autumn of 2017. One 2 m long log was taken from the base of each tree and sawn afterwards into 32 mm thick boards, from which central radial boards were included in the study. A part of each central board was used in the green state to determine gravimetrically moisture content and density profiles. The rest of the boards were carefully kiln dried to 12% final moisture content. The boards were then conditioned for 1 month in the normal climate (20 °C, 65% RH). Furthermore, we made oriented specimens (20 mm × 20 mm × 600 mm in radial × tangential × longitudinal direction), from the adult wood region, in order to determine the physical and the mechanical properties.

We determined the density, volume- and axial shrinkage, and the moisture content at the fibre saturation point. The dynamic modulus of elasticity was determined from the frequency response, and standard static mechanical tests were carried out to determine the bending strength and modulus of elasticity, compression strength (parallel and perpendicular to the grain), shear strength and the wood hardness. Additionally, the Chinese sumac wood was studied visually and by CIELab colorimetry. Light-microscopic examination of Chinese sumac followed the IAWA list of microscopic features for hardwood identification (IAWA Committee, 1989). The results obtained for the Chinese sumac were compared with the data from the relevant literature for European ash wood (e.g., Wagenfuher & Schreiber, 1989) and data from our own unpublished research.

Visually, the woods of both species have similar pale yellow to light brown colour, locally with distinctively lighter yellowish to green longitudinal stripes. Calorimetrically, the Chinese sumac wood is slightly darker ($\Delta L^* = 7.9$) and more pale yellow ($\Delta a^* = 3.6$) than European ash wood ($\Delta E^* = 8.8$). On the tangential plane of Chinese sumac, we recorded more abundant and slightly larger rays than in European ash wood.

Chinese sumac has big early-wood vessels, with a tangential diameter of more than 300 μm . In heartwood vessels gums and other deposits are commonly present. Latewood vessels are much smaller, approximately 20 μm in diameter, forming clusters which are arranged in tangential bands. Vessels are surrounded by axial parenchyma that is defined as paratracheal, vasicentric, aliform and also aliform confluent. The latter is rarely observed in European ash. Chinese sumac wood thus has larger early wood vessels, smaller latewood vessels (which also have spiral helical thickenings) than ash wood. The rays in Chinese sumac are bigger, commonly more than 10-seriate and higher than 1 mm, body ray cells are procumbent and marginal cells are upright (heterogeneous ray), whereas in European ash rays are smaller and homogeneous. Due to fast growth, wide growth rings and the need for reorientation, a large proportion of tension wood with gelatinous fibres is commonly present in Chinese sumac.

Chinese sumac wood has an average oven dry density of 614 kg/m^3 , with low variation (coef. of variation = 2.2%). Its density is only slightly lower

than that of European ash wood, ranging between 410 kg/m^3 and 820 kg/m^3 (Wagenführ & Scheiber, 1989). In contrast to the European ash, we could not confirm the expected negative correlation of the growth ring width and the density in Chinese sumac wood. We only found that Chinese sumac is a very fast growing tree species in its juvenile period, and has a lower growth rate afterwards. Most Chinese sumac trees are cut down at the age of 25 to 30 years, and exceptionally there are trees that are older than 50 years.

Chinese sumac wood had an above-average tangential shrinkage ($\beta_T = 11.0\%$). The radial shrinkage was however moderate ($\beta_R = 4.0\%$), and similar to that of the European ash wood. High transverse shrinkage anisotropy increases the risk of shape instability in the cross-section and warping of wood. Depending on the average density, Chinese sumac wood has a large volumetric shrinkage ($\beta_V = 14.5\%$) and also a high fibre saturation point ($FSP = 35.2\%$). The latter should be taken into account when planning the drying process in order to avoid excessive drying stress. Otherwise, the drying of the Chinese sumac wood is unpretentious and faster compared to the wood of the species with comparable density.

The modulus of elasticity in bending of the Chinese sumac wood ($E_S = 11.7\%$) is just slightly smaller (-15%) than in the European ash wood. The Chinese sumac is completely comparable to the European ash wood regarding bending strength ($MOR = 111.6 \text{ MPa}$) and compression strength ($\sigma_{JL,max,c} = 53.3\%$). Otherwise, the compression strength of the Chinese sumac wood was 3.3 times greater in the longitudinal direction than in the radial direction, and 4.5 times larger than in the tangential direction. The shear strength of the Chinese sumac wood is also high ($\tau_{LR} = 18.7 \text{ N/mm}^2$; $\tau_{LT} = 17.9 \text{ N/mm}^2$) in comparison to other wood with comparable density, such as black pine, walnut and elm, and is greater than the literature reports for the European ash wood. The hardness of Chinese sumac wood was the only mechanical property that was considerably lower than that found in the European ash wood ($HB_C = 48.3 \text{ N/mm}^2$; $HB_R = 20.2 \text{ N/mm}^2$; $HB_T = 26.3 \text{ N/mm}^2$). Therefore, the use of Chinese sumac wood for flooring is not recommended.

In spite of having some similar physico-mechanical properties, Chinese sumac cannot substitute

for European ash wood. Care is needed if we intend to use Chinese sumac for highly loaded constructions, since most of the strength properties do not reach those of the European ash wood. Due to the large shrinkage, we must also pay attention to the drying process, which can lead to a greater number of errors under severe drying conditions. Wood of Chinese sumac cannot be recommended for demanding products, as it usually has high proportion of juvenile and tension wood. However, Chinese sumac wood could be used to produce pulp and paper, as well as wood panels and for less loaded construction purposes.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Predstavljeni rezultati so del raziskav, ki potekajo v okviru izvajanja projekta APPLAUSE (UIA02-228), programske sheme Urban Innovative Action, ki ga finančno podpira Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj (ESRR). Del študije je bil opravljen v okviru raziskav programske skupine P4-0015, ki jo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost republike Slovenije (ARRS). Avtorji se še posebej zahvaljujemo Luki Kržetu, dipl. ing. les. in Jožetu Planinšiču za skrbno in natančno pripravo vzorcev ter pomoč pri izvajanju analiz.

VIRI

REFERENCES

- Alden, H. A. (1995). *Hardwoods of North America*. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-83. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 136 p.
- Anko, B. (1984a). Kresničke iz gozdarske zgodovine. *Gozdarski vestnik*, 42, 75–76.
- Anko, B. (1984b). Umni gospodar o kozah. *Kresničke iz gozdarske zgodovine*. *Gozdarski vestnik*, 42, 232–234.
- Applause (2017). URL: <https://www.uia-initiative.eu/en/uia-cities/ljubljana>
- Arnaboldi, F., Conedera, M., & Fonti, P. (2003). Caratteristiche anatomiche e auxometriche di *Ailanthus altissima*. Una specie arborea a carattere invasivo. *Sherwood*, 9(91), 19–22.
- Azim, A., Khan, A. G., Ayaz, M., & Mirza, I. H. (2002). Nutritional evaluation of fodder tree leaves with goats. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 15(1):34–37.
- Becker, C. (2009). Control and utilization of tree of heaven. Virginia department of forestry, Virginia.
- Bioportal.si. URL: <http://www.bioportal.si/fotoarhiv.php?iskanec=veliki%20pajesen>

- Brandner, R., & Schickhofer, G. (2010). Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima*): enormous and wide potential neglected by the western civilisation. In: WCTE 2010 Conference Proceedings (pp. 1–7).
- Brus, R., Arnšek, T., & Gajšek, D. (2016). Pomlajevanje in širjenje velikega pajesena (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) na Goriškem. *Gozdarski vestnik*, 74(3), 115–125.
- Burch, P. L., & Zedaker, S. M. (2003). Removing the invasive tree *Ailanthus altissima* and restoring natural cover. *Journal of Arboriculture*, 29(1):18–24.
- Crivellaro, A., & Schweingruber, F. H. (2013). Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs with a Special Focus on Cyprus. Berlin, Springer Berlin.
- EN 1534:2011 (2011). Wood flooring - Determination of resistance to indentation (Brinell) - Test method. (Lesene talne obloge - Ugotavljanje odpornosti proti vtiskovanju (Brinell) - Preskusne metode).
- Feret, P. P. (1985). *Ailanthus*: Variation, cultivation, and frustration. *Journal of Arboriculture*, 11(12), 361–368.
- Feret, P. P. (1973). Early flowering in *Ailanthus*. *Forest Science*, 19:237–239.
- Gorišek, Ž. (1992). Vpliv prečne krčitvene anizotropije lesa na sušenje in stabilnost. Doktorska disertacija. Ljubljana Biotehniška fakulteta, 120 p.
- Gorišek, Ž., Straže, A., Čufar, K., Šega, B., Marenče, J., & Gornik Bučar, D. (2016). Visual and acoustics grading of beech wood from standing tree to final product. IN: Proceeding Hardwood Conference „Eco-efficient Resource Wood“ with special focus on hardwoods. Sopron 2016.
- Gravano, E., Giulietti, V., Desotgiu, R., Bussotti, F., Grossoni, P., Gerosa, G., & Tani, C. (2003). Foliar response of an *Ailanthus altissima* clone in two sites with different levels of ozone-pollution. *Environ Pollut.*, 121(1):137–46.
- Heisey, R. M. (1990). Evidence for allelopathy by tree of heaven (*Ailanthus altissima*). *J Chem Ecol.*, 16(6), 2039–2055.
- Hu, S. Y. (1979). *Arnolia Ailanthus*, 39(2), 29–50.
URL: <http://arnoldia.arboretum.harvard.edu/pdf/articles/1979-39-2-ailanthus.pdf>
- IAWA (1989). List of Microscopic Features for Hardwood Identification, with an Appendix on non-anatomical information. Wheeler E. A., Baas. P. and Gasson P.E. (eds), IAWA Bulletin, 10(3), 219–332.
- ISO 13061-1:2014. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens: Part 2 Determination of moisture content for physical and mechanical tests.
- ISO 13061-2:2014. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens: Part 2 Determination of density for physical and mechanical tests. 5 p.
- ISO 13061-3:2014. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens: Part 3 Determination of ultimate strength in static bending.
- ISO 13061-4:2014. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens: Part 4 Determination of modulus of elasticity in static bending.
- ISO/DIS 13061-5: 2018. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 5: Determination of strength in compression perpendicular to grain.
- ISO 13061-12:2017. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 12: Determination of static hardness.
- ISO 13061-13:2016. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 13: Determination of radial and tangential shrinkage.
- ISO 13061-14:2016. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 14: Determination of volumetric shrinkage.
- ISO 13061-15:2017. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 15: Determination of radial and tangential swelling.
- ISO/DIS 13061-16: 2017. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 16: Determination of volumetric swelling.
- ISO 13061-17:2017. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 17: Determination of ultimate stress in compression parallel to grain.
- ISO 3347:1976. Wood — Determination of ultimate shearing stress parallel to grain.
- Joudeikiene, I., & Norvydas, V. (2005). Compression Strength of Oak and Ash Wood Perpendicular to Grain. *Materials Science (Medžiagotyra)* 11(1), 40–44.
- Kožuharova, E., Lebanova, H., Getov, I., Benbassat, N., & Kochmarov, V. (2014). *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle – a terrible invasive pest in Bulgaria or potential useful medicinal plant? *Bothalia Journal*, 44(3), 213–230.
- Kudela, J., & Mamonova, M. (2006). Tree of heaven – structure and properties. V: Kurjatko, S. Kudela, J., Lagana, R. Wood structure and properties. Arbora publisher, Zvolen. 275–280.
- Miller, J. H. (1990). *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. In: Burns, R. M., Honkala, B. H. (1990). *Silvics of North America: Volume 2 – Hardwoods*. Agricultural Handbook, 654, United States Department of Agriculture, Washington, DC, p. 101–104.
- Moslemi, A. A., & Bhagwat, S. G. (1970). Physical and mechanical properties of the wood of tree-of-heaven. *Wood and Fiber*, 1(4), 319–323.
- Možina, I. (1969). Raziskovanja tehnoloških lastnosti jesenovine. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, 130 p.
- Panayotov, P., Kalmukov, K., & Panayotov, M. (2011). Biological and wood properties of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Forestry ideas*, 17, 2(42), 122–130.
- Rastline – invazivne tujerodne vrste. Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije. URL: http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/narava/invazivne_tujerodne_vrste_rastlin_in_zivali/rastline_invazivne_tujerodne_vrste/veliki_pajesen_ailanthus_altissima/veliki_pajesen_tudi_veliki_pajesen_ailanthus_altissima/
- Rožnberger, D., Nagel, T., Urbas, B., Marion, L., & Brus, R. (2017). Nekateri ukrepi za omejevanje velikega pajesena (*Ailanthus al-*

Gorišek, Ž., Plavčak, D., Straže, A., & Merela, M.: Technological properties and usability of Chinese sumac wood in comparison with ash wood

- tissima* (Mill.) Swingle) in smernice za gozdnogojitveno ukrepanje ob vdoru potencialno invazivnih tujerodnih drevesnih vrst v ohranjene gozdove v Sloveniji. *Gozdarski vestnik*, 75(1), 3–20.
- SIST EN ISO 11664-4 (2011). Colorimetry – Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour space. European Committee for standardization, Brussels, Belgium.
- Wagenführ, R., & Scheiber, Chr. (1989). *Holzatlas*. Leipzig : Fachbuchverlag.
- Zhu, J. L., Shi, Y., Fang, L., Liu, X., & Ji, C. (2015). Patterns and determinants of wood physical and mechanical properties across major tree species in China *Science China. Life Sciences* 58(6), 602–612.