



LASTNOSTI BUKOVINE IN NJENA RABA

PROPERTIES OF BEECHWOOD AND ITS USE

Katarina Čufar^{1*}, Željko Gorišek¹, Maks Merela¹, Jože Kropivšek¹, Dominika Gornik Bučar¹, Aleš Straže¹UDK 630*89:176.1 *Fagus sylvatica*(045)

Izvleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Izvleček: Predstavljamo zgradbo ter biološke, fizikalne in mehanske lastnosti lesa navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.) v primerjavi z lastnostmi lesa smreke in izbranih listavcev. Fina tekstura, visoka homogenost, nizka anizotropija, srednja do visoka gostota, dobre mehanske lastnosti, dobra strojna obdelava, lepljenje, površinska obdelava ter možnost krivljenja omogočajo široko rabo bukovine. Danes preveč bukovine porabimo za pridobivanje energije, zato bi za njeno boljše izrabo morali oživiti ali povečati proizvodnjo tradicionalnih in novih polizdelkov kot so žagan les, konstrukcijski in plemeniti furnir, ploščni kompoziti ter izdelki kemične predelave, za energetske potrebe pa bi morali uporabljati predvsem ostanke, ki nastanejo pri predelavi lesa. Glede na predstavljene ugodne lastnosti in uspešno reševanje problema nizke odpornosti bi se lahko usmerili v razvoj inovativnih izdelkov za večjo rabo bukovine v gradbeništvu.

Ključne besede: navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.), lastnosti lesa, tradicionalna raba, inovativni izdelki, gradbeni les, Slovenija

Abstract: We present the structure as well as biological, physical and mechanical properties of European beech (*Fagus sylvatica* L.) wood in comparison with that of Norway spruce and selected hardwoods. Fine grain, high homogeneity, low anisotropy, medium to high density, favourable mechanical properties, machining, bonding, and finishing, as well as suitability for bending, are among the main advantages which enable wide use of beechwood. Large amounts of beechwood are currently used as fuel. However, for its optimal use, we should revitalize and increase the production of traditional and new semi-finished products like sawn timber, structural and decorative veneer, composite boards and products of chemical processing. In contrast, for energy purposes we should mainly use the residues from these wood-working procedures. According to the numerous favourable properties of beechwood and fairly good possibilities of increasing its durability, we should focus on the development of innovative products to increase its use for construction purposes in buildings.

Keywords: European beech (*Fagus sylvatica* L.), wood properties, traditional wood use, innovative products, wooden construction, Slovenia

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Naraščajoč delež bukve (*Fagus sylvatica* L.) v lesni zalogi ter precejšnje zmanjšanje obsega lesne predelave v Sloveniji na novo odpirata vprašanja o možnostih ponovne oživitve primarne predelave in uvajanja novih, izboljšanih načinov rabe bukovine za polproizvode ter možnosti povečanja proizvodnje različnih izdelkov z visoko dodano vrednostjo. Trenutno velik delež bukovine porabimo za energetske namene in/ali proizvodnjo polizdelkov in izdelkov z nižjo dodano vrednostjo, ki slabo izkoriščajo potencial dodane vrednosti bukove surovine. Z vzpostavitvijo

celotne gozdno-lesne verige, predvsem s ponovno oživitvijo primarne predelave lesa in vseh nadaljnjih členov te verige, bi lahko učinkoviteje izkoristili potencialne lesne zaloge, povečali zmogljivosti lesne predelave in dosegli večjo dodano vrednost s številnimi pozitivnimi učinki na gospodarstvo in okolje.

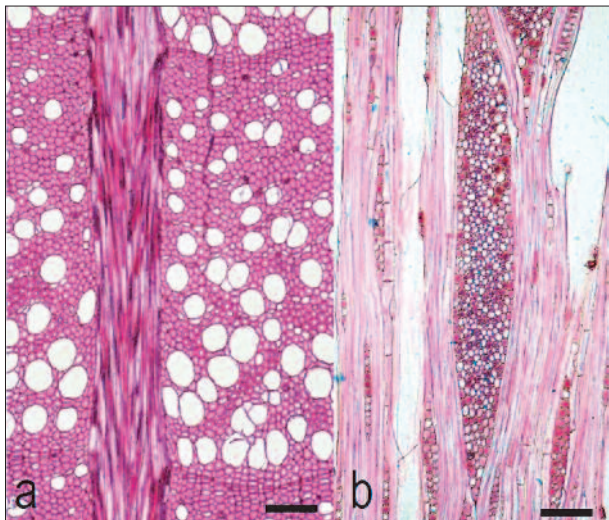
Kljub nihanjem v predelavi in rabi spada bukovina med industrijsko najbolj uporabljane lesne vrste v Evropi. Bukovino v Sloveniji dobro poznamo, vendar le redko hvalimo njeno univerzalno uporabnost, pogosteje pa se ukvarjamo z njenimi napakami in pomanjkljivostmi. Natančen pregled zgradbe in lastnosti bukovine potrjuje možnosti raznovrstne rabe (Cimperšek, 2012; Čufar et al., 2012a, b). Bukovino pogosto uporabimo tudi za zamenjavo drugih lesnih vrst, predvsem listavcev, ki jih tradicionalno uporabljamo za posebne izdelke.

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

* e-pošta: katarina.cufar@bf.uni-lj.si; telefon: 01-320-3645

Cilj pričujočega prispevka je izpostaviti nekatere glavne lastnosti bukovine, jih primerjati z lastnostmi drugih lesnih vrst, podati pregled skupin polizdelkov in izdelkov iz bukovine, ter predstaviti potencial bu-

kovine za inovativno rabo v gradbeniških konstrukcijah. Raziskava je nastala v okviru CRP projekta Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini.



Slika 1. Mikroskopska zgradba lesa bukve (*Fagus sylvatica* L.) kot difuzno porozne lesne vrste z majhnimi, dokaj enakomerno razporejenimi trahejami in velikimi trakovi v prečnem (a) in tangencialnem prerezu (b) določa njene lastnosti kot so visoka homogenost, gostota in trdnost ter primernost za krivljenje. Merilna črtica 100 μ m (Foto: M. Merela).

Figure 1. The microscopic structure of beech (*Fagus sylvatica* L.) wood as a diffuse porous species with small and uniformly distributed vessels and large rays shown in cross- (a) and tangential sections (b) determine its properties, such as high homogeneity, density and strength, as well as suitability for bending. Bar 100 μ m (Photo: M. Merela).



Slika 2. Tekstura lesa bukve v prečnem (P), radialnem (R) in tangencialnem prerezu (T), ter les z rdečim srcem (RS) (Foto: M. Merela).

Figure 2. Images of beechwood in cross (P), radial (R) and tangential planes (T), and wood with red heart (RS) (Photo: M. Merela).

vanje (npr. odlom večje veje), se v osrednjem delu debla pojavlja diskoloriran les (rdeče srce), ki ga večinoma obravnavamo kot napako (Torelli, 2003).

Po privzetem evropskem standardu (SIST EN 350, 2017) bukovino uvrščamo med lesne vrste, ki so neodporne na glive in insekte, vključno s termiti (Humar et al., 2015), zato je treba biti pri ravnanju z bukovino po poseku posebno pazljiv, saj je les zelo dovzeten za okužbo z glivami in za napad sekundarnih lesnih insektov. Rdeče srce ni nič bolj odporno kot beljava. Bukov les je zato pri uporabi potrebno primerno vgraditi ali impregnirati. Veliko si obetamo tudi od izboljšanja trajnosti s pomočjo ekoloških kemičnih postopkov in termične modifikacije.

Pri predelavi lesa povzročajo težave tudi neugodne notranje napetosti v lesu, ki se sproščajo po poseku ter povzročajo zvijanje in pokanje lesa (Torelli, 1998). Pri drevesih z ovirano vertikalno rastjo – na primer na strmih pobočjih – se lahko pojavijo

večje količine tenzijskega lesa, ki ga ne moremo gladko obdelati, saj pri žaganju in skobljanju nastane volnata površina. Tenzijski les ima tudi do petkrat večji aksialni skrčec od običajnega, zato se deske, furnir in drugi sortimenti, ki vsebujejo tenzijski les, zvijajo in pokajo (Gorišek, 2009).

2.2 FIZIKALNE IN MEHANSKE LASTNOSTI BUKOVINE

2.2 PHYSICAL PROPERTIES OF BEECHWOOD

2.2.1 Gostota

2.2.1 Density

Med lastnostmi lesa je ključna gostota, ki je opredeljena kot masa na enoto volumna in je odvisna od deleža celičnih sten in lumnov oz. velikosti celic, debelin celičnih sten in deležev tkiv. Z opredelitvijo gostote lahko predvidimo primernost lesne vrste za različne rabe. Bukovina ima med evropskimi komercialnimi lesnimi vrstami relativno visoko go-

Preglednica 1. Gostota in izbrane lastnosti bukovine v primerjavi z lastnostmi smreke, izbranih evropskih listavcev ter tropskih balze in gvajaka, s spodnjega in zgornjega roba razpona gostot (Grosser & Teetz, 1987; Wagenführ, 2007; Naylor, 2014; SIST EN 350, 2017)

Table 1. Density and selected properties of beechwood in comparison with those of Norway spruce, some important European hardwoods as well as tropical balsa and guaiac, from the lower and upper edges of the density range (Grosser & Teetz, 1987; Wagenführ, 2007; Naylor, 2014; SIST EN 350, 2017)

Lesna vrsta / Wood Species	Latinsko ime / Latin Name	Gostota / Density		Krčenje / Shrinkage			E-modul / E-Modulus	Tlačna trdnost / Compression Strength	Upogibna trdnost / Bending Strength	Odpornost / Durability
		ρ_0	ρ_{12-15}	β_R	β_T	β_V				
		kg/m ³	kg/m ³	%	%	%	E	σ_c	σ_t	
balza / balsa	<i>Ochroma logopus</i>	130	180	3,0	5,3	9,0	2,6	3,5	3,9	5
smreka / spruce	<i>Picea abies</i>	430	470	3,6	7,9	12,0	11,0	50	78	4
topol / poplar	<i>Populus nigra</i>	410	450	5,2	9,8	14,3	8,8	35	60	5
lipa / lime	<i>Tilia sp.</i>	490	530	5,5	9,1	14,9	7,4	52	106	4
javor / maple	<i>Acer pseudoplatanus</i>	590	630	3,0	8,0	11,8	9,4	49	95	5
breza / birch	<i>Betula verrucosa</i>	610	650	5,3	7,8	14,2	14,5	51	147	5
oreh / walnut	<i>Juglans regia</i>	640	680	5,4	7,5	13,4	12,5	72	147	3
hrast / oak	<i>Quercus sp.</i>	650	690	4,7	10,0	15,0	11,7	61	88	2 - 4
jesen / ash	<i>Fraxinus excelsior</i>	650	690	5,0	8,4	13,6	13,4	52	120	4
bukev / beech	<i>Fagus sylvatica</i>	680	710	5,8	11,8	17,9	16,0	62	123	5
robinija / black locust	<i>Robinia pseudoacacia</i>	730	770	4,4	6,9	12,2	11,3	72	136	1-2
beli gaber / hornbeam	<i>Carpinus betulus</i>	790	830	6,8	11,5	18,8	16,2	82	160	5
gvajak / guaiac	<i>Guaiacum officinale</i>	1200	1230	5,6	9,3	15,0	22,1 - 27,8	126	144	1

stoto, glede na celoten svetovni nabor lesnih vrst pa jo uvrščamo med srednje goste lesne vrste (preglednica 1). V svežem stanju se gostota bukovine z 980 kg/m³ (od 790 do 1130 kg/m³) zelo približa gostoti vode, kar je v preteklosti predstavljalo težave pri vodnem transportu. Povprečna osnovna gostota bukovine, s katero ocenjujejo količino čiste lesne snovi v svežem lesu, je 570 kg/m³, znotraj vrste pa lahko pričakujemo nihanja med 430 kg/m³ in 670 kg/m³ (Gorišek, 1992). Računsko najbolj uporabna in primerljiva gostota lesa v absolutno suhem stanju je 680 kg/m³ z odstopanjem med 490 kg/m³ in 880 kg/m³ (Šoškić & Popović, 2002). Kljub homogeni anatomski zgradbi (slika 1) gostota bukovine variira znotraj istega drevesa, med drevesi in med sestoji. Gostote ne moremo oceniti na osnovi širine branik tako kot pri iglavcih in venčasto poroznih listavcih (Bouriaud et al., 2004). Zaznani so rahli trendi višje gostote pri širših branikah, prostorsko pa gostota narašča od stržena proti kambiju in od baze drevesa (tal) proti krošnji (Gorišek et al., 2017). Gostejši les tvorijo tudi bukve z bolj razvitim koreninskim sistemom ali z močnejše razvito krošnjo.

2.2.2 Vlažnost in krčenje bukovine

2.2.2 Moisture content and shrinkage

Deblo rastočih bukev vsebuje veliko vode, zato je tudi vlažnost sveže posekane bukovine relativno visoka (v povprečju 75 % vlažnost, preračunana na maso suhe snovi). Tako kubični meter sveže bukovine v povprečju vsebuje 500–650 kg vode. Voda v

deblu je porazdeljena neenakomerno. Najvlažnejši je zunanji del debla – prevodna beljava – (do 95 % proti notranjosti debla pa vlažnost lesa postopoma upada, vendar še vedno presega 60 %. Večji padec zaznamo na območju sušine, v osrednjem delu velikih dreves s kratko krošnjo, vendar tudi tam vlažnost običajno ne pade pod 50 % (Straže et al., 2015; Šoškić & Popović, 2002). Če drevo vsebuje rdeče srce, je tam vlažnost običajno spet nekoliko povečana.

Velika dimenzijska in oblikovna neobstojnost lesa je poleg velike variabilnosti med najbolj neugodnimi lastnostmi bukovine (preglednica 1). Prostorninsko krčenje bukovine je med 13,2 % in celo 23,8 % (povprečno 18,6 %), tangencialni skrček ocenjujemo na 12,4 %, radialnega pa na 5,4 %. Pričakovano neugodna sta tudi diferencialna nabreka v tangencialni (0,38 %/%) in radialni (0,19 %/%) smeri, zato bukovina ni primerna za uporabo v razmerah, v katerih prihaja do velikih klimatskih nihanj. Pogosto pojavljanje tenzijskega lesa je vzrok večjemu vzdolžnemu krčenju, ki ga sicer pri normalnem lesu zanemarimo (Gorišek, 2009).

2.2.3 Kurilnost

2.2.3 Caloric value

Bukovina je priljubljena za pridobivanje energije. V preteklosti so veliko bukovine predelali v oglje, danes pa je ogljarjenje predvsem povezano z ohranjanjem tradicije, kar je v kombinaciji s turistično dejavnostjo lahko tudi komercialno zanimivo (Ilc, 2011).

Preglednica 2. Kurilnost različnih izdelkov iz bukovine pri različni vlažnosti (u); izbrani izdelki iz smrekovine so podani za primerjavo (Francescato et al., 2008).

Table 2. Caloric values of beechwood products with different moisture contents (u); selected products made of spruce are shown for comparison (Francescato et al., 2008)

Izdelek / Product	Kurilne vrednosti / Caloric values	
	Bukev / Beech	Smreka / Spruce
Svež les / green wood (u = 50–60 %)	7,2 MJ/kg	
Delno osušen les /partly dried wood (u = 25–35 %)	12,2 MJ/kg	
Les osušen na / wood dried to u = 20 %	14,4, MJ/kg	
Peleti / pellets	16,5 MJ/kg	
Polena / fire wood (u = 20 %)	6523,2 MJ/m ³	4536,0 MJ/m ³
Sekanci / wood chips (u = 30 %)	4367,6 MJ/m ³	2720,6 MJ/m ³
Peleti / pellets	10292 MJ/m ³	

Najpogostejše oblike lesnih kuriv, ki se uporabljajo tako v individualnih kot industrijskih kuriščih, so drva, poleg njih pa tudi sekanci, briketi in peleti (Piškur et al., 2014).

Pogosto uporabo bukovine v energetske namene upravičuje njena kurilnost (preglednica 2). Če je kurilnost preračunana na maso lesne snovi, so vrednosti za različne lesne vrste primerljive. Razmerja se bistveno spremenijo, če kurilnost preračunamo na prostorninske mere (preglednica 2), kjer se pokaže velika prednost bukovine pred na primer smrekovino. Pri peletih se kurilnosti izenačijo, ker je v njih smrekov les zgoščen. Tudi vlažnost lesa vpliva na kurilnost (preglednica 2).

2.2.4 Mehanske lastnosti

2.2.4 Mechanical properties

Bukovina ima dobre mehanske lastnosti, ki predstavljajo prednost pri rabi lesa za obremenjene dele. Primerjave kažejo, da so mehanske lastnosti predvsem odraz relativno visoke gostote bukovine (preglednica 1), na orientiranem, kakovostno izbranem lesu brez anomalij pa so vrednosti še višje (Niemz, 2005). Razlike v natezni in tlačni trdnosti so manjše kot pri iglavcih (Gustafsson, 2010), posledica pa je visoka upogibna trdnost, ki je merilo za orientacijsko oceno mehanskih lastnosti lesa (Teranishi et al., 2008). Homogena zgradba bukovine se odraža tudi na manjši »mehanski« anizotropiji, ki še zlasti omogoča uporabo bukovine za luščen furnir, za krivljenje, struženje in prispeva k stabilnosti tlačno obremenjenih vitkih konstrukcijskih elementov (Hering et al., 2012; Ozyhar et al., 2012).

2.3 OBDELAVNOST

2.3 MACHINING

2.3.1 Sušenje, parjenje in toplotna obdelava

2.3.1 Drying, steaming and thermal modification

Zaradi biološke neodpornosti je treba hlodovino čim prej spraviti, žagan les pa takoj po razžagovanju naletvičiti in ustrezno pripraviti za sušenje. Spomladi je učinkovito že pravilno opravljeno sušenje na prostem, pri katerem moramo biti posebej pozorni na zadostno preprihanje (Gorišek et al. 2008; Straže & Gorišek, 2007). Vzdrževanje visokih vlažnosti bukovine s potapljanjem ali pršenjem z vodo je za preprečevanje okužb primerno le za hlodovino.

Zaradi velikih skrčkov in neenakomernega poteka vlaken je bukovina z vidika sušenja zelo občutljiva lesna vrsta. Celu pri milejših pogojih sušenja pogosto nastanejo sušilne napake: pokanje, veženje in obarvanje. Pogoste so čelne razpoke, ki jih preprečimo s premazovanjem čel. Veženje preprečimo z dodatno obtežitvijo zložajev, obarvanju sredice debelejših sortimentov med sušenjem pa se izognemo s hitrim sušenjem, to je močnim preprihanjem pri nižjih temperaturah. Dodatna previdnost je potrebna pri sušenju lesa z rdečim srcem. Zaradi otiljenja lahko v prvih fazah sušenja pride do kolapsa lesa, pri sušenju v higroskopskem območju (pod točko nasičenja celičnih sten) pa se težko izognemo močnemu zaskorjenju ali celo satastim razpokam (Gorišek & Straže, 2009, 2010).

Pri lesu z rdečim srcem lahko neželene barvne razlike med beljavo in rdečim srcem deloma zmanjšamo s parjenjem svežega žaganega lesa. Pri tem les izpostavimo visoki temperaturi in nasičeni zračni vlažnosti. Čas parjenja določimo glede na debelino lesa in intenzivnost obarvanja, ki jo želimo doseči. Najpogosteje je to 24–48 ur. Barva lesa postane po parjenju rdečerjava, vendar brez leska. S parjenjem se »razkroji« tudi otiljenje, zato je sušenje predhodno parjene bukovine nekoliko hitrejše. Žagan les je po parjenju zelo izpostavljen razvoju plesni, zato moramo takoj pričeti s sušenjem (Pervan, 2009). Postopek pregrevanja lesa v pari uporabimo tudi pri izdelavi furnirjev (luščenih in rezanih) in kadar želimo les kriviti. Tudi pri krivljenju se izogibamo elementom z rdečim srcem, še posebej, če uporabljamo postopke krivljenja v dielektričnem polju visoke frekvence, kjer niso redki pojavi zažiga ali celo »eksplozije« lesa.

Za izboljšanje dimenzijske stabilnosti in biološke odpornosti bukovine se vse pogosteje uporabljajo postopki toplotne obdelave (termične modifikacije) pri visokih temperaturah (160 °C do 260 °C), bodisi v vakuumu, nenasičeni parni ali inertni atmosferi in v termo-oljni kopeli (Hill, 2006). Zaradi razgradnje najbolj higroskopskih hemiceluloz se ravnovesne vlažnosti zmanjšajo na polovico (ravnovesna vlažnost v normalni klimi uravnovešene naravne bukovine je 11,5 %, toplotno obdelane pa 5,0 %), posledično pa je tudi delovanje (krčenje in nabrekavanje) lesa zmanjšano (Firšt et al., 2010). Opozoriti pa vseeno velja, da diferencialni nabrek ostane skoraj nespremenjen, kar pomeni, da enake količine sorbi-

rane vode povzročijo enako delovanje tako pri neobdelani kot pri toplotno obdelani bukovini (Firšt et al., 2010). Toplotno obdelano bukovino lahko glede na biološko odpornost razvrstimo celo v razred 3 (Humar et al., 2015).

2.3.2 Mehanska obdelava bukovine

2.3.2 Machinability of beechwood

Bukovina je priljubljena tudi zato, ker jo je mogoče ročno in strojno dobro obdelati. Zaradi visokih trdnosti je poraba energije pri obdelavi nekoliko večja, vendar pa je zaradi dokaj homogene zgradbe in manjše anizotropnosti kot pri drugih vrstah uporabna za struženje, rezkanje in rezljanje. Pri lepljenju ne povzroča težav, saj ima le rahlo kisel značaj in pH 5 do 5,4 (Grosser & Teetz, 1987). Za vijachenje in žebljanje pa se priporočajo vodilne izvrtine, ker bukovina rada poka. Bukovina dobro drži vijake, ne pospešuje korozije kovin in se v stiku s kovinami ne obarva. Bukovino je mogoče dobro lužiti in polirati ter površinsko obdelati z vsemi komercialnimi laki.

Zelo primerna je tudi za krivljene izdelke, kjer les pred krivljenjem pregrejejo v pari. Za nekatere izdelke je uspešno tudi krivljenje v dielektričnem polju visoke frekvence (visokofrekvenčno krivljenje). Bukovina je zelo primerna tudi za luščenje in rezanje

v furnirje. Tudi pred rezanjem furnirjev hlodovino ali lesne prizme pregrejejo v pari.

3 RABA BUKOVINE

3 USES OF BEECHWOOD

3.1 PREGLED GLAVNIH RAB

3.1 OVERVIEW OF MAIN USES

Uporabni potencial bukovine je izjemno širok. Zgoraj opisane lastnosti in prednosti bukovine omogočajo raznovrstno rabo. Nabor polizdelkov iz bukovine je pester in nudi možnost izdelave široke palete končnih izdelkov (preglednica 3, slike 3, 4, 5). V zadnjih raziskavah (Dremelj, 2015; Kropivšek & Čufar, 2015) smo identificirali več kot 350 polizdelkov in izdelkov iz bukovine, kar potrjuje njeno široko uporabnost.

Polizdelki iz preglednice 3 imajo v prvi stopnji predelave sicer majhno dodano vrednost, vendar predstavljajo ključno osnovo za proizvodnjo končnih izdelkov z višjo dodano vrednostjo. Tega ne moremo trditi za »energente«, katerih vir bi morala biti samo tista surovina, ki je ni moč porabiti za druge namene ali lesni ostanki, ki nastanejo med predelavo v končne izdelke, če želimo potencial razpoložljive surovine maksimalno izkoristiti. Pri oceni pogostosti rabe



Slika 3. Bukovina je primerna za vse vrste pohištva, talne in stenske obloge in notranja vrata (Foto: arhiv Paron (levo) in arhiv Oddelka za lesarstvo (desno))

Figure 3. Beechwood is suitable for all kinds of furniture, flooring, paneling and interior doors (Photo: Paron Archives (left) and the archive of the Department of Wood Science and Technology (right))

Preglednica 3. Skupine polizdelkov in izdelkov iz bukovine ter ocena njihovega deleža v potencialu surovine oz. števila izdelkov v skupini

Table 3. Groups of beechwood products and assessment of their proportion with regard to the potential of the raw material or in relation to the number of products in the group

Skupine / Groups	Izdelki / Products	Opombe / Comments
Polizdelki / Half products		
Furnir / Veneer	Konstruksijski in plemeniti furnir Vezane plošče, oplemenitene plošče, panelne plošče, LVL (slojnat lameliran les) Constructional and decorative veneer Plywood, surfaced panels, panels, LVL (laminated veneer lumber)	Za predelavo v furnir bi potencialno lahko predelali do 8 % hlobovine Ca. 8 % of Slovenian beech could be used for veneer production (Marenče et al., 2016)
Žagan les / Sawn wood	Plohi, deske, letve, morali, tramovi, decimiran les Planks, boards, laths, beams, wood cut in various dimensions	Izkoristek drevo - žagan les je približno 25 - 47 % The yield per tree of sawn timber is ca. 25 to 47 % (Marenče et al., 2016)
Lesni kompoziti / Wood composites	Iverne plošče, vlaknene plošče, lesno-cementne plošče, WPC (lesno-plastični kompoziti), lahki ploščni kompoziti Particle boards, fibre boards, wood-cement boards, WPC (wood plastic composites), low density fibre boards, light (wood) plane composite elements	
Izdelki kemične predelave / Products of chemical processing	Celuloza, papir, nanoceluloza, bio pene, WPC, utekočinjen les Pulp, paper, nano cellulose, bio foams, WPC, liquefied wood	
Pomožni materiali / Auxiliary materials	Mozniki, lamele, robni trakovi itd. Dowells, lamellas, edge strips, etc.	
Prehranski izdelki / Food related products	Prehranska dopolnila, les in lesni produkti za gojenje gliv Food supplements, wood and wood products for cultivation of fungi	
Energenti / Products for energy	Drva, sekanci, peleti, briketi, oglje Firewood, chips, pellets, briquettes, charcoal	
Izdelki / Products		Ocena števila različnih izdelkov* / Assessed number of various products
Pohištvo / Furniture	Stoli – masivni les, vezane plošče, krivljen les; Mize; Omarasto pohištvo – lepljene plošče; Notranja vrata Chairs - solid wood, plywood, bent wood; Tables; Cupboards, wardrobes - glued laminate panels; Interior doors	40
Uporabni in okrasni predmeti / Consumer goods and decorative objects	Galanterija, lesene igrače, šolske potrebščine, orodja in merila, embalaža, kolarski izdelki, umetniški izdelki, športna orodja Small goods, wooden toys, school supplies, tools and rulers, packaging, wheelwright products, art objects, sports gear	211
Obloge / Panelling	Stenske obloge – vezane plošče, furnirane plošče; Talne obloge – masivni deščični parket, panelne plošče Wall panelling and cladding, plywood; Wood flooring - massive parquet, multi-layer parquet elements, wood panels	6
Konstrukcije / Construction	Pred vremenskimi vplivi zaščitene zunanje stene; Notranje konstrukcije, stopnice Outdoor panelling; Inner construction, stairs	25
Ostali izdelki / Other products	Glasbila in deli glasbil, krivljeni elementi, železniški pragovi, termično modificirani elementi, inovativni izdelki in rabe Musical instruments and their parts, bent components, railway sleepers, thermally treated components, innovative products and uses	102

za izdelke lahko ugotovimo, da jih je največ v skupini »Uporabni in okrasni predmeti«, v kateri je predvsem zelo velika skupina izdelkov lesne galanterije, ki zajema več kot sto različnih izdelkov (slika 4). Proizvodnja različnih izdelkov zagotavlja sicer različno dodano vrednost na količino porabljene surovine, ki pa je v povprečju precej višja, kot pri proizvodnji polizdelkov (Kropivšek & Čufar, 2015), poleg tega pa izkazuje tudi druge posredne učinke na gospodarstvo, ki se kažejo v potencialu zaposlovanja, okoljski ozaveščenosti potencialnih kupcev, razvoju bogatih tradicionalnih znanj in rab bukovine z novimi inovativnimi rabami ter s tem razširjanju gozdno-lesne verige na gradbeništvo, kemijsko in prehransko industrijo ipd. Trenutno kaže, da je zelo velik delež bukovine uporabljen za energetske namene (Piškur et al., 2014), ki kot že rečeno, zagotavlja zelo nizko dodano vrednost, poleg tega pa je pogosto za te namene predelana tudi visoko kakovostna surovina zaradi neorganiziranosti oz. slabega delovanja vseh členov v gozdno-lesni verigi, predvsem primarne predelave lesa, in kratkoročne usmerjenosti (manjših) lastnikov gozdov (Kropivšek & Gornik Bučar, 2017 v tisku). Za energente bi bilo treba uporabiti samo tisto surovino, ki je ni moč uporabiti za druge namene, in lesne ostanke, ki nastanejo pri predelavi v izdelke z visoko dodano vrednostjo.

Žagan les ima še vedno velik potencial za predelavo v izdelke višjega cenovnega ranga in višje dodane vrednosti. Na osnovi raziskav projekta ocenjujemo, da približno 73 % hlodovine predstavlja žagarsko, pri razžagovanju v žagan les pa predvidevamo od 65 do 75 % izkoristek. Ugodna nadaljnja predelava decimiranih elementov, ki jih pridobimo s 45 do 55 % izkoristkom žaganega lesa, je primerna za različne postopke obdelave in raznovrstno paleto izdelkov. Med predelovalnimi postopki moramo omeniti hidrotermično obdelavo, ki omogoča plastifikacijo in krivljenje v dokaj poljubne oblike. Že omejena homogena zgradba daje prednost bukovini pri struženju, zato je nabor galanterijskih izdelkov iz bukovine morda najbolj pester in širok.

Oživiti ali posodobiti bi morali primarno predelavo, kjer bi se morali usmeriti v razvoj tehnologij, ki omogočajo veliko fleksibilnost in so primerne tudi za manjši obseg proizvodnje, kar bi lahko bila konkurenčna prednost slovenske primarne lesne predelave.

Za optimalno rabo bukovine je nujna proizvodnja bukovega konstrukcijskega furnirja in plemenitega furnirja, ki je v zadnjih letih v Sloveniji skoraj v celoti prenehala ali močno upadala in bi jo morali oživiti. Izdelava bukovega konstrukcijskega furnirja in plemenitega furnirja je bila pri nas uveljavljena, preverjena, visoko storilna in zelo obvladljiva tehnologija.



Slika 4. Med najbolj zastopanimi izdelki iz bukovine so uporabni in okrasni predmeti, kjer sta med drugim pomembna dobra strojna obdelava in dobro lepljenje (Foto: D. Gornik Bučar, K. Čufar).

Figure 4. Consumer goods and decorative objects are among the most frequent products made of beechwood. Machining and gluing are among the most important properties for such products (Photo: D. Gornik Bučar, K. Čufar).



Slika 5. Pološčni kompoziti, cevni in »I« nosilci omogočajo razvoj izdelkov za rabo v gradbeništvu (Foto: D. Gornik Bučar).

Figure 5. Plate composites, tubular elements and "I" beams are innovative products with great potential to be used for building purposes (Photo: D. Gornik Bučar).

Furnir ni samo osnova za izdelavo že uveljavljenih vezanih plošč, furnirnih plošč ali slojnatega furnirnega lesa (LVL), temveč predstavlja velik potencial v inovativnih konstrukcijskih kompozitnih elementih. Tu so mišljeni predvsem novi ploskovni, linijski ali prostorsko ukrivljeni elementi, ki imajo bistveno boljše mehanske lastnosti kot npr. smrekov lepljen lameliran les ali slojnat furnirni les (slika 5). Razmerje med maso in upogibno nosilnostjo je pri bukovih kompozitih ugodnejše kot pri smrekovih, konstrukcijski elementi z enako nosilnostjo pa so vitkejši. Odlična nosilnost in inovativen dizajn vsekakor omogočata proizvodnjo izdelkov z visoko dodano vrednostjo in uporabo v leseni gradnji. Vstopni material zanje je predvsem konstrukcijski furnir, lahko pa tudi plemeniti furnir.

Velike možnosti za uporabo bukovine predstavlja tudi kemična predelava in proizvodnja celuloze, papirja, nanoceluloze, bio pen, utekočinjenega lesa ter izdelava lesnih kompozitov kot so na primer iverne plošče, vlaknene plošče, lesno-cementne plošče, WPC (lesno-plastični kompoziti) in lahki ploščni kompoziti. To tematiko obširneje predstavljajo Zule in sodelavci (Zule et al., 2017 v tisku). Stroka opozarja, da bi oživitve proizvodnje npr. ivernih plošč in celuloze omogočila optimalno rabo velikih količin bukovine za polizdelke, ki bi omogočili tudi

povečanje proizvodnje tradicionalnih in novih izdelkov, od katerih jih nekaj navajamo v preglednici 3.

Glede na predstavljene lastnosti bukovine in možnosti povečanja proizvodnje polizdelkov bi bilo razvoj smiselno usmeriti v povečanje rabe v gradbeništvu. Evropa, razen jugovzhodne, nima tradicije rabe bukovine za konstrukcije. V Sloveniji se je v preteklosti uporabljala občasno za gradnjo hiš in skednjev (Čufar et al., 2012b). S primerno konstrukcijo ter rabo so dosegli, da bukovina v suhih klimatskih pogojih lahko služi tudi do 300 let. Danes je mogoče njeno biološko odpornost izboljšati s kemijskimi zaščitnimi sredstvi in toplotno obdelavo, sodobne raziskave pa so še naprej usmerjene v podaljšanje njene življenjske dobe (Humar et al., 2015; Humar & Pohleven, 2005; Humar et al., 2003). Mehanske lastnosti impregniranega lesa se v splošnem bistveno ne razlikujejo od naravnega, modul elastičnosti pa se lahko celo rahlo poveča. Z impregnacijo pa se les tudi navlažuje, kar splošno slabša mehanske lastnosti, zlasti pri dinamičnih obremenitvah. Blaga termična modifikacija značilno izboljša togost lesa kot tudi tlačno trdnost vzdolž lesnih vlaken (Fajdiga et al., 2015; Straže, et al., 2016). Ostrejši pogoji, t.j. pri višjih temperaturah, pa vselej povzročajo tudi zmanjšanje togosti in trdnosti lesa ter povečanje strukturne nehomogenosti (Smonkar, 2016).

Če upoštevamo možnosti podaljšanja trajnosti in dimenzijske stabilizacije, postane bukovina konkurenčna za konstrukcijske namene v primerjavi z drugimi lesnimi vrstami ali gradbenimi materiali. Velika upogibna trdnost in upogibni modul elastičnosti bukovine odražata tudi odlično stabilnost tlačno obremenjenih vitkih konstrukcijskih elementov, kjer v primeru šibkejših iglavcev velik problem predstavlja uklon elementov.

Bukovina v prečni smeri tudi do 10-krat bolje od smrekovine prenaša strižne obremenitve, kar je posledica njene anatomske zgradbe, zlasti zaradi difuzne poroznosti in manjših gostotnih razlik v letnih prirastkih. Ta lastnost omogoča rabo bukovine v lesnih ploščnih kompozitih, kjer s križnim lepljenjem slojev poskušamo doseči enakomerne ravninske (planotropne) mehanske lastnosti, kar zlasti velja za ves križno lepljen konstrukcijski les (CLT) ali pa furnirske vezane plošče. Takšne strižne obremenitve bistveno slabše prenašajo iglavci, kar povzroča velike probleme v praksi, ko prihaja do kotalnih strižnih porušitev križno lepljenega lesa in razslojevanja (Aicher & Dill-Langer, 2000). Z rabo bukovine se zmanjša nevarnost razslojevanja, kar je ena od osnovnih konstrukcijskih napak, ki se pojavljajo v zvezi z življenjsko dobo lesenih konstrukcij kot posledica utrujanja materiala.

Kot sodoben konstrukcijski material se danes proizvajajo tudi leseni lepljeni lamelirani konstrukcijski elementi različnih oblik in velikosti prerezov, ki zaradi dobrih elasto-mehanskih lastnosti in sodobnih postopkov modeliranja (Koderman, 2016; Olenik, 2013) omogočajo nove uporabe v gradbeništvu kot samostojni nosilci in tudi prostorske konstrukcije večjih razponov. Zaradi izločitve napak so standardni odkloni manjši, posledično so karakteristične vrednosti večje. Izvirne geometrije lahkih ploščnih in prostorsko ukrivljenih elementov (Olenik, 2013) ter sestave nosilcev v kombinaciji z drugimi lesnimi vrstami ali materiali so tudi izziv za širšo rabo slojnatih nosilcev iz bukovih lamel ali furnirja.

Za kakovosten bukov konstrukcijski les se izbira in sledenje kakovosti materiala prične že v gozdu in z razvrščanjem hlodovine takoj po poseku ter se nadaljuje na žagarskih sortimentih. Do teh ugotovitev smo prišli tudi v okviru raziskovalnega projekta »Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini« (Marenče & Šega, 2015) ter pri drugih raziskavah. Ko k vizualnemu razvrščanju okroglega

bukovega lesa po veljavnem standardu (SIST EN 1316-1, 2003) dodamo še merjenje mehanskih lastnosti z neporušnimi dinamičnimi metodami kot so hitrost preleta ultrazvoka ali zvoka (Gorišek et al., 2017), smo potrdili značilno povezanost kakovosti lesa glede na njegove značilnosti z njegovimi mehanskimi lastnostmi. Mehanske lastnosti najkakovostnejše hlodovine so boljše kot pa tiste pri hlodovini iz nižjih kakovostnih razredov.

Bukov les je zelo primeren material za srednje obremenjene nosilne konstrukcije, njegove lastnosti pa lahko s sodobnimi tehnološkimi obdelovalnimi postopki še dodatno izboljšujemo. Pri tem je potrebno poznati njegove mehanske lastnosti, kar dosežemo z ocenjevanjem s predpisano stopnjo zanesljivosti in z razvrščanjem v ustrezne trdnostne razrede, kot to velja za žagan les (SIST EN 338, 2010). Z razvrščanjem konstrukcijskega žaganega lesa po mehanskih lastnostih oz. po trdnosti pa zadostimo zahtevam in standardom na področju gradnje, s čimer lahko s kakovostnim izdelkom vstopimo na urejeno globalno tržišče. Poleg zgoraj naštetih bi tudi na ta način lahko bukovini bistveno povečali lastno ceno in dodano vrednost.

5 ZAKLJUČKI

5 CONCLUSIONS

Glavne prednosti bukovega lesa so poleg razpoložljivosti in ugodne cene tudi fina tekstura, visoka homogenost, nizka anizotropija, srednja do visoka gostota, dobre mehanske lastnosti, strojna obdelava, lepljenje in površinska obdelava ter možnost krivljenja.

Slovenija je ob koncu 20. stoletja že imela dobro vzpostavljeno verigo za celovito izrabo lesa, ki se je sistematično vzpostavljala desetletja, v zadnjih letih pa ne deluje učinkovito (Kropivšek & Gornik Bučar, 2017). Glede na razpoložljivost in široko uporabnost bukovine je smiselno vlaganje v posodobitev in razširitev obstoječe primarne predelave (žagarske proizvodnje in proizvodnje furnirja) in pohištvene industrije. Menimo, da bi morali ponovno oživiti proizvodnjo bukovega konstrukcijskega furnirja, vezanih plošč in ploščnih kompozitov na osnovi furnirja, ki so v zadnjih letih popolnoma zamrle. Pri tem bi se morali usmeriti v razvoj in rabo tehnologij, ki omogočajo veliko fleksibilnost in so primerne tudi za manjši obseg proizvodnje specializiranih izdelkov, kar bi

lahko bila konkurenčna prednost slovenske lesne predelave. Ker stroka uspešno rešuje problem nizke odpornosti bukovine proti biološkim škodljivcem, bi se morali usmeriti tudi v razvoj inovativnih izdelkov za povečanje rabe bukovine v gradbeništvu, predvsem za proizvodnjo inovativnih bukovih konstrukcijskih elementov. Za celovitejšo izrabo bukove surovine v Sloveniji bi morali manj vreden les in ostanke sistematično uporabljati za izdelavo ploščnih kompozitov in/ali izdelke kemične predelave (Zule et al., 2017). V ta namen bi morali razmisliti o oživitvi proizvodnje ivernih plošč ter proizvodnje celuloznih vlaken s kemijsko delignifikacijo. V rabi lesa in ostankov za »energetske« namene, ki danes prevladuje, pa bi morali uporabljati predvsem ostanke, ki jih v drugih (naprednih) rabah ni mogoče predelati.

6 POVZETEK

6 SUMMARY

Beech (*Fagus sylvatica* L.) is one of the most widely used industrial wood species in Europe. According to various sources, it can be used for over 350 different products and uses. Beech is the most common tree species in Slovenian forests, representing 32% of the growing stock. Due to the decline of the woodworking industry in Slovenia and recent trends all over Europe, in the last few decades considerable amounts of beechwood have been used for fuel instead of for products with high value added. Here we present part of the results of the project "Rational use of hardwoods with a focus on beechwood" with the aim of increasing and optimizing the use of this material.

The purposes of this paper are thus to highlight some of the main beechwood properties, compare them with those of other wood species, give an overview of the main groups of beechwood products, and show its potential for innovative uses in various products, especially for building purposes.

Beech is among the diffuse porous, light coloured hardwoods. The trees subjected to mechanical wounding form discoloured wood (red heart) located in the central part of the stem. This red heart is usually considered a wood defect.

Beechwood has mean oven dry density of 680 kg/m³, and is denser than most of the commercial European softwoods and hardwoods (Table 1). Ne-

vertheless, its density is considered medium, in respect to the entire wood density range, where tropical balsa (130 kg/m³) and guaiac (1200 kg/m³), are at the lower and upper edges of the density range.

The properties of beechwood were compared with the density, shrinkage, modulus of elasticity, compression and bending strength, as well as natural durability, of Norway spruce, and nine commercial European hardwoods, as well as balsa and guaiac (Table 1).

Properties such as fine grain, high homogeneity, low anisotropy, medium to high density, favourable mechanical properties, good machining, gluing, and finishing, and the possibility of bending, are among the main advantages of beechwood, which enable its wide range of end uses.

Unfortunately, a great proportion of beechwood is currently used for energy purposes. Therefore, we present the caloric values of beech firewood and products like chips, pellets and briquettes (Table 2). It is shown that the caloric values of these products increase as the moisture content decreases. The caloric value of beech products is much higher than those of spruce if calculated using per volume units.

We also present groups of various beechwood products, like sawn timber, structural and decorative veneer, composite boards and products of chemical processing (Table 3). For better use of beechwood in Slovenia, we should strive to revitalize and increase the production of both traditional and new, innovative products. For energy purposes, we should mainly use the residues from the woodworking industry.

According to the advantages of beechwood presented in this study, and the fairly good possibilities of increasing its durability, we should focus on the development of innovative products and increase the use of this wood for construction purposes. Therefore, we discuss the properties and potential of beechwood with regard to developing innovative products for construction purposes. In this respect beechwood is highly competitive compared to other wood species, like Norway spruce. The high bending strength and modulus of elasticity of beechwood enable excellent performance in loaded structural elements. A further advantage of beechwood construction elements is their high compression strength, even if the elements are slender.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Prispevek smo pripravili v okviru projekta ciljnega raziskovalnega programa (CRP) "Zagotovimo si hrano za jutri", projekta V4-1419 »Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini«, ki ga financirata Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP) in Javna agencija za raziskovalno dejavnost republike Slovenije (ARRS) ter programske skupine P4-0015, ki jo financira ARRS.

LITERATURA IN VIRI

LITERATURE

- Aicher, S., & Dill-Langer, G. (2000). Basic consideration to rolling shear modulus in wooden boards. *Oto-Graf-Journal*, 11, 157–166.
- Bouriaud, O., Bréda, N., Moguédec, G., & Nepveu, G. (2004). Modelling variability of wood density in beech as affected by ring age, radial growth and climate. *Trees*, 18. doi: 10.1007/s00468-003-0303-x
- Cimperšek, M. (2012). Zgodovinski prikaz rabe bukovih gozdov. Lastnosti bukovega lesa, predelava, problematika in raba v arhitekturi. In: A. Bončina (Ed.), *Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje* (pp. 293–326). Ljubljana: Biotehniška fakulteta.
- Čufar, K. (2006). Anatomija lesa. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Čufar, K., Gričar, J., & Prisljan, P. (2012a). Zgradba in nastajanje lesa in skorje bukve ter dendrokonologija. In: A. Bončina (Ed.), *Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje* (pp. 115–124). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire.
- Čufar, K., Gorišek, Ž., Merela, M., & Pohleven, F. (2012b). Lastnosti bukovega lesa, predelava, problematika in raba v arhitekturi. In: A. Bončina (Ed.), *Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje* (pp. 445–458). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire.
- Dremelj, M. (2015). Pregled rabe bukovine in analiza dodane vrednosti v izbranih izdelkih (Diplomski projekt). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Fajdiga, G., Zafošnik, B., Gospodarič, B., & Straže, A. (2015). Compression Test of Thermally-Treated Beech Wood: Experimental and Numerical Analysis. *Bioresources*, 11, (1), 223–234.
- Firšt, U., Straže, A., & Gorišek, Ž. (2010). Comparative analyse of sorption isotherms and swelling behaviour of heat treatment and untreated beech, ash, maple and black locust. In: The 4th conference on hardwood research and utilisation in Europe, Sopron: University of West Hungary press, 148–155.
- Francescato, V., Antonini, E., & Bergomi, L. C. (2008). Wood fuels handbook. Production, quality requirements, trading: Italian Agriforestry Energy Association.
- Gorišek, Ž. (1992). Vpliv prečne krčitvene anizotropije lesa na sušenje in stabilnost (Doktorska disertacija). Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
- Gorišek, Ž. (2009). Les : zgradba in lastnosti : njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Gorišek, Ž., Plavčak, D., Gornik Bučar, D., Merela, M., Čufar, K., & Straže, A. (2017). Fizikalno mehanske lastnosti svežega in osušenega lesa v bukovih deblih izravnanih v žledolomu. *Acta Silvae et Ligni*, v tisku.
- Gorišek, Ž., & Straže, A. (2009). Kinetika sušenja prevodne beljave in rdečega srca bukovine (*Fagus sylvatica* L.). *Les*, 61(5), 255–262.
- Gorišek, Ž., & Straže, A. (2010). Optimization of energy consumption and costs of wood drying with use of different drying techniques. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 92, 57–66.
- Gorišek, Ž., Straže, A., & Lapajne, I. (2008). Primerjava hitrosti in kakovosti različnih tehnik sušenja bukovine (*Fagus sylvatica* L.). *Les*, 60(7/8), 268–274.
- Grosser, D., & Teetz, W. (1987). *Einheimische Nutzhölzer : Loseblattsammlung : Vorkommen, Baum- und Stammform, Holzbeschreibung, Eigenschaften, Verwendung*. Bonn: Centrale Marketinggesellschaft der Deutschen Agrarwirtschaft und Arbeitsgemeinschaft Holz.
- Gustafsson, S.-I. (2010). The strength properties of Swedish oak and beech. *Drewno*, 53(183), 67–83.
- Hering, S., Keunecke, D., & Niemz, P. (2012). Moisture-dependent orthotropic elasticity of beech wood. *Wood Science and Technology*, 46(5), 927–938. doi: 10.1007/s00226-011-0449-4
- Hill, A. A. S. (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. Chichester: Wiley.
- Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B., Thaler, N., & Žlahtič, M. (2015). Življenjska doba bukovine na prostem = Service life of beech wood in outdoor applications. *Gozdarski vestnik*, 73(10), 461–469.
- Humar, M., & Pohleven, F. (2005). Bakrovi pripravki in zaščita lesa. *Les*, 57, 57–62.
- Humar, M., Pohleven, F., Šentjerc, M., Veber, M., Razpotnik, P., Pogni, R., et al. (2003). Performance of Waterborne Cu(II) Octanoate/Ethanolamine Wood Preservatives. *Holzforchung*, 57(2), 127. doi: 10.1515/hf.2003.020
- Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B., Thaler, N., & Žlahtič, M. (2015). Življenjska doba bukovine na prostem. *Gozdarski vestnik*, 73(10), 461–469.
- Ilc, J. (2011). Oglarjenje na kočevskem gozdogospodarskem območju (Diplomsko delo). Ljubljana: Univerza v Ljubljani.
- Koderman, D. (2016). Analiza trdnosti ploščnega kompozitnega elementa z metodo končnih elementov (Diplomsko delo). Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
- Kropivšek, J., & Čufar, K. (2015). Potencialna raba bukovine in vrednotenje dodane vrednosti v izdelkih iz bukovine. *Gozdarski vestnik*, 73(10), 470–478.
- Kropivšek, J., & Gornik Bučar, D. (2017). Dodana vrednost v gozdnolesni verigi na primeru primarne predelave lesa. *Les* (V tisku).

- Marenče, J., & Šega, B. (2015). Povezave med kakovostjo bukovih dreves in iz njih izdelanih sortimentov. *Gozdarski vestnik*, 73, 429–441.
- Marenče, J., Gornik Bučar D. & Šega, B. (2016). Bukovina – povezave med kakovostjo dreves, hlodovine in žaganega lesa. *Acta Silvae et Ligni*, 111, 35–47.
- Naylor, A. (2014). Can Wood be used as a Bio-mechanical Substitute for Bone during Evaluation of Surgical Machining Tools? *BioResources*, 9, 5778–5781.
- Niemz, P. (2005). *Physik des Holzes*. Zürich: ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Baustoffe IFB.
- Olenik, M. (2013). Snovanje kompozitnega linijskega nosilca iz bukovnega konstrukcijskega furnirja (Diplomsko delo). Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
- Ozyhar, T., Hering, S., & Niemz, P. (2012). Moisture-dependent elastic and strength anisotropy of European beech wood in tension. *Journal of Materials Science*, 47(16), 6141–6150. doi: 10.1007/s10853-012-6534-8
- Pervan, S. (2009). Tehnologija obrade drva vodenom parom. Zagreb: Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Piškur, M., Rogelja, T., & Krajnc, N. (2014). Tokovi okroglega lesa v Sloveniji za leto 2013 (pp. 6). Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije.
- Smonkar, G. (2016). Vpliv toplotne obdelave na mehanske lastnosti jelovine (Diplomska naloga). Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
- Standardization, E. C. f. (2017). Durability of wood and wood-based products - Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials. Brussels: European Committee for Standardization (SIST EN 350).
- Standardization, E. C. f. (2003). Okrogli les listavcev – Razvrščanje po kakovosti – 1.del: Hrast in bukev. Brussels: European Committee for Standardization (SIST EN 1316-1).
- Standardization, E. C. f. (2010). Konstrukcijski les – Trdnostni razredi. Brussels: European Committee for Standardization (SIST EN 338).
- Straže, A., Fajdiga, G., Pervan, S., & Gorišek, Ž. (2016). Hygro-mechanical behavior of thermally treated beech subjected to compression loads. *Construction and Building Materials*, 113, 28–33. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.038
- Straže, A., & Gorišek, Ž. (2007). CAE analiza in optimizacija porabe energije pri sušenju žaganega lesa z uvedbo predsušenja na prostem. *Les*, 59(5), 142–148.
- Straže, A., Merela, M., Krže, L., Čufar, K., & Gorišek, Ž. (2015). Fizikalne lastnosti bukovine po žledolomu. *Gozdarski vestnik*, 73(10), 30–36.
- Šoškić, B., & Popović, Z. (2002). Svojstva drveta. Beograd: Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Teranishi, M., Koizumi, A., & Hirai, T. (2008). Evaluation of quality indexes of bending performance and hardness for hardwoods. *Journal of Wood Science*, 54(5), 423–428. doi: 10.1007/s10086-008-0969-1
- Torelli, N. (1998). Rastne napetosti v drevesu in lesu. *Les*, 50(4), 91–95.
- Torelli, N. (2003). Ojedritev - vloga in proces. *Les*, 55(11), 368–379.
- Wagenführ, R. (2007). *Holzatlas : mit zahlreichen Abbildungen* (6 ed.). Leipzig: Fachbuchverlag.
- Zule, J. (2015). Možnosti kemične predelave bukovnega lesa. *Gozdarski vestnik*, 73(10), 479–487.
- Zule, J., Gornik Bučar, D., & Kropivšek, J. (2017). Inovativna raba bukovine slabše kakovosti in ostankov, *Les* (V tisku)