



LES/WOOD

VSEBINA / CONTENTS

Letnik 66, številka 1 / Volume 66, Number 1

- **Revija Les/Wood v novi preobleki, z novim izdajateljem in svežimi idejami (uvodnik)** 3
Katarina Čufar, Jože Kropivšek
- **Premišljena raba lesa (uvodnik)** 5 - 6
Jožica Gričar, Jože Kropivšek, Katarina Čufar
- **Kakovost bukovine v Sloveniji – trenutno stanje in pričakovane spremembe ob sanaciji žledoloma** 7 - 16
Quality of beechwood in Slovenia – current situation and expected changes after the re-generation of forests following the natural disaster of glaze ice
Jurij Marenče, Dragan Matijašić, Zoran Grecs
- **Vpliv sušilnega postopka na kakovost in izkoristek bukovega žaganega lesa** 17 - 26
Impact of the drying process on the quality and utilization rate of sawn beechwood
Aleš Straže, Maks Merela, Katarina Čufar, Bogdan Šega, Dominika Gornik Bučar, Željko Gorišek
- **Lastnosti bukovine in njena raba** 27 - 39
Properties of beechwood and its use
Katarina Čufar, Željko Gorišek, Maks Merela, Jože Kropivšek, Dominika Gornik Bučar, Aleš Straže
- **Inovativna raba bukovine slabše kakovosti in ostankov** 41 - 51
Innovative use of low quality beechwood and residues
Janja Zule, Dominika Gornik Bučar, Jože Kropivšek
- **Model za določanje življenjske dobe lesa listavcev** 53 - 59
Model for service life prediction of hardwoods
Mojca Žlahtič Zupanc, Ajda Pogorelnik, Davor Kržišnik, Boštjan Lesar, Nejc Thaler, Miha Humar
- **Dodana vrednost v izdelkih v gozdno-lesni verigi**
Primer: primarna predelava bukovine 61 - 72
Added value of products in the forest wood supply chain
Case: primary beechwood processing
Jože Kropivšek, Dominika Gornik Bučar
- **Ocena možnosti razvoja in trženja proizvodov iz bukovine** 73 - 83
Development and marketing possibilities of beechwood products assessment
Leon Oblak, Matej Jošt, Jože Kropivšek

Les/Wood

Izdajatelj/Publisher

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

Glavna urednica/Editor-in-chief

Katarina Čufar, Slovenija, e-pošta: katarina.cufar@bf.uni-lj.si

Odgovorni urednik/Managing editor

Jože Kropivšek, Slovenija, e-pošta: joze.kropivsek@bf.uni-lj.si

Sourednica/Co-editor

Jožica Gričar, Slovenija, e-pošta: jozica.gricar@gozdis.si

Tehnični urednik/Technical editor

Anton Zupančič, Slovenija, e-pošta: anton.zupancic@bf.uni-lj.si

Uredniški odbor/Editorial board

Dominika Gornik Bučar, Slovenija
Miha Humar, Slovenija
Leon Oblak, Slovenija
Primož Oven, Slovenija
Milan Šernek, Slovenija

Jezikovni pregled/Proofreading

Darja Vranjek (slovensko besedilo/*Slovene text*)
Paul Steed (angleško besedilo/*English text*)

Oblikovanje/Design

Andrej Bajt

Tisk/Print

Tiskarna Roboplast d. o. o., Ljubljana
Natisnjeno v juniju 2017 v 200 izvodih./*Printed in June 2017 in 200 copies.*

ISSN 0024-1067 (tiskana verzija/*printed version*)

ISSN 2590-9932 (spletna verzija/*on-line version*)

<http://www.les-wood.si/>

Periodičnost/Frequency

Dve številki letno/Two issues per year

Les/Wood je referiran v mednarodnih bibliografskih zbirkah

Les/Wood is indexed in the international bibliographic databases

AGRIS, CAB Abstract

Avtorske pravice objavljenih člankov si pridržuje založnik Les/Wood

Copyright of the published articles is owned by the publisher Les/Wood



LES/WOOD

REVIJA LES/WOOD V NOVI PREOBLEKI, Z NOVIM IZDAJATELJEM IN SVEŽIMI IDEJAMI

Katarina Čufar in Jože Kropivšek
Glavna urednica in odgovorni urednik

Revija LES/WOOD je po štiriletni prekinitvi zopet med nami v prenovljeni obliki. Novi izdajatelj revije je Oddelek za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani, ki je v začetku leta 2017 imenoval nov uredniški odbor ter določil pravila izhajanja.

Prenovljena revija bo izhajala v elektronski (digitalni) obliki, tiskana verzija pa bo predvidoma na voljo v omejenem obsegu, predvsem za potrebe knjižnic in za namene, kjer je tiskana verzija nepogrešljiva. Z elektronsko obliko želimo doseči čim širšo publiko, omogočiti neomejen dostop do vsebin, povečati prepoznavnost revije in poleg domačih privabiti tudi tuje avtorje. Mednarodna naravnost revije zahteva tudi uporabo angleškega jezika v člankih, pri čemer bomo poleg znanstvene odličnosti skrbeli tudi za znanstveno in strokovno slovensko izrazoslovje na področju lesarstva, zato bodo članki v angleščini imeli daljši slovenski povzetek. Cilj revije je zagotavljanje globalnega teoretičnega in praktičnega pogleda na lesarstvo kot interdisciplinarno znanost in stroko. V splošnem si želimo, da bo pokrivala področje lesarstva širše, kar vključuje poleg znanosti o materialih še gozdarstvo, znanost o rastlinah, okoljske vede - ekologijo, inženirstvo, mehaniko, polimerno kemijo, biotehnologijo, mikrobiologijo, fizično geografijo, kemijo, strojništvo, kmetijstvo, antropologijo, arheologijo, geologijo, meteorologijo in atmosferske vede, ekonomiko in organizacijske vede ter poslovno informatiko in računalništvo. Revija bo izhajala dvakrat letno, predvidoma v maju in novembru.

Revija je dobila novo grafično podobo, ki jo je zasnoval Andrej Bajt. Že ob izdaji prve prenovljene številke je bila postavljena spletna stran (www.leswood.si), ki jo bomo še dopolnjevali. Revijo je teh-

nično uredil Anton Zupančič, lektoriranje besedil pa sta opravila Darja Vranjek in Paul Steed.

Povezanost s staro revijo LES/WOOD, ki je prenehala izhajati v začetku leta 2013 zaradi težav izdajatelja, čeprav je imela uspešno uredništvo pod vodstvom prof. dr. Mihe Humarja, ni povsem prekinjena. Revija bo še naprej indeksirana v pomembnih bibliografskih bazah (npr. AGRIS, Cab International, TreeCD in druge), zato lahko ostane vodilna na področju lesarstva v Sloveniji in širše.

Urednika in uredniški odbor se zavedamo potenciala revije, ki potrebuje skrbnega izdajatelja ter kakovostne pisce člankov, recenzente, urednike, podpornike in bralce. Že pri pripravi prve številke smo bili deležni vsestranske podpore. To kaže, da revijo res potrebujemo. Vsem, ki ste pripomogli k izdaji prve številke, se iskreno zahvaljujemo.

Nadaljnji razvoj revije je odvisen od številnih dejavnikov, med katerimi pa je na srečo večina takšnih, na katere imamo vpliv predvsem uredniki, avtorji in bralci. Z idejami glede izdajanja, razširitve vsebinskega okvirja in ciljev revije, krepitevami uredniškega odbora z vrhunskimi posamezniki ter predvsem pisanjem zanimivih in odličnih znanstvenih člankov lahko na njen razvoj vplivamo vsi. Zato vas vabiva, da se v ta proces vključite vsi tudi s tem, da pomagata razširjati glas o reviji LES/WOOD doma in po svetu. Hvala!



LES/WOOD

PREMIŠLJENA RABA LESA

UVODNIK K TEMATSKI ŠTEVILKI REVIE LES/WOOD

Jožica Gričar, Jože Kropivšek, Katarina Čufar
Uredniki tematske številke

Gozdovi so zapleten ekosistem z velikim neposrednim in posrednim vplivom na celotno okolje. Dinamično ravnovesje, ki se vzpostavi v gozdu, mu zagotavlja obstojnost in obenem omogoča, da se prilagaja različnim spremembam, kot so npr. ekstremni vremenski dogodki, prihodi novih rastlinskih in živalskih vrst, posegi človeka. Gozd se torej spreminja. Nekatere vrste izginejo in pojavijo se druge. Gozdna površina se lahko zmanjša ali poveča. Te spremembe je težko napovedati, zato obstaja visoka stopnja negotovosti.

Gozd ima več vlog. Zaradi tega je gospodarjenje z gozdovi zelo zahtevno in vključuje dobro poznavanje in upoštevanje vseh vlog, ki jih gozd opravlja. Proizvodno vlogo gozda je mogoče relativno enostavno prepoznati in ovrednotiti, druge, kot so ekološka, estetska ali socialna, pa dosti težje, če ne celo nemogoče. Včasih ostalih funkcij gozda niti ne opazimo ali pa jih premalo cenimo. Zavedamo se, da je gozd naše naravno bogastvo in sooblikovalec naše krajine, saj je Slovenija dežela gozdov. Želimo si čistega naravnega okolja, kjer je vloga gozda ključna. Kakovost našega življenja pa tudi blaginja družbe sta tako tesno povezani z gozdom. Vprašanje pa je, kaj bo naša dolgoročna strategija – kaj želimo doseči in kaj pričakujemo od gozda.

Zaradi velike gozdnatosti je les ena najpomembnejših naravnih surovin in velik potencial za lesno industrijo. Vendar vseh možnosti, ki jih ponuja gozd, še nismo izkoristili. Skrb za gozdove in premišljena raba lesa spadata med bistvene slovenske strategije. Slovenija se zavzema, da bi Evropska unija obravnavala lesno industrijo kot zeleno industrijo in les kot primarno surovino za prehod v nizko-ogljeno družbo in uresničevanje globalno sprejetih okoljskih

zavez o zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov. Les je zagotovo gradivo prihodnosti. Možnosti njegove izrabe in uporabe so odprte in porajajo vedno več inovacij in patentov. Za doseganje ciljev v smislu ustreznega gospodarjenja z gozdovi in povečevanja materialne in energetske učinkovitosti je pomen predelave lesa in rabe lesnih izdelkov velik. Najti moramo optimalno razmerje med letnim posekom, uporabo lesa za lesno industrijo in lesa za energijo. Postopno naraščanje sečnje ni dovolj. Posekan les moramo doma tudi predelati. Neizkoriščen potencial je les listavcev, katerih delež v slovenskih gozdovih v zadnjih letih narašča.

Za razvoj lesne industrije je nujno sodelovanje med vsemi deležniki v gozdno-lesni verigi, do potrošnikov pa bo treba pripeljati izdelke z visoko dodano vrednostjo. Več pozornosti bomo morali nameniti oblikovanju in trženju izdelkov, iskati nove poslovne modele, iskati tržne niše in razvijati lastne blagovne znamke. Pri tem je ključno sodelovanje vseh deležnikov v gozdno-lesni verigi, vključno z njeno razširitvijo na tesnejše povezave z arhitekti, oblikovalci, gradbeno industrijo, kemijsko predelavo in drugimi, za celovitejšo izrabo lesne surovine pomembnimi panogami.

Pred vami je tematska številka revije LES/WOOD, posvečena CRP projektu Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini (<http://crp-bukev.bf.uni-lj.si/>), ki ga financirata Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije in Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Številka prinaša sedem člankov s predstavitev sklepnih ugotovitev triletnega projekta, ki se zaključuje v juniju 2017. Članki sledijo ciljem projekta, ki so povezani z lesom listavcev -

posebej bukovine, spremljanjem kakovosti lesa od gozda do izdelka, vplivu ujma na kakovost lesa, tradicionalnimi ter še neizkoriščenimi inovativnimi rabami bukovine, vprašanji odpornosti lesa in življenjske dobe lesenih izdelkov, stanjem in možnim izboljšanjem tehnologij za predelavo lesa, možnostim razvoja gozdno-lesne verige za izdelavo izdelkov z visoko dodano vrednostjo ter njihovim trženjem. Vse to bi zagotovilo dolgoročne pozitivne učinke za razvoj panoge in gospodarstva ter kadrov. Prispevki tako skušajo opozoriti in odgovoriti na ključna vprašanja rabe bukovine v Sloveniji.

KAKOVOST BUKOVINE V SLOVENIJI – TRENUTNO STANJE IN PRIČAKOVANE SPREMEMBE OB SANACIJI ŽLEDOLOMA

QUALITY OF BEECHWOOD IN SLOVENIA – CURRENT SITUATION AND EXPECTED CHANGES AFTER THE RE-GENERATION OF FORESTS FOLLOWING THE NATURAL DISASTER OF GLAZE ICE

Jurij Marenče^{1*}, Dragan Matijašić², Zoran Grecs²

UDK 630*85:176.1 *Fagus sylvatica* L.

Izvilleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Izvilleček: Bukev v slovenskih gozdovih prevladuje, skupaj s smreko predstavljata kar 2/3 celotne lesne zaloge. Kot prevladujoča drevesna vrsta bo predstavljala enega ključnih dejavnikov pri izboru in načrtovanju tehnologij predelave lesa. Po žledolomu v letu 2014 je bilo v okviru sanitarne sečnje posekanega 2,34 milijona m³ bukve. Na območjih s slabšo odprtostjo in pretežkih razmer za sečnjo ter spravilo lesa bo v gozdu še vedno ostalo 521.000 m³ bukovega lesa. V članku je na izbranem vzorcu 10 dreves analizirana kakovost bukovega lesa – od stoječega drevesa do njegove izdelave na sortimente. Vsa drevesa so bila pred sečnjo ocenjena, nato skrojena, sortimenti pa ocenjeni po kakovosti. Pri določanju kakovostnih razredov posameznih sortimentov je bil uporabljen veljavni privzeti evropski standard za bukove hlode. Na oceno kakovosti lesa v vzorcu so odločilno vplivale predvsem slepice in napake srca. V prvem kakovostnem razredu dreves je bilo pričakovano ugotovljeno 60 % hlodovine, največ kakovosti A, iz dreves slabše kakovosti pa največ prostorninskega lesa in pa hlodovine najslabše kakovosti, predvsem razreda D. Ob obsežnih sestojnih spremembah zaradi žleda in napada podlubnikov se bo prihodnost teh sestojev gradila na bukvi.

Ključne besede: bukev, ujma, kakovost lesa, hlodovina, napake lesa

Abstract: Beech is a predominant tree species in Slovenian forests, and together with spruce they represent as much as two-thirds of the total growing stock. As a predominant tree species, it will be one of the key factors in the selection and planning of wood processing technologies. After the glaze ice in 2014, 2.34 million m³ of beech were felled within the scope of the salvage cut. In areas with poor openness and impossible conditions to perform felling and harvesting, 521.000 m³ of affected beechwood remain in forests. Using a selected sample of 10 trees, the article analyses the quality of beechwood – from a standing tree to its production of assortments. All trees were evaluated before the felling, then they were bucked and the resulting logs assessed in terms of quality. The European standards for beech logs were used to determine the quality classes of individual assortments. In particular, covered knots and heartwood defects had a decisive impact on the assessment of wood quality in the sample. As expected, 60% of roundwood was established in logs, the majority of the highest A-quality. The trees of poorer quality provided the most stacked wood and the logs were of the worst quality, i.e. mostly D-class. Due to changes in stand conditions caused by glaze ice and bark beetle attacks, the related stands will be restored with beech trees in the future.

Keywords: beech, natural disaster, wood quality, logs, wood defects

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Ocenjevanje kakovosti lesa je pomemben del gozdarskega načrtovanja – toliko bolj je to važno pri drevesnih vrstah, ki v naših gozdovih prevladujejo. Takšen je tudi primer bukve, ki je naša najbolj pogo-

sta drevesna vrsta. Po podatkih Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS) predstavlja skupaj s smreko kar 2/3 celotne lesne zaloge v naših gozdovih (Poročilo Zavoda za gozdove ..., 2015) in se pojavlja na skoraj 90 % gozdnih površin. Ob burnih vremenskih spremembah (suše, ujme, žledolomi, podlubniki), ki se nam dogajajo v zadnjem obdobju, lahko pričakujemo, da se bo njen delež še povečeval. Spremenjene sestojne razmere zahtevajo in nam narekujejo še večjo pozornost v našem prihodnjem gospodarjenju z bukovimi gozdovi. Ob tem je potrebno bolj izkoristiti

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana, SLO

* e-pošta: jurij.marence@bf.uni-lj.si; telefon: 01-320-3513

² Zavod za gozdove Slovenije, Večna pot 2, Ljubljana, SLO

predvsem tisti del lesa, ki je boljše kakovosti in povečati dodano vrednost izdelkom. Delež bukovine v lesni zalogi in razlike v kakovosti izdelanih sortimentov nam omogočajo, da lahko na trgu ustvarjamo pestro ponudbo različnih proizvodov. Bukovina naj ne bo namenjena zgolj kemični predelavi, tradicionalni pohištveni industriji in proizvodnji vezanega lesa, ampak naj svoj prostor najde tudi pri izdelkih, ki temeljijo na višji kakovosti. Vsaj del posekanega lesa je takšne kakovosti in nam omogoča tudi kaj več.

S tovrstno problematiko se pričakovano ukvarjajo predvsem tam, kjer bukev predstavlja pomemben delež v lesni zalogi in je kot vrsta pomembna v nadaljnji predelavi. V raziskavah prevladujejo predvsem analize kakovosti lesa in dejavniki, ki vplivajo nanje (Lipoglavšek, 1996, Prka, 2003, 2006, 2010), vpliv sestojnih razmer in rastišča na razvoj bukovih sestojev (Stankić et al., 2014) in lastnosti lesa ter njegova predelava (Šoškić, 2005).

V dosedanjih analizah kakovosti bukovine ugotavljamo precejšnje razlike, znotraj in med rastišči – tudi zato predstavlja bukev eno naših ključnih drevesnih vrst v prihodnjem izboru in načrtovanju tehnologij predelave v lesni industriji. Pri nas smo do sedaj večinoma analizirali kakovost bukovine v različnih sestojnih razmerah (Rantaša, 2013, Rogelj, 2012), pomembna so tudi proučevanja najbolj pogostih napak lesa, ki vplivajo na njegovo kakovost (Kadunc, 2006) in izkoristek lesa pri sečnji v teh sestojih (Rebula, 2002).

Spremenjene sestojne razmere, ki jih je v večjem delu Slovenije povzročil žledolom leta 2014, bodo v prihodnje gotovo vplivale na strukturo in deleže lesa, ki ga pridobivamo iz naših gozdov. Smreka je bila od vseh drevesnih vrst v zadnjih dveh letih najbolj množično prizadeta, zato se bo njen delež marsikje občutno zmanjšal, vrstna sestojna struktura se bo bistveno spremenila. Potek sanacije žledoloma, ki se letos večinoma zaključuje in ukrepanje ob obsežnem napadu podlubnikov, ki je ujmi sledil, sta v tem času pomembni dejstvi in informacija vsem deležnikom v verigi od gozda do lesne industrije. Zato v tem članku poleg ocenjevanja kakovosti bukovega lesa dodajamo tudi osnovne informacije o opravljenem delu, trenutnem stanju in spremembah v okviru sanacije po ujmi – torej o vsem tistem, kar bo vplivalo na deleže, količino lesa in predvsem njegovo kakovost – tudi bukovine.

Srednje močan žled se v Sloveniji pojavlja vsakih nekaj let, močan žled, ki povzroča veliko gospodarsko škodo, pa približno na vsakih nekaj 10 let. Največjo škodo v gozdu povzroča na drevju na gozdnem robu, ob gozdnih koridorjih, kjer uspevajo zlasti pionirske svetloljubne drevesne vrste. V Sloveniji je značilno žledenje predvsem v jugozahodni Sloveniji, vzdolž dinarske pregrade, bodisi na celinski, bodisi na primorski strani. Žled, ki je v februarju 2014 poškodoval slovenske gozdove, je doslej največja znana naravna ujma v Sloveniji. Poškodovanost gozda je bila desetkrat obsežnejša kot pri drugem najobsežnejšem žledolomu v Sloveniji do sedaj (na prehodu iz leta 1996 v 1997). Tokratno naravno ujmo bi lahko opredelili kot žledolom v kombinaciji s snegolomom in predhodnimi obilnimi padavinami, ki so dobro namočila in razmehčala tla. V tej zimi je bilo več padavin kot v vegetacijski dobi, kar je eden od mnogih klimatskih ekstremov, ki se dogajajo v zadnjih dveh desetletjih.

2 MATERIAL IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 OCENJEVANJE POSLEDIC UJME 2014

2.1 ASSESSING THE CONSEQUENCES OF THE DISASTER IN 2014

Naravna ujma je povzročila večje ali manjše poškodbe skoraj v vseh gozdovih Slovenije. Nepoškodovani so ostali le gozdovi v Slovenskem Primorju do nadmorske višine 500 m, na subpanonskem območju vzhodne Slovenije ter gozdovi nad 1.200 m n.v. Na polovici površine gozdov v Sloveniji so bile potrebne sanitarne sečnje poškodovanih dreves. V vseh omenjenih sestojih so na Zavodu za gozdove Slovenije s terenskim popisom, ki so ga v letih 2014 - 2016 opravili gozdarji v okviru posameznih prizadetih revirjev, evidentirali vsa drevesa, ki jih je bilo zaradi poškodb po žledu potrebno posekati. Obenem so ob koncu leta 2016 s popisom in ob upoštevanju realizacije načrtovanih del v okviru sanacije ter vseh dostopnih evidenc ugotovili trenutno stanje glede na zastavljene načrte. V tej analizi je zlasti pomemben tudi delež poškodovanega lesa, ki v gozdovih ostaja in ga v fazi tokratne sanacije očitno sploh ne bo mogoče izkoristiti. Ta del lesa predstavlja predvsem tisti del poškodovanih sestojev, kjer zaradi pretežkih delovnih razmer in nedostopnih območij lesa ni mogoče spraviti do kamionske ceste.

2.2 METODE OCENJEVANJA KAKOVOSTI

BUKOVEGA LESA

2.2 METHODS OF ASSESSING THE BEECHWOOD QUALITY

Gozdarji in lastniki gozdov se pogosto ukvarjamo z gozdnimi fondi – lesno zalogo, razmerjem drevesnih vrst, prirastkom, posekom lesa iz naših gozdov. Poleg omenjenih količin je vedno pomembno vprašanje tudi kakovost tega lesa – zlasti je to pomembno za lastnike gozdov, ki del svojega lesa tržijo, in lesno industrijo, ki je porabnik tega lesa. V ta namen smo v okviru ciljnega raziskovalnega programa obravnavali predvsem problematiko ocenjevanja kakovosti buko-

rom 30 cm ali več, pri čemer se ocenjuje prvo in drugo četrtino drevesa. Pri tem vrednotenju uporabljajo 5-stopenjsko lestvico (Jonozovič et al., 2012). Številka 1 predstavlja najvišjo kakovost, 5 pa najslabšo. Na osnovi tovrstnega spremljanja ugotavljajo, da je največ dreves ocenjenih s povprečno (dobro) kakovostjo (44 %), manjši delež dreves (7 %) je ocenjenih z najvišjo kakovostjo, četrtnina vseh ocenjenih dreves pa je prav dobre kakovosti (preglednica 1). V preglednici navajamo podatke tudi za smreko, ki poleg buke predstavlja največji delež v lesni zalogi in povprečja za vse iglavce in listavce skupaj.

Preglednica 1. Kakovost drevesnih vrst v slovenskih gozdovih, ocenjena na podlagi 5 stopenjske lestvice

Table 1. Quality of tree species in Slovenian forests assessed on the basis of a five level scale

Drevesna vrsta/ Tree species	Št. dreves/ No. of trees	Delež (%) dreves po kakovostnih razredih/ Share (%) of trees in terms of quality classes				
		Odlična/ Excellent (1)	Prav dobra/ Very good (2)	Dobra/ Good (3)	Zadovoljiva/ Satisfactory (4)	Slaba/ Poor (5)
Smreka/Spruce	229.257	8	29	50	12	1
Bukev/Beech	222.857	7	22	39	21	11
Iglavci/Conifers	348.545	7	30	49	12	2
Listavci/Deciduous trees	343.934	7	20	39	22	12
Skupaj/Total	692.479	7	25	44	17	7

vega lesa v slovenskih gozdovih. V analizo smo zajeli ocenjevanje stoječega drevja na izbranem vzorcu, pri tem uporabili ustaljeno strokovno metodologijo in obravnavali problematiko uporabe različnih standardov pri ocenjevanju sortimentne sestave znotraj vzorca (Marenče & Šega, 2015). V okviru raziskovalnega projekta smo analizo nadaljevali vse do predelave lesa na žagarskem obratu – v tokratnem pregledu se omejujemo le na prvi, gozdarski del problematike. Obravnavamo torej analizo kakovosti stoječega drevja in sortimentov, ki jih iz njih lahko izdelamo in transportiramo do kamionske ceste.

Na ZGS v okviru rednega dela pri obnovi načrtov za gospodarjenje z gozdovi zbirajo različne podatke s pomočjo mreže stalnih vzorčnih ploskev. Ta mreža zajema približno 103.000 takšnih ploskev – na njih evidentirajo različne podatke, ki so pomembni za gospodarjenje z gozdovi, med njimi presojo tudi kakovost stoječih dreves na podlagi vizualne presoje. Pri tem se uporablja obstoječa metodologija – ocenjujejo se drevesa s prsnim preme-

V povprečju so iglavci boljše ocenjeni od listavcev, bukev pa bistveno ne odstopa od povprečja za vse listavce. Pri bukvi prevladuje dobra kakovost (3), saj je tako ocenjene 39 % bukovine, sledita prav dobra (22 %) in zadovoljiva kakovost (21 %). Pomembne razlike v kakovosti lesa na ZGS ugotavljajo med posameznimi deli Slovenije. Smreka je boljše kakovosti v gorskem svetu (Alpe, Dinaridi), bukev pa v GGO Novo mesto in GGO Ljubljana.

Na podlagi takšnih ocen kakovosti, razlik med rastišči in znotraj njih, lahko tudi pri izdelavi sortimentov iz posekanih dreves pričakujemo zelo pestro sortimentno sestavo. Domnevamo, da lahko iz stoječih dreves, ki so bila glede na kakovost boljše ocenjena, izdelamo tudi več kakovostnejših sortimentov.

Takšna kakovost nam torej ne omogoča rabe bukovine zgolj v njeni kemični predelavi - glede na predstavljene podatke vseh bukovih sestojev v Sloveniji lahko trdimo, da lahko iz takšnega lesa naredimo tudi bolj kakovostne izdelke. Zato smo se pri obravnavi te problematike povezali strokovnjaki z gozdarskega in



Slika 1. Izbrani drevesi pred posekom (levo: kakovost 1, desno: kakovost 5)

Figure 1. Selected trees before the felling (left: quality 1, right: quality 5)

lesarskega področja. Pri tem smo obravnavali količine lesa in njihovo kakovost. V tokratnem pregledu se omejujemo na obravnavo stoječih dreves in gozdnih sortimentov, ki smo jih iz njih izdelali. Vsa drevesa smo pred sečnjo ocenili (slika 1), jih skrojili in sortimente ocenili po kakovosti. Pri krojenju smo upoštevali veljavni privzeti evropski standard za bukove hlode (SIST EN 1316 -1, 2013).

V analizi kakovosti dreves na stalnih vzorčnih ploskvah ugotavljamo razlike med posameznimi gozdno-gospodarskimi območji, zato smo v našo raziskavo v okviru projekta vključili več različnih bukovih rastišč, kjer smo opravljali analizo kakovosti bukovine. Pomemben cilj raziskovalnega projekta je pokazati na razlike med posameznimi rastišči in kakšne sortimente lahko pričakujemo. V vzorec smo zajeli deset dreves, po dve iz vsakega kakovostnega razreda. Velikost vzorca nam je narekovala predvsem predelava vseh posekanih dreves na žagarskem obratu. Ob večjem vzorcu bi vse predvidene meritve in analize težko izvedli. V tem prispevku predstavljamo primer sestoja na rastišču preddinarskega - dinarskega podgorskega bukova (Hacquetio-Fagetum). Analiza je bila opravljena v GGE Mokronog, GGO Brežice.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 POSLEDICE UJME 2014

3.1 THE CONSEQUENCES OF THE DISASTER IN 2014

V zadnjem žledu so bili najbolj poškodovani gozdovi na pregradi iz obalno kraškega v celinsko območje, na JZ robu Ljubljanske kotline in na cerkljansko-idrijskem območju v nadmorski višini 300-700 m, lokalno do 900 m n.v. – torej na območju, kjer je po naravi dominantna bukev.

Poškodbe drevja glede na vrsto poškodb so bile raznovrstne, od odlomov posameznih vej oziroma bolj ali manj poškodovanih krošenj, prelomov debel, odlomov dreves (do višine 2 m nad tlemi) do izruvanih dreves (sliki 2 in 3). Na celotnem območju poškodovanosti od žleda so prevladovala drevesa s poškodovanimi krošnjami, sledili so prelomi debel. Delež izruvanih dreves je bil večji kot je običajno v snegolomih in žledolomih - predvsem zaradi razmočenih tal, zlasti na plitvih tleh in strmih pobočjih. To so tereni, kjer beležimo največjo poškodovanost bukve in kjer se je pogosto zgodil domino efekt pri verižnem podiranju dreves v pasovih, ki so ga sprožila padajoča drevesa z udarci na sosednja drevesa.



Slika 2. Prelomljena drevesa in močno poškodovane krošnje so tipične poškodbe obilnega žledenja (foto: Tonček Jerič, PGD Razdrto)

Figure 2. Broken trees and severely damaged tree tops are typical damage caused by extensive glaze ice (Photo: Tonček Jerič, PGD Razdrto)

Poškodb dreves je bilo zaradi nesimetričnih krošenj največ na gozdnih robovih in ob linijskih objektih ter na strmih pobočnih legah. Poškodbe dreves so bile posamezne, v šopih, skupinah, izjemoma pa so bili poškodovani tudi celi sestoji.

Poškodbe so bile prisotne v vseh razvojnih fazah gozda in pri vseh debelinah dreves. Bolj so bili poškodovani enomerni enovrstni sestoji v razvojni fazi drogovnjaka, v višinskem pasu od 300 do 600 m n.v.

Zaradi razsežnosti naravne ujme so se praviloma posekala le drevesa, ki so bila prevrnjena, prelomljena, močno nagnjena, ter drevesa z močno poškodovanimi krošnjami. Prednost pri sanaciji je imel posek iglavcev, sanitarni posek listavcev je lahko z vidika varstva gozdov potekal počasneje, več let. Omembe vredne poškodbe krošenj segajo do nadmorske višine okvirno 700 m, više so danes po treh letih poškodbe že zaraščene, neopazne.

Po oceni Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS), ki je izdelal Načrt sanacije v žledu poškodovanih gozdov 2014 (Načrt sanacije gozdov ..., 2014), je bil na površini približno 600.000 ha gozd poškodovan, kar predstavlja polovico gozdne površine v Sloveniji. Ocena količine poškodovanega drevja v gozdovih, ki ga je bilo treba posekati, je bila 9,3 milijona m³ lesa. Med močno poškodovanimi drevesi so prevladovali listavci (6,2 mio m³ listavcev oz. 66 %), kar je značilno za poškodbe v žledolomih in snegolomih. Med listavci so bile najbolj poškodovane pionirske drevesne vrste (vrbe, topoli, breze), pa tudi lipe in jelše,



Slika 3. Veliko število izruvanih dreves v februarjem žledolomu 2014 je tudi posledica predhodno namočenih tal (foto: Mirko Perušek)

Figure 3. A large number of uprooted trees due to the glaze ice in February 2014, and this was also the consequence of preexisting sodden ground (Photo: Mirko Perušek)

na območjih najintenzivnejšega žledenja pa predvsem bukev in hrast. Močno poškodovanih iglavcev je bilo 3,1 mio m³ (34 %), največ borovcev. Drevesa, ki so utrpela manjše poškodbe, so praviloma ostala v gozdnih sestojih in so se uspešno regenerirala. V triletnem obdobju je bilo sanitarne sečnje bukev (neposredne evidence poseka ZGS) 2,34 milijona m³, kar je več kot tri četrtine med listavci in več kot 40 % v skupnem sanitarnem poseku, celo nekaj več kot smreke. Večino, okvirno 85 % vse lesne mase bukev v sanitarnem poseku je bilo v območju dinarske celinsko - primorske pregrade. Neizkoriščena masa 521.000 m³ poškodovane bukev ostaja v gozdu (Evidenca sanitarnega poseka ..., 2016), predvsem na nedostopnih območjih in nemogočih razmerah za sečnjo ter spravilo lesa.

V gozdovih z oslajeno vitalnostjo in v stresno sušnih in vročih letih je posledično prišlo tudi do gradacije podlubnikov in do veliko površinske razgradnje gozda (Jurc et al., 2014). Na območjih žledoloma so rastišča pretežno bukova, zato se bo v prihodnosti gradilo gozd predvsem z bukvijo. Za potrebe obnove gozda je bilo nujno ohranjanje gozdno mikroklimo in potencialna semenska drevesa, zlasti bukev, čeravno s poškodovano krošnjo. Pri bukvji, ki jo v močno poškodovanih gozdovih ohranjamo predvsem z namenom obnove, ni toliko pomembna njena kakovost ali količinska produkcija, njena vloga je ključna predvsem pri obnovi gozda z ohranjanjem gozdne mikroklimo in nasemenitve, tako pri naravni kot umetni obnovi.

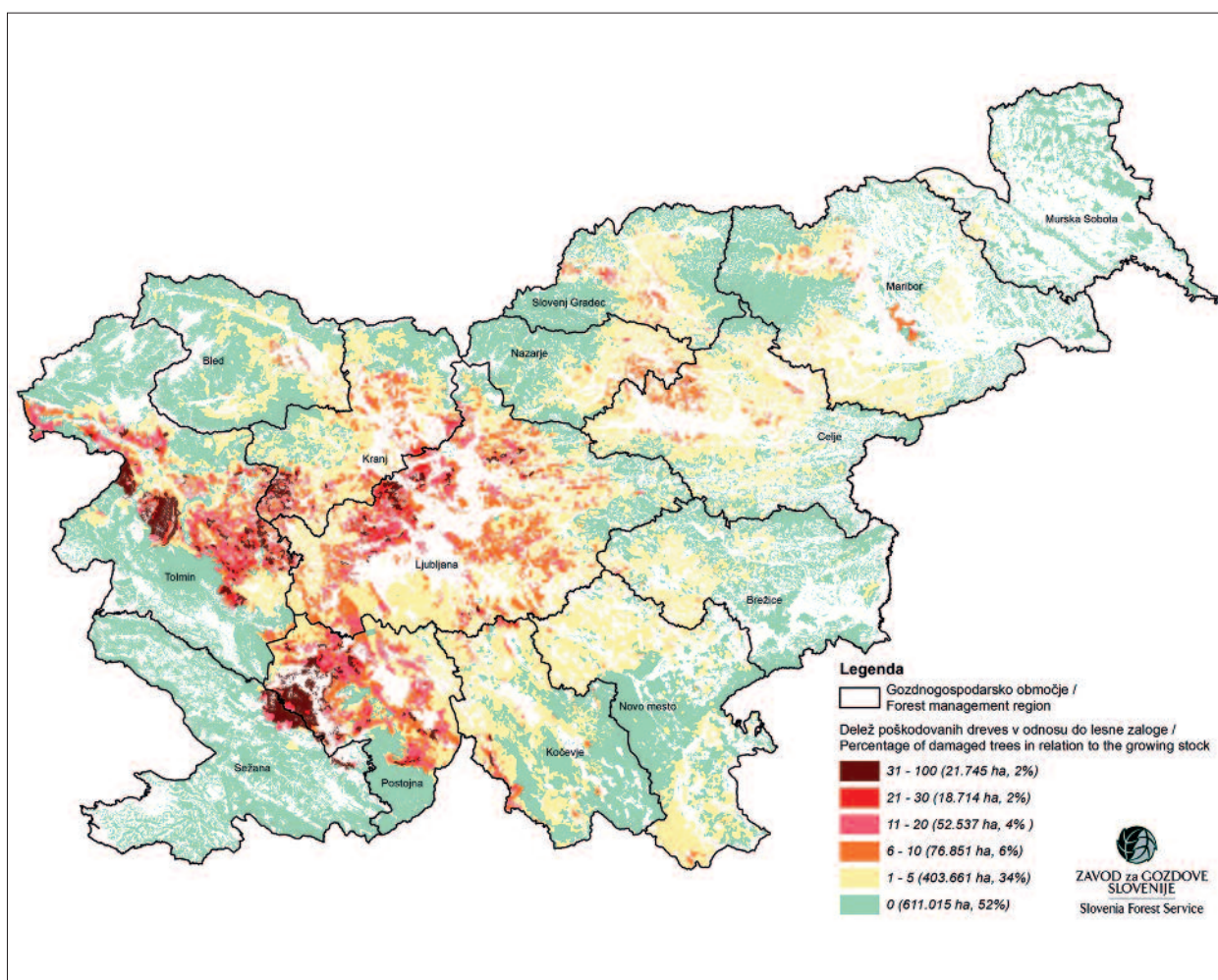
Na ZGS načrtujejo, da bo okvirno 15.000 hektarjev gozdnih površin, ki jih bo potrebno obnoviti z naravno obnovo. Na 1.700 hektarjih površin bo obnova potekala s sadnjo sadik, s prevladujočo bukvi (do 60 %). Zaradi žleda je bilo posekane okvirno 2,5 % lesne zaloge bukve v Sloveniji. Po oceni je od skupne zaloge bukve v slovenskih gozdovih ostalo do 2 % dreves s poškodovanimi krošnjami, pri katerih bolj kot na kakovostno in količinsko produkcijo računamo na njeno podporo pri obnovi in razvoju gozda v prihodnosti. Območja, na katerih zaradi velike poškodovanosti v prihodnjih desetletjih ne moremo računati na primerno količinsko in kakovostno lesno produkcijo bukve, prikazujemo na karti poškodovanosti gozdov (slika 4).

3.2 KAKOVOST BUKOVINE

3.2 THE BEECHWOOD QUALITY

Dejstvi, da bukev v naših gozdovih prevladuje in da je velika večina teh gozdov v zasebni lasti, nam nakazuje pomembnost raziskav, ki obravnavajo bukev kot drevesno vrsto. Poleg njene kakovosti je za lastnika gozda pomembna tudi količina lesa, predvsem pa razmerje med hlodovino in prostorninskim lesom, ki ju lahko dobi iz posameznega drevesa. Tovrstni podatki so zanj gotovo pomembni – tako pri njegovem gospodarjenju z gozdom kot tudi pri trženju lesa iz teh gozdov.

V izbranem vzorcu smo tako zajeli 10 dreves, količine izdelane hlodovine in prostorninskega lesa navajamo v preglednici 2.



Slika 4. Pregledna karta poškodovanih območij po stopnjah poškodovanosti v naravni ujmi od 30. januarja do 10. februarja 2014

Figure 4. Detailed map showing damaged areas in terms of the level of damage caused in the natural disaster from 30 January to 10 February 2014.

Preglednica 2. Količine hlodovine, prostorninskega lesa in deleži hlodovine v drevesih različnih kakovosti
Table 2. Quantities of logs, stacked wood and shares of logs in trees of different qualities

Kakovost posekanih dreves / Quality of felled trees	1	2	3	4	5
Število dreves / No. of trees	2	2	2	2	2
Hlodovina / Logs (m ³)	5,25	3,47	3,70	6,02	3,30
Prostorninski les / Stacked wood (m ³)	1,93	0,80	1,59	1,92	4,80
Prostornina skupaj neto / Total net volume (m ³)	7,18	4,27	5,29	7,94	8,10
Delež hlodovine v bruto masi / Share of logs in gross mass (%)	64	72	62	67	36

V našem primeru so na ocenjevanje kakovosti bukovine in razvrščanje lesa med hlodovino oziroma prostorninski les odločilno vplivale predvsem slepice in napake srca – rdeče srce pri bukvi (slika 5). Tu imamo težave pri ocenjevanju stoječih dreves – slepice so vidne in jih pri tej oceni lahko korektno upoštevamo, medtem ko vpliv rdečega srca lahko presojamo šele po poseku. Posebej je to problematično zaradi pogostosti pojavljanja te napake srca, ki lahko bistveno spremeni prvotno oceno kakovosti na stoječem drevesu. Z metodologijo, ki smo jo uporabili v tej raziskavi, lahko vsekakor ugotavljamo orientacijske vrednosti o kakovosti bukovine za celotno Slovenijo. Njena pomanjkljivost pa je v omejenem dejstvu, da vseh napak na stoječem drevju ni mogoče oceniti.

V našem primeru je znašal delež hlodovine med 36 in 72 %. Iz dreves slabše kakovosti pričakovano

dobimo več prostorninskega lesa in pa hlodovine najslabše kakovosti, predvsem razreda D. Deleže po kakovostnih razredih prikazujemo na sliki 6.

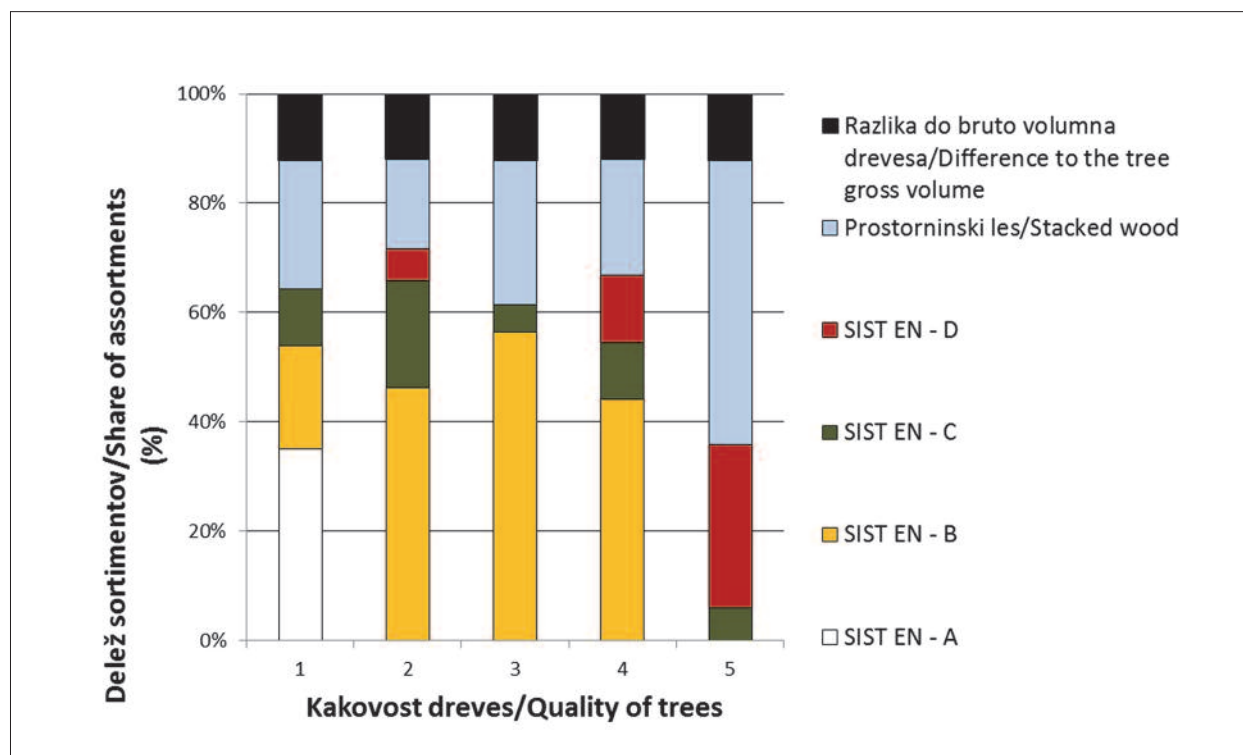
Pri drevesih najnižje kakovosti (5) smo ugotovili manj kot 40 % hlodovine, pri čemer je le 5 % hlodov C kakovostnega razreda, preostanek so le hlodi D kakovosti. V prvem kakovostnem razredu dreves (1) je dobra tretjina hlodov kakovosti A, ki prevladuje; v tem razredu smo ugotovili skupaj več kot 60 % hlodovine.

Ob razpravi o kakovosti hlodovine v naših gozdovih lahko ob upoštevanju podatkov s stalnih vzorčnih ploskev ZGS in ugotovitev na osnovi našega izbranega vzorca zaključimo, da lahko pričakujemo okrog 3 % hlodov najvišje kakovosti – iz njih lahko gotovo izdelamo najkakovostnejše izdelke (plemeniti furnir). Sicer pa prevladujejo predvsem hlodi povprečne do dobre kakovosti (razred B).



Slika 5. Slepice in napaka srca odločilno vplivajo na kakovost sortimentov

Figure 5. Covered knots and heartwood defects significantly affect the quality of assortments



Slika 6. Deleži gozdnih lesnih sortimentov glede na ocenjeno kakovost stoječega drevesa

Figure 6. Shares of forest assortments in terms of the assessed quality of a standing tree

Ocenjevanje kakovosti lesa je pomemben del gozdarskega načrtovanja – posebej pri drevesnih vrstah, ki jih je v sestojih največ. Bukev je gotovo med njimi. Njen delež se bo glede na podatke ZGS in dogodke zadnjih let, ki jih v prispevku predstavljamo (žled), pričakovano še povečeval. Po ujmi v letu 2014 je zaradi primernih podnebnih razmer posledično prišlo še do gradacije podlubnikov in do veliko površinske razgradnje gozda. Obnova gozda in ohranjanje gozdne mikroklimе tam, kjer je to sploh še možno, sta pomembnejši aktivnosti v prihodnje. Sem gotovo sodi tudi ohranjanje potencialnih semenskih dreves bukve, čeravno s poškodovano krošnjo. V takšnih primerih ni najpomembnejša njena kakovost ali količinska produkcija, ampak dodatna vloga pri naravni in umetni obnovi.

5 ZAKLJUČKI

5 CONCLUSIONS

Glede na oceno kakovosti bukovega lesa v slovenskih gozdovih, kjer imamo več kot četrtino dreves dobre in boljše kakovosti, lahko zaključimo, da lahko iz takšnega lesa naredimo tudi bolj kakovostne izdelke. Ob prevladujočem zasebnem lastništvu goz-

dov in bukvi kot najpogostejši drevesni vrsti je za zasebnega lastnika gozdov pomembno sporočilo, kakšno kakovost oziroma izdelke iz tega lesa lahko pričakuje. Torej ne zgolj količina ampak tudi kakovost – v njegovem gospodarjenju z gozdom in tudi trženju lesa je to zanj pomembna informacija.

Ugotavljamo, da lahko ob primernem izkoriščanju proizvodnih potencialov bukovih rastišč dosežemo tudi visoko kakovost bukovine, resda v manjšem deležu – ob njem lahko računamo tudi na pester izbor različnih izdelkov, tudi takšnih z višjo dodano vrednostjo. Bukovina ni namenjena zgolj kemični predelavi in dosednji tradicionalni predelavi v pohištveni industriji. Pomembna je tudi pri izdelkih višje kakovosti in s tem dodane vrednosti.

Analizo in presojo podatkov o kakovosti bukovine pri izbranem vzorcu je pomembno in koristno povezati s podatki o kakovosti bukovega lesa v vseh gozdovih. Ob dodatnem upoštevanju podatkov z vseh stalnih vzorčnih ploskev ZGS lahko zaključimo, da lahko pričakujemo okrog 3 % hlodov najvišje kakovosti – iz njih lahko gotovo izdelamo najkakovostnejše izdelke (plemeniti furnir). Sicer pa prevladujejo predvsem hlodi povprečne do dobre kakovosti (razred B).

Začeli smo z ujmo in podlubniki, pa tako še končajmo. Vsekakor se prihodnost od žleda in posledično od podlubnikov poškodovanih gozdov gradi na bukvi. Kljub naravnim ujmam je še vedno prevladujoč delež bukve potencial, ki tudi v prihodnje zagotavlja z ustreznim gojenjem gozdov primerno kakovostno in količinsko produkcijo bukovine.

6 POVZETEK

6 SUMMARY

The assessment of wood quality is an important part of forestry planning, and this is especially true for those tree species which prevail in Slovenian forests. One of these is beech, and together with spruce it represents two thirds of the total growing stock in Slovenian forests. Due to all the adverse events of recent years (droughts, natural disasters, glaze ice, and bark beetles), it can realistically be expected that its share of the forest stock will continue to increase. It would also be rational to exploit the wood which is of better quality and so increase the added value of its products. Beech, as a prevailing tree species, is definitively one of key factors in the future selection and planning of processing technologies in the Slovenian wood industry.

The Slovenian Forest Service finds that stand conditions have changed significantly in the most parts of the country. Since the natural disaster of glaze ice occurred in 2014, a total of 2.34 million m³ of beech have been harvested within the scope of the salvage cut, which is over three quarters more than the amount of deciduous trees and over 40% of the total salvage cut, even slightly more than the felling of spruce trees. The majority of this wood was harvested in the area of the Dinaric continental-Primorska region border. An important part of the affected beechwood (521,000 m³) remains in forests, in particular in inaccessible areas, and due to severe conditions for wood harvesting and the danger of skidding.

A total of 2.5% of beech tree growing stock was felled in Slovenia due to the glaze ice. Approximately the same share of beech trees with damaged tree tops remains in forests – in all such cases, we cannot rely on the quality and quantity beechwood production, but instead on its support in forest re-generation and development efforts.

The article analyses the quality of beechwood – from a standing tree to its production of assortments. The methodology of visual assessment – used by the Slovenian Forest Service on permanent sample plots for this purpose – was applied to the selected sample. The analysis included ten trees of different quality – two trees per quality class. All trees were assessed before felling, and then bucked and finally the resulting logs assessed in terms of quality. In terms of bucking, we took into account the European standards for beech logs. In particular, covered knots and heartwood defects (red heartwood in beech) had a decisive impact on the assessment of wood quality in the sample. The analysis established different shares of logs, i.e. from 36% to 72%. As expected, the trees of poorer quality provided the most wood in stacked cubic metres and logs of the worst quality, mostly D-class. In the first quality class of trees, more than a third of logs were of A quality (this quality class prevails) – and over 60% of logs in total fall into this class of trees. In several areas, glaze ice and bark beetle attacks caused the stands to change significantly – and these areas will be restored by beech in the future. This species' prevailing share, together with the professional work of foresters, will continue to provide quantitative and quality yields of beechwood.

VIRI

REFERENCES

- Evidenca sanitarnega poseka od žleda poškodovanih gozdov 2014 – 2016, evidenca neizkoriščene mase poškodovanega drevja v gozdu – 31. 12. 2016, ZGS.
- Jonozovič, M., Marenče, M., Matijašič, D., Pisek, R., Poljanec, A., & Veselič, Ž. (2012). Gozdnogospodarski in lovsko upravljalški načrti območij za obdobje 2011 – 2020 (povzetek za Slovenijo). Zavod za gozdove Slovenije, 111 str.
- Jurc, M., Sinjur, I., & Kolšek, M. (2014). Les je lep, gozd še lepši - če ga ne uniči žled. Delo, Sobotna priloga, 22. 2. 2014.
- Kadunc, A. (2006). Kakovost in vrednost okroglega lesa bukve (*Fagus sylvatica* L.) s posebnim ozirom na pojav rdečega srca. Gozdarski vestnik, 64, 355–376.
- Lipoglavšek, M. (1996). Kakovost gozdnih lesnih proizvodov. Kakovost v gozdarstvu, 2, Zbornik gozdarstva in lesarstva, 51, 59–65.
- Marenče J., & Šega, B. (2015). Povezave med kakovostjo bukovih dreves in iz njih izdelanih sortimentov. Gozdarski vestnik, 73, 429–441.
- Načrt sanacije gozdov poškodovanih v žledolomu od 30. januarja do 10. februarja 2014. Zavod za gozdove Slovenije.

- Navodila za snemanje na stalnih vzorčnih ploskvah (2010). Ljubljana: Zavod za gozdove Slovenije, 127 str.
- Poročilo Zavoda za gozdove Slovenije o gozdovih, ZGS, 2015.
- Prka, M. (2003). Occurrence of false heartwood in beech trees and technical beech roundwood coming from thinning and preparatory felling in the area of Bjelovar Bilogora. Šumarski list, (9-10), 467-474.
- Prka, M. (2006). Features of Assigned Beech Trees According to the Type of Felling in the Felling Areas of Bjelovarska Bilogora and their Influence on the Assortment Structure. Šumarski list, (7-8), 319-329.
- Prka, M. (2010). Bukove šume i bukovina bjelovarskog područja. Bjelovar: Hrvatsko šumarsko društvo, Ogranak Bjelovar.
- Rantaša, B. (2013). Kakovost bukve v gozdnogospodarski enoti Pre-serje - Rakitna (Diplomsko delo). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire.
- Rebula, E. (2002). Izkoristek lesa pri sečnji bukovine. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 69, 197-213.
- Rogelj, P. (2012). Kakovostna struktura bukve v podgorskih in kisloljubnih bukovjih novomeškega gozdnogospodarskega območja (Diplomsko delo). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire.
- SIST (2013). Okrogli les listavcev - Razvrščanje po kakovosti - 1. del: Hrast in bukev (SIST EN 1316-1).
- Stankić, I., Marenče, J., Vusić, D., Zečić, Ž., & Benković, Z. (2014). Structure of the common beech above ground tree biomass in different stand conditions. Šumarski list, (9-10), 439-449.
- Šoškić, B., Vilotić, D., Popović, Z., & Radošević, G. (2005). Grada, svojstva i prerada bukovih drveta. V: Stojanović. Bukva (*Fagus moesiaca* /Domin, Mally/Czeczott.) u Srbiji. Beograd: Udruženje šumarskih inženjera i tehničara Srbije, Šumarski fakultet univerziteta u Beogradu, 403-410.

VPLIV SUŠILNEGA POSTOPKA NA KAKOVOST IN IZKORISTEK BUKOVEGA ŽAGANEGA LESA

IMPACT OF THE DRYING PROCESS ON THE QUALITY AND UTILIZATION RATE OF SAWN BEECHWOOD

Aleš Straže^{1*}, Maks Merela¹, Katarina Čufar¹, Bogdan Šega¹, Dominika Gornik Bučar¹, Željko Gorišek¹

UDK 630*847

Izvilleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Izvilleček: Ocenjevali smo kakovost bukovega žaganega lesa pred in po industrijskem normalno-temperaturnem konvekcijskem komorskem sušenju in po sušenju na prostem. Pri svežih žaganicah debeline 42 mm, dolžine 2,6 m do 5 m, smo izmerili dimenzije ter določili število in velikost čelnih in površinskih razpok ter poklin na grčah. Deskam smo določili še orientacijo in smer lesnih vlaken, število in velikost grč, prisotnost rdečega srca in veženja. S temi kriteriji smo deske razvrstili po kakovosti pred in po koncu sušenja v skladu s pravili Evropskega združenja žagarske industrije (EOS). Ugotovili smo značilen vpliv obeh sušilnih postopkov na pojav sušilnih napak, razlik med postopkoma nismo potrdili. Najbolj se je po sušenju povečalo število in velikost površinskih razpok, še posebej v nižjih B- in C-kakovostnih razredih, kot tudi čelne razpoke. Slednje so prispevale največ k nižanju kakovosti žaganic po sušenju iz A- v B- ali nižji kakovostni razred. Po tehničnem in naravnem sušenju smo 20 % in 33,3 % kakovost žaganic ocenili slabše. Prispevek je del raziskave sledenja kakovosti lesa bukve (*Fagus sylvatica*) od gozda do izdelka.

Ključne besede: les, bukev (*Fagus sylvatica*), konvekcijsko komorsko sušenje, sušenje na prostem, napake pri sušenju, kakovost lesa

Abstract: We estimated the quality of beech (*Fagus sylvatica*) sawn timber before and after the industrial normal-temperature convection kiln drying and after air drying. We analysed 42 mm thick and 2.6 m to 5 m long boards, where we measured the number and size of end- and surface cracks, and fissures close to the knots. The orientation and direction of the wood grain, the number and size of knots as well as occurrence of red-heart and twisting were also determined. We ranked the boards using these criteria before and after the end of the drying processes in accordance with the standard of the European Organization of the Sawmill industry (EOS). We found a significant effect of drying on the occurrence of drying defects, but differences between the two procedures were not confirmed. The increase in the number and size of the surface and end cracks, especially in the boards assessed to lower B- and C-classes was obvious. The latter mainly contributed to the lowering of the quality of the sawn timber after drying from the A- to B- or lower class. After the kiln and air drying 20 % and 33 % of the sawn timber quality was degraded, respectively. The presented research was part of a larger study where we followed the quality of the beech timber from the forest to the final product.

Keywords: wood, beech (*Fagus sylvatica*), kiln drying, air drying, drying defects, timber quality

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Kakovost sušenja lesa, kot ključnega postopka v procesu predelave lesa od gozda do izdelka, ocenjujemo z vidika pojava napak, ki nastanejo v samem postopku. Sušenje je razmeroma dolgotrajen in energetsko zahteven, a nujen predelovalni postopek, med katerim pride do bistvenih sprememb v fizikal-

nih in mehanskih lastnostih lesa. To za les predstavlja precejšnje obremenitve in s tem pogosto pojavljanje mehanskih poškodb, kot so raznovrstne razpoke in veženja (Cassens, 2002; Gorišek et al., 1994; Gorišek & Straže, 2007; Gorišek et al., 2000; Straže & Gorišek, 2011a; Straže et al., 2011; Welling, 2010), ali različnih obarvanj abiotskega ali biotskega izvora (Gorišek, 1995; Gorišek et al., 2000; Koch et al., 2003).

Sušilne napake predstavljajo razvrednotenje lesa, kar se odraža pri razvrščanju žaganega lesa v nižje kakovostne razrede, na tržišču pa se dosegajo nižje cene (Gorišek & Pervan, 1999; Jameson et al., 2004; Pervan et al., 2006).

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

* e-pošta: ales.straze@bf.uni-lj.si; telefon: 01-320-3635

Zaradi individualnih karakteristik različnih lesnih vrst in kategorij lesa, kot so juvenilni, kompresijski, tenzijski les ali les iz krošnje, se je mnogim napakam sušenja težko izogniti, z neustreznim vodenjem sušenja pa se nastanek napak le še stopnjuje (Keisuke et al., 2011). Težave še povečuje izrazita anizotropija krčenja in ortotropne mehanske lastnosti (Perre & Turner, 2007). Pri ocenjevanju kakovosti se zato pogosto težko opredelimo ali so vzroki za nastale napake značilna zgradba in inherentne lastnosti lesa ali pa nestrokovno vodenje sušilnega postopka (Welling, 2010).

Sušenje bukovine glede na njeno gostoto običajno poteka ugodno. Prevodnost beljave je dobra, zato je sušenje svežega lesa razmeroma hitro (Perre & Turner, 2007; Rosenkilde, 2002; Straže & Gorišek, 2011b). Spomladi je primerno tudi sušenje na prostem. Sušenje bukovine z rdečim srcem poteka bistveno počasneje in lahko pride do kolapsa lesa (Gorišek & Straže, 2009). Ker ima rdeče srce nizko permeabilnost, se težave kažejo tudi pri intenzivnih postopkih sušenja (vakuumskem, visokofrekvenčnem), pri krivljenju in impregnabilnosti (Gorišek & Straže, 2009). Pri sušenju pod točko nasičenja celičnih sten je sušenje bukovine neugodno (Straže & Gorišek, 2009), saj je zaradi velikega krčenja nagnjena k pokanju in velikim deformacijam prečnega prereza (Cividini et al., 2007). Pri večjih debelinah tangencialno orientiranega žaganega lesa moramo biti pazljivi na nastanek zaskorjenja ali celo satavosti (Gorišek & Straže, 2012). Počasno sušenje in nezadostno prepihanje pogosto vodi do biotskega obarvanja bukovine, v konvencionalnem sušenju pa se pri debelejših sortimentih pogosto pojavi obarvanje sredice. Svežo bukovino zato čim hitreje nalletvičimo in sušimo pri nižjih temperaturah s hitrostjo zraka vsaj 2 m/s in pri relativni zračni vlažnosti 65 %.

Pravilna izbira in načrtovanje sušilnega postopka ter vestno vodenje in izvajanje ustreznih ukrepov so bistvenega pomena za ohranjanje oziroma povečanje kakovosti osušenega lesa. Osušen les ima boljše mehanske lastnosti, je dimenzijsko stabilen, je manj dovzeten za okužbe s škodljivci in povzroča manj težav v nadaljnjih predelovalnih postopkih (Gorišek et al., 1994).

Na osušenem lesu najprej opazimo zunanje razpoke. Najbolj očitne so čelne reže, ki lahko nastanejo zaradi sproščanja rastnih napetosti že pred suše-

njem (Gorišek & Straže, 2009; Oltean et al., 2007). Nastanek razpok lahko delno preprečimo z mehanskimi spojkami in s pravilnim zlaganjem v prizmatične zložaje, tako da distančne letvice postavimo na sam rob zložaja (Straže et al., 2010). Napoke ali reže pa nastanejo tudi zaradi visoke prečne natezne napetosti, ki se pojavi zaradi hitrega sušenja čelnih površin. Hitrejše sušenje omogočata učinkovita toka proste in vezane vode v vzdolžni smeri, zaradi česar nastane vzdolž sortimenta visok vlažnostni gradient. Hitro sušenje čel preprečujemo s paro neprepustnimi premazi in z načrtovanjem primernih programov sušenja, ki so za določeno lesno vrsto usklajeni z njenimi permeabilnostnimi in difuzijskimi karakteristikami (Gorišek & Straže, 2009).

Površinske razpoke ali pokline izključno pripisujemo nestrokovnemu pristopu k sušenju. Pokline nastanejo na začetku sušenja na tangencialnih površinah, pri lesnih vrstah, ki so slabo permeabilne. Površina se pri preostrih pogojih sušenja hitro osuši pod točko nasičenja celičnih sten, sredica pa ostane še vlažna (Oltean et al., 2007; Salin, 2008; Salin, 1992). Krčenje površine povzroči nastanek površinskih nateznih napetosti, kar ob prekoračitvi trdnosti vodi do »pretrganja« lesnega tkiva (Keisuke et al., 2011). Da preprečimo nastanek poklin, moramo na začetku sušenja psihrometrsko razliko in hitrost gibanja zraka uskladiti s kapilarnim tokom proste vode iz sredice lesa proti površini (Welling et al., 2003), učinkovito pa je tudi sušenje v oscilirajoči klimi (Milić et al., 2013; Salin, 2003). Pri sušenju do nižjih končnih vlažnosti se napetostno polje obrne, kar privede do zapiranja površinskih razpok. Po sušenju zato pokline pogosto spregledamo, kot napako pa jih ponovno zaznamo v nadaljnjih postopkih predelave, najpogosteje pri površinski obdelavi.

Pomembno vlogo pri ocenjevanju kakovosti sušenja ima zaskoritev in pojav satastih razpok, ki so posledica sušilnih napetosti. Zaradi diferencialnega krčenja se sušilnim napetostim v konvencionalnih postopkih sušenja ne moremo izogniti, zato je zelo pomemben strog nadzor nad vlažnostnim gradientom. Če zaskorjenje še pravočasno opazimo, ga odpravimo s krajšimi periodami navlaževanja površin, na koncu sušenja pa je obvezno opraviti še fazo kondicioniranja. Bukovina je zaradi velikih skrčkov še posebej nagnjena k zaskorjenju.

Kakovost posušenega žaganega lesa je posledično značilno odvisna tudi od postopka sušenja.

Žagan les razvrščamo v skladu z veljavnimi standardi, ki največkrat vključujejo vizualno preverjanje značilnosti lesa ter prisotnosti strukturnih anomalij. Kakovost žaganega lesa lahko ocenjujemo na podlagi evropskega standarda SIST EN 975-1 (2009), ki podaja razvrstitev hrastovega in bukovega nerobljenega in robljenega žaganega lesa na podlagi pravil Evropskega združenja žagarske industrije (EOS), na podlagi pravil Ameriškega združenja proizvajalcev žaganega lesa listavcev (NHLA), svoja merila pa imajo tudi nekateri večji proizvajalci žaganega lesa (Marenče et al., 2016). Razvrščanje se lahko izvaja

na svežem ali suhem lesu, seveda pa pri razvrščanju svežega lesa ni mogoče upoštevati sprememb oz. poškodb, do katerih pride med procesom sušenja lesa.

Cilj te raziskave je bil preveriti vpliv normalno-temperaturnega konvekcijskega komorskega sušenja in naravnega sušenja na kakovost bukovega žaganega lesa. V okviru raziskave smo proučili pojav, velikost in vrste sušilnih napak glede na značilnosti in razvrstitev žaganic po kakovosti. Raziskava je del širše študije, kjer smo spremljali kakovost lesa od gozda do izdelka.

Preglednica 1. Opis kakovostnih razredov po pravilih razvrščanja Evropskega združenja žagarske industrije (EOS, 2010)

Table 1. Description of quality classes according to EOS (2010) grading rules

LASTNOST	RAZRED A	RAZRED B	RAZRED C
Dolžina	≥ 2,10 m	≥ 2,10 m	90 % ≥ 2,10 m 10 % ≥ 1,80 m
Min. širina (d-debelina; š-širina)	d ≤ 32 mm; š ≥ 100 mm d > 32 mm; š ≥ 120 mm	d ≤ 32 mm; š ≥ 100 mm d > 32 mm; š ≥ 120 mm	d ≤ 32 mm; š ≥ 100 mm d > 32 mm; š ≥ 120 mm
Zdrave grče	80 % površine obeh strani brez grč; 20 % so lahko male (velikost maks. 10 % širine deske) na dolžino 2,10 m	Dovoljene male grče (velikosti maks. 15 % širine deske) na obeh straneh in 1 velika (>70 mm)) na tekoči meter, če je kompenzirano z velikostjo	Dovoljene
Nezdrave grče	Niso dovoljene	Ena grča (≤ 70 mm) dovoljena na tekoči meter, če je kompenzirano z velikostjo	Dovoljene
Odklon vlaken	Raven potek	Rahel odklon vlaken	Dovoljene odklon
Valovitost vlaken	Ni dovoljeno	Dovoljeno	Dovoljeno
Vrasla skorja	90 % brez na obeh straneh deske, 10 % dovoljeno, če je kompenzirano z velikostjo	Dovoljeno, če je kompenzirano z velikostjo	Dovoljeno, če kompenzirano z velikostjo
Trohnoba	Ni dovoljena	Dovoljena, če je izolirana (jasno razmejena od ostalega lesa) in kompenzirana z velikostjo	Dovoljena, če je kompenzirana z velikostjo
Obarvanja	Ni dovoljeno	Dovoljeno, če je izolirano in kompenzirano z velikostjo	Dovoljeno, če je kompenzirano z velikostjo
Rdeče srce	80 % površine obeh strani brez, 20 % površine na spodnji strani dovoljeno, če ne presega 10 % širine	Dovoljeno 10 % na zg. strani	Dovoljeno na obeh straneh, če na vsaki strani ostane 12 cm neobarvanega lesa
Ukrivljenost	Do 2 cm na tekoči meter	Do 5 cm na tekoči meter	Dovoljen
Reže, razpoke	Ravne razpoke do 20 % dolžine	Ravne razpoke do 30 % dolžine. Neravne razpoke dovoljene, če so kompenzirane z velikostjo	Ravne in neravne razpoke dovoljene do 40 % dolžine

2 MATERIAL IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 VZORČENJE HLODOVINE

2.1 LUMBER SAMPLING

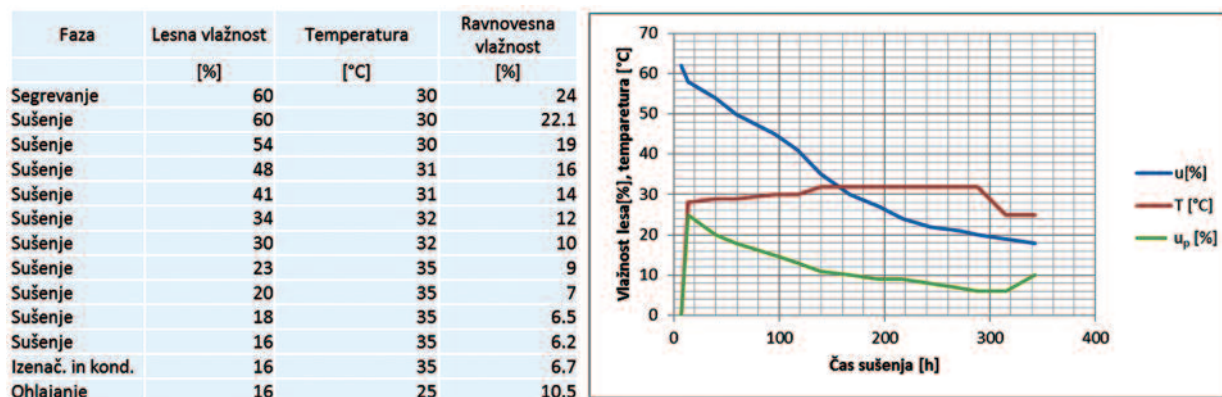
Svež bukov žagan les debeline 42 mm smo izdelali iz hlovine, pridobljene na Kočevskem (1. skupina), ter z območja severovzhodne Slovenije (2. skupina), s posekom 10 bukovih dreves z vsakega rastišča. Pri poseku smo v posamični skupini izbrali po 2 drevesi iz 5 kakovostnih razredov, določenih po 5-stopenjski lestvici Zavoda za gozdove Slovenije, ZGS (Navodila ..., 2010). Hlovina iz posamičnih dreves je izvirala iz različnih delov drevesa (1.-3. hlod) in različnih dolžin, kar je vplivalo tudi na kakovost hlo-

vine, določene po standardu SIST EN 1316-1 (2013), ter posledično na začetno kakovost žaganega lesa. V proučevanih skupinah smo iz hlovine pridobili 141 (1. skupina) in 167 žaganic (2. skupina), dolžin med 2,6 m in 5 m.

2.2 RAZVRŠČANJE ŽAGANEGA LESA

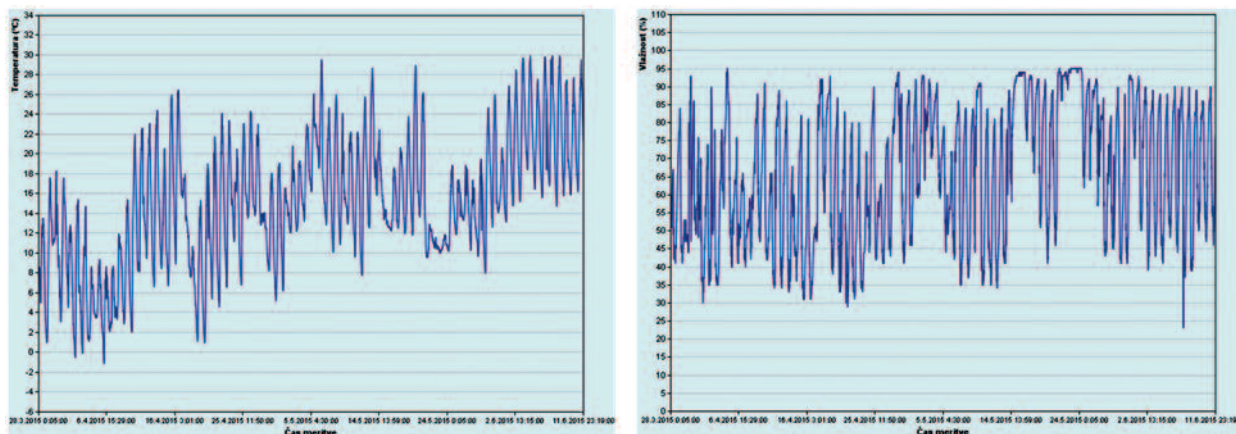
2.2 QUALITY GRADING OF SAWN WOOD

Po razžagovanju s tračnim žagalnim strojem smo žaganice izmerili (širina in dolžina), fotografirali ter žagan les klasificirali glede na vizualno določene značilnosti. Za razvrščanje smo uporabili pravila Evropskega združenja žagarske industrije (EOS – »European Organization of the Sawmill Industry«)



Slika 1. Program konvekcijskega komorskega sušenja bukovine (levo) in sušilna krivulja postopka (desno): u – povprečna vlažnost lesa, T – temperatura sušenja in u_p – ravnovesna vlažnost lesa.

Figure 1. Drying schedule (left) and drying curve of kiln drying of beech sawn wood (right): u – moisture content, T – drying temperature and u_p – equilibrium moisture content.



Slika 2. Nihanje temperature (levo) in relativne zračne vlažnosti (desno) v obdobju naravnega sušenja bukovnega žaganega lesa na pokritem skladišču podjetja Murales d.d. Ljutomer

Figure 2. Temperature (left) and relative humidity (right) variation during air drying of beech sawn wood in the covered timber yard of Murales d.d. Ljutomer

(Preglednica 1) in razvrstili žaganice v tri kakovostne razrede A, B in C (EOS, 2010).

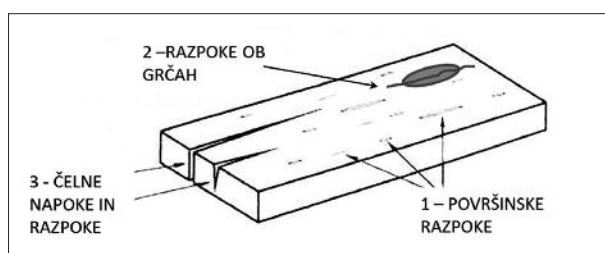
2.3 SUŠENJE LESA

2.3 WOOD DRYING

2.3.1 Sušilni postopki

2.3.1 Drying procedures

V raziskavi smo na proučevanih skupinah žaganic izvedli posamično normalno-temperaturno konvekcijsko komorsko sušenje (1. skupina) in sušenje na prostem (2. skupina). Konvekcijsko komorsko sušenje je potekalo pri blagih pogojih iz svežega stanja do 16 % končne vlažnosti, ki smo jo dosegli po 14 dnevih sušenja (Slika 1). Vlažnost lesa smo med sušenjem spremljali elektro-uporovno (SIST EN 13183-2, 2003), ob koncu sušenja pa še dodatno gravimetrično (SIST EN 13183-1, 2003).



Slika 3. Vrednotenje napak v proučevanih sušilnih postopkih

Figure 3. Characterisation of defects during wood drying

Drugo skupino žaganega lesa smo sušili naravno na pokritem skladišču podjetja Murales d.d. Ljutomer, med 27. 3. 2015 in 11. 6. 2015. V tem obdobju je povprečna temperatura naraščala od 8 °C v aprilu do 20 °C v juniju, relativna zračna vlažnost pa je bila povprečno 65 % in je nihala med 30 % in 90 % (Slika 2). Končna vlažnost žaganic je bila med 14 % in 18 %, in je bila primerljiva končni vlažnosti žaganic iz 1. skupine, ki smo jo sušili s konvencionalnim tehničnim postopkom.

2.3.2 Vrednotenje kakovosti sušenja lesa

2.3.2 Characterization of drying quality and the utilization rate

Kakovost posušenega lesa smo ocenjevali na vsaki žaganici posebej. Vrednotenje napak smo izvedli, ko je bil les v svežem stanju, ter po sušenju. Vpliv sušilnega postopka na kakovost posušenega lesa smo primerjalno vrednotili z obsežnostjo napak na svežem in na posušenem žaganem lesu. Kriterije in merila ocenjevanja kakovosti smo postavili glede na velikost in število najbolj značilnih napak: 1- površinske razpoke oz. pokline, 2 - pokline ob grčah, 3 - čelne napoke in razpoke. Na posamični žaganici smo določili še število in skupno dolžino napak (Slika 3).

Izmerjene napake in njihovo povečanje po končanem sušenju smo upoštevali pri ponovnem razvrščanju žaganega lesa po EOS metodologiji (Preglednica 1).

Preglednica 2. Razvrščanje žaganega lesa pred (začetek – svež les) in po (konec – osušen les) tehničnem in naravnem sušenju bukovega žaganega lesa v kakovostne razrede od A (najboljši) do C (najslabši), ter les za predelavo (P)

Table 2. Grading of sawn wood before (Start) and after (End) kiln- and air drying of beech sawn wood; quality classes: A (highest) to C (lowest) and wood for conversion (P)

Kakovostni razred / Quality class	Tehnično sušenje / Kiln drying				Naravno sušenje / Air drying			
	Začetek / Start		Konec / End		Začetek / Start		Konec / End	
	Število desk / No. of boards	Delež / Share [%]	Število desk / No. of boards	Delež / Share [%]	Število desk / No. of boards	Delež / Share [%]	Število desk / No. of boards	Delež / Share [%]
A	10	7.1	8	5.7	18	10.8	12	7.1
B	57	40.4	47	33.3	55	32.9	38	22.8
C	74	52.5	73	51.8	94	56.3	87	52.1
P	0	0.0	13	9.2	0	0.0	30	18.0
Skupaj / Sum	141	100.0	141	100.0	167	100.0	167	100.0

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 RAZVRŠČANJE ŽAGANEGA LESA PO KAKOVOSTI

3.1 QUALITY GRADING OF SAWN WOOD

Pred sušenjem (začetek) so bile v obeh skupinah številčno najmanj zastopane žaganice iz A-kakovostnega razreda; 3 do 5-krat večje število žaganic smo po kakovosti uvrstili v B-razred, 5 do 7-krat več žaganic pa je bilo uvrščenih v C-razred, med skupinama (1. in 2. skupina) pa ni bilo značilnih razlik. Po tehničnem in po naravnem sušenju (konec) se je razmerje kakovostnih razredov žaganega lesa spremenilo (Preglednica 2).

Po obeh postopkih sušenja se je število desk v posameznih razredih kakovosti zmanjšalo. Glede na delež žaganic v posameznem razredu se je količinsko najbolj zmanjšalo število desk v A-razredu, in sicer za 20 % po tehničnem sušenju in za 33 % po naravnem sušenju. Le nekoliko nižje zmanjšanje števila žaganic smo po koncu obeh sušenj potrdili v B-kakovostnem razredu, in sicer med 17,5 % (tehnično sušenje) ter 30,9 % (naravno sušenje). Število desk v C-razredu se je po koncu sušenja v obeh primerih številčno praktično ohranilo (Preglednica 2), kar je posledica razvrednotenja žaganic iz A- in B-razreda in razvrstitev v C-razred (Slika 4). Posledica sušilnih napak zaradi ostrine postopka ali zaradi inherentnih lastnosti lesa je bila prerazporeditev večjega števila desk iz C-kakovostnega razreda v les za predelavo (P-razred). Najslabše razvrščen žagan les (P-razred) je po koncu

tehničnega sušenja predstavljal 9,2 %, po koncu naravnega sušenja pa 18,0 % vsega posušenega lesa. Tem žaganicam je potrebno po koncu sušenja s primarno obdelavo izločiti nastale anomalije, da bi zopet lahko zadostile uporabljenim kriterijem razvrščanja, kar pa značilno zmanjša materialni izkoristek.

3.2 SUŠILNE NAPAKE

3.2 DRYING DEFECTS

Pričakovano so se po obeh postopkih sušenja bukovih žaganic povečale ali na novo pojavile čelne razpoke, med sušenjem pa so nastale površinske razpoke in razpoke ob grčah, katerih velikost in število se je povečevalo z nižanjem kakovosti svežega žaganega lesa (Preglednica 3). Posledično je tudi delež desk z zaznano eno od proučevanih napak po sušenju lesa naraščal z nižanjem razreda kakovosti žaganic. Od proučevanih sušilnih napak smo v svežem stanju zasledili le čelne razpoke, pogostejše pri radialno orientiranih žaganicah iz centralnega dela hlodov. Površinskih razpok, t.j. poklin in poklin ob grčah v svežem žaganem lesu nismo zaznali.

Z vidika doseženih končnih povprečnih velikosti proučevanih napak, kot tudi z vidika povečanja števila teh napak pri obeh postopkih sušenja, smo v glavnem potrdili večje spremembe pri žaganicah v nižjih kakovostnih razredih (Slika 5). Zabeležili smo tudi nekaj izjem. Posebno izrazito povečanje čelnih razpok smo namreč zaznali pri tehnično posušeni žaganicah tudi najboljše kakovosti, ki ga pripisujemo



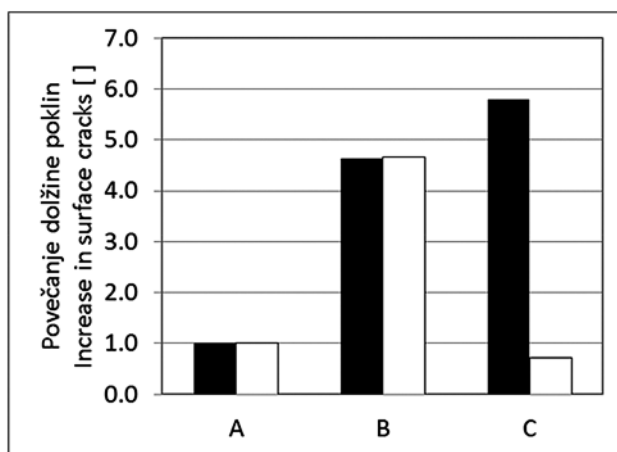
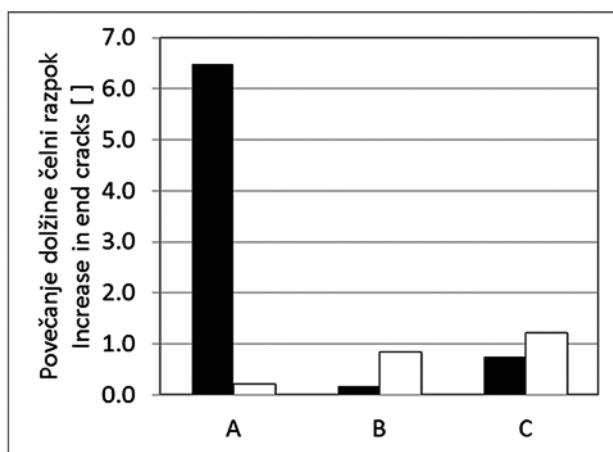
Slika 4. Zmanjšanje deleža desk v posameznem razredu kakovosti desk (A - najboljši do C - najslabši) po tehničnem (■) in naravnem (□) sušenju bukovega lesa

Figure 4. Reduction in the amount of sawn wood in quality classes (A – highest to C – lowest) after kiln (■) and air drying (□) of beech wood

Preglednica 3. Prisotnost sušilnih napak (čelne razpoke, površinske razpoke – pokline, pokline ob grčah) pred (začetek – svež les) in po (konec – osušen les) tehničnem in naravnem sušenju bukovega žaganega lesa po kakovostnih razredih A (najboljši) do C (najslabši)

Table 3. Presence of drying defects (end cracks, surface cracks and surface cracks close to knots) before (Start) and after (End) kiln- and air drying of beech sawn wood per quality class A (highest) to C (lowest)

	Kakovost / Quality	Tehnično sušenje / Kiln drying			Naravno sušenje / Air drying		
		A	B	C	A	B	C
Št. čelnih razpok na žaganico / End cracks per sample	Začetek / Start	0.3	0.5	0.8	0.3	0.3	0.7
	Konec / End	1.5	1.6	1.9	2.8	3.7	3.3
Povprečna dolžina čelnih razpok / Mean length of end crack [cm]	Začetek / Start	2.7	16.6	24.8	11.8	12.3	23.4
	Konec / End	19.8	19.4	43.1	14.2	22.5	51.7
Delež žaganic s čelnimi razpokami / Share of samples with end cracks [%]	Začetek / Start	20.0	42.1	52.7	22.2	25.5	43.6
	Konec / End	87.5	85.1	94.5	91.7	100.0	98.9
Število poklin na žaganico / Number of surface cracks per sample	Začetek / Start	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
	Konec / End	0.1	0.6	1.5	0.1	0.6	1.7
Povprečna dolžina poklin / Mean length of surface cracks [cm]	Začetek / Start	0.0	1.3	2.2	0.0	0.4	3.2
	Konec / End	1.3	7.3	14.7	0.8	2.1	0.9
Delež žaganic s poklinami / Share of samples with surface cracks[%]	Začetek / Start	0.0	1.8	5.4	0.0	1.8	2.1
	Konec / End	12.5	31.9	53.4	8.3	15.8	47.1
Število poklin ob grčah / Number of cracks close by knots	Začetek / Start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Konec / End	0.1	0.5	1.4	0.0	0.6	2.7
Povprečna dolžina poklin ob grčah / Mean length of cracks close to knots [cm]	Začetek / Start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Konec / End	1.1	4.6	7.9	0.0	4.2	9.0
Delež žaganic s poklinami ob grčah / Share of samples with cracks close to knots [%]	Začetek / Start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Konec / End	12.5	38.3	56.2	0.0	44.7	75.9



Slika 5. Povečanje dolžine čelnih razpok (levo) ter površinskih razpok (desno) na bukovih žaganicah po tehničnem (■) in naravnem sušenju (□) po kakovostnih razredih A (najboljši) do C (najnižji)

Figure 5. Increase in end cracks (left) and surface cracks (right) in sawn beech wood after kiln- (■) and air drying (□) per quality class A (highest) to C (lowest)

nadaljnemu sproščanju notranjih napetosti pri večini radialnih deskah ter posledici anizotropije krčenja lesa (Slika 6a in 6b). Povečanje površinskih razpok med sušenjem, ki je bilo izrazitejše pri deskah iz nižjih kakovostnih razredov, razlagamo z znano veliko anizotropijo krčenja bukovega lesa ($q_T/q_R = 2,1$) (Gorišek, 2009), kot tudi z večjim odklonom vlaken oz. rasti, ki smo ga zaznali pri žaganicah nižje kakovosti (Slika 6c in 6d). Odklon vlaken v tem primeru povezujemo tudi z velikostjo in številom grč, ki je večje pri žaganicah nižje kakovosti.

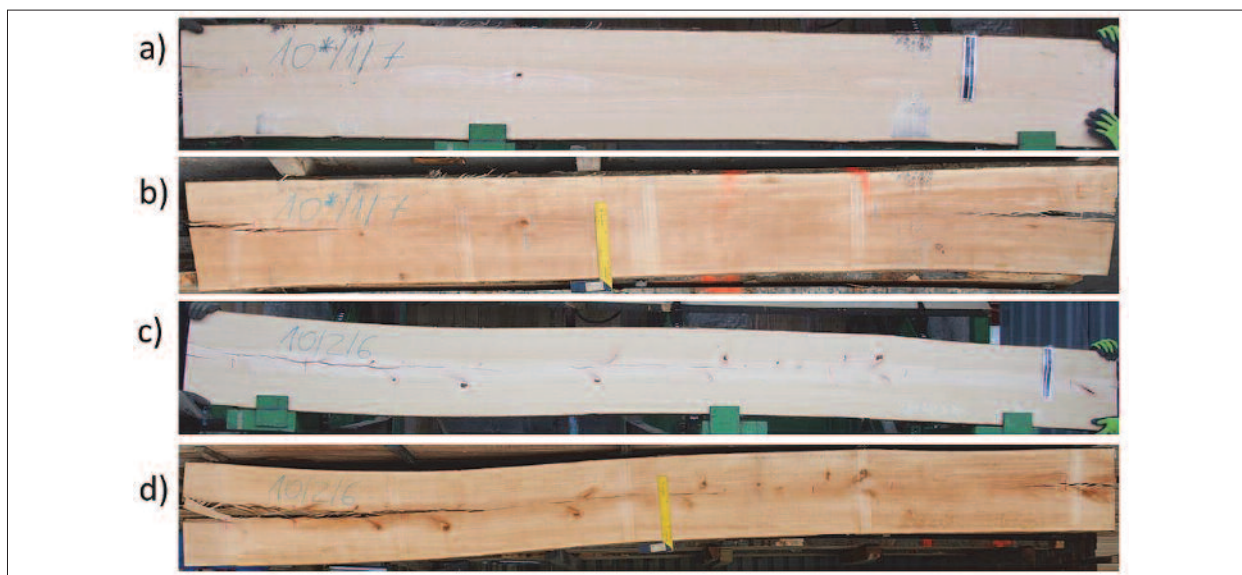
Raziskava ni potrdila značilnih razlik z vidika vpliva posameznih sušilnih postopkov, t.j. tehničnega in naravnega sušenja lesa, na kakovost lesa. Začetna kakovost žaganega lesa pred sušenjem je bila v obeh primerih podobna (Preglednica 2), primerljivo pa je tudi degradiranje žaganic po postopkih v nižje kakovostne razrede (Slika 5). Rezultat je pričakovan, saj je tudi tehnično sušenje lesa potekalo pri blagih pogojih (Slika 1). Pričakovati je, da bi se ob uporabi ostrejšega režima tehničnega sušenja sušilne napake še stopnjevale, kar so potrdile podobne raziskave pri iglavcih (Straže & Gorišek, 2011a). Pri bukovini tudi ob ustreznem režimu sušenja pričakujemo značilne razlike v kinetiki sušenja beljave in rdečega srca (Gorišek &

Straže, 2009). V proučevanih sušilnih postopkih smo na polovici žaganic, v večjem deležu v šarži pri tehničnem sušenju lesa, zaznali prisotnost rdečega srca. Prisotnost in interakcija beljave in rdečega srca zlasti zaradi razlik v tekočinski permeabilnosti povzroča v začetni fazi sušenja inducirano in stopnjevanje sušilnih napetosti (Gorišek & Straže, 2009). Sušenje rdečega srca pri bukovini hitreje prehaja v difuzijski režim in s tem v povečevanje vlažnostnega gradienta, neenakomernega krčenja po debelini sortimentov ter do pojava sušilnih napetosti.

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

V raziskavi smo potrdili korelacijo med vstopno in izstopno kakovostjo žaganega lesa pri normalno-temperaturnem in naravnem sušenju bukovine. Eksperimentalni rezultati so potrdili naraščanje števila in velikosti sušilnih napak z nižanjem vstopne kakovosti svežega bukovega žaganega lesa. Število čelnih razpok, poklin in poklin ob grčah se je po sušenju povečalo tudi do 5-krat, izraziteje pri površinskih razpokah v B- in C-razredu kakovosti. Med in po obeh postopkih sušenja posledično prihaja do nižanja ka-



Slika 6. Izgled žaganic pred (a, c) in po postopku (b, d) tehničnega sušenja: a) žaganica B-kakovosti pred sušenjem, b) ista žaganica po sušenju, razvrščena v C-kakovostni razred, c) žaganica C-kakovosti pred sušenjem, d) ista žaganica, razvrščena v les za predelavo (P) po sušenju

Figure 6. Appearance of sawn beech wood before (a, c) and after kiln drying (b, d): a) board of B-quality before drying, b) the same board graded to C-quality after drying, c) board of C-quality before drying, d) the same board graded out of the standard (P-quality) after drying

kovosti žaganega lesa. To je v skladu s kriteriji standardov zahtevalo razvrščanje v nižje kakovostne razrede in je privedlo tudi do izločitve 13 % do 30 % žaganic, ki so ostale izven razredov kakovosti po metodologiji razvrščanja Evropskega združenja žagarske industrije (EOS). Značilne razlike med vplivoma normalno-temperaturnega komorskega in naravnega sušenja žaganega lesa na kakovost posušene bukovine niso potrjene, pri čemer je treba omeniti, da je bil izbrani režim komorskega sušenja razmeroma blag.

6 POVZETEK

6 SUMMARY

Drying is a necessary wood manufacturing process leading to substantial changes in the physical and mechanical properties of sawn timber, which, combined with the inherent properties of wood, can cause mechanical defects, such as cracks and twists, as well as discolorations. Besides this, the problems increase due to considerable shrinkage anisotropy and the orthotropic mechanical properties of the wood. Coexistence of different wood categories in the same board, like juvenile or reaction wood, additionally increases the drying problems. The drying process also crucially affects the quality of dried sawn timber.

Sawn timber is classified in accordance with the applicable standards, which often include visual verification of wood characteristics and the presence of structural anomalies. The quality of sawn timber can be estimated on the basis of the European standard EN 975-1 (2009), which specifies the ranking of oak and beech sawn timber, under the rules of the European Organization of the Sawmill Industry (EOS), those of the American National Hardwood Lumber Association (NHLA), as well as under some of the specific criteria used by the bigger producers of sawn timber. These standards and grading rules do not strictly specify the exact moisture content of the sawn timber. The quality can be therefore assessed in green as well as in the dry state. The quality of the sawn timber can also change due to drying.

The aim of this study was to investigate the influence of normal-temperature kiln drying and air drying on the quality of beech (*Fagus sylvatica*) sawn timber. Therefore, we took green, 42 mm thick, and 2.6 m to 5 m long boards, and divided them in the 1st group (n = 141; kiln drying) and in the 2nd group (n = 167; air drying). In each of the

boards in the green state we measured the number and size of end and surface cracks, as well as fissures close to the knots. Additionally, the orientation and direction of the wood grain and the number and size of the knots were recorded. Occurrence of twists and red-heart was also determined. These assessments were used to rank the boards by quality into three classes (A- the highest to C – the lowest) in accordance with the standards of the EOS.

The 1st group of boards was kiln dried afterwards under a moderate low-temperature schedule, varying the temperature between 30 °C and 35 °C, and equilibrium moisture content between 24% and 6.2%. The 16% mean final moisture content of wood was reached after 14 days. The 2nd group of boards was air dried on the timber yard of Murales d.d. in Ljutomer (Slovenia) in spring of 2015. Here the temperature varied between 8 °C and 20 °C, at 65% mean relative humidity. The boards from the 2nd group reached a final moisture content of between 14% and 18% after 2.5 months. The above mentioned system of the board characterization was also used to assess the boards at the end of the drying processes. We made an analysis of the eventual increase in cracks per individual board, and then graded the boards according to EOS-rules.

We found a significant effect of drying on the occurrence of drying defects, whereas the difference between the two procedures was not confirmed. The increase in number and size of the surface cracks was especially pronounced in the boards initially graded to B- and C-grades. End cracks were also obvious, and these were among the main contributors to the lowering of the quality of sawn timber from the A- to B- or lower class after drying. After kiln and air drying, 20% and 33% of sawn timber quality was degraded, respectively.

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.

VIRI

REFERENCES

- Cassens, L. D. (2002). Quality Control in Lumber Purchasing: Lumber Stress. In: C. P. University (Ed.), (pp. 4). Indiana: Forestry and Natural Resources.
- Cividini, R., Travan, L., & Allegratti, O. (2007). White beech: a tricky problem in the drying process. Paper presented at the ISCHP International Scientific Conference on Hardwood.
- EOS (2010). Grading rules for unedged standard (Vol. EOS, pp. 5). Bruxelles: European Organization for the Sawmill Industry.
- Gorišek, Ž. (1995). Problematika obarvanja lesa v procesu sušenja. Les, 47(7-8), 228–230.
- Gorišek, Ž. (2009). Les : zgradba in lastnosti : njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Gorišek, Ž., Geršak, M., Čop, T., Velušček, V., & Mrak, C. (1994). Sušenje lesa. Ljubljana: Lesarska založba.
- Gorišek, Ž., & Pervan, S. (1999). The influence of drying on quality of furniture. Paper presented at the International conference Furniture construction and quality - a step forward to consumer protection, Zagreb.
- Gorišek, Ž., & Straže, A. (2007). Influence of drying technique and process conditions on the drying quality of beechwood. Paper presented at the COST Action E53 the first conference, Warsaw, 15-17th October 2007.
- Gorišek, Ž., & Straže, A. (2009). Kinetika sušenja prevodne beljave in rdečega srca bukove (Fagus sylvatica L.). Les, 61(5), 246–253.
- Gorišek, Ž., & Straže, A. (2012). Influence of drying potential on moisture content gradient, drying stresses and strength of beech wood. Paper presented at the The 5th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe, Sopron.
- Gorišek, Ž., Straže, A., & Ribič, I. (2000). Numerical evaluation of beechwood discolouration during drying. Drvna Industrija, 51(2), 59–68.
- Jameson, B., Jason, L. W., & Ganesh, N. (2004). Economic impact of wood drying technology. Business and Economic. Wellington.
- Keisuke, K., Tsunehisa, M., Hiroyuki, S., & K., K. (2011). Destabilization of wood microstructure caused by drying. Wood Material Science & Engineering, 6(1-2), 69–74.
doi: 10.1080/17480272.2010.551545
- Koch, G., Puls, J., & Bauch, J. (2003). Topochemical characterisation of phenolic extractives in discoloured beechwood (Fagus sylvatica L.). Holzforschung, 57(4), 339–345.
- Marenče, J., Gornik, B. D., & Šega, B. (2016). Bukovina - povezave med kakovostjo dreves, hlodovine in žaganega lesa. Acta Silvae et Ligni, 111, 35–47.
- Milić, G., Kolin, B., Lovrić, A., Todorović, N., & Popadić, R. (2013). Drying of beech (Fagus sylvatica L.) timber in oscillating climates: drying time and quality. Holzforschung, 67(7), 805–813.
- Oltean, L., Teischinger, A., & Hansmann, C. (2007). Influence of temperature on cracking and mechanical properties of wood during wood drying – A review. Bioresources, 2(4), 789–811.
- Perre, P., & Turner, I. (2007). Coupled heat and mass transfer. In: P. Perre (Ed.), Fundamentals of wood drying (pp. 203–241). Nancy: A.R.B.O.LOR.
- Pervan, S., A., S., & Gorišek, Ž. (2006). Comparison of Croatian standards with European standards at the field of wood drying. Paper presented at the 17th International scientific conference European Union - challenges and perspectives for the wood-processing industry, Zagreb.
- Rosenkilde, A., Glover, P. (2002). High resolution measurement of surface layer moisture content during drying of wood using a novel Magnetic Resonance Imaging Technique. Holzforschung, 56, 312–317.
- Salin, J. G. (1992). Numerical prediction of checking during timber drying and a new mechano-sorptive creep model. Holz als Roh- und Werkstoff, 50(5), 195–200.
- Salin, J. G. (2003). A theoretical analysis of timber drying in oscillating climates. Holzforschung, 57, 427–432.
- Salin, J. G. (2008, 29-30 okt. 2008). Almost all wooden pieces have a damaged surface layer - impact on some properties and quality. Paper presented at the COST E53 Conference 'Quality control for wood and wood products', Delft.
- SIST (2003). Delež vlage v žaganem lesu – 1. del: Določevanje s sušenjem v pečici (SIST EN13183-1:2003).
- SIST (2003). Delež vlage v žaganem lesu – 2. del: Ocena z metodo električne upornosti (SIST EN 1316-1:2003).
- SIST (2009). Žagani les - Razvrščanje listavcev po videzu - 1. del: Hrast in bukev (SIST EN 975-1:2009).
- SIST (2013). Okrogli les listavcev - Razvrščanje po kakovosti - 1. del: Hrast in bukev (SIST EN 1316-1:2013).
- Straže, A., & Gorišek, Ž. (2009, 23rd April 2009). Research on internal and external mass transfer at convective drying of European beechwood (Fagus sylvatica L.). Paper presented at the Proceedings of the COST E53 Meeting and EDG Wood Drying Seminar, Bled, Slovenia.
- Straže, A., & Gorišek, Ž. (2011a). Influence of initial wood quality and drying process on utilization grades of sawn spruce timber. Drvna Industrija, 62(1), 3–7.
- Straže, A., & Gorišek, Ž. (2011b). Vpliv hitrosti gibanja zraka na kinetiko konvekcijskega sušenja bukove (Fagus sylvatica L.). Les, 63(8/9), 317–322.
- Straže, A., Kliger, R., Johansson, M., & Gorišek, Ž. (2011). The influence of material properties on the amount of twist of spruce wood during kiln drying. Holz als Roh- und Werkstoff, 69(2), 239–246.
- Straže, A., Pervan, S., & Gorišek, Ž. (2010). Impact of various conventional drying conditions on drying rate and on moisture content gradient during early stage of beechwood drying. Paper presented at the Final conference of COST Action E53: Quality control for wood & wood products, Edinburgh, 4-7th May, 2010.
- Welling, J. (2010). Dried timber - how to specify correctly: European drying group (EDG).
- Welling, J., Riehl, T., Kruse, K., & Rose, B. (2003). Verbesserte Schnittholztrocknung im Frischluft-/Ablufttrockner durch Wechselklima. Hamburg: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg.

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 bukovine surovine. Z vzpostavitev

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.

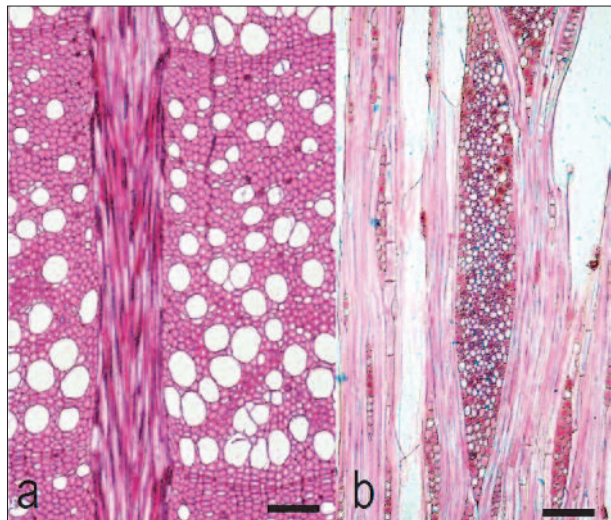
Kljub nihanjem v predelavi in rabi spada bukovina med industrijsko najbolj uporabljane lesne vrste v Evropi. Bukovino v Sloveniji dobro poznamo, vendar le redko hvalimo njeno univerzalno uporabnost, pogosteje pa se ukvarjamo z njenimi napakami in pomanjkljivostmi. Natančen pregled zgradbe in lastnosti 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	%	%	%				
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 anatomske 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 neobstoynost 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 oglarjenje 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 (Herring 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 naletviti in ustrezno pripraviti za sušenje. Spomladi je učinkovito že pravilno opravljeno sušenje na prostem, pri katerem moramo biti posebej pozorni na zadostno prepričevanje (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. Celotno pri milejših pogojih sušenja pogosto nastanejo sušilne napake: pikanje, 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 prepričevanjem 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 nabrekanje) 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 vijačenje 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	Konstruktivski 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 % hlodovine 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. Dowels, 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 omenjena 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 oživitev 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 prereзов, 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 slojenih 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 zamlrle. 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 cilj-nega 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., & Prislan, 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. *Holzforschung*, 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 gozdno-lesni 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 bukovega 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). Fizične 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 bukovega 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)

INOVATIVNA RABA BUKOVINE SLABŠE KAKOVOSTI IN OSTANKOV

INNOVATIVE USE OF LOW QUALITY BEECHWOOD AND RESIDUES

Janja Zule^{1*}, Dominika Gornik Bučar², Jože Kropivšek²

UDK 630*89:176.1 *Fagus sylvatica*(045)

Izvleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Izvleček: Velike količine bukovine, ki ostajajo po sečnji ali kot ostanek lesnopredelovalne industrije, predstavljajo pomemben surovinski potencial. Predstavljene so možnosti učinkovite kemične predelave biomase v tržno zanimive produkte in opisani tehnološki postopki, ki to omogočajo. Iz bukovine lahko pridobivamo platformne kemikalije ter napredna goriva kot sta etanol in butanol. Novejši postopki delignifikacije omogočajo energetsko učinkovito in ekološko sprejemljivo proizvodnjo celuloznih vlaken, iz katerih lahko izdelujemo papir, tekstil ter nanofibrilirano in nanokristalinično celulozo. Lesna vlakna so primerna za pripravo lesno-plastičnih kompozitov, ki imajo širok spekter uporabnosti. Uporabni sta tudi hemicelulozna in ligninska frakcija. Predelava biomase poteka v skladu s konceptom biorafinerije.

Ključne besede: bukovina, kemična pretvorba biomase, biotehnološki postopki, ionske tekočine, nanofibrilirana celuloza, lesno-plastični kompoziti

Abstract: Abundant quantities of beechwood forest residues and industrial residues represent a potentially valuable raw material. Different options for the chemical processing of biomass to marketable products, as well as relevant technologies, are presented in this paper. Beechwood can be efficiently converted to platform chemicals and fuels, such as ethanol and butanol. Sophisticated delignification procedures enable energy efficient and environmentally friendly production of cellulose fibers to be used for paper and textiles, as well as to manufacture nanofibrillated and nanocrystalline cellulose. Wood fibers are suitable for the preparation of wood plastic composites, with a wide range of potential applications. Likewise, hemicellulose and lignin fractions may be conveniently used. Chemical conversion of biomass takes place within biorefineries.

Keywords: beechwood, chemical conversion of biomass, biotechnological procedures, ionic liquids, nanofibrillated cellulose, wood plastic composites

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Okrog 3/5 površine Slovenije pokrivajo gozdovi, v katerih se nahaja 71 drevesnih vrst, od tega 10 iglavcev in 61 listavcev. Najpomembnejša je bukev, ki predstavlja kar 32,3 % celotne lesne zaloge, kar znaša 112,5 milj. m³ lesa (Poročilo ZZG, 2015). Bukovina je pomembna surovina v pohištveni industriji in v gradbeništvu, prav tako pa je primerna tudi za izdelavo okrasnih in uporabnih izdelkov za široko potrošnjo, med katerimi je najpomembnejša lesna galanterija (Kropivšek & Čufar, 2015). Presežni les in les slabše kakovosti ter najrazličnejši lesni ostanki, ki nastajajo

med predelavo, se zaradi visoke kurilnosti bukovine običajno namenjajo pridobivanju toplotne energije, torej v energetske namene. Na tržišču se pojavljajo v obliki drv, peletov in briketov, ki kot energenti ne dosegajo visoke dodane vrednosti. Iz surovine višje kakovosti je mogoče izdelati številne polizdelke in izdelke z visoko dodano vrednostjo, kar pa terja predvsem učinkovito delovanje gozdno-lesne verige in je podrobneje predstavljeno v prispevkih Kropivšek in Čufar (2015) ter Čufar et al. (2017) in je bilo temeljiteje preučevano v sklopu CRP projekta Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini. Poleg mehanskih in ostalih (tudi obdelovalnih) lastnosti pa lahko s pridom izkoriščamo tudi kemijsko strukturo bukovine za pridobivanje niza tržno zanimivih spojin (Zule, 2015). S tem se odpira široko področje inovativnih rab bukovine s poudarkom na celovitejši izrabi surovine slabše kakovosti in lesnih ostankov, ob hkratnem zagotavljanju načel krožnega gospodarstva (European Commission, 2017).

¹ Inštitut za celulozo in papir, Bogiščiška 8, 1000 Ljubljana, SLO

² Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

* e-pošta: janja.zule@icp-lj.si; telefon: +386-1-200-2852

S kemično predelavo odsluženih izdelkov se podaljša njihov cikel, kar znižuje porabo surovin ter preko skrbne zasnove izdelkov nastajanje ostankov znižuje proti ničelni stopnji. S tem izdelki dejansko ohranjajo dodano vrednost, kolikor dolgo je to le mogoče. Po drugi strani pa surovini slabše kakovosti in lesnim ostankom močno povečamo njihov surovinski potencial, saj jih lahko uporabimo za številne druge namene.

Po ocenah je v slovenskih bukovih gozdovih 11 % dreves slabše kakovosti in nadaljnjih 21 % zadovoljive kakovosti (Jonozovič et al., 2012). Iz dreves najslabše kakovosti po ugotovitvah raziskav dobimo manj kot 40 % hlodovine (natančneje 36 %), kar pomeni, da več kot 60 % lesne mase pogosto ni izkoriščene oz. se jo samo deloma porabi za energetiko, saj velik del prostorninskega lesa pogosto ostaja v gozdu (Marenče et al., 2016). Pri ostalih kakovostnih razredih dreves je količina lesa, ki ne sodi v kategorijo hlodovine med 30 in 40 %. Tudi pri predelavi (kakovostne) hlodovine v žagan les in nadalje v izdelke višje dodane vrednosti nastaja veliko lesnih ostankov v obliki žagovine, kosovnih ostankov, lesnega prahu ipd. Če predpostavimo, da je žagan les končni proizvod, se nam pri proizvodnji le-tega pojavi od 53 do 75 % lesne mase (računano na bruto volumen drevesa), ki predstavlja potencial za nova oz. alternativna področja uporabe. Pri razžagovanju bukove hlodovine je v povprečju 13 % žagovine (od 8–19 %) in 20 % (od 8–22 %) kosovnih ostankov (Gornik Bučar, 1997). Trenutno se večina teh ostankov uporabi za kurjavo oz. za pridobivanje toplotne energije.

Ob predpostavki, da bi bila letna količina posekane bukovine 1.000.000 m³, lahko grobo ocenimo, da se gibljejo potencialne količine lesne mase, ki niso primerne za žagarsko ali furnirsko proizvodnjo in/ ali pa nastajajo v primarni proizvodnji, med 530.000 m³ in 750.000 m³. Seveda pa se ta masa pojavlja v različnih oblikah in različnih stopnjah dezintegriranosti. V prispevku so predstavljene možnosti predvsem inovativnih rab lesa slabše kakovosti in lesnih ostankov za kemično predelavo, kar pomeni razširitev osnovne gozdno-lesne verige v povezavi s kemično industrijo in drugimi z njo povezanimi panogami, kar močno povečuje izkoriščanje naravnih potencialov lesne surovine. Izziv vsekakor obstaja pri organizaciji logistike (velika razpršenost te surovine).

2 LASTNOSTI IN POMEN BUKOVINE KOT ALTERNATIVNE SUROVINE

2 CHARACTERISTICS AND IMPORTANCE OF BEECHWOOD AS AN ALTERNATIVE RAW MATERIAL

Bukovina je tradicionalna surovina za proizvodnjo celuloze in papirja. Povprečna dolžina bukovih vlaken znaša 0,9 mm, širina 22 µm in debelina celične stene 4,5 µm (Fengel & Wegener, 1989). Zaradi specifične morfološke strukture se celulozna vlakna uporabljajo kot polnilo v nekaterih vrstah papirja, kjer vplivajo na mehko in voluminoznost, izboljšajo pa tudi nekatere tiskovne lastnosti.

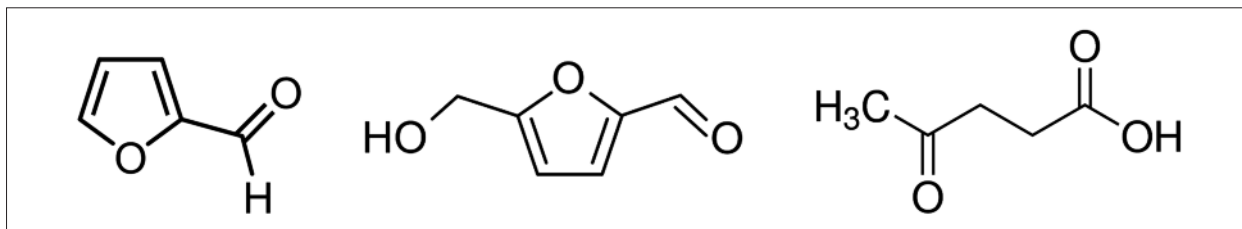
Bukov les ima tipično kemijsko strukturo listavcev, in sicer vsebuje 43 do 49 % celuloze, 25 do 30 % hemiceluloze ksilana in 20 do 25 % lignina, poleg tega pa še okrog 2 % nizkomolekularnih ekstraktivnih komponent in anorganskih snovi. Predstavlja bogat vir biomase in obnovljiv surovinski potencial, ki pa v trenutnih razmerah še ni optimalno izkoriščen. Zlasti to velja za ostanke po sečnji kot so npr. skorja, grče, veje, vrhovi dreves, poškodovan les in pa ostanki iz lesnopredelovalne industrije, kamor prištevamo oblance, ostružke, odrezke, žagovino in lesni prah. Gre za veliko, tehnološko pomembno količino obnovljive biomase, ki jo je možno kemično predelati v visokokakovostna bio-goriva in tržno zanimive spojine.

Pri kemični predelavi les običajno s pomočjo ustreznih reagentov pri povišanih temperaturah in tlakih razklopimo v njegove sestavne dele, in sicer strukturne ogljikove hidrate (celuloza, hemiceluloza) in lignin. Te lahko v nadaljevanju uporabimo v njihovi osnovni, to je polimerni obliki, ali pa jih modificiramo oz. naprej fragmentiramo in pretvorimo v različne uporabne produkte kot so sladkorji, alkoholi, organske kisline, furfural, vanilin, polifenoli in številne druge spojine, ki so uporabne v kemični, farmacevtski in živilski industriji. Nekatere pridobljene spojine služijo kot osnovni molekularni gradniki za sintezo polimernih materialov, ki so jih do sedaj proizvajali pretežno iz fosilnih surovin kot so nafta, premog in zemeljski plin (Hongbin & Lei, 2013).

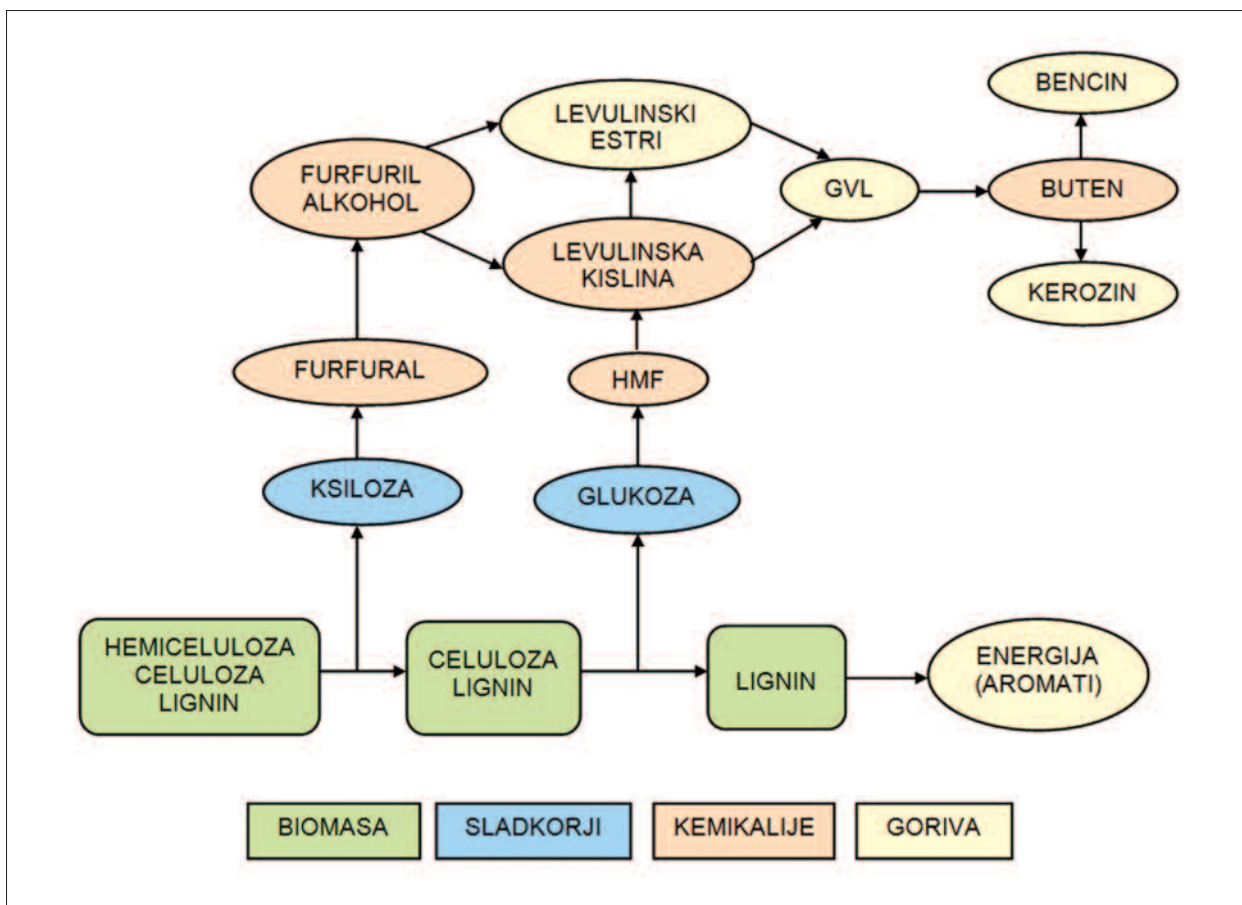
Obstajata dva osnovna koncepta procesiranja biomase, in sicer lahko celulozo in hemicelulozo kemijsko razklopimo kot enoten material ali pa vsako polimerno frakcijo posebej. Istočasna pretvorba ogljikovih hidratov se izvaja v termičnih procesih kot sta uplinjanje ali piroliza, medtem ko pri posamični pretvorbi izoliramo celulozna vlakna, npr. za proizvodnjo

papirja ali tekstila, hemicelulozo pa pretvorimo v furfural ali biogorivo. Možna je tudi hidroliza celuloze do glukoze in pretvorba slednje preko hidroksimetilfurfurala v levulinsko kislino. Slednja vsebuje ketonsko in karboksilno funkcionalno skupino in je zato primeren intermediat za pripravo številnih tehnološko pomembnih derivatov. Furfural, hidroksimetilfurfural (HMF) in levulinska kislina spadajo med osnovne gradnike v kemični industriji (slika 1). Prav tako je zelo

pomemben intermediat gama-valerolakton (GVL), ki ga dobimo z redukcijo levulinske kisline in je ena od t.i. platformnih kemikalij. Uporaben produkt razklopa je tudi lignin, in sicer kot visokomolekularni polimer oz. v obliki aromatskih fragmentov, ki se uporabljajo kot ciljne kemikalije (vanilin) ali kot intermediiati v kemijskih sintezah. Shema kemične pretvorbe lignocelulozne biomase je prikazana na sliki 2 (Wettstein et al., 2012, Maity, 2015).



Slika 1. Strukturne formule furfurala, hidroksimetilfurfurala in levulinske kisline
Figure 1. Structural formulas of furfural, hydroxymethylfurfural and levulinic acid



Slika 2. Pretvorba lignocelulozne biomase v goriva in kemikalije
Figure 2. Conversion of lignocellulosic biomass to fuels and chemicals

3 PREGLED MOŽNOSTI KEMIČNE PREDELAVE BUKOVINE SLABŠE KAKOVOSTI IN LESNIH OSTANKOV

3 OVERVIEW OF CHEMICAL PROCESSING OF LOW QUALITY BEECHWOOD AND RESIDUES

3.1 UTEKOČINJANJE

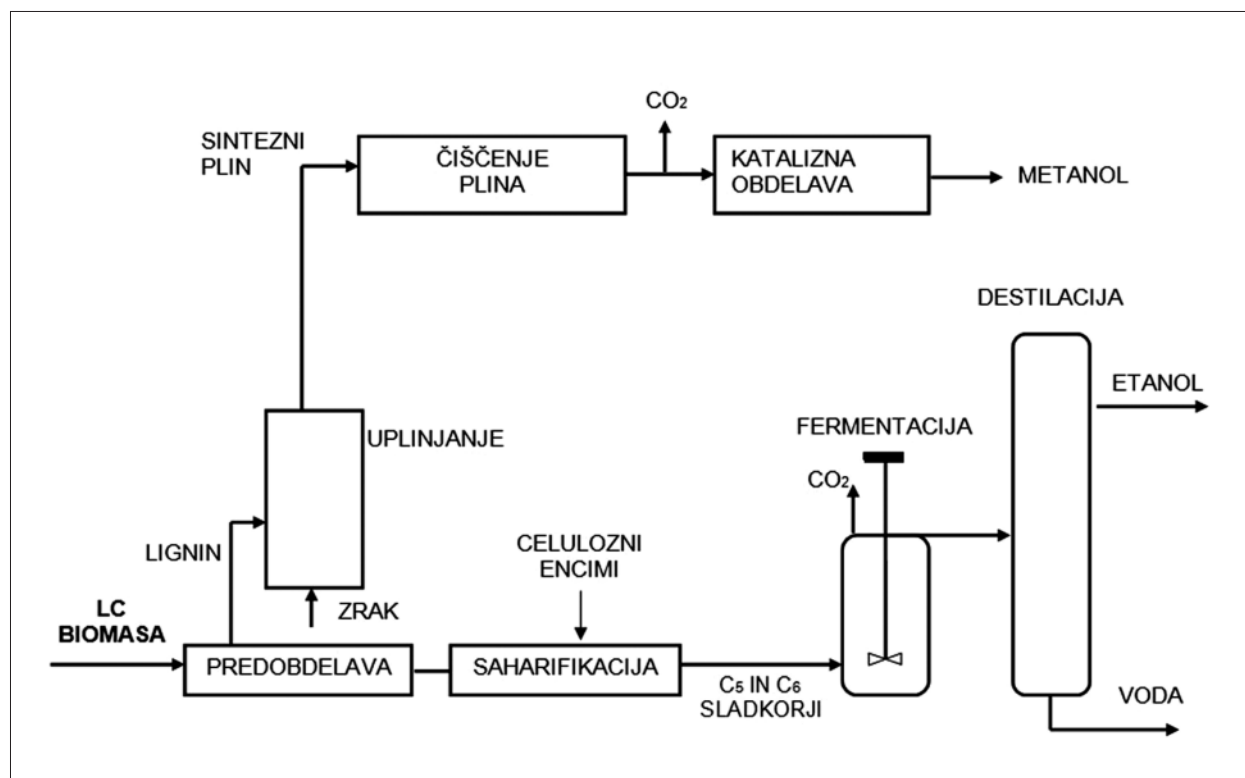
3.1 LIQUEFACTION

Homogeniziran les in lesne ostanke je možno učinkovito utekočiniti, in sicer z dodatkom kemikalij, npr. glicerola in žveplene kisline, pri čemer osnovne strukturne komponente pri povišani temperaturi in tlaku pretvorimo v njihove nižje sestavne dele. Utekočinjena biomasa je surovina za sintezo novih, okoli prijaznih polimerov. Uporablja se kot dodatek lepilom in vezivom, kjer deluje predvsem kot lovilec formaldehida (Poljanšek et al., 2013). Iz njega izdelujejo poliestre in poliuretanske pene in je hkrati kakovostno gorivo, saj znaša njegova kurilna vrednost med 22 in 24 MJ/kg, kar je več v primerjavi z rjavim premogom, lignitom in suhim lesom, vendar pa je večja uporaba zaradi korozivnosti še vprašljiva (Kunaver, 2014).

3.2 PROIZVODNJA BIOETANOLA

3.2 PRODUCTION OF BIOETHANOL

Etanol nastaja v procesu fermentacije materialov, ki vsebujejo sladkorje. Ena od potencialnih surovin je tudi les. Kurilna vrednost etanola znaša 29,7 MJ/kg. Kot energent se lahko uporablja čisti etanol, običajno pa etanol dodajajo bencinu v pogonskih motorjih. Je ekološki energent, pridobljen iz obnovljivih virov. Pri proizvodnji etanola je potrebno les najprej mehansko, kemijsko ali biološko obdelati, da razahljamo njegovo strukturo ter odstranimo lignin in del hemiceluloze, preostali del pa s pomočjo encimov hidroliziramo do glukoze in drugih enostavnih sladkorjev, ki jih v nadaljevanju fermentiramo do etanola z dodatkom ustreznih mikroorganizmov. Sledi ločba nastalega etanola od ostalih komponent s pomočjo destilacije. Lignin, ki ni ogljikov hidrat in se ne more fermentirati, lahko s termokemičnim procesom uplinjanja pretvorimo v sintezni plin, katerega nato s pomočjo kataliziranih reakcij pretvorimo v metanol ali druge transportne energente (Lin & Tanaka, 2006). Shema postopka je prikazana na sliki 3.



Slika 3. Proizvodnja bioetanola iz lignocelulozne biomase

Figure 3. Bioethanol production from lignocellulosic biomass

3.3 PROIZVODNJA BUTANOLA

3.3 BUTANOL PRODUCTION

Tudi butanol je alternativni reagent, ki se dobro meša z bencinom. Ima 30 % višjo energetska vrednost kot etanol. Ima nizek parni tlak in je manj vnetljiv v primerjavi z drugimi tekočimi gorivi. Butanol lahko proizvajamo iz lignocelulozne biomase in sicer kot čisti produkt ali v zmesi z acetonom in etanolom (ABE zmes). Slednja je izvrstno gorivo. Nekatere spojine, ki nastajajo kot intermediati pri biokemični pretvorbi biomase, npr. furfural, ocetna in ferulična kislina, zavirajo nastanek butanola. Proizvodnja je zaenkrat še relativno draga, modifikacija obstoječih tehnologij pa predstavlja velik izziv za prihodnost. Butanol je tudi ena najpomembnejših platformnih kemikalij v kemični industriji (Cascone, 2007).

3.4 PROIZVODNJA MLEČNE KISLINE IN PLA PLASTIKE

3.4 PRODUCTION OF LACTIC ACID AND PLA PLASTIC

S fermentacijo glukoze iz lignocelulozne biomase lahko pridobimo mlečno kislino in iz nje polimlečno kislino (PLA), ki je tipičen primer biorazgradljivega plastičnega materiala, s širokim potencialom uporabnosti. Slednja je že nadomestila nerazgradljivi polietilen fosilnega izvora v številnih aplikacijah. Pomembno je poudariti, da za proizvodnjo ne bo več potrebno izrabljati prehranskih virov, kot je npr. koruzni škrob, saj so lesni ostanki dobra alternativna surovina (Jung & Lee, 2011).

3.5 PRIDOBIVANJE KSILANA

3.5 PRODUCTION OF XYLAN

Ksilan je osnovna hemicelulozna komponenta v bukovem lesu, iz katerega ga lahko izoliramo v polimerni obliki ali v obliki pentoznih monomerov po ustrezni hidrolizi. Ksilan je uporaben kot funkcionalni dodatek v prehrani in je dietna vlaknina. Služi za proizvodnjo hidrogelov oz. biorazgradljivih premazov in matric za mikrokapsule. Iz njega lahko pridobivamo ksilitol, ki je pomembno sladilo v živilski industriji. Ksilan je tudi osnovna sestavina številnih farmacevtskih pripravkov. Iz hidroliznih produktov ksilana lahko sintetiziramo ferulično in mlečno kislino ter številne alkohole (Saha, 2003).

3.6 PRIDOBIVANJE CELULOZNIH VLAKEN

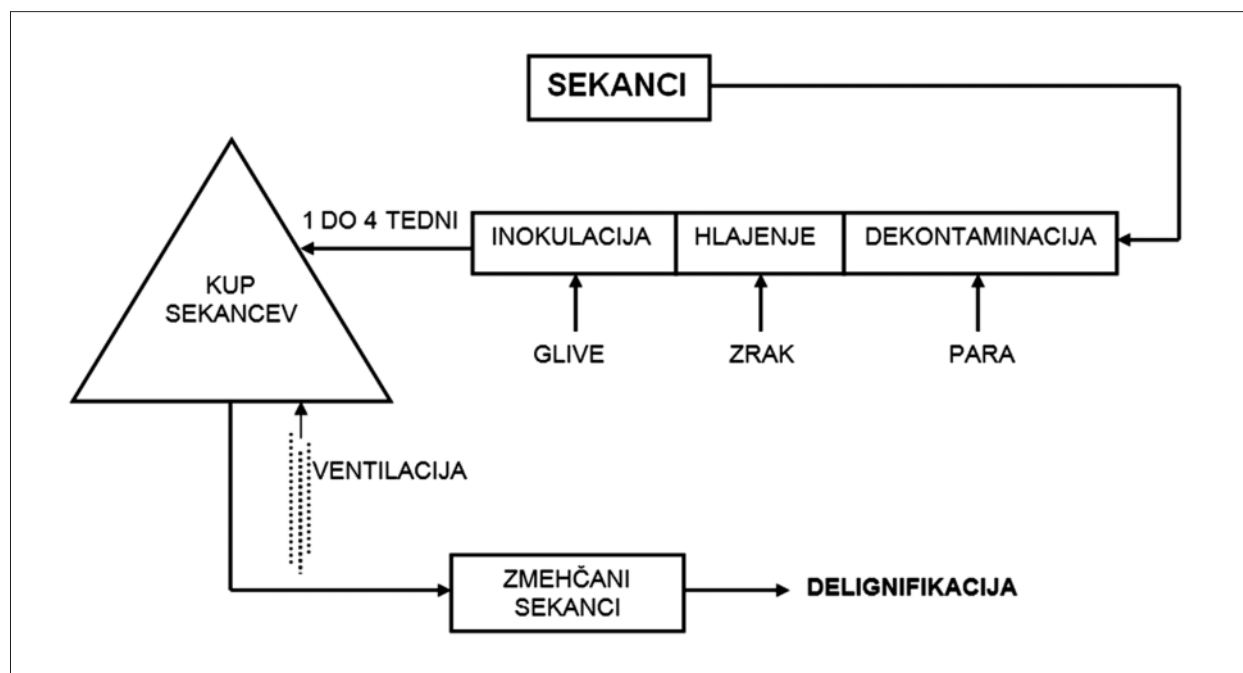
3.6 PRODUCTION OF CELULOSE FIBERS

Prevladujoča komponenta bukovine je celuloza, ki tvori vlakna. Tehnološko najpomembnejša kemijska postopka pridobivanja vlaken sta kisli sulfitni in alkalni sulfatni oz. kraft postopek. Po slednjem je proizvedenih okrog 75 % celuloznih vlaken za proizvodnjo papirja. Izkoristek se giblje med 50 in 60 %, preostanek biomase se nahaja v ligninski lužnici, ki se lahko uporablja kot energent. Danes obrati za proizvodnjo celuloze delujejo kot biorafinerije, saj poleg vlaken za papir in tekstil pridobivajo še celo vrsto tržno zanimivih vzporednih produktov iz preostalega, nevlakninskega dela lignocelulozne biomase.

3.6.1 Biotehnološki postopki

3.6.1 Biotechnological processes

Mnogo raziskav je v zadnjih letih usmerjenih v alternativne biotehnološke postopke delignifikacije, z namenom zmanjšati porabo energije in kemikalij ter znižati emisije v okolje. Biotehnološki postopki omogočajo energetska učinkovito odstranjevanje lignina ob sočasnem pridobivanju čiste celuloze z visoko stopnjo polimerizacije. Nekateri mikroorganizmi, npr. glive bele trohnobe s svojim encimskim sistemom (peroksidaze, ksilanaze) razkrajajo lignin in hemicelulozo. S svojim delovanjem hkrati mehčajo biomaso in jo naredijo bolj porozno. Posledično je potrebno manj energije za mletje oz. manj kemikalij za odstranjevanje ostankov lignina in hemiceluloze. Glive bele trohnobe selektivno razkrajajo lignin, medtem ko puščajo celulozo praktično nedotaknjeno. Biotehnološki postopek delignifikacije lahko poteka v različnih vrstah reaktorjev, pri čemer je treba spremljati in optimirati temperaturo, vlago, prezračevanje in dodatek hraniv. Glive bele trohnobe tudi kemijsko modificirajo celulozo s sproščanjem oksalne kisline in posledičnim pripajanjem karboksilnih skupin na površino vlaken. Dodane hidrofilne skupine povzročijo vezavo vode v strukturo in s tem nabrekanje biomase, kar ima za posledico lažjo delignifikacijo. Karboksilne skupine na vlaknih dejansko aktivirajo njihovo površino in utrjujejo medvlakenske povezave, kar vodi do izboljšane mehanske jakosti papirja. Biotehnološki postopki delignifikacije so ekološko sprejemljivi, saj izkoriščajo biološke procese, ki potekajo v naravi. Za delignifikacijo je treba dodajati manj kemikalij, hkrati pa se porabi manj energije. Največja pomanjkljivost je, da je proces dokaj počasen, saj mikroorganizmi potrebu-



Slika 4. Biotehnološki postopek priprave lesa za delignifikacijo

Figure 4. Biotechnological process of wood preparation for delignification

jejo določen čas, da opravijo svoje delo. Shema postopka je prikazana na sliki 4 (Singh et al., 2010).

3.6.2 Organosolv postopki

3.6.2 Organosolv processes

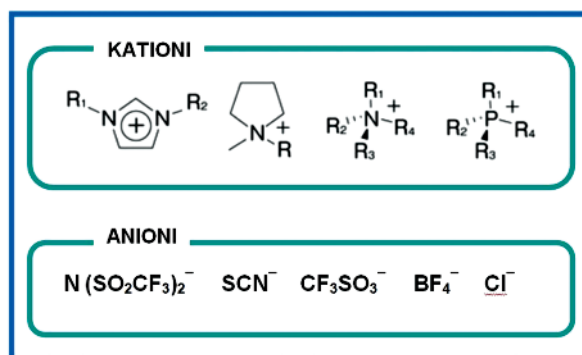
Pri organosolv postopkih lahko lignocelulozno biomaso pretvorimo v celulozna vlakna, hemicelulozne sladkorje in nizkomolekularni lignin z enostopenjskim procesom. Za delignifikacijo uporabljamo organska topila (z ali brez katalizatorja). Učinkovito odstranimo lignin in del hemiceluloze, pri čemer ostaja zelo čista celulozna frakcija. Organsko topilo lahko po končanem postopku odparimo in ponovno uporabimo, kar močno zniža ceno postopka. Vse frakcije so čiste in jih je možno pretvoriti v uporabne produkte. Najpogosteje uporabljeni topili sta metanol in etanol, in sicer predvsem zaradi nizkega vrelišča (Johansson et al., 1987, Aziz & Sarkanen, 1989).

3.6.3 Postopki razklopa z uporabo ionskih tekočin

3.6.3 Delignification by use of ionic liquids

Ionske tekočine so topila, ki omogočajo zelo učinkovito frakcionacijo lignocelulozne biomase. V bistvu gre za tekoče soli, ki jih običajno sestavljajo veliki in asimetrični organski kationi in enostavni anorganski anioni (slika 5). Njihove lastnosti lahko poljubno

spreminjamo s spreminjanjem sestave kationa in aniona. Imajo nizko tališče, tako da so pri sobni temperaturi v tekočem stanju. Ker te soli zelo težko kristalizirajo, je ionska tekočina tekoča v širokem temperaturnem območju. So kemijsko in termično stabilne, praktično nimajo parnega tlaka in niso vnetljive. Imenujemo jih "zelena" topila, ki niso toksična ali eksplozivna. Značilno je, da lahko v ionskih tekočinah raztapljamo vse komponente biomase istočasno, ne da bi pri tem porušili njihovo molekularno strukturo. Z ionskimi tekočinami lahko pri zelo milih pogojih raztopimo visoko koncentracijo celuloze, pri



Slika 5. Tipični kationi in anioni ionskih tekočin

Figure 5. Typical cations and anions of ionic liquids

čemer lahko topilo popolnoma recikliramo. Postopek raztapljanja je hiter, pri čemer ni zaznati negativnih vplivov na okolje. Z uporabo ionskih tekočin se odpira možnost za proizvodnjo celuloze pri nizkih temperaturah in atmosferskem tlaku. Visoka cena ionskih tekočin zaenkrat še onemogoča njihovo širšo uporabo v industriji (Kilpeläinen et al., 2007, Li et al., 2010).

4 DERIVATI CELULOZE

4 CELLULOSE DERIVATIVES

Celuloza je v bistvu polialkohol. Hidroksilne skupine lahko zaestrimo z organskimi ali anorganskimi kisljinami, pri čemer dobimo nekatere zelo uporabne produkte. Mednje prištevamo celulozni nitrat, ki se uporablja v proizvodnji plastike, lakov, filmov in premazov. Celulozni ksantat dobimo, če obdelujemo celulozo z ogljikovim disulfidom. Iz njega izdelujemo viskozna vlakna, ki se uporabljajo v tekstilstvu. Pomemben derivat celuloze je celulozni acetat, ki ga dobimo, če celulozo obdelujemo z acetanhidridom pri povišani temperaturi in prisotnosti žveplene kisline kot katalizatorja. Iz acetata pripravljamo acetatna vlakna za tekstil, poleg tega je uporaben tudi za proizvodnjo plastike, filmov, lakov, folij in membran. S celulozo lahko tvorimo tudi številne premrežene kopolimere z različnimi organskimi koreaktanti, pri čemer dobimo uporabne, biorazgradljive produkte (Alen, 2011).

4.1 NANOFIBRILIRANA IN NANOKRISTALINIČNA CELULOZA

4.1 NANOFIBRILLATED AND NANOCRYSTALLINE CELLULOSE

Celulozne molekule se povezujejo v fibrile, skupki fibril pa sestavljajo celulozna vlakna. Posamezne fibrile imajo premer med 20 in 100 nm, njihova dolžina pa znaša do 100 μ m. Nanofibrilirano celulozo (NFC) je možno pridobiti iz vlaken z mehanskim razslojevanjem, ki ga izvedemo s pomočjo visokih strižnih sil. Postopek poteka v visokotlačnih ali ultrazvočnih homogenizatorjih po predhodni kemični ali encimatski obdelavi celuloznih vlaken, s čimer dosežemo lažje razslojevanje vlakninske strukture. Druga oblika celuloznih nanodelcev so nanokristali (CNC), ki jih dobimo iz celuloze s kislinsko hidrolizo, pri čemer se amorfni deli celuloznih fibril razgradijo, kristalinični deli pa se z nadaljnjo ultrazvočno obdelavo pretvorijo v nanokristale z visoko stopnjo kri-

staliničnosti. Celulozni nanokristali imajo premer 2 do 20 nm in dolžino 100 do 600 nm. Obe vrsti delcev pa imata različno morfologijo. CNC so kratki in togi delci, medtem ko imajo NFC dolgo nitasto obliko s kristaliničnim in amorfnim delom. Če dodamo NFC delce k različnim vlakninskim in polimernim materialom, s tem povečamo njihovo jakost, vezivnost, fleksibilnost in številne druge lastnosti, kar je zlasti pomembno pri razvoju lahkih, močnih, funkcionalnih in biorazgradljivih kompozitov (Veigel et al., 2011, Žepič et al., 2014, Žepič et al., 2015).

5 LESNO-PLASTIČNI KOMPOZITI

5 WOOD PLASTIC COMPOSITES

Z vgrajevanjem vlaknastih materialov, npr. lesnih ali celuloznih delcev v polimerno, plastično matriko dobimo t.i. lesno-plastične kompozite, katerih lastnosti so odvisne od komponent, ki jih sestavljajo. Za pripravo novih materialov lahko uporabljamo lesna vlakna v obliki lesovine, žagovine ali lesne moke, torej izkoriščamo najrazličnejše ostanke lesnopredelovalne industrije. Novo nastali materiali vsebujejo od 5 do 70 % lesne frakcije, medtem ko je polimerna matrika največkrat polietilen (PE) fosilnega izvora ali polimlečna kislina (PLA), pridobljena iz obnovljivih virov. Lesna vlakna imajo vlogo ojačitvene komponente in nadomeščajo steklena vlakna. Njihova prednost pred slednjimi je, da izhajajo iz obnovljivega vira, so lahka (nizka gostota), močna, razpoložljiva in poceni. Lesno-plastične kompozite izdelujejo s tehnikami ekstrudiranja ter brizgalnega in tlačnega vlivanja. Uporabljajo se v avtomobilski industriji za izdelavo notranjih delov, za ohišja gospodinskih aparatov, za proizvodnjo predmetov za široko potrošnjo, embalaže in medicinskih pripomočkov. Nadaljnji razvoj lesno-plastičnih kompozitov predstavlja velik potencial, saj omogoča boljše izkoriščenost razpoložljive lesne biomase ob hkratnem zmanjšanju vplivov na okolje zaradi nadomeščanja fosilnih surovin z obnovljivimi (Gurunathan et al., 2015, Zule et al., 2016, Žepič et al., 2016).

6 RAZPRAVA

6 DISCUSSION

Glede na dejstvo, da bukovina v naših gozdovih predstavlja največjo lesno zalogo (Poročilo zavoda za gozdove Slovenije o gozdovih za leto 2015), in ob

upoštevanju dejstva, da se kljub stremanju k čim boljšemu izkoriščanju lesa že v fazi od stoječega drevesa do primarne lesne proizvodnje pojavi več kot 50 % lesne biomase, ki ni primerna za predelavo v tradicionalne izdelke, je nujen razmislek o možnostih inovativne rabe te lesne biomase. Zagotovo se določen delež te biomase že uporablja v različne namene, trenutno predvsem v energetske. Izraba biomase izključno v energetske namene je sicer lahko za posameznika dobičkonosna, vendar ta način pomeni po sistemu krožnega gospodarstva najkrajši možen cikel in tudi najkrajšo gozdno-lesno verigo. Zato je smiselno in nujno poiskati druge, inovativne rabe, ki bi ta cikel podaljševale, predvsem pa razširile gozdno-lesno verigo z drugimi panogami/gospodarskimi področji.

Za učinkovito rabo bukovine je nedvomno nujno učinkovito delovanje gozdno-lesne verige (Kropivšek & Gornik Bučar, 2017 (v tisku), pri čemer je treba zagotoviti pogoje za delovanje primarne lesne proizvodnje, ki poleg gozdarstva ustvari največji potencial biomase (lesnih ostankov), ki je zanimiv za iskanje inovativnih (drugačnih, alternativnih) rab. Velika prednost izrabe ostankov primarne lesne proizvodnje je predvsem v tem, da so večinoma skoncentrirani na relativno majhnem prostoru, so nekontaminirani in lahko že do določene faze dezintegrirani, kar močno poenostavlja logistiko in postopke izkoriščanja. V primeru, da z inovativno rabo teh ostankov proizvedemo izdelke z visoko dodano vrednostjo, se spremeni tudi ekonomika celotne verige oz. njenih deležnikov, saj se s tem poveča potreba po lesnih ostankih, kar jim v končni fazi poviša nabavno vrednost, kar ima zagotovo pozitiven (posreden) vpliv na uspešnost delovanja primarne lesne proizvodnje. Poleg tega pa bi s tem dosegli celovitejšo izrabo obnovljivih virov, podaljšali njihov gospodarskih cikel, močno okrepili predelovalno industrijo ter razširili gozdno-lesno verigo na nova področja, s čimer bi povezovali več različnih deležnikov, krepili mrežne organiziranosti in zagotovili potencial za odpiranje novih delovnih mest.

Med možnostmi za inovativno izrabo bukovine biomase, predstavljene v prispevku, so nekatere še v pilotni fazi ali celo v fazi poizkusov, npr. delignifikacija z ionskimi tekočinami ter proizvodnja butanola in mlečne kisline, nekatere pa se že izvajajo na industrijskem nivoju ali so v fazi optimizacije, npr. proizvodnja ksilana in ksilitola. Prednosti, pomanj-

kljivosti in tehnološke zahtevnosti različnih rab na tem mestu nismo obravnavali, vsekakor pa jih je treba pri odločitvi rabe temeljito pretehtati in upoštevati. Zagotovo pa so nujna vlaganja v temeljne raziskave materialov in procesov ter prenos novih, inovativnih znanj na pilotni in industrijski nivo.

Problematika (ne)izkoriščenosti »nežagarske« biomase je v zadnjih letih zaradi propada številnih podjetij, ki so bila glavni porabnik biomase, povsem drugačna kot je bila v preteklosti. Tako so pred skoraj petindvajsetimi leti (Devjak et al., 1993) poročali, da je bila poraba manjvrednega lesa, kamor sodijo predvsem žagarski ostanki, celulozni les in drobni gozdni sortimenti, razporejena med štiri proizvajalke ivernih plošč, podjetjem za proizvodnjo vlaknenih plošč ter več proizvajalk celuloze in papirja, ki so ob polnem delovanju potrebovale surovino v obsegu 1,350 milj. m³, in polovico te količine so dobili iz domačih virov. Tovrstna raba je bila s stališča krožnega gospodarstva učinkovita in se ni iskalo drugih. Trenutno je od naštetih podjetij delujoče le še podjetje za proizvodnjo vlaknenih plošč, ki letno porabi okrog 250.000 m³ manj vredne hlodovine in prostorninskega lesa, pri čemer se ne omejuje na bukovino.

V Sloveniji imamo samo en obrat za kemično predelavo lesa, kjer iz kostanjevega in hrastovega lesa izdelujejo različne taninske in druge stranske produkte za usnjarsko, farmacevtsko, živilsko in tekstilno industrijo. Že dlje časa nimamo več proizvodnje celuloznih vlaken s kemijsko delignifikacijo, tako da je papirna industrija v veliki meri odvisna od uvoza vlakninskih surovin, tako primarnih kot tudi recikliranih. Trenutno delujeta dva integrirana obrata za proizvodnjo lesovine, ki pa v procesu uporabljata predvsem les iglavcev in topola. Letna poraba primarne bukovine celuloze v papirni industriji se giblje med 15.000 in 20.000 tonami. Pričakovati je, da bo šel nadaljnji razvoj papirništva v smeri razvoja in proizvodnje nizko gramskih papirjev z večfunkcionalnimi lastnostmi. Z vgradnjo nanoceluloze v osnovno strukturo papirja in/ali v premaze bo možno take lastnosti tudi doseči in jih poljubno optimizirati.

Glede na velike količine razpoložljive biomase je smiselno ponovno razmišljati o vzpostavitvi pilotnega ali industrijskega obrata za kemično predelavo, ob predpostavki, da bi slednji deloval kot biorafinerija s kapaciteto celovite izrabe vseh komponent lesa za proizvodnjo kemikalij, bio-materialov in energije.

7 ZAKLJUČEK

7 CONCLUSION

Pričakovati je, da bodo obnovljive surovine in bio-osnovani produkti v naslednjih desetletjih postopoma zamenjali fosilne vire in tehnologije predelave. Za prehod v bio-gospodarstvo bo potrebno definirati potencialne naravne surovine in razviti ekonomsko in okoljsko sprejemljive tehnologije njihove predelave. Za bukovo biomaso z gotovostjo lahko rečemo, da je razpoložljiva perspektivna biosurovina, ki je trenutno podcenjena oziroma ni ustrezno uporabljena, saj se uporablja predvsem v energetske namene (kot kurivo). Pri tem njen potencial ni dovolj izkoriščen, predvsem pa ne podpira krožnega gospodarstva in uspešnejšega delovanja gozdno-lesne verige. Zato je smiselno in nujno poiskati druge, inovativne rabe. Ker je bukovina zaradi svojih kemijskih lastnosti zelo primeren material za kemično predelavo, kjer je možno in smotrno uporabiti različne kategorije ostankov lesnopredelovalne industrije kot so skorja, žagovina in lesni prah pa tudi prostorninski les in sečne ostanke, so v prispevku predstavljene tudi te rabe. Nekatere od njih so še v pilotni fazi ali celo v fazi poizkusov kot npr. delignifikacija z ionskimi tekočinami, nekatere pa se že izvajajo na industrijskem nivoju ali so v fazi optimizacije. Ocenjujemo, da so vlaganja v temeljne raziskave materialov in procesov ter prenos novih, inovativnih znanj na pilotni in industrijski nivo nujna. Z njihovim delovanjem bi podaljšali njihov krožni gospodarski cikel, močno okrepili ter razširili gozdno-lesno verigo ter zagotovili potencial za odpiranje novih delovnih mest. Ena izmed rešitev bi bila vzpostaviti pilotno ali industrijsko biorafinerijo s potencialom celovite izrabe biomase, ki je v velikih količinah že na voljo.

8 POVZETEK

8 SUMMARY

Beech is the most abundant tree species in Slovenia, and constitutes 32.3% of growing stock, which amounts to 112.5 million m³ of wood. It is primarily used for the furniture and construction industries, where large quantities of different residues are left behind after processing. It is estimated that on average about 53 to 75% of wood biomass remains in the form of sawdust, shavings, cuttings, tree tops, bark and branches after logging and indu-

strial processing. Much of these residues end up as fuel, though they represent renewable raw materials, suitable for chemical conversion to high-added value products.

Beechwood has a typical hardwood structure and is composed of 43-49% cellulose, 25-30% hemicellulose (xylan), 20-25% lignin and 2-3% extractives and ash. Its biomass may be converted to individual fractions by suitable pretreatment and chemical processing, using carefully selected reagents and technological conditions. Cellulose fibers are an important raw material in the paper, textile and chemical industries; xylan may be used as dietary fiber, for the production of hydrogels, coatings, microcapsules, pills and sweeteners; while lignin is an efficient binder, dispersant, thermoplastic and additive in different preparations. Another approach is the conversion of beechwood to low molecular weight components and biofuels, such as bioethanol and butanol, which are used as advanced transportation fuels. Wood carbohydrates may be converted by chemical or enzymatic hydrolysis to monomer sugar units, and the latter to furfural, hydroxymethylfurfural (HMF) and levulinic acid, which are platform chemicals and serve as building blocks for the synthesis of plastics and industrial chemicals. Polylactic acid (PLA) is the product of fermentation of glucose to lactic acid, which is subsequently polymerised to polymeric PLA. Vanillin and numerous other aromatics may also be manufactured from lignin for further processing in chemical, pharmaceutical and food industries.

Beechwood is a traditional raw material in the pulp and paper industry. Conventional delignification is usually carried out by sulphite or kraft procedures, where lignin residue is burnt for energy recovery. Alternatively, pulping may be conducted by the use of organic solvents in order to produce pure cellulose, xylan and lignin fractions, while the applied solvent may be efficiently recycled and reused. Future pulping technologies may consider the use of ionic liquids as "green" solvents to obtain all three polymeric materials in the purest form at mild technological conditions. The modern pulp and paper industry is designed to apply biorefinery processes, producing different marketable products and bioenergy.

Cellulose may be derivatized using different reagents to produce high-added value polymers.

The most promising derivatives appear to be nanocrystalline and nanofibrillated cellulose, due to their excellent properties. Small additions of these to different materials can significantly improve their mechanical strength and performance.

Wood and cellulose fibers may efficiently replace synthetic fibers as reinforcing components in thermoplastic materials. They can be bound in different polymeric matrices to produce wood plastic composites (WPC) with a wood fraction of up to 70%. These newly developed materials are successfully replacing fossil plastics in automotive, construction, packaging and many other industries, and are both recyclable and biodegradable.

Large quantities of beechwood residues should not be overlooked as they represent a renewable source of organic substances. However, proper utilisation of the available biomass requires higher public awareness, efficient organisation of the forestry-wood chain, in-depth market research, development of new bio-based materials and environmentally sound technologies, as well as intersectoral cooperation among all the stakeholders involved. It is the main principle of a circular economy to implement zero waste technologies. Beechwood residues are alternative raw material from which high-added value products may be produced, although an appropriate strategy is needed in order to implement the best possible practices in this regard.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENT

Delo je bilo opravljeno 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 financira 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.

Raziskave lastnosti in uporabnosti biomase potekajo tudi znotraj razvojno-raziskovalnega programa CEL.KROG: »Izkoriščanje potenciala biomase za razvoj naprednih materialov in bio-osnovanih produktov«, ki je sofinanciran s strani Republike Slovenije, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport in Evropske Unije, Evropski sklad za regionalni razvoj, 2016-2020.

VIRI

REFERENCES

- Alen, R. (Ed.) (2011). Biorefining of forest resources. Book 20 (Papermaking Science and Technology), Paperi ja Puu Oy, Porvoo, Finland
- Aziz, S., & Sarkanen, K. V. (1989). Organosolv pulping-a review. *Tappi Journal*, 72 (3), 169–175.
- Bončina, A. (2012). Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, s. 397–419.
- Cascone, R. (2007). Biobutanol- a replacement for bioethanol? *Chemical Engineering Progressing*, 104, 4–12.
- Čufar, K., Gorišek, Ž., Merela, M., Kropivšek, J., Gornik Bučar, D., & Straže, A. (2017). Lastnosti bukovine in njena raba. Les (v tisku).
- Devjak, S., Merzelj, F., & Tratnik, M. (1993). Gospodarjenje z manjvrednim lesom. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 42, 263–285.
- European Commission (2017). Circular Economy. Dostopno na http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm
- Fengel, D., & Wegener, G. (1989). Wood chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin-New York: Walter de Gruyter.
- Gornik Bučar, D. (1997). Izkoriščanje žagarskih ostankov. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 53: 125–140.
- Gurunathan, T., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2015). A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibers and their application perspectives. *Composites: Part A*, 77, 1–25.
- Hongbin, C., & Lei, W. (2013). Lignocelluloses feedstock biorefinery as petrorefinery substitutes. Chapter 14 (Biomass Now – Sustainable Growth and Use). Rijeka: Intech.
- Johansson, A., Aaltonen, O., & Ylinen, P. (1987). Organosolv pulping- methods and pulp properties. *Biomass*, 13 (1), 45–65.
- Jonozovič, M., Marenče, M., Matijašič, D., Pisek, R., Poljanec, A., & Veselič, Ž. (2012). Gozdnogospodarski in lovsko upravljalni načrti območij za obdobje 2011–2020 (povzetek za Slovenijo).
- Jung, Y. K., & Lee, S. Y. (2011). Efficient production of polylactic acid and its copolymers by metabolically engineered *Escherichia coli*. *Journal of Biotechnology*, 151, 94–101.
- Kilpeläinen, I., Xie, H., King, A., Granstrom, M., Heikkinen, S., & Argyropoulos, S. (2007). Dissolution of wood in ionic liquids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 9142–9148.
- 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 izdelkov v gozdno-lesni verigi – primer: primarna predelava bukovine. Les (v tisku).
- Košir, B. (2012). Tehnološke posebnosti pridobivanja lesa v bukovih gozdovih. In: Bukovi gozdovi v Sloveniji : ekologija in gospodarjenje. Bončina, A. (ed.). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 397–419.
- Kunaver, M. (2014). Odpadek iz biomase kot surovina in energetski vir. Slovenski biopolimerni dan, Slovenj Gradec.

- Li, B., Asikkala, J., Filpponen, I., & Argyropoulos, D. S. (2010). Factors affecting wood dissolution and regeneration of ionic liquids. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 49 (5), 2477–2484.
- Lin, Y., & Tanaka, S. (2006). Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 69(6), 627–642.
- Maity, S. K. (2015). Opportunities, recent trends and challenges of integrated biorefinery: Part1. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1446–1466.
- Marenče, J., Gornik Bučar, D., & Šega, B. (2016). Bukovina - povezave med kakovostjo dreves, hlodovine in žaganega lesa. *Acta Silvae et Ligni*, 111, 35–47.
- Poljanšek, I., Likozar, B., Čuk, N., & Kunaver, M. (2013). Curing kinetics study of melamine- urea-formaldehyde resin/liquefied wood. *Wood Science and Technology*, 47 (3), 395–409.
- Poročilo zavoda za gozdove Slovenije o gozdovih za leto 2015. Ljubljana: Zavod za gozdove Slovenije.
- Saha, B. (2003). Hemicellulose bioconversion. *Journal of industrial microbiology and biotechnology*, 30 (5), 279–291.
- Singh, P., Sulaiman, O., Hashim, R., Rupani, P. F., & Peng, L. C. (2010). Biopulping of lignocellulosic material using different fungal species: a review. *Reviews in environmental science and biotechnology*, 9 (2), 141–151.
- Veigel, S., Müller, U., Keckes, J., Obersriebnig, M., & Gindl-Altmutter, W. (2011). Cellulose nanofibrils as filler for adhesives: effect on specific fracture energy of solid wood-adhesive bonds. *Cellulose*, 18, 1227–1237.
- Zule, J. (2015). Možnosti kemične predelave bukovnega lesa. *Gozdarski vestnik*, 73 (10), 479–487.
- Zule, J., Bolka, S., & Slapnik, J. (2016). Ocena primernosti bukovine kot ojačitvene komponente pri pripravi termoplastičnih biokompozitov. *Acta Silvae et Ligni*, 110, 39–48.
- Žepič, V., Švara Fabjan, E., Kasunič, M., Cerc Korošec, R., Hančič, A., Oven, P., Slemenik Perše, L., & Poljanšek, I. (2014). Morphological, thermal and structural aspects of dried and redispersed nanofibrillated cellulose (NFC). *Holzforschung*, 68 (6), 657–667.
- Žepič, V., Poljanšek, I., & Oven, P. (2015). Nanoceluloza: terminologija, lastnosti in postopki pridobivanja. *Papir*, 48 (13), 40–43.
- Žepič, V., Poljanšek, I., Oven, P., & Čop, M. (2016). COST-FP1105: properties of PLA films reinforced with unmodified and acetylated freeze dried nanofibrillated cellulose. *Holzforschung*, 70 (12), 1125–1134.
- Wettstein, S. G., Alonso, D. M., Gürbüz, E. I., & Dumesic, J. A. (2012). A roadmap for conversion of lignocellulosic biomass to chemicals and fuels. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 1, 218–224.

MODEL ZA DOLOČANJE ŽIVLJENJSKE DOBE LESA LISTAVCEV

MODEL FOR SERVICE LIFE PREDICTION OF HARDWOODS

Mojca Žlahtič Zupanc¹, Ajda Pogorelčnik¹, Davor Kržišnik¹, Boštjan Lesar¹, Nejc Thaler¹, Miha Humar^{1*}

UDK 630*841.4

Izvleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Izvleček: Velika večina slovenskih lesnih vrst ima relativno slabo odporen les. Zaradi vedno večje okoljske ozaveščenosti se kupci vse redkeje odločajo za impregniran les ali les tropskih lesnih vrst. Če želimo na prostem uporabiti les domačih drevesnih vrst, ga moramo dobro poznati, da ga znamo prav uporabiti. Da bi določili odpornost izbranih vrst listavcev, smo izvedli teste, kot to predvideva model Meyer-Veltrup. Lesu smo določili odpornost proti glivam razkrojevalkam in odpornost proti navlaževanju z uveljavljenimi laboratorijskimi metodami. Na podlagi teh rezultatov smo izračunali faktorja, ki okarakterizirata omenjeni lastnosti in ju prevedli v pričakovano življenjsko dobo.

Ključne besede: les, zaščita lesa, odpornost lesa, glive razkrojevalke, vlažnost lesa, življenjska doba

Abstract: The majority of Slovenian wood species do not have durable wood. Due to increased environmental awareness, users are avoiding treated wood and wood from tropical forests. In order to increase the consumption of domestic wood species, we have to understand the overall performance of wood better. Therefore, a study of the most important Slovenian hardwood species was performed, as prescribed by Meyer-Veltrup et al. Durability against wood decay fungi and wetting was determined using standard laboratory tests. These data were then used for calculation of the respective factors needed for calculation of predicted service life.

Keywords: wood, wood protection, durability, wood decay fungi, moisture content, service life

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Les na prostem je izpostavljen delovanju biot-
skih in abiot-
skih dejavnikov razkroja. V naravi so ti
procesi zaželeni, kadar les uporabljamo v komer-
cialne namene, želimo razkroj čim bolj upočasniti. V
našem podneb-
nem pasu in tudi v večini kontinen-
talne Evrope les ogrožajo predvsem glive, zato se
vse-
bina prispevka nanaša predvsem na ta dejavnik
razkroja. Z izjemo robinije in kostanja večina komer-
cialnih evropskih vrst nima odpornega lesa (EN 350,
2017). V prispevku želimo ovrednotiti življenjsko
doba lesa listavcev v drugem in tretjem razredu upo-
rabe. Ko uporabljamo les v gradbeništvu, je bolj kot
odpornost lesa pomemben podatek življenjska doba
lesa in intervali vzdrževanja v posameznem okolju.
Ti podatki so pomembni za projektanta, investitorja
in uporabnika. Nenazadnje ga v vedno večji meri
zahtevajo tudi različni gradbeni predpisi po vsem
svetu. Ta podatek bo treba določiti, tudi zaradi raz-

voja BIM (ang. Building Information Modeling) pro-
jektiranja (Wikipedia, 2017).

Za napovedovanje ali oceno življenjske dobe se
uporabljajo različni matematični modeli. Glede na
sistem, ki bi ga radi analizirali, se lahko tip in struk-
tura najustrežnejšega modela močno razlikujeta. Če
vzamemo za primer inženirske modele, ti pogosto
delujejo z mejnimi stanji (ang. Limit state design -
LSD). Vendar je koncept mejnih stanj velikokrat v na-
sprotju z biološkimi pristopi, ki so namenjeni prika-
zovanju celotnega procesa razgradnje, od prvih,
komaj vidnih stopenj, do konca življenjske dobe. Za-
radi tega je bil razvit pristop, s katerim lahko oce-
nimo tveganje za biološki razkroj lesa po določenem
času izpostavitve, imenovan funkcija odmerka-odziv,
pri čemer je odziv (razkroj) odvisen od odmerka
(vsota okoljskih dejavnikov) (ang. Dose-response
functions) (Brischke & Thelandersson, 2014). Odme-
rek je funkcija, ki je odvisna od dnevne vlažnosti in
temperature lesa, pri čemer je stopnja razkroja
ovrednotena s standardom EN 252 (2012).

Trenutno najpogosteje uporabljena metoda za
določanje življenjske dobe lesa in lesenih kompo-
nent je metoda faktorjev v skladu s standardom ISO
15686-1 (2011). Osnova metode so izhodiščna ži-

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za le-
sarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

* e-pošta: miha.humar@bf.uni-lj.si; telefon: 01-320-3638

vljenjska doba (običajno je to pričakovana življenjska doba v točno določenih pogojih uporabe) in modifikacijski faktorji, ki se navezujejo na specifične primere. Gre za kombinacijo odmerkov različnih dejavnikov (posrednih in neposrednih), ki jih lahko kvantificiramo. Faktorji, manjši od 1, zmanjšajo ocenjeno življenjsko dobo, faktorji, večji od 1, pa jo povečajo. Enačba, ki se uporablja za ocenjevanje življenjske dobe po metodi faktorjev, je:

$$ESL = RSL \times (A \times B \times C \times D \times E \times F \times G) \quad \dots (1)$$

ESL – ocenjena življenjska doba komponente

(ang. Estimated service life),

RSL – izhodiščna življenjska doba komponente

(ang. Reference service life),

A – faktor kakovosti komponente

(naravna odpornost, modifikacija in zaščita z biocidi),

B – faktor nivoja projektiranja

(konstrukcijska zaščita, napušč),

C – faktor kvalitete izvajanja del (spoji),

D – faktor notranjega okolja (mikro okolje; temperatura, zračna vlažnost, kondenzacija),

E – faktor zunanjega okolja (makro okolje; klima, dež, senca),

F – faktor pogojev uporabe (obrava, mehanski vplivi) in

G – faktor nivoja vzdrževanja (obnova premazov)

(ISO 15686, 2000; Brischke, 2006; Brischke & Thelandersson, 2014).

Slabost opisane metode je njen multiplikativni karakter, ki lahko vodi do večjih napak. Faktorji, ki jih vključuje ta pristop, morajo biti določeni zelo natančno in ne zgolj ocenjeni. Iz tega razloga je prišlo do preoblikovanja enačbe (Brischke et al., 2006) v kateri lahko različnim faktorjem vnesemo različno težo:

$$ESL = f(RSL, A, B, C, D, E, F, G) \quad \dots (2)$$

Koncept za napoved življenjske dobe lesa temelji na razvrstitvi faktorjev, ki vplivajo na razkrojne procese lesa. Razlikujemo med direktnimi in indirektnimi faktorji. Direktni faktorji imajo neposreden učinek na življenjsko dobo lesa, indirektni faktorji posredno vplivajo na direktne. Če vzamemo za primer lesno vlažnost, ima ta direkten vpliv na življenjsko dobo lesa, medtem ko ima napušč pri strehi indirektni vpliv (zmanjša vlažnost lesa) (Brischke et al., 2006). Med direktne vplive uvrščamo tudi vse-

bnost biološko aktivnih ekstraktivov v lesu. V preteklosti je veljalo, da imajo ti prevladujoč vpliv na naravno odpornost in s tem na življenjsko dobo lesa. Vendar so natančnejša opazovanja pokazala, da na življenjsko dobo poleg biološko aktivnih ekstraktivov vplivajo še drugi dejavniki, ki imajo značilen vpliv na dinamiko vlaženja lesa in s tem na življenjsko dobo lesa, zato jih je smiselno upoštevati pri načrtovanju konstrukcij. Zato so metodo faktorjev še naprej preoblikovali in nastal je nov zapis, ki določa, da je sprejemljivost materiala ali komponente določena z naslednjim pogojem:

$$Izpostavljenost (D_{Ed}) \leq \text{Odpornost materiala } (D_{Rd}) \quad \dots (3)$$

Znotraj pogoja izpostavljenosti (D_{Ed}) lahko upoštevamo faktorje, ki so zapisani v enačbi 1 in jih predstavljajo črke od A do G. Odpornost materiala je produkt kritične meje D_{crit} in dveh modifikacijskih faktorjev. Prvi je faktor, ki označuje odpornost lesa proti navlaževanju (k_{wa}), drugi pa odpornost lesa proti biološkim škodljivcem (k_{inh}). Isaksson et al., (2013) so zapisali enačbo:

$$D_{Rd} = D_{crit} \times k_{wa} \times k_{inh} [d] \quad \dots (4)$$

D_{crit} = kritična meja, ki ustreza razkroju stopnje 1 (EN 252, 2012) [dni]

k_{wa} = faktor, ki označuje odpornost proti navlaževanju materiala

k_{inh} = faktor, ki označuje odpornost materiala proti biološkemu razkroju

D_{crit} so med prvimi določali Isaksson et al. (2013) za beljavo bora in jedrovino duglazije. Ugotovili so, da je kritična meja za obe vrsti okoli 325 dni z ugodnimi pogoji za glivni razkroj. Faktor odpornosti lesa proti navlaževanju (k_{wa}) je mogoče določiti s kratkotrajno in dolgotrajno izpostavljenostjo lesa vodi, kot tudi z določanjem sorpcijskih lastnosti materialov in kapilarnega navzema vode. Iz podatkov, pridobljenih s testi za določanje biološke odpornosti v skladu s standardom EN 113 (2006) in EN 252 (2012), je mogoče izračunati faktor odpornosti materiala proti biološkemu razkroju (k_{inh}). Vrednosti teh dveh faktorjev so omejene na 5. Iz navedenih faktorjev in kritične meje lahko določimo odpornost materiala. Pri teh testih se praviloma za referenčni material uporablja smrekovina (*Picea abies*) (Brischke et al., 2015).

Metodologija je bila že v veliki meri preizkušana in verificirana. Model Meyer-Veltrup je tako prvi in edini model, namenjen določanju življenjske dobe lesa na prostem, vendar ne za les v stiku z zemljo (Meyer-Veltrup et al., 2017). Prispevek na izbranih materialih predstavlja prvo uporabo tega pristopa v Sloveniji. V okviru prispevka smo ta model preizkusili na izbranih lesnih vrstah listavcev in ga verificirali s terenskimi testi.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

Vzorci dimenzij $1,5\text{ cm} \times 2,5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ smo izdelali iz bukovine (*Fagus sylvatica*), jedrovine kostanja (*Castanea sativa*) in hrasta (*Quercus sp.*) ter neodpornega lesa topola (*Populus sp.*). Za primerjavo smo uporabili še smrekovino (*Picea abies*).

Hranilna gojišča za glive smo pripravili v steklenih kozarcih s pokrovčkom z volumnom 350 mL. Kot hranilni medij smo uporabili krompirjev glukozni agar (PDA- DIFCO). V vsak kozarec smo vlili po 50 mL hranilnega gojišča, jih zaprli in avtoklavirali (45 min; $120\text{ }^{\circ}\text{C}$; 1,5 bar). V avtoklav smo vstavili še mrežice iz umetne mase, ki so v nadaljevanju služile za oporo vzorcem na hranilnem gojišču in preprečevale navlaževanje lesa. Ko so se kozarci ohladili, smo hranilno gojišče inokulirali z izbranimi vrstami gliv. Nato smo kozarce postavili v klimatizirano komoro s konstantno temperaturo $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ in vlažnostjo zraka 85 %. Vzorci smo sterilizirali v avtoklavu (45 min; $120\text{ }^{\circ}\text{C}$; 1,5 bar), nakar smo jih v sterilnih pogojih vstavili v kozarce in jih nato za 16 tednov izpostavili štirim različnim glivam razkrojevalkam lesa, kot zahteva standard EN 113 (2006) in sicer: *Antrodia vaillantii*, *Gloeophyllum trabeum*, *Pleurotus ostreatus* in *Trametes versicolor*. Po izpostavitvi glivam smo vzorce očistili, posušili v sušilniku ($103 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) in jim izračunali spremembo mase. Glivam smo izpostavili po pet vzporednih vzorcev.

Odpornost lesa proti navlaževanju lesa smo določali z več metodami, kapilarnim navzemenom in dolgotrajnim navzemanjem vode ter uravnovešanjem v komori s 100 % vlažnostjo zraka. Kapilarni navzem vode smo določili s tenziometrom znamke Krüss 100, kot to opisuje standard EN 1609 (1997). Prečno (aksialno) površino vzorcev smo za 200 s potopili v destilirano vodo in vsaki 2 s izmerili maso; globina potopljenosti čela je bila 1,0 mm. Glede na končno

maso potopljenega vzorca in površino potopljenega čela smo navzem vode izrazili v gramih na kvadratni meter (g/m^2).

Dolgotrajno navzemanje vode smo ugotavljali z modificirano standardno laboratorijsko metodo o izpiranju aktivnih učinkovin iz lesa, EN 1250-2 (1994). V tem prispevku poročamo le o vlažnosti vzorcev, ki smo jo določili po 1 h in 24 h namakanja. Del vzorcev smo namestili v komoro s 100 % vlažnostjo lesa in jim določili maso po 24 urah in 3 tednih uravnovešanja. Vse teste, kjer smo osvetlili interakcije med vodo in lesom, smo opravili na desetih vzporednih vzorcih.

Modifikacijske faktorje k_{inh} in k_{wa} ter vrednosti D_{Rd} in D_{RdRel} smo izračunali v skladu z metodologijo, opisano v prispevku Meyer-Veltrup (2017).

Vzorci ($2,5 \times 5,0 \times 50\text{ cm}^3$), izdelane iz izbranih lesnih vrst, smo preizkusili tudi na terenskem polju Oddelka za lesarstvo v Rožni dolini v Ljubljani na pretežno senčni in zatišni legi (310 m n.m.). Izpostavljeni so bili v tretjem razredu uporabe (nepokrito na prostem, pogosto močenje) (EN 335, 2013). Za določanje življenjske dobe lesa smo v naši raziskavi uporabili dvoslojni test (ang. double layer test) (Rapp & Augusta, 2004; EN 252, 2012). Sedem ali devet enako obdelanih vzorcev smo zložili v dve vrsti. Vzorci v zgornji vrsti so bili za polovico vzorca zamaknjeni. Ocenjevanje vzorcev je potekalo vsako leto med petnajstim majem in petnajstim junijem. Vsak vzorec smo si natančno ogledali in ocenili stopnjo razkroja po standardu (EN 252, 2012; Rapp & Augusta, 2004).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSION

Izguba mase po izpostavitvi glivnim kulturam je osnovni laboratorijski test, s katerim določamo odpornost proti lesnim glivam. Prednost tega testa je, da lahko v kratkem času pridemo do osnovnega podatka o odpornosti lesa na najpomembnejše predstavnice gliv razkrojevalk. Po drugi strani je slabost tega testa to, da v naravi na les deluje širok spekter biotskih in abiotskih dejavnikov, ki jih v celoti nikoli ne moremo simulirati v laboratoriju.

Preizkušane lesne vrste lahko razdelimo v dve skupini. V prvi skupini so lesne vrste, dovzetne na glivni razkroj (topolovina, bukovina in smrekovina), v drugi skupini pa odpornejši lesni vrsti (hrastovina

in kostanjevina). Ta razlika je lepo vidna iz preglednice 1. Tako je gliva tramovka intenzivno razgradila les smreke, topola in kostanja. Najvišjo izgubo mase smo zabeležili pri topolovini, izpostavljeni tej glivi (51,1 %). Zelo agresivna je bila tudi pisana ploskevka (*T. versicolor*), ki je povzročila le za nekaj odstotnih točk nižjo izgubo mase kot tramovka. Bela hišna goba (*A. vaillantii*) in ostrigar (*P. ostreatus*) sta bila nekoliko manj agresivna. Razloge za razlike v delovanju lahko pripišemo biološki variabilnosti lesa in biološki naravi gliv. Če bi razdelili glive v razrede odpornosti le na podlagi izgube mase (EN 350, 2017), bi smrekovino, topolovino in bukovino uvrstili v peti razred odpornosti, hrastovino v drugi, kostanjevino pa v peti razred odpornosti. Standard EN 350 (2017) razvršča kostanjevino v 2. razred, hrastovino v 2. do 4. razred, preostale tri vrste pa v najslabši 5. razred. Če želimo pridobiti bolj zanesljive podatke, je nujno, da poleg gliv razkrojevalk za določanje odpornosti proti razkroju vključimo še teste, ki vrednotijo vpliv bakterij, kot je na primer EN 252 (2012) in ENV 807 (2004).

Poleg odpornosti proti lesnim glivam na življenjsko dobo lesa, ki ni v stiku z zemljo, vpliva tudi odpornost proti navlaževanju. Podobno kot odpornosti proti glivnemu razkroju ne moremo določiti le z izpostavitvijo eni glivi, moramo za določanje odpornosti proti glivam razkrojevalkam vključiti raznolike teste, kot je razvidno tudi iz preglednice 2. Ne glede na to, kateri test izberemo, je iz preglednice 2 razvidno, da hrastovina in kostanjevina med testi določanja odpornosti proti navlaževanju vpijeta/absorbirata manj vode kot bukovina, topolovina in smrekovina. Na primer, po eni uri namakanja je bukovina vpila 40,3 % vode, topolovina 31,8 %; kostanjevina 19,5 %, hrastovina pa 16,9 %. Do podobnih rezultatov so prišli tudi Brischke et al. (2014). Razlog za dobro odpornost hrastovine proti navlaževanju je višja stopnja otiljenja v primerjavi s kostanjevino. Po drugi strani je treba upoštevati še dejstvo, da ima bukovina bistveno gostejši les od topolovine, vrednosti v preglednici 2 pa so praviloma izražene v odstotkih. To pomeni, da je dejanski navzem vode v bukovino še bolj izrazit kot v topolovino. Dobra permeabilnost bukovine je tudi ra-

Preglednica 1. Izguba mase lesa po izpostavitvi glivam razkrojevalkam za 16 tednov

Table 1. Mass loss after 16 weeks of exposure to wood decay fungi

Lesna vrsta	Lesna gliva			
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<i>Antrodia vaillantii</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>	<i>Trametes versicolor</i>
<i>P. abies</i>	41,1 %	15,5 %	7,8 %	27,0 %
<i>F. sylvatica</i>	44,7 %	13,0 %	25,9 %	42,4 %
<i>Populus sp.</i>	51,1 %	25,3 %	11,7 %	47,4 %
<i>Quercus sp.</i>	7,1 %	4,2 %	4,8 %	5,5 %
<i>C. sativa</i>	0,7 %	0,6 %	1,1 %	1,2 %

Preglednica 2. Odpornost lesa proti navlaževanju, določena z različnimi laboratorijskimi preizkusi.

Table 2. Water exclusion efficacy determined with various test methods

Lesna vrsta	Metode za vrednotenje odpornosti proti navlaževanju				
	Vlaž. po 24 h uravnovešanja na 100 % RH	Vlažnost po 3 tednih uravnovešanja na 100 % RH	Kratkotrajno navzemanje vode	Vlažnost po 1 h namakanja	Vlažnost po 24 h namakanja
<i>P. abies</i>	11,5 %	22,7 %	24,9 kg/m ²	41,0 %	64,5 %
<i>F. sylvatica</i>	9,4 %	23,3 %	29,4 kg/m ²	40,3 %	75,6 %
<i>Populus sp.</i>	12,5 %	23,2 %	17,4 kg/m ²	31,8 %	93,0 %
<i>Quercus sp.</i>	7,4 %	22,0 %	11,1 kg/m ²	16,9 %	34,7 %
<i>C. sativa</i>	7,3 %	21,2 %	9,9 kg/m ²	19,5 %	43,6 %

RH – relativna zračna vlažnost

zlog, da se ta lesna vrsta najpogosteje uporablja za izdelavo železniških pragov.

V skladu z modelom Meyer-Veltrup (2017) smo vrednosti v preglednicah 1 in 2 preračunali v faktorje, ki so prikazani v preglednici 3. Faktor 1 pomeni, da je bila vrednost posameznega parametra primerljiva z vrednostjo pri smrekovini. Vrednosti, nižje od 1, označujejo lesne vrste, ki so slabše odporne proti razkroju oziroma proti navlaževanju kot smrekovina, vrednosti faktorjev, višje od 1, pa označujejo materiale, ki se obnesejo bolje od smrekovega lesa.

Iz preglednice 3 je razvidno, da se pri smrekovini pojavijo prvi znaki razkroja po približno 325 dneh z ugodnimi klimatskimi pogoji. Ta podatek se nanaša za rabo lesa v aplikacijah, ki niso v stiku z zemljo. Če je konstrukcijska zaščita izvedena odlično, bo v določenem obdobju ugodnih dni za razkroj manj, kot če teh pravil gradbeniki niso upoštevali. Prvi znaki razkroja opisujejo spremembe, ki se kažejo predvsem kot spremembe barve ali zelo površinski razkroj oziroma mehčanje lesa. Razkroj lesa ne sega več kot 1 mm globoko (EN 252, 2012). Ta vrednost nakazuje na prve znake razkroja, do popolnega propada praviloma pride po bistveno daljšem obdobju. V našem klimatskem pasu do prvega razkroja na smrekovem lesu, uporabljenem v tretjem razredu uporabe, pride po dveh, včasih tudi po treh letih. Na bukovini in topolovini pride do razkroja še prej, kar potrjujejo tudi naša terenska testiranja. Po drugi strani lahko pričakujemo, da bo do razkroja hrastovega in kostanjevega lesa prišlo veliko počasneje (Preglednica 4).

Preglednica 3. Faktorji, ki določajo življenjsko dobo lesa izbranih lesnih vrst. Oznake faktorjev so razvidne iz enačbe 4.

Table 3. Factors that determine the service life of selected wood species. The explanation of the factors can be resolved from equation 4.

Lesna vrsta	k_{inh}	k_{wa}	D_{Rd} (dni)	D_{RdRel}
<i>P. abies</i>	1,00	1,00	325	1,00
<i>F. sylvatica</i>	0,76	0,97	241	0,74
<i>Populus sp.</i>	0,66	1,07	232	0,71
<i>Quercus sp.</i>	4,01	1,61	2100	6,46
<i>C. sativa</i>	5,00	1,59	2580	7,94

Preglednica 4. Leta izpostavitve, ko smo na dvoslojнем testu na prostem zabeležili prve znake razkroja.

Table 4. Years of exposure required for development of the first sign of decay, as determined with the double-layer test method.

Lesna vrsta	Leta izpostavitve, ko je na vzorcih na prostem prišlo do prvega razkroja
<i>P. abies</i>	2
<i>F. sylvatica</i>	1
<i>Populus sp.</i>	1
<i>Quercus sp.</i>	6
<i>C. sativa</i>	< 6

Na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani že več let spremljamo vlažnost lesa na več kot 450 mestih, na več kot 30 različnih materialih oziroma lesnih vrstah, da bi določili dinamiko vlaženja in sušenja lesa, vgrajenega na prostem. Tako letno zabeležimo več kot 300.000 meritev vlažnosti lesa. S temi podatki bomo skušali še dodatno izboljšati zanesljivost delovanja predstavljenega modela.

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

Potrdili smo, da je model Meyer-Veltrup, ki temelji na metodi faktorjev, primeren model za vrednotenje življenjske dobe domačih lesnih vrst na prostem v drugem in tretjem razredu uporabe. Ta model temelji na dveh faktorjih; odpornosti materiala proti biološkim dejavnikom razkroja in odpornosti proti navlaževanju. Če želimo celostno osvetliti ta dva parametra, moramo izvesti več ločenih testov. Rezultati modela se dobro ujemajo z rezultati terenskih testiranj.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

In addition to having a variety of indoor uses, wood has been used for centuries for structural and other outdoor applications. In recent years, Europe has seen a renaissance in the use of wood in construction. Its use especially in Class 2 (outside, not

in ground contact, covered) and Class 3 (outside, not in ground contact, not covered) applications, as defined by EN 335 (2013), has become increasingly important. However, if wood is misused, it is susceptible to degradation, especially by fungi. One of the biggest threats to outdoor applications in Central Europe is wood-decaying fungi. There are several research methods used to determine when decay occurs and how long a certain construction will last. This information refers to the service life of wood, and is key data for planning service and maintenance costs.

The service life of wood, defined in the standard ISO 15686-1 (2000) as the "period of time after installation during which a building or its parts meets the performance requirements," is specifiable in years. The service life of wood depends on both natural and improved durability. In the past, natural durability was linked to extractive components, the anatomical and chemical properties of the wood, and the presence of biocidal active ingredients. There are only a few naturally durable wood species available in Europe. According to standard EN 350 (2017), the majority of wood species in Central Europe have non-durable or susceptible wood.

For end users of wooden applications, it is very important to predict the service life of wood. Different approaches for service life prediction have been developed, including the factor method (ISO 15686-1 2000). This calculates the estimated service life (ESL) by multiplying a reference service life (RSL) by different modifying factors. This method and recent results reflect the importance of moisture dynamics in evaluating the overall performance of naturally durable wood species and modified wood in outdoor applications. The importance of moisture dynamics in wood performance scenarios has influenced the development of new the European standard EN 350 (2017).

The majority of Slovenian wood species do not have durable wood. Due to increased environmental awareness, users are avoiding treated wood and wood from tropical forests. In order to increase the consumption of domestic wood species, we have to understand the overall performance of wood better. As such, a study of the most important Slovenian hardwood species was performed, as prescribed by Meyer-Veltrup et al.. Durability against wood decay fungi and wetting was determined using standard

laboratory tests. These data were then used for calculation of the respective factors needed for calculation of the predicted service life. The results from the laboratory tests were compared to the data from field testing. The outcome clearly showed that if proper tests in the laboratory are carried out, then they have high predictive value.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENT

Izvedbo raziskave je omogočilo več medsebojno povezanih projektov, ki jih je sofinancirala Agencija za raziskovalno dejavnost RS: V4-1419 – Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini, L4-5517 - Preprečevanje vlaženja lesa, kot merilo učinkovitosti zaščite lesa pred glivami razkrojevalkami, L4-7547 - Obnašanje lesa in lignoceluloznih kompozitov v zunanjih pogojih, P4-0015 – Programska skupina les in lignocelulozni kompoziti, 0481-09 Infrastrukturni center za pripravo, staranje in terensko testiranje lesa ter lignoceluloznih materialov (IC LES PST). Del raziskav je potekal tudi v okviru projektov Razvoj verig vrednosti v okviru razpisov Strategije pametne specializacije; TIGR4smart.

LITERATURA

REFERENCES

- Brischke, C., Alfredsen, G., Flæte, P. O., Humar, M., Isaksson, T., & Meyer, L. (2015). The combined effect of wetting ability and durability on field performance – verification of a new prediction approach. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP, 15-20565.
- Brischke, C., Bayerbach, R., & Rapp, A. O. (2006). Decay-influencing factors: A basis for service life prediction of wood and wood-based products. *Wood Material Science and Engineering*, 1(3-4): 91–107.
- Brischke, C., Meyer, L., Hesse, C., Van Acker, J., De Windt, I., Van Den Bulcke, J., Conti, E., Humar, M., Viitanen, H., Kutnik, M., & Malassenet, L. (2014). Moisture dynamics of wood and wood-based products: results from an inter-laboratory test. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 14-20539.
- Brischke, C., & Thelandersson, S. (2014) Modelling the outdoor performance of wood products - A review on existing approaches. *Construction and Building Materials*, 66, 384–397.
- EN 113 (2006). Wood preservatives - Test method for determining the protective effectiveness against wood-destroying basidiomycetes. Determination of toxic values. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.

- EN 1609 (1997). Toplotnoizolacijski proizvodi za uporabo v gradbeništvu - Določanje vpojnosti vode z metodo delne kratkotrajne potopitve.
- EN 252 (2012). Field test method for determining protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- EN 335-1 (2013). Classification of hazard classes. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- EN 350 (2017). Durability of wood and wood-based products - Testing and classification of the resistance to biological agents, the permeability to water and the performance of wood and wood-based materials. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- ENV 1250-2 (1994). Wood preservatives; Methods of measuring losses of active ingredients and other preservative ingredients from treated timber. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- ENV 807 (2004). Wood preservatives - Determination of the effectiveness against soft rotting micro-fungi and other soil inhabiting micro-organisms. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- International Standardization Organization (2000). ISO 15686-1. Building and constructed assets-Service life planning- Part 1: General principles and framework.
- Isaksson, T., Brischke, C., & Thelandersson, S. (2013). Development of decay performance models for outdoor timber structures. *Materials and Structures*, 46, 1209-1225.
- Meyer-Veltrup, L., Brischke, C., Alfredsen, G., Humar, M., Flæte, P. O., Isaksson, T., Larsson Brelid, P., & Jermer, J. (2017). The combined effect of wetting ability and durability on field performance – verification of a new prediction approach. *Wood Science and Technology*, 51, 615–637.
- Rapp, A.O., Augusta, U. (2004). The full guideline for the “double layer test method” - A field test method for determining the durability of wood out of ground. The International Research Group on Wood Protection IRG/WP/04-20290.
- Wikipedia. (2017) Building information modelling. https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling (11.6.2017).

**DODANA VREDNOST V IZDELKIH V GOZDNO-LESNI VERIGI - PRIMER:
PRIMARNA PREDELAVA BUKOVINE****ADDED VALUE OF PRODUCTS IN THE FOREST WOOD SUPPLY CHAIN - CASE:
PRIMARY BEECHWOOD PROCESSING**Jože Kropivšek^{1*}, Dominika Gornik Bučar¹

UDK 630*83

Izvleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Izvleček: Potencial lesne surovine je v slovenski gozdno-lesni verigi pogosto neizkoriščen. S ciljem gospodarnejšega ravnanja z lesno surovino ob zagotavljanju posrednih učinkov na širše gospodarsko okolje je potrebno zagotoviti: (1) učinkovito delovanje celotne gozdno-lesne verige, ki zagotavlja proizvodnjo izdelkov z visoko dodano vrednostjo in (2) polno izkoriščanje potenciala lesne surovine glede na njeno kakovost. V članku smo preučili dodano vrednost v izdelkih, identificirali ključne izzive pri njenem vrednotenju ter njeno povezavo z drugimi ekonomskimi kazalniki, ki vplivajo na poslovne odločitve podjetij. Skupine izdelkov iz bukovine smo razvrstili glede na višino dodane vrednosti v izdelku in s tem pokazali na potenciala te surovine tudi z vidika vpliva na družbo in njen gospodarski razvoj. S tem smo potrdili pomen razvoja in delovanja celotne gozdno-lesne verige ter pomen državne gospodarske politike pri njenem delovanju. Podrobneje smo preučili stanje primarne predelave lesa kot pomembnega člana gozdno-lesne verige v Sloveniji ter identificirali nekatere vzroke za njeno neučinkovitost. Ocenili smo razpoložljivost surovine po kakovosti in namenu uporabe ter dodano vrednost na m³ bukovine, s čimer smo poskušali pokazati na smiselnost investicij v najnovejšo tehnologijo za razžaganje listavcev in proizvodnjo furnirja.

Ključne besede: dodana vrednost, gozdno-lesna veriga, primarna predelava lesa, bukovina

Abstract: The potential of wood raw material in the Slovenian forest wood supply chain is often insufficiently exploited. The promotion of its more rational use, while having indirect effects on the wider economic environment, is necessary to: (1) ensure the effective functioning of the entire forest wood supply chain, providing products with high added value; and (2) fully exploit the potential of wood raw material in terms of quality. In the article we examined added value of beechwood products, identified key challenges in this evaluation, and the relationships with other economic indicators that affect business decisions. Beechwood products were classified according to the amount of value added, and thereby the potential of beechwood raw materials was demonstrated in terms of both the impact on society and economic development. We thus confirmed the importance of the development and operation of the entire forest wood supply chain, and the importance of government economic policy in its functioning. More specifically, the state of primary wood processing as an important part of forest wood supply chain in Slovenia was examined, and some reasons for its ineffectiveness were identified. The availability of raw materials based on quality and purpose of use, and the value added per cubic meter of beechwood, were assessed in order to prove the reasonableness of investments in the newest technologies for hardwood processing and veneer production.

Keywords: added value, forest wood supply chain, primary wood processing, beechwood

1 UVOD**1 INTRODUCTION**

Iz bukovine je v celotni gozdno-lesni verigi mogoče izdelati več sto izdelkov (Kropivšek & Čufar, 2015), a je odločitev o tem, katere izdelke proizvajati, zelo zahtevna, pa vendarle za gospodarno rav-

nanje s to surovino ključna. Pri tem je zelo pomemben tudi izračun konkretnih ekonomskih kazalnikov, med katerimi je dodana vrednost v izdelku med najpomembnejšimi. Poleg kazalnikov dodane vrednosti je pri odločanju, katere izdelke proizvajati, nujno potrebno upoštevati tudi druge posredne učinke na gospodarstvo, ki se kažejo v izkoriščanju celotnega potenciala lesne predelave, ter inovacijski potencial lesne panoge.

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

* e-pošta: joze.kropivsek@bf.uni-lj.si; telefon: 01-320-3624

S ciljem gospodarnejšega ravnanja z lesno surovino ob zagotavljanju posrednih učinkov na širše gospodarsko okolje je treba zagotoviti: (1) učinkovito delovanje celotne gozdno-lesne verige, ki zagotavlja proizvodnjo izdelkov z visoko dodano vrednostjo in (2) upoštevanje mejne kakovosti lesne surovine, pri kateri poskušamo zagotavljati polno izkoriščanje njenega potenciala glede na kakovost. Zavedanje, da gozdno-lesna veriga (še) ne deluje zadostno in da je njeno delovanje ključnega pomena za uspešno delovanje celotne panoge, so v zadnjem času pripeljali do vzpostavljanja gozdno-lesne verige na različnih nivojih od lokalnih (Šubic, 2017) do aktivnosti na nivoju države s sprejetjem akcijskega načrta za povečanje konkurenčnosti gozdno-lesne verige v Sloveniji do leta 2020, ki ga je sprejela Vlada RS. Razlogov za nedelovanje te verige v prispevku ne bomo navajali, saj so bili nekateri predstavljeni drugje (Selišnik, 2014; Zavrl Bogataj, 2012; Humar et al., 2012), očitno pa je, da je (naj)šibkejši člen verige primarna predelava lesa. To je hkrati tudi ključni razlog, da potenciala lesne surovine ne izkoriščamo dovolj in/ali ustrezno, oz. da je dodana vrednost glede na kakovost surovine (pre)majhna. Koncept mejne kakovosti vhodne surovine (angl: marginal log), kjer namen uporabe hlodovine določa njena kakovost (Ringe & Hoover, 1987), omogoča, da razpoložljivo hlodovino maksimalno izkoristimo za proizvodnjo izdelkov z visoko dodano vrednostjo, kot tudi maksimalno izkoriščanje lesnih ostankov v celotni verigi glede na njihov potencial. To razmišljanje je zelo podobno konceptu krožnega gospodarstva (Circular Economy, 2017), kjer je poudarek na ponovni uporabi, popravilih in recikliranju obstoječih materialov in izdelkov. Med drugim znižuje porabo surovin ter preko skrbne zasnove izdelkov nastajanje odpadkov znižuje proti ničelni stopnji. Koncept izhaja iz naravnih sistemov, kjer vsaka komponenta optimalno dopolnjuje celoto. Izdelki v krožnem gospodarstvu so skrbno zasnovani tako, da omogočajo kroženje materialov in ohranjajo dodano vrednost kolikor dolgo je to le mogoče. Znotraj gospodarstva ostajajo tudi potem, ko material ali izdelek doseže konec svoje življenjske dobe.

Za delovanje koncepta mejne kakovosti surovine v celotni življenjski dobi mora v prvi vrsti delovati celotna gozdno-lesna veriga. Kot že omenjeno, je eden izmed pomembnejših ekonomskih kazalnikov delovanja gozdno-lesne verige in upoštevanja

koncepta mejne kakovosti surovine dodana vrednost v izdelkih (Kropivšek & Čufar, 2015). Dodana vrednost v izdelku je opredeljena kot razlika med proizvodnjo v osnovnih cenah in vmesno potrošnjo v kupčevih cenah. Je razlika med (tržno) vrednostjo proizvedenih izdelkov/storitev in vrednostjo vseh (materialnih) proizvodnih virov, ki so bili porabljeni v proizvodnem procesu (Sathre & Gustavsson, 2009). Izdelke z visoko dodano vrednostjo lahko zagotavljamo na različne načine. Med njimi sta med pomembnejšimi zagotovo delovanje vseh členov verige od gozda do končnega izdelka in iskanje inovativnih rab surovine. V tem prispevku se bomo posvetili predvsem prvemu. Predpostavljamo, da se največ dodane vrednosti izgublja v prekinjenosti gozdno-lesne verige, predvsem pa v neučinkovitem delovanju primarne predelave lesa. V tej proizvodnji nastajajo številni polproizvodi (npr. furnir, žagan les ipd.), ki so osnova za številne izdelke z visoko dodano vrednostjo, kar močno zvišuje njihov potencial visoke dodane vrednosti, poleg tega pa predstavljajo pomemben člen v gozdno-lesni verigi, zagotavljajo številne zaposlitve in krepijo zavest o potencialih lesne surovine v gozdu, kar v končni fazi močno vpliva na gospodarjenje z gozdnimi sortimenti med lastniki gozdov. Pojavljajo se tudi številni sinergijski učinki v gospodarstvu nasploh (npr. izraba lesnih ostankov v namene proizvodnje izdelkov z visoko dodano vrednostjo), kar sedaj ob omejenem delovanju primarne predelave lesa izgubljam. Pri tem se pojavljajo številni izzivi, ki so pogosto pogojeni s povsem tehnološkimi osnovami in potrebnimi investicijami, razmerjem dodane vrednosti z ostalimi ekonomskimi kazalniki in predvsem prepoznavanju lesne panoge kot strateško zanimive za delovanje celotnega gospodarstva s strani postavljalcev gospodarske politike (Humar et al., 2012).

V članku bomo preučili dodano vrednost v izdelkih, identificirali ključne izzive pri njenem vrednotenju ter njeno povezavo z drugimi ekonomskimi kazalniki, ki vplivajo na poslovne odločitve podjetij. Izdelke iz bukovine bomo razvrstili glede na višino dodane vrednosti v izdelku in s tem pokazali na potencialne te surovine tudi z vidika vpliva na družbo in njen gospodarski razvoj. Podrobneje bomo preučili stanje primarne predelave lesa kot pomembnega člena gozdno-lesne verige ter preverili vzroke za njeno neučinkovitost. Ocenili bomo razpoložljivost surovine po kakovosti in namenu uporabe (mejni ka-

kovosti) ter ocenili dodano vrednost na m³ bukovine, s čimer bomo poskušali pokazati na smiselnost investicij v najnovejšo tehnologijo za razžagovanje listavcev in proizvodnjo furnirja.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

Dodana vrednost v izdelku predstavlja razliko med (tržno) vrednostjo proizvedenih izdelkov/storitev in vrednostjo vseh (materialnih) proizvodnih virov, ki so bili porabljeni v proizvodnem procesu (Sathre & Gustavsson, 2009; Chernatony, Harris & Dall'Olmo Riley, 2000). Dodano vrednost v izdelkih (DV) izračunamo po naslednjem izrazu (Lantz, 2005) (Izraz 1):

$$DV = [\text{vrednost izdelkov/storitev}] - [\text{stroški porabljenih materialov}] - [\text{stroški porabljene energije}] \quad (1)$$

Za vrednotenje izbranih izdelkov iz bukovine smo izračunali še kazalnik dobička iz poslovanja po naslednjem izrazu (Izraz 2):

$$\text{Dobiček iz poslovanja} = [\text{prihodki iz poslovanja}] - [\text{odhodki iz poslovanja}] \quad (2)$$

Identifikacijo težav pri vrednotenju dodane vrednosti v izdelku smo opravljali na podrobni analizi treh pilotnih primerov gozdno-lesne verige v Sloveniji. Analizo smo izvajali v letih 2015-2017.

Pri finančni analizi panoge C 16.100 smo ocenjevali še nekatere finančne kazalnike, na osnovi katerih je bila opravljena primerjalna analiza glede na panogo C 16 v celoti ter njihova horizontalna analiza v časovni vrsti (Izrazi od 3 do 6) (Slapničar, 2004; Peršak, 2011; Rebernik, 2008; Hornby et al., 1997):

- Delež dobička v prihodkih (ROS) = [dobiček] / [celotni prihodki] (3)

- Bruto dodana vrednosti (BDV) = [kosmati donos od poslovanja] - [stroški blaga, materiala in storitev] - [drugi poslovni odhodki] (4)

- Delež dodane vrednosti v prihodkih = [bruto dodana vrednosti (BDV)] / [celotni prihodki] (5)

- Dodana vrednost na zaposlenega = [bruto dodana vrednosti (BDV)] / [št. zaposlenih] (6)

Pri določanju optimalne izrabe kakovosti razpoložljive hlodovine smo izhajali iz koncepta mejne kakovosti vhodne surovine. Ta koncept predvideva uporabo hlodovine glede na njeno kakovost (in vrednost), torej da kakovostnejšo hlodovino uporabimo samo za proizvodnjo izdelkov z visoko dodano vrednostjo (Ringe & Hoover, 1987). Pri konceptu krožnega gospodarstva pa so izdelki zasnovani tako, da omogočajo kroženje materialov in ohranjajo dodano vrednost kolikor dolgo je to le mogoče, pri čemer določen izdelek po odsluženju ponovno uporabimo za proizvodnjo novega, drugačnega izdelka, kjer zopet omogočimo nastanek nove dodane vrednosti (Circular Economy, 2017).

3 REZULTATI

3 RESULTS

3.1 DODANA VREDNOST V IZDELKIH IN IZZIVI PRI NJENEM VREDNOTENJU

3.1 ADDED VALUE OF PRODUCTS AND ISSUES IN ITS EVALUATION

V članku (Kropivšek & Čufar, 2015) je bilo poudarjeno, da je sama dodana vrednost absolutna vrednost, ki je med različnimi izdelki ni mogoče primerjati. Temeljni kazalnik dodane vrednosti v izdelkih zato šele v povezavi z drugimi (izvedenimi) kazalniki daje dovolj informacij za odločanje o prednostnih izdelkih za proizvodnjo. Dejstvo je namreč, da je v različnih izdelkih različen delež lesa v strukturi uporabljenih materialov (tako vrednostno kot količinsko) in da so za njihovo proizvodnjo potrebni različni tehnološki postopki in zahteve. Zato so k temeljnemu kazalniku dodane vrednosti v izdelku bili dodani še izračun dodane vrednosti glede na količino vgrajenega lesa v izdelku, dodane vrednosti glede na vrednostni delež vgrajenega lesa v izdelku in delež dodane vrednosti v prodajni ceni izdelka. Slednji (delež dodane vrednosti v prodajni ceni izdelka) je v primerjalnih analizah najpomembnejši, saj vsebuje informacije o deležu prodajne cene za pokrivanje stroškov dela, kapitala in drugih posrednih stroškov ter dobička, ki so ključne za številne poslovne odločitve.

Pri nadaljnjem razvoju tega modela smo preučevali predvsem poslovno vrednost informacij o dodani vrednosti. Med razvijanjem modela vrednotenja dodane vrednosti v izdelku na osnovi pilotnih

projektov v treh slovenskih lesnih podjetjih smo identificirali naslednje težave/izzive, ki jih je treba dosledno upoštevati pri interpretaciji rezultatov:

- različnost uporabljenih standardov in pravil določanja kakovosti v celotni verigi med državami, kot tudi znotraj države, ki med sabo pogosto niso neposredno primerljivi (Marenče & Šega 2015; Marenče et. Al., 2016). Ker je vrednotenje kakovosti tesno povezano s ceno oz. vrednostjo na strani vhodnih materialov in na strani izdelkov, odstopanja neposredno vplivajo na izračunano dodano vrednost v izdelku, ki je zaradi teh anomalij pogosto zavajajoča.
- velik vpliv pogajanj na cene in odvisnost od trenutnih razmer na trgu (ravnovesne cene tako na trgu inputov kot na trgu outputov), s čimer neposredno vplivamo na rezultate izračunov dodane vrednosti,
- različnost metodologij ugotavljanja in izračunavanja stroškov med podjetji,
- oteženo vrednotenje stranskih proizvodov ter ostankov (ki so pogosto uporabljeni v energetske namene, za lastno ogrevanje), saj podjetja pogosto ne ocenjujejo njihovih tržnih vrednosti,
- zastarelost tehnološke opremljenosti, ki se kaže predvsem v nizkih stroških amortizacije (iBON, 2017), kar ob nizki dodani vrednosti na izdelek

vseeno omogoča podjetjem (relativno) uspešno poslovanje, nima pa razvojnih potencialov,

- državne gospodarske politike imajo pomemben vpliv na določeno področje (npr. subvencije za investicije v kotle na biomaso so povzročile, da je naraslo povpraševanje po sekancih in peletih, kar je spodbudilo to proizvodnjo, ki pa dolgoročno ne zagotavlja visokih dodanih vrednosti, predvsem pa ne spodbuja proizvodnje izdelkov z visoko dodano vrednostjo, še manj pa krožnega gospodarstva in koncepta mejne kakovosti)
- nedosegljivost in zaupnost (poslovna skrivnost podjetij) nekaterih podatkov, potrebnih za izračun dodane vrednosti.

3.2 ANALIZA DODANE VREDNOSTI V IZDELKIH IZ BUKOVINE

3.2 VALUE ADDED ANALYSIS OF BEECHWOOD PRODUCTS

Če strnemo ugotovitve pri vrednotenju dodane vrednosti v izdelku, lahko trdimo, da natančno vrednotenje dodane vrednosti v konkretnih izdelkih ni smiselno zaradi preveč dejavnikov, ki vplivajo na izračune. Zato smo na podlagi predlaganih skupin za razvrščanje izdelkov iz bukovine (glej: Kropivšek & Čufar, 2015) izdelali razvrstitev izdelkov glede na višino dodane vrednosti v izdelkih (po kriteriju: vloženo delo oz. kapital), ki je prikazana v preglednici 1.

Preglednica 1. Razvrstitev bukovih proizvodov glede na višino dodane vrednost v izdelku

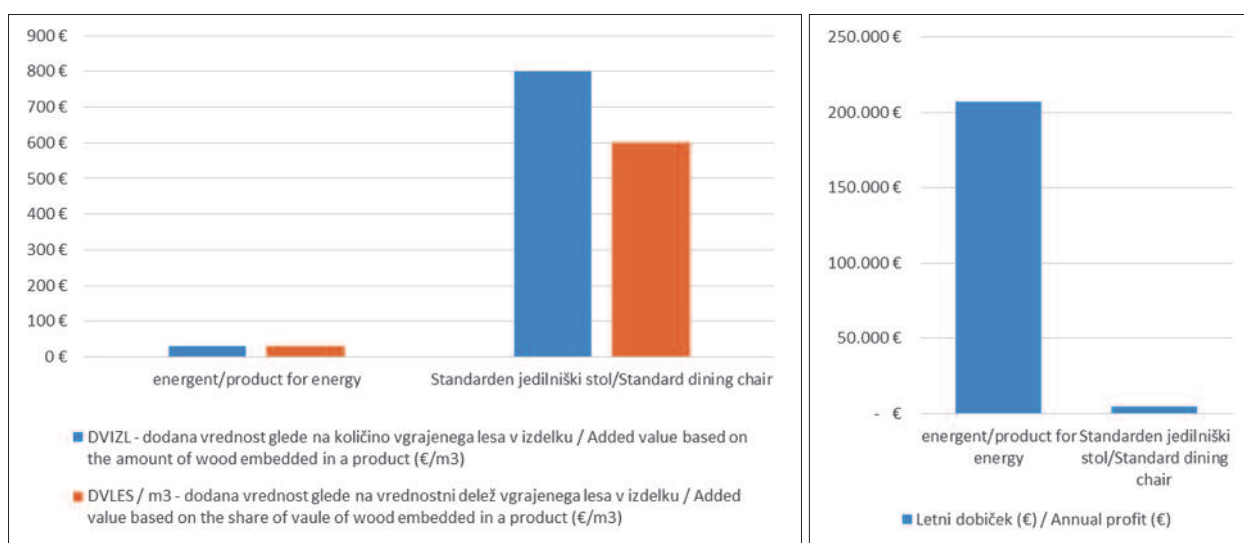
Table 1. Classification of beechwood products according to the amount of value added

dodana vrednost / added value	skupina / group	cilj / goal		primeri izdelkov / examples of products
nizka	1. izdelki primarne proizvodnje	1.1	za trg	energenti (sekanci, peleti, drva)
		1.2	za nadaljnjo predelavo	žagan les, furnir, celuloza, pomožni materiali (moznički, lamele) ipd.
srednje visoka	2. izdelki enostavne, serijske proizvodnje	2.1	za trg	lesni kompoziti, furnir, parket, železniški pragovi, konstrukcijski lepljen les, palete, obloge, lesna galanterija ipd.
		2.2	za nadaljnjo predelavo	lesni kompoziti, furnir, papir, sušen žagan les, krivljeni polizdelki, impregniran les, izdelki kemijske industrije, uporaba v prehrani ipd.
visoka	3. izdelki kompleksne proizvodnje	3	za trg	stopnice, pohištvo, lesna galanterija, športno orodje, kolarski izdelki, igrače, šolske potrebščine, orodja in merila, glasbila, umetniški izdelki, konstrukcije, izdelki kemijske industrije, uporaba v prehrani
potencialno ekstremno visoka	4. izdelki inovativne proizvodnje	4	za trg in nadaljnjo predelavo	modificiran les, LVL, nanofibrilirana celuloza iz ostankov, napredni izdelki kemijske industrije, napredna uporaba v prehrani ipd.

Na osnovi preglednice 1 lahko ugotovimo, da je dodana vrednost v kompleksnejših končnih izdelkih lahko zelo visoka, in praviloma precej višja kot v enostavnejših izdelkih. Visoka dodana vrednost v kompleksnih izdelkih (npr. lesen stol) je običajno rezultat velike količine vloženega dela in znanja (ter bolj ali manj zahtevne tehnologije oz. veliko vloženega kapitala). Pri temeljitejšem izračunavanju določenih kazalnikov dodane vrednosti smo dokazali to veliko razliko (na sliki 1 so prikazani rezultati za primer izdelka iz skupin 1.1 in 3), pri čemer smo ugotovili tudi, da visoka dodana vrednost v izdelku podjetjem še ne zagotavlja tudi (kratkoročnega) dobička iz poslovanja. Vzrokov za to je več in jih med raziskavo nismo posebej preučevali, posledica pa je, da izdelkov iz skupine 3 podjetja ne proizvajajo, oz. so obseg njihove proizvodnje močno zmanjšali. To se tudi vidi v upadanju števila podjetij in zaposlenih v njih v dejavnosti C 31 oz. v njihovi (padajoči) poslovni uspešnosti (Likar & Valentinčič, 2016).

Eden izmed vzrokov, da proizvodnja določenih končnih izdelkov kljub visoki dodani vrednosti na vrednost porabljene surovine ni poslovno zanimiva, je tudi v neučinkovitem delovanju gozdno-lesne verige, kar se kaže v pomanjkanju proizvodov iz skupin 1.2 in 2.2 (preglednica 1), ki sicer primarno ne pomenijo zelo visoke dodane vrednosti v izdelku, predstavljajo pa zelo visok potencial dodane vrednosti za izdelke v nadaljnji predelavi in s tem pomemben člen v delovanju celotne gozdno-lesne verige. V

okviru tega je potrebno poudariti, da vse verige niso enako zanimive, zato je potrebno najti tiste, ki lahko zagotovijo najvišjo skupno dodano vrednost in jih je zaradi multiplikativnega učinka smiselno posebej skrbno načrtovati in spodbujati. Posebej pomembni pri tem so izdelki primerne in enostavne serijske proizvodnje za nadaljnjo predelavo, saj se v njih skriva najvišja potencialna dodana vrednost (preglednica 1, skupini 1.2 in 2.2), ki se kaže v multiplikativnih učinkih na nadaljnjo predelavo, kjer lahko proizvajamo izdelke z (zelo) visoko dodano vrednostjo. Po drugi strani pa ti izdelki povezujejo surovinski vir (gozd) s proizvajalci končnih izdelkov, pri čemer veliko lažje zagotovimo udeležanje koncepta mejne kakovosti vhodne surovine in celovitejšo izrabo vseh lesnih ostankov v predelavo v izdelke zelo visoke dodane vrednosti (preglednica 1, skupina 4). S tem zagotovimo optimalno izrabo kakovostne surovine za izdelke z najvišjo možno dodano vrednostjo (npr. lesa kakovosti A ne uporabljamo za energente). Ob neučinkovitem delovanju verige se pogosto dogaja, da se določena surovina zaradi neorganiziranega trga surovin in neučinkovitega delovanja predvsem primarne predelave lesa uporabi za druge namene, ki ne izkoriščajo njenega polnega potenciala (tudi dodane vrednosti). Pri tem velja omeniti tudi uporabo ostankov vseh vrst samo za energente (kotlovnice v podjetjih), pri čemer spet ne izkoriščamo vsega potenciala za izdelke res visoke dodane vrednosti. Pogosto tako zasledimo, da se



Slika 1. Dodana vrednost v dveh izbranih izdelkih in dosežen letni dobiček ob njihovi proizvodnji
Figure 1. Value added of two selected products and estimated annual profit from their production

hlodovina višje kakovosti uporabi za proizvodnjo kakovostno manj zahtevnih izdelkov ali celo energentov (npr. drv), ker imajo ti proizvodi glede na druge dovolj visoko dodano vrednost ali pa so zaradi logističnih težav in z njimi povezanimi stroški celotni stroški previsoki, zato v določeni situaciji pomenijo za lastnika gozdov/hlodovine najbolj ekonomično odločitev. To pa ni tudi optimalna rešitev s stališča izrabe surovine glede na njene potenciale.

Menimo, da z neučinkovitim delovanjem tega dela verige panoga izgublja ogromen potencial, tudi z vidika zaposlovanja in razvoja področja z novimi, specifičnimi znanji ter vlaganj v raziskave in razvoj ter tehnoloških investicij kot ostalih posrednih učinkov krožnega gospodarjenja na širšo družbo.

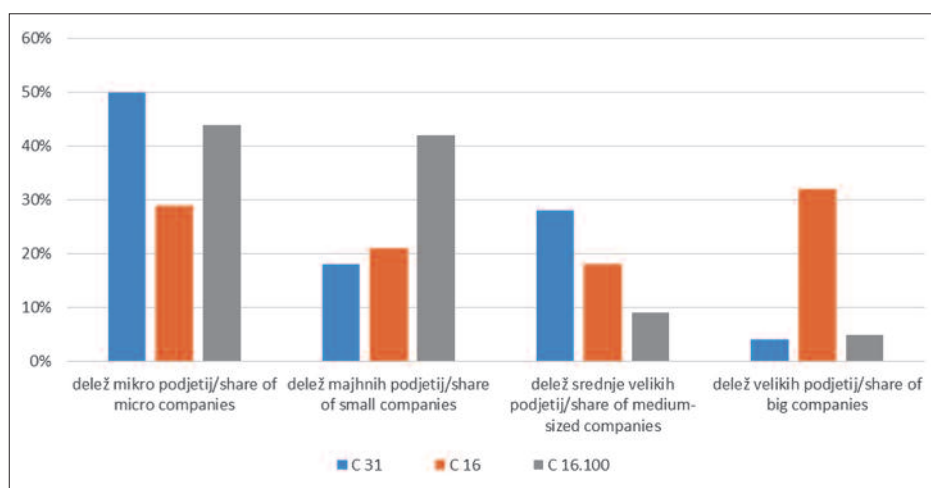
3.3 PRIMER: GOZDNO-LESNA VERIGA IN PRIMARNA PREDELAVA BUKOVINE

3.3 CASE: FOREST WOOD SUPPLY CHAIN AND PRIMARY BEECHWOOD PROCESSING

Čeprav sedaj ugotavljamo, da je gozdno-lesna veriga v Sloveniji slabo delujoča predvsem pri primarni proizvodnji (žagan les, furnir in lesni kompoziti), pa je le-ta v preteklosti bila zelo močna, saj je praviloma vsako večje lesnopredelovalno podjetje imelo lasten žagarski obrat. Poleg tega so bile pred slabimi petindvajsetimi leti delujoče štiri tovarne ivernih plošč, tovarna vlaknenih plošč in tovarna celuloze in papirja (Devjak et al., 1993), ki so bili glavni porabniki manjvrednega lesa in lesnih ostankov. Primarna proizvodnja je z osamosvojitvijo Slovenije

doživela velike spremembe; te so se še posebej pokazale v žagarski industriji, ki je izgubila velik del tradicionalnega (in relativno nezahtevnega) jugoslovanskega tržišča. Večji žagarski obrati so večinoma prenehali s proizvodnjo, pojavljali pa so se številni novi z nizkimi kapacitetami in praviloma z rabljeno ali zastarelo tehnološko opremo (Merzelj, 1999).

Z nedostopnostjo in nenatančnostjo podatkov o številu primarnih žagarskih obratov in obsegu poslovanja se ukvarjamo bolj ali manj uspešno že vrsto let (Merzelj, 1999; Perme, 2009; Prislan et al., 2014). Eden od pomembnih razlogov za pomanjkanje ažurnih podatkov je nedvomno razpršenost dejavnosti med industrijsko, obrtniško in dopolnilno dejavnostjo. Tako je leta 2008 dejavnost žaganje, skobljanje in impregniranje lesa, ki sodi pod oznako C 16.100, imelo registrirano 674 podjetij (Perme, 2009), leta 2017 pa 726 (iBON, 2017). Na osnovi poslovnih podatkov iz leta 2016 (iBON, 2017) lahko ugotovimo tudi, da od teh 726 podjetij manj kot polovica (47 %) posluje z dobičkom. Ta podjetja zaposlujejo 1.466 ljudi in ustvarjajo več kot 53 mio € dodane vrednosti v nekaj več kot 240 mio € prihodkih, kar predstavlja 22-odstotni delež dodane vrednosti v prihodkih, pri čemer podjetja ustvarijo nekaj več kot 14 mio € dobička (delež dobička v prihodkih (ROS) je slabih 5,8 %). V strukturi celotne panoge C 16 ta podjetja predstavljajo več kot tretjino (36 %) podjetij, a zaposlujejo samo petino (20 %) ljudi. To pomeni, da prevladujejo mikro in majhna podjetja (skupaj 86 %) (slika 2). Ta podjetja ustvarijo 27 % pri-



Slika 2. Deleži podjetij po velikosti znotraj dejavnosti

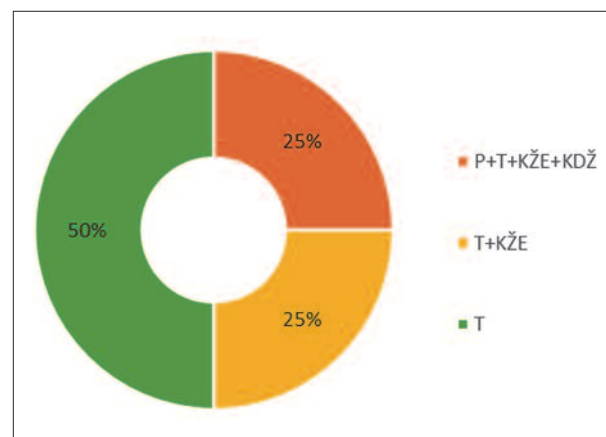
Figure 2. Shares of companies by size and sector

hodkov v panogi C 16 in ravno toliko dobička. Nekaj manj ustvarijo dodane vrednosti (22 %). V celotni panogi C 16 podjetja ustvarijo dobrih 27 % dodane vrednosti v prihodkih, v panogi C 16.100 samo dobrih 22 %. Podobne razlike lahko ugotovimo tudi v deležu podjetij z dobičkom (v C 16 je takih podjetij 56 %, v C 16.100 pa samo 47 %).

Zaključimo lahko, da v dejavnosti C 16.100 prevladujejo manjša podjetja, katerih dodana vrednost na zaposlenega je zelo visoka (dobrih 36.600 €), vendar pa samo manj kot polovico teh podjetij ustvarja tudi dobiček.

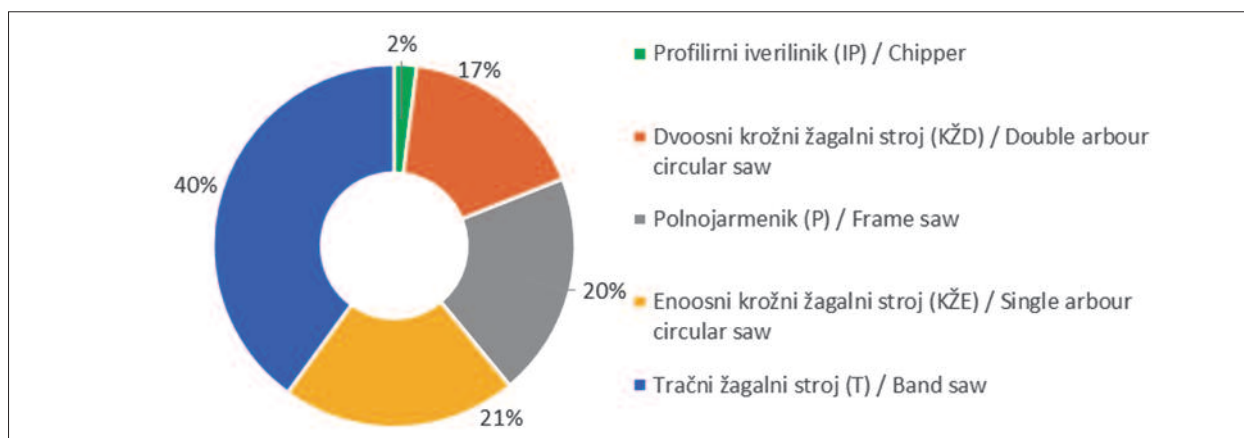
Stanje primarne industrije je posledica tako trenutnih razmer, kakor tudi razmer v preteklem obdobju. Nezanosljivost oskrbe s surovino, nesistematičnost posodabljanja tehnologije, neučinkovitost in nekonkurenčnost pri iskanju novih trgov in novih proizvodov (Gornik Bučar, 2014), kot tudi nepovezanost na horizontalnem nivoju, torej nepovezanost med žagarskimi obrati, so dejavniki, ki imajo nedvomno vpliv na to dejavnost. Tako ugotavljamo, da se je po statističnih kazalnikih proizvodnja žagane lesa v Sloveniji glede na leto 2007 znižala za okoli 40 % (Prislan & Gornik Bučar, 2014). Zaradi majhnega obsega proizvodnje posamezni proizvajalci težko pridobivajo in izpolnjujejo večja ali zahtevnejša naročila, ki bi jih v primeru povezovanja večjega števila obratov lahko izpolnili in bili tako konkurenčnejši. V primeru povezovanja bi se posamezni obrati lahko tudi specializirali, kar pomeni tudi učinkovitejšo proizvodnjo, zniževanje stroškov proizvodnje in možnost pojavljanja na specializiranih in nišnih trgih.

Kljub vsemu pa je v zadnjih letih opazen pozitiven premik pri investiranju in posodabljanju tehnologije. Ugotavljamo, da se je močno povečala vloga tračnih žagalnih strojev (sliki 3 in 4), ki so kot osnovni stroji najprimernejši za razžaganje listavcev. Obratov, ki razžagujejo samo s polnojarmenikom, je vse manj; razžagujejo predvsem za lokalni trg oz. za lastno nadaljnjo proizvodnjo. Na slovenskih žagarskih obratih se vse več uporabljajo tračni žagalni stroji v kombinaciji s krožnimi žagalnimi stroji; to zagotovo pomeni prednost, saj so lahko obrati tako bolj fleksibilni in se z ustrezno tehnološko opremljenostjo hitreje prilagodijo značilnosti surovine, kar jim omogoča, da lahko proizvajajo širšo paleto proizvodov.



Slika 4. Tehnološka opremljenost slovenskih žagarskih obratov, ki razžagujejo pretežno listavce (povzeto po Prislan et al., 2014)

Figure 4. Slovenian hardwood sawmills' facility equipment (adapted from Prislan et al., 2014)



Slika 3. Tehnološka opremljenost slovenskih žagarskih obratov (povzeto po Prislan et al., 2014)

Figure 3. Slovenian sawmills' facility equipment (adapted from Prislan et al., 2014)

Slovenski žagarski obrati tradicionalno niso specializirani za razžagovanje samo določenih drevesnih vrst temveč večinoma razžagujejo tako iglavce kot tudi listavce. Obratov, ki so specializirani za razžagovanje samo določene drevesne vrste, je v Sloveniji relativno malo in večinoma razžagujejo surovino za svojo nadaljnjo uporabo (npr. izdelavo decimiranih elementov, železniških pragov ipd.) ali pa za znanega kupca. Po podatkih iz leta 2014 (Prislan et al., 2014) samo okrog 10 % žagarskih obratov razžaguje pretežno listavce.

Letni možni posek lesa v slovenskih gozdovih ob upoštevanju v letu 2015 izdelanih gozdnogospodarskih načrtov (Poročilo Zavoda ..., 2016) se je v zadnjem letu povečal za 2,4 % in za leto 2016 znaša 6.332.388 m³, od tega listavci s 3.453.383 m³ predstavljajo 54 % delež. Če predpostavimo, da je v bruto količini lesa delež hlodovine 58 % (Marenče et al., 2016), potem je razpoložljivi potencial 2.002.962 m³ hlodovine listavcev. Ob predpostavki, da je zastopnost drevesnih vrst enaka kot je drevesna sestava gozdov na podlagi lesne zaloge, je potencialno razpoložljive hlodovine bukovine 59 %, kar pomeni 1.184.902 m³.

Na osnovi rezultatov raziskave »Bukovina – povezave med kakovostjo dreves, hlodovine in žaganega lesa« (Marenče et al., 2016) lahko ocenimo, da je največji delež razpoložljive hlodovine B kakovostnega razreda (51 %), medtem ko sta deleža hlodovine kakovostnega razreda C (povprečna hlodovina) in D (slaba hlodovina) sorazmerno enakovredna (17 % oz. 19 %), najkakovostnejše hlodovine A razreda, ki je primerna za izdelavo plemenitega in konstrukcijskega furnirja, pa je 13 %, kar v danem primeru pomeni 154.037 m³. Naj poudarimo, da tu govorimo o razpoložljivih količinah, medtem ko je bilo dejansko v letu 2015 po podatkih SURS-a proizvedeno 320.000 m³ bukovine hlodovine (SURS, 2017).

Pri tem je potrebno strmeti za celostno izrabo vse razpoložljive surovine, torej tudi ostankov, katerih delež se od bruto volumna drevesa do osnovnega proizvoda primarne industrije - žaganega lesa giblje med 53 in 75 %, ki ima poleg tradicionalne uporabe kot energent v obliki drv ali sekancev še različne možne potencialne uporabe (Zule et al., 2017) in predstavlja zelo visok potencial dodane vrednosti (preglednica 1).

4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

V okviru razvoja modela vrednotenja dodane vrednosti v bukovih izdelkih smo predlagali razširitev modela s kazalniki, ki omogočajo uporabnejše informacije za poslovne odločitve znotraj podjetij in tudi panoge. Ugotovili smo tudi številne izzive, s katerimi se srečujemo pri natančnejšem vrednotenju dodane vrednosti in predlagali kategorizacijo bukovih proizvodov/polproizvodov glede na dodano vrednost v izdelku. Na osnovi koncepta mejne kakovosti in potenciala določenih skupin proizvodov (predvsem proizvodov primarne predelave lesa) glede ustvarjanja dodane vrednosti smo potrdili pomen delovanja in razvoja celotne gozdno-lesne verige ter nakazali pomen državne gospodarske politike pri njenem razvoju.

Ugotovimo lahko, da je zaradi tehnoloških in tehničnih dejavnikov (zastarelosti), pomanjkanja osredotočenosti (fokusa) v tržno zanimive kakovostne izdelke, slabega povezovanja znotraj panoge in širše v vseh fazah produkcije, specifik trga delovne sile (togost zaposlovanja, obdavčitev dela) idr. dobiček pri proizvodnji tradicionalnih izdelkov z visoko dodano vrednostjo (npr. stolu) zelo majhen, kar močno zmanjšuje njihovo poslovno zanimivost, saj podjetjem ne omogoča uspešnega poslovanja in vlaganja v razvoj. Po drugi strani pa samo takšne vrste izdelkov zagotavljajo visoko zaposlenost oz. večjo potrebo po delovni sili s specifičnim in poglobljenim znanjem, boljšo izrabo razpoložljivih virov oz. več povezav v verige pri iskanju sinergijskih učinkov, hitrejši gospodarski razvoj z investicijami v tehnologijo in raziskave ter razvoj, krepitev panoge v globalnem merilu ipd. Največji problem pri tem predstavlja neučinkovito delovanje primarne predelave lesa (proizvodnja furnirja in žaganega lesa), saj ti izdelki predstavljajo velik potencial dodane vrednosti pri nadaljnjih predelavah in obdelavah. Največjo oviro pri tem predstavlja velika razpršenost žagarskih obratov, njihova relativna majhnost, katerih kapacitete ne omogočajo predelave večjih količin surovine, predvsem listavcev, hkrati pa ne predstavljajo dovolj močnega člana v verigi dodane vrednosti. Zato panoga v tem delu verige izgublja neposredno (velik del dodane vrednosti v teh proizvodih ostane ali neizkoriščen ali pa ga izvajajo tujci) in posredno, saj s tem pada učinkovitost delovanja celotne verige in

s tem izgubljam delovna mesta, tržne deleže, predvsem pa razvojni potencial slovenskega lesarstva. Zato predlagamo, da se gospodarska politika usmerja v krepitev celotne verige, ne samo njenih delov, saj je v posameznih delih verige dodana vrednost v izdelku različna, predvsem pa so v posameznih delih verige tudi ostali finančni kazalniki različni, so pa vsi členi te verige pomembni za celovitejšo in smotrnejšo izkoriščanje pomembnega naravnega vira. Pomen delovanja gozdno-lesnih verig so podrobneje preučevali številni avtorji, katerih ugotovitve zelo dobro povzemajo Larsson et al. (2016).

Pri izdelkih v celotni gozdno-lesni verigi na odločanje, kaj proizvajati, zelo vplivajo državne spodbude (subvencije, javna naročila idr.) za določene proizvode oz. procese. Le-te lahko vplivajo ali na zmanjšanje določenih stroškov ali pa na povečanje povpraševanja (in s tem na potencialne prihodke proizvajalcev), če so ukrepi usmerjeni na končnega uporabnika. Ti vplivi so sicer res (večinoma) kratkoročni, vendar lahko zelo spremenijo poslovne usmeritve podjetij (in panoge), zato jih je treba načrtovati zelo skrbno.

V celotni gozdno-lesni verigi je mogoče vrednost surovine listavcev (po gozdnogospodarskih načrtih GGE je trenutni možni posek listavcev 3,4 mio m³) močno povečati. Zelo visoko dodano vrednost bukovine lahko zagotovimo tudi v izdelkih primarne lesne proizvodnje (preglednica 2), ki poleg tega zagotavlja tudi pomemben člen v verigi vrednosti in predstavlja pomemben vir finalne lesne proizvodnje, kjer nastajajo izdelki z zelo visoko dodano vrednostjo, ostanki v tej proizvodnji pa so pomemben vir za druge, inovativne rabe (kemična predelava ipd.), s čemer zagotovimo delovanje krožnega gospodarstva. Po nekaterih ocenah (Selišnik, 2014) lahko iz 1 mio m³ bukovine lesne mase ustvarimo 300 mio € dodane vrednosti. Tega potenciala v praksi ne dosegamo, saj neučinkovito delovanje gozdno-lesne verige povzroča med drugim tudi pretrganje prodajnih poti in s tem posledično višje logistične stroške in organizacijske težave, oteženo zagotavljanje maksimalne izrabe kakovosti surovine in omejeno izvajanje krožnega gospodarstva. Pri tem je treba upoštevati, da so dodane vrednosti na porabljeno surovino pri nekaterih proizvodih (npr. furnir) lahko tudi precej višje (tudi do

Preglednica 2. Ocena dodane vrednosti na m³ bukovine

Table 2. Estimated value added per cubic meter of beechwood

Panoga / Sector	Gozdarstvo / Forestry		Primarna lesna proizvodnja / Primary wood processing		Finalna lesna proizvodnja in ostalo / Final wood processing and other	
Člen verige / Chain link	lastnik gozda	gozdarsko podjetje	primarna predelava	proizvodnja polizdelkov	proizvodnja končnih izdelkov	proizvodnja inovativne rabe
Sortiment / Assortment	drevo	hlodovina, energenti, lesni ostanki v gozdu	žagan les, furnir, lesni ostanki primarne predelave	sušen žagan les, sušeni in decimirani elementi, konstrukcijski les, lepljen les, lesni kompoziti, ostanki proizvodnje polizdelkov	pohištvo, konstrukcije, galanterija, obloge, lesni ostanki finalne predelave	izdelki kemijske predelave, papir, prehrana ...
Povprečni razpon dodane vrednosti na m ³ bukovine / the average range of added value per m ³ of beechwood (€/m ³)	10 - 20	50 – 100	100 – 400 (tudi do 1000)	300 - 1000	400 – 1000 (tudi >1000)	tudi >1000
Potencial dodane vrednosti v nadaljnjih predelavah / added value potential	visok	visok (nizek pri energentih)	zelo visok	zelo visok	nizek	zelo visok

(prirejeno po: Selišnik, 2014)

1000 €/m³), pri čemer lahko v nadaljnjih predelavah le-to še močno povečamo. V preglednici 2 je ocenjen tudi potencial dodane vrednosti v nadaljnjih predelavah, ki predvsem zagotavljajo optimalno izvajanje krožnega gospodarstva in s tem številne pozitivne učinke na gospodarstvo (zaposlovanje, investiranje, razvoj podeželja ipd.).

Ocenjujemo, da bi bilo v Sloveniji, glede na razpoložljivo surovino, smiselno vlagati tako v obstoječe žagarske obrate s ciljem posodobitve tehnologije in povečanja obsega proizvodnje, kot tudi v nove obrate za razžagovanje listavcev in proizvodnjo furnirja. Tako bi lahko, kljub povečanemu obsegu proizvodnje obstoječih obratov, s stališča potencialno razpoložljivih količin surovine, lahko delovalo tudi do 6 novih večjih žagarskih obratov listavcev z okvirno kapaciteto 60.000 m³/leto (skupno 360.000 m³/leto), do 6 manjših žagarskih obratov s kapaciteto 25.000 m³/leto (skupno 150.000 m³/leto) in do 3 furnirnice s kapacitetami 50.000 m³/leto (skupaj 150.000 m³/leto). S tem bi zagotovili optimalno izkoriščanje lesne surovine. Po grobi oceni bi pri tem nastalo okrog 300.000 m³/leto ostankov primerno za nadaljnjo predelavo, kar bi spodbudilo tudi povezovanje z drugimi panogami ter omogočilo dodatne sinergijske učinke. Ustvarili bi nova delovna mesta, predvsem pa poskrbeli za učinkovita vlaganja v raziskave in razvoj, s čimer bi pozitivno vplivali tudi na razvoj celotne lesne panoge. Z organiziranjem trga predelave surovin v izdelke namenjene nadaljnji predelavi (žagan les, furnir, decimiran les itd.) spodbujamo optimalnejšo izrabo surovine, kar pomeni tudi veliko prednost tudi za majhne lastnike gozdov. Poleg tega lahko primarna proizvodnja s svojim lokalnim značajem in potencialom nadaljnje predelave njenih proizvodov v izdelke z visoko dodano vrednostjo spodbuja kreiranje lokalnih mrež in/ali verig z velikim potencialom zaposlovanja in s tem razvoja podeželja. Proizvodi z nizko dodano vrednostjo, namenjeni končni porabi, bodo tako postali manj zanimivi za proizvodnjo, saj dolgo-ročno predstavljajo zelo omejen potencial razvoja tako panoge kot tudi podeželja.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

In the Slovenian forest wood supply chain, the potential of wood raw materials is often unexploited. The more rational use of this resource, while providing indirect effects on the wider economic environment, is also necessary to: (1) ensure the effective functioning of the entire forestry wood supply chain, providing products with high value added; and (2) fully exploit the potential of wood raw materials in terms of quality.

In terms of evaluating the added value of beechwood products, an existing model was extended with indicators that provide more useful information to support business decisions. This article also highlighted a number of challenges that we faced with regard to an accurate evaluation of the added value, and the proposed categorization of beechwood products depending on the potential added value. Based on the concept of marginal log and the potential of specific groups of products, and particularly products of primary wood processing, on the potential added value, this study confirmed the importance of the development and effective operation of the whole forestry wood supply chain, and the importance of the country's overall economic policy in its functioning.

Due to technological and technical factors, a lack of focus on market-oriented quality products, poor integration within the industry in all stages of production, and certain characteristics of the labour market (i.e. the rigidity of employment, labour taxation), the profit for the production of traditional products with higher value added (e.g. chairs) is very low, which reduces their commercial appeal, because companies do not make investments in their development. On the other hand, only these kind of products provide high employment needs, the development of specific and in-depth knowledge, the better use of available (scarce) resources, closer links in the supply chain for greater synergy, and faster economic development by investing in research and development, thus strengthening the industry on a global scale. The biggest problem here is the insufficient performance of primary wood processing (veneer and sawn timber production), as these products represent a huge potential added value with regard to further processing and treatment. The main obstacle in this context is the wide dispersion of sawmill plants and their relatively small size, as their capacity

does not allow the processing of large quantities of raw materials, especially deciduous wood, and thus these sawmills represent a weak link in the value-added chain. As such, due to this part of chain the whole sector loses both directly, since a large part of the value added of these products remains unexploited or is obtained by foreign companies, and indirectly. This decreases the efficiency of the entire forest wood chain, what causes losses of jobs and market share, and thus reduce the development potential of the Slovenian wood industry sector.

Taking into account the available quantities of beech, we estimate that with the use of the newest technology in primary wood processing more than ten new sawmill plants with total capacities of 500,000 m³ of hardwood logs could be introduced, and at least three veneer plants with capacities of around 150,000 m³ of top quality veneer logs in total could be established. With the horizontal integration of these plants it would be possible for them to supply bigger customers with their products, as well as maintain flexibility and the production of "niche" products. More efficient operation of this part of the chain would also allow appropriate conditions for the more efficient and successful operation of furniture production, and enable the full utilization of raw materials, including residues.

The fact is that within the whole forest wood supply chain the added value of products varies and there are also other important financial indicators that vary in different parts of the chain. We therefore suggest that economic policy should be aimed at strengthening the entire forest wood supply chain, not just its component parts, since all members of the chain are important for the complete and rational use of the important natural resource that beechwood undoubtedly is.

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

- Chernatony, L., Harris, F. & Dall'Omo Riley, F. (2000). Added value: its nature, roles and sustainability. *European Journal of Marketing*, 34 (1/2), 39-56; doi: 10.1108/03090560010306197
- Circular Economy (3.4.2017). Retrieved from: http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm
- Čufar, K., Gorišek, Ž., Merela, M., Kropivšek, J., Gornik Bučar, D. & Straže, A. (2017). Lastnosti bukovine in njena raba. *Les* (V tisku).
- Devjak, S., Merzelj, F. & Tratnik, M. (1993). Gospodarjenje z manjvrednim lesom. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 42, 263-285.
- Gornik Bučar, D. (2014). Slovenska žagarska industrija aktivna v iskanju rešitev za dvig konkurenčnosti. IN: *Zbornik radova*, 5. Kongres pilanara jugoistočne Evrope, 29.10.2014, 34-41.
- Hornby, W., Gammie, B., & Wall, S. (1997). *Business economics*. New York, London: Addison Wesley Longman.
- Humar, M., Krajnc, N., Kropivšek, J., Kutnar, A., Likar, B., Piškur, M., Milavec, I., & Tavzes, Č. (2012). *Izhodišča za prestrukturiranje slovenske lesnopredelovalne industrije*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- iBON (5.5.2017). Retrieved from: <http://web.ibon.com>
- Kropivšek, J., & Čufar, K. (2015). Potencialna raba bukovine in vrednotenje dodane vrednosti v izdelkih iz bukovine. *Gozdarski vestnik*, 73 (10), 470-478.
- Lantz, V. (2005). Measuring scale, technology and price effect on value-added production across Canadian forest industry sectors. *Forest Policy and Economics*, 7 (3), 333-344.
- Larsson, M., Stendahl, M., & Roos, A. (2016). Supply chain management in the Swedish wood products industry – a need analysis. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31 (8), 777-787; <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2016.1170874>
- Likar, B., & Valentinčič, E. (2016). Informacija o poslovanju lesne in pohištvene industrije v letu 2015. Ljubljana: GZS.
- Marenče, J., & Šega, B. (2015). Povezave med kakovostjo bukovih dreves in iz njih izdelanih sortimentov. *Gozdarski vestnik*, 73 (10), 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.
- Merzelj, F. (1999). Stanje slovenske žagarske industrije v obdobju tranzicije. *Les*, 51 (8), 258-263.
- Perme, M. (2009). *Analiza stanja slovenske žagarske industrije* (Diplomsko delo). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Peršak, C. (2011). Vedno je pravi čas za analizo. *Podjetnik*, 5, 26-29.
- Poročilo Zavoda za gozdove Slovenija o gozdovih za leto 2015 (3. 4. 2017). Retrieved from: http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/PDF/LETNA_POROCILA/2015_Porocilo_o_gozdovih.pdf
- Prislan, P., Piškur, M., & Gornik Bučar, D. (2015). Stanje žagarske panoge v Sloveniji 2013/2014. *Gozdarski vestnik*, 73, 442-453.
- Prislan, P., Gornik Bučar, D., & Piškur, M. (2014). Žagarski obrati v Sloveniji. V: Gričar, J., Stanje primarne lesnopredelovalne indu-

- strije v jugovzhodni Evropi. *Silva Slovenica*, Gozdarski inštitut Slovenije, 54 s.
- Prislan, P. & Gornik Bučar (2014). Shematska analiza razpoložljivih lesnih zalog. V: Gričar, J., Stanje primarne lesne industrije v Jugovzhodni Evropi. *Silva Slovenica*, Gozdarski inštitut Slovenije, 54 s.
- Rebernik, M. (2008). *Ekonomika podjetja*. Ljubljana: Gospodarski vestnik.
- Ringe, J. M., & Hoover, W. L. (1987). Value added analysis: a method of technological assessment in the U.S. forest products industry. *Forest Products Journal*, 37 (11–12), 51–54.
- Sathre, R., & Gustavsson, L. (2009). Process-based analysis of added value in forest product industries. *Forest Policy and Economics*, 11 (1), 65–75.
- Selišnik, A. (2014). Praktično delovanje gozdno-lesne verige kot nujnega regionalnega okvira oskrbe in uporabe lesne biomase za energijo. Retrieved from: <http://www.ctrp-kranj.si/wp-content/uploads/2014/01/Gradivo-Melu.pdf>
- Slapničar, S. (2004). *Analiza računovodskih izrazov*. Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
- SURS (6.4.2017). Retrieved from: <http://pxweb.stat.si/pxweb/Databse/Okolje/Okolje.asp#16>
- Šubic, P. (2017). Na Solčavskem nastaja gozdno-lesna veriga za gorski les. *Finance*. Retrieved from: <https://agrobiznis.finance.si/8855604?cctest&>
- Zavrl Bogataj, A. et al., (2012). Akcijski načrt za povečanje konkurenčnosti gozdno-lesne verige v Sloveniji do leta 2020. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo. 38 s. Retrieved from: http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/podrocja/Gozdarstvo/Akcijski_nacrt_Les_je_lep.pdf
- Zule, J., Gornik Bučar, D., & Kropivšek, J. (2017). Inovativna raba bukovine slabše kakovosti in ostankov, Les (V tisku).

OCENA MOŽNOSTI RAZVOJA IN TRŽENJA PROIZVODOV IZ BUKOVINE

DEVELOPMENT AND MARKETING POSSIBILITIES OF BEECHWOOD PRODUCTS ASSESSMENT

Leon Oblak^{1*}, Matej Jošt¹, Jože Kropivšek¹

UDK 630*71:176.1 *Fagus sylvatica*(045)

Izvilleček / Abstract

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Izvilleček: Če želi lesno podjetje uspešno razvijati in tržiti svoje izdelke, mora pred tem dobro raziskati svoj ciljni trg, posebej še, če gre za izdelke iz specifične vrste lesa - v našem primeru iz bukovine. Oblikovali smo tri modele: model za oceno možnosti razvoja izdelkov, model za oceno možnosti trženja izdelkov in model za oceno njihovega tržnega potenciala. Slednjega smo s pomočjo analitičnega hierarhičnega procesa tudi uporabili v raziskavi in na ta način prišli do zanimivih rezultatov. Strokovnjaki, ki so sodelovali v raziskavi, izvedeni z AHP metodo, ocenjujejo, da je kakovost najpomembnejši kriterij pri odločanju o nakupu izdelkov iz bukovine, drugi najpomembnejši kriterij je cena, tretji pa ideja. Promocijski splet in dodatne storitve po mnenju v raziskavo vključenih strokovnjakov le v manjši meri vplivajo na odločitev kupcev o nakupu izdelkov iz bukovine. Vsi trije predstavljeni modeli so lahko dober pripomoček podjetjem, ko se odločajo za razvoj novih izdelkov in njihovo trženje.

Ključne besede: razvoj izdelkov, trženje proizvodov, analitični hierarhični proces, ocena tržnega potenciala, bukovina

Abstract: If a company in the wood industry wants to develop and market its products successfully, it has to explore its target market well, especially for products from a specific type of wood - in our case, from beechwood. We designed three models: a model for the assessment of the product development potential, a model for the assessment of marketing of product opportunities, and a model for the assessment of product market potential. The latter was used in the study within the Analytic Hierarchy Process (AHP) and gave interesting results. Experts who participated in the survey conducted by the AHP method have estimated that the most important criterion while deciding to purchase beechwood products is quality, the second most important criterion is the price, and the third one is the idea. According to the survey, promotional mix and additional services have a minor impact on customer decisions about buying beechwood products. All three presented models can be a good tool that companies can usefully apply when deciding on developing and marketing a new product.

Keywords: product development, product marketing, analytic hierarchy process, assessment of market potential, beech

1 UVOD

1 INTRODUCTION

1.1 KONKURENČNOST LESNIH PODJETIJ

1.1 COMPETITIVENESS OF WOOD ENTERPRISES

Vsako podjetje posluje v določenem okolju, ki ga sestavljajo podjetja, njihovi dobavitelji, posredniki, porabniki, konkurenti, javnost in drugi, ki tako ali drugače vplivajo na njegovo poslovanje. Če želi biti podjetje uspešno, mora spremljati spremembe in trende v makrookolju, prepoznavati priložnosti in nevarnosti ter se na njih pravočasno odzivati. Te aktivnosti so med seboj povezane, saj s poznavanjem

njem trendov, ki razkrivajo prihodnost, lahko sklepamo o možnih posledicah, kar pa pomeni, da odkrivamo priložnosti in nevarnosti, ki jih trend prinaša. Če tržniki trendov ne proučijo, se lahko zgodi, da nov izdelek podjetja ne bo usklajen s trendom, morda bo celo v nasprotju z njim (Oblak, 2012). Če se v nekem trenutku na določenem trgu dobro prodajajo izdelki iz hrastovega lesa, se lahko že v bližnji prihodnosti okus kupcev spremeni in bodo popularni izdelki iz bukovine lesa.

Prav tako mora podjetje vedeti, kdo so lahko morebitni kupci njegovih izdelkov, kakšne izdelke porabniki potrebujejo in želijo ter kateri konkurenčni izdelki so že na trgu. Če tega ne ve, ne more uspešno pripraviti in izvajati svojih trženjskih aktivnosti. Globalizacija je te težave še dodatno poglobila.

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

* e-pošta: leon.oblak@bf.uni-lj.si

1.2 RAZVOJ IZDELKOV

1.2 PRODUCT DEVELOPMENT

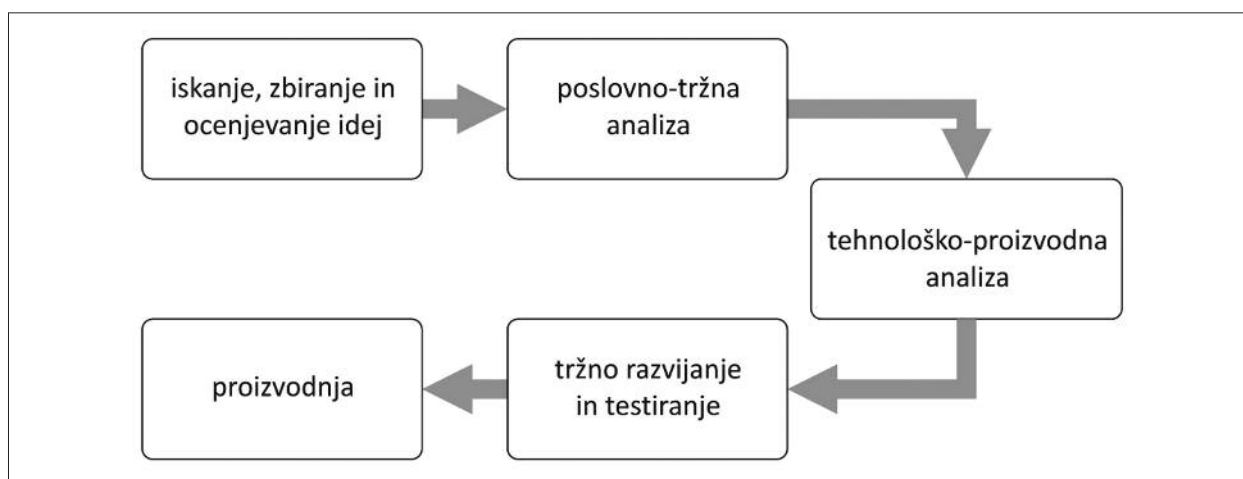
Vsako podjetje mora spodbujati razvoj novih izdelkov, ki bodo nadomestili sedanje, da bi tako zagotovili prodajo v prihodnosti (Kotler, 1996). Razvoj izdelkov poteka preko številnih stopenj, med katerimi so najvažnejše: iskanje, zbiranje in ocenjevanje idej, poslovno-tržna analiza, tehnološko-proizvodna analiza, tržno razvijanje in testiranje ter proizvodnja.

Iskanje idej za razvoj novega izdelka mora temeljiti na potrebah in željah kupcev. Podjetje mora vedeti, komu bo izdelek namenjen, kako velik je potencialni trg in kdaj bi bilo smiselno nov izdelek uve-

ga razviti iz obetavne ideje. Zato mora podjetje zbrati podatke in informacije o:

- potrebah trga po takem izdelku in o značilnostih, ki jih posamezni tržni segmenti pričakujejo oziroma si jih želijo od novega izdelka;
- dejavnosti konkurence po razvijanju podobnega izdelka;
- potrebnih trženjskih aktivnostih, prodajnih cenah, prodajnih pogojih ipd. (Potočnik, 2002).

S tehnološko-proizvodno analizo podjetje ugotavlja, ali idejo za nov izdelek lahko vključi v obstoječ proizvodni proces. Če so za realizacijo ideje potrebne



Slika 1. Proces razvoja novega izdelka (Oblak, 2012)

Figure 1. New product development process (Oblak, 2012)

sti na trg. Več kot je idej, večje so možnosti, da bo razvoj izdelka uspešen. Najboljše ideje lahko posredujejo strokovnjaki iz podjetja, predvsem tisti, ki so zaposleni v prodajnem oddelku, so v stalnem stiku s kupci in se dnevno soočajo z njihovimi potrebami in željami. Dober vir idej so lahko tudi panožna združenja in raziskovalne institucije, ki sledijo trendom in smernicam razvoja. Pri zbiranju idej si lahko podjetje pomaga tudi s številnimi metodami. Najbolj znana in najpogostejše uporabljena je metoda »vi-harjenja možganov« (brainstorming). Za ocenjevanje idej podjetja ponavadi oblikujejo posebno interdisciplinarno strokovno komisijo. V njej morajo biti strokovnjaki različnih področij, ki morajo preučiti tehnično izvedljivost in dobičkonosnost posameznih idej (Oblak, 2012).

Na stopnji poslovno-tržne analize podjetje ugotavlja, kakšne so tržne možnosti za izdelek, ki naj bi

nove naložbe v tehnologijo, mora podjetje oceniti ali bo lahko pridobilo potrebna finančna sredstva. Težave lahko nastanejo tudi pri nabavi materialov, surovin ali polizdelkov ali pa pri znanju zaposlenih. V tej stopnji je podjetje prisiljeno zavreči veliko idej, saj jih z obstoječo tehnologijo in zaposlenimi ter razpoložljivimi denarnimi sredstvi enostavno ni sposobno realizirati, tudi če so sicer zelo obetavne.

Tržno razvijanje novega izdelka vsebuje določitev tehničnih in tržnih funkcij izdelka, kakovosti, oblike, dimenzije in barve, izbiro imena oziroma blagovne znamke ter poprodajnih aktivnosti (dostave, montaže, servisiranja, garancije,...). S tržnim testiranjem skuša podjetje ugotoviti, kako bodo potencialni kupci izdelek z določenimi tehničnimi in tržnimi funkcijami sprejeli. Tržni test se lahko izvaja na različne načine in traja različno dolgo. Podjetje skuša z njim odkriti pomanjkljivosti izdelka. Tržno te-

stiranje je hkrati lahko tudi močna promocijska aktivnost. Ker so stroški tržnega testiranja lahko tudi zelo veliki, se nekatera pohištena podjetja odločajo za cenejše in hitrejše metode. Tako npr. lahko posamezne izdelke preizkušajo kar zaposleni in člani njihovih družin.

Če je ideja o izdelku uspešno prestala presojo na vseh stopnjah v procesu razvoja novih izdelkov, podjetje lahko začne s proizvodnjo. Pri tem so pomembni odgovori na tri vprašanja: kdaj, kje in kako? Odločitve o času vstopa izdelka na trg, ciljnih trgih, na katerih se bo izdelek prodajal in strategiji uvajanja novega izdelka so odvisne predvsem od ciljev, ki jih želi podjetje z novim izdelkom doseči. Ti pa so odvisni tudi od virov, ki jih ima podjetje na razpolago (Oblak, 2012).

1.3 TRŽENJE IZDELKOV

1.3 PRODUCT MARKETING

Razmišljanje o trženju naj se ne bi pričelo z izdelkom ali celo razredom izdelka, temveč s potrebo (Kotler, 1994). Vsako podjetje si ob lansiranju novega proizvoda na trg želi, da bi bil z ekonomskega vidika uspešen in da bi bila njegova življenjska doba čim daljša. Življenjski cikel izdelka ima štiri stopnje: uvajanje, rast, zrelost in upadanje. Te stopnje prikazujejo različne ravni prodaje, običajno pa se skozi posamezne stopnje spreminjajo tudi cena izdelka, število izvedb, distribucija, komuniciranje in celo

cilji, ki jih podjetje želi doseči. Podjetje mora slediti gibanju proizvoda po funkciji njegovega življenjskega cikla in svoje proizvodne, finančne, predvsem pa tržne strategije v skladu s položajem na njej ustrezno spreminjati.

1.3.1 Stopnja uvajanja in tržne strategije

1.3.1 Introduction stage and market strategies

Uvajanje novega izdelka na trg je začetna stopnja, ko se izdelek prvič pojavi na trgu, zato mora proizvajalec nameniti precejšnja sredstva za informiranje porabnikov. Uvajanje novega izdelka je najbolj občutljiva in negotova stopnja, saj izdelek še ni znan, prodaja je skromna in zato tudi proizvodnja poteka le v manjših serijah (Potočnik, 2002).

Podjetje se v tej fazi ponavadi odloči za eno od dveh strategij:

- »pobiranje smetane« ali
- »prodor na trg«.

Strategija »pobiranja smetane« zagotavlja takojšen denar, s katerim podjetje pokriva razvojne stroške izdelka. Prodajo usmeri h kupcem, ki kažejo največje zanimanje za izdelek. To so takojimeno »simpatizerji novosti«, ki se navdušujejo nad novimi izdelki. Ponavadi so to kupci z višjimi dohodki, zato ta strategija predvideva višjo ceno za izdelek. Podjetje mora oceniti in določiti najvišjo ceno, ki so jo kupci še pripravljeni plačati. Seveda pa je tudi v tem primeru treba biti pri določanju cene izjemno previden, saj lahko pretirano visoka cena, s katero želi podjetje hitro pokriti stroške, odvrne od nakupa tudi »vodilne kupce«. Če bodo ti, prvi kupci, z nakupom zadovoljni, bodo postali odlični promotorji novega izdelka. V tem primeru se bodo naložbe v nov izdelek hitro povrnila. S strategijo »prodora na trg« pa skuša podjetje čim hitreje prodreti na trg in osvojiti čim večji tržni delež. Cena izdelka bo v tem primeru nižja od cen konkurenčnih ali primerljivih izdelkov. Proizvajalec računa na kupce, ki novosti sprejmejo s premislekom, cena pa pri premišljenem nakupu igra pomembno vlogo. Seveda je potrebno paziti, da ni izdelek podcenjen, saj ima to lahko dolgoročno negativne posledice.

Če podjetje nima zadostnih sredstev in znanja, se lahko zgodi, da izdelek ne bo dosegel pričakovanih rezultatov. Lahko se celo zgodi, da izdelek ob napačni strategiji podjetja pri kupcih naleti na tržni odpor in ne preide v stopnjo rasti.



Slika 2. Življenjski cikel izdelka (Oblak, 2012)

Figure 2. Product life cycle (Oblak, 2012)

1.3.2 Stopnja rasti in tržne strategije

1.3.2 Growth stage and market strategies

Če je stopnja uvajanja uspešna, sledi obdobje rasti prodaje. Kupci v tej stopnji izdelek že dobro poznajo. Na trgu se začnejo pojavljati prvi konkurenti, ki ponujajo podobne, vendar običajno izdelke, v katerih kupci prepoznajo še dodatne koristi. Zaradi konkurentov proizvajalec ponavadi zniža ceno izdelka, dobiček pa zaradi večje prodaje vseeno narašča. Na tej stopnji ima podjetje na voljo številne strategije. Najpogosteje se podjetja odločijo za eno izmed naslednjih:

- vstop na nove trge,
- sprememba izdelka,
- povečanje promocijskih aktivnosti,
- znižanje cene izdelka ali
- izboljšanje prodajnih in poprodajnih aktivnosti.

V tej stopnji podjetje običajno že pokrije stroške razvoja izdelka, zato želi s temi strategijami okrepiti položaj na obstoječem trgu ali povečati svoj tržni delež in razširiti trg. Z vstopom na nove trge ima podjetje seveda dodatne stroške, ki pa jih lahko krije s sredstvi od prodaje, če je ta dovolj uspešna. Sprememba izdelka v smislu izboljšanja kakovosti, izvedbe, oblike ali uporabnosti je strategija, s katero podjetje odgovarja na izdelke konkurentov. Enak cilj podjetje zasleduje tudi s povečanjem promocijskih aktivnosti. Pravočasno znižanje cene izdelka pa kupce odvrne od konkurenčnih izdelkov, prav tako pa lahko odvrne nove konkurente, ki so svojo konkurenčno strategijo zasnovali na nižjih cenah. V tej stopnji lahko podjetje tudi izboljša svoje prodajne in poprodajne aktivnosti. To pomeni, da s pomočjo novih tržnih poti skrajša rok dostave izdelka na prodajna mesta, kupcu omogoči brezplačno dostavo na dom in montažo, kar je pri določenem pohištvu (kuhinje, spalnice, dnevne sobe, otroške sobe ...) lahko velika konkurenčna prednost, sproti rešuje reklamacije, omogoča ugodne plačilne pogoje ipd. (Oblak, 2012).

1.3.3 Stopnja zrelosti in tržne strategije

1.3.3 Maturity stage and market strategies

Stopnja zrelosti pomeni, da je izdelek v bližini vrha prodaje. Večina kupcev izdelek pozna in ga tudi kupuje. Ker številni konkurenti proizvajajo podobne izdelke, se podjetju tržni delež zmanjšuje. Podjetje skuša z ustrežno strategijo izdelek čim dlje zadržati

v tej stopnji. Najpogosteje uporabljene strategije, ki to omogočajo, so:

- pridobivanje novih kupcev,
- sprememba izdelka in
- sprememba trženjskih aktivnosti.

Podjetje lahko nove kupce pridobi tako, da na obstoječem trgu prepriča v nakup tiste, ki do sedaj izdelka še niso kupili, da pridobi kupce konkurentov ali da vstopi na nov trg. Če se podjetje odloči za spremembo izdelka, je ponavadi najučinkovitejša sprememba kakovosti, lahko pa gre sprememba tudi v smeri večje uporabnosti, funkcionalnosti, estetske privlačnosti in podobnega. Sprememba trženjskih aktivnosti pomeni prilagajanje cen, distribucije in drugih storitev željam in potrebam kupcev (Oblak, 2012).

1.3.4 Stopnja upadanja in tržne strategije

1.3.4 Decline stage and market strategies

Stopnja upadanja je zadnja stopnja v življenjskem ciklu izdelka. V tej stopnji so konkurenti vse močnejši in prodaja izdelka se zmanjšuje. To zmanjševanje je lahko postopno, lahko pa tudi zelo hitro. Razlogov za to je več, najpogostejši pa so prav konkurenčni izdelki, ki so ponavadi rezultat tehnološkega razvoja ali pa so za kupce bolj zanimivi zaradi njihove spremembe okusa. Slednjemu smo velikokrat priča tudi v pohištveni industriji, kjer že vrsta lesa ali barva izdelka lahko pomenita uspešno ali neuspešno prodajo.

Izdelek v stopnji upadanja postane z ekonomskega vidika nesprejemljiv, zato podjetja običajno prenehajo z njegovo proizvodnjo. Vztrajanje pri prodaji takih izdelkov pomeni veliko nevarnost, saj lahko poslabša ugled podjetja. Največkrat uporabljene strategije v stopnji upadanja so:

- opustitev izdelka,
- zadnja »žetev« in
- dezinvestiranje na obstoječem trgu in investiranje na novem trgu.

Opustitev izdelka pomeni ukinitve njegove proizvodnje in prodaje. Identifikacija izdelkov, ki jih bo podjetje opustilo, mora temeljiti na podatkih o prodaji, tržnem deležu in dobičku v preteklih časovnih obdobjih. Zadnja »žetev« je strategija, s katero skuša podjetje izdelek prodati še zadnjim kupcem in na ta način

pobirati zadnje prihodke od prodaje izdelka. Redkeje uporabljena je strategija, ko se podjetje odloči za dezinvestiranje in umik z obstoječega trga ob istočasnem investiranju na novem trgu (Oblak, 2012).

2 MATERIAL IN METODE

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 AHP (ANALITIČNI HIERARHIČNI PROCES)

2.1 AHP (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS)

AHP je metoda večkriterijskega odločanja, katerega ideja je izbira optimalne alternative, glede na to, kako so alternative ocenjene glede na množico kriterijev ali ciljev. Metodo so v podobnih raziskavah uporabili že mnogi raziskovalci kot na primer Altuzarra et al., 2007, Esmaili & Fazeli, 2015, Grošelj et al., 2011, Grošelj et al., 2015, Motik et al., 2010, Scholz & Decker, 2007 in številni drugi.

Metodo AHP lahko razdelimo na tri korake (Saaty, 1980):

1. Postavitev odločitvenega drevesa
2. Parne primerjave in izračun vektorjev uteži
3. Sinteza in analiza rezultatov

V prvem koraku se moramo najprej dobro seznaniti s problemom, si postaviti cilj, kriterije in podkriterije, ki vplivajo na cilj, ter alternative, ki predstavljajo možnosti, med katerimi se odločamo. V AHP modelu so cilj, kriteriji, podkriteriji, ki jih je lahko tudi več nivojev, in alternative hierarhično povezani. Drugi korak je bistvo metode AHP. V njem po parih primerjamo vse elemente na istem nivoju glede na element, s katerim so povezani na naslednjem višjem nivoju. Tretji korak je sinteza rezultatov

po različnih nivojih hierarhije, da dobimo končni rezultat. Temu lahko sledi še analiza občutljivosti na spremembe ocen.

Osnova metode so parne primerjave elementov (kriterijev, podkriterijev, alternativ) glede na element na naslednjem višjem nivoju. Cilj je dobiti relativno pomembnost elementov. Za parne primerjave uporabljamo lestvico od 1 do 9, kjer 1 pomeni, da sta primerjana elementa enako pomembna, in 9 pomeni, da je eden od elementov ekstremno bolj pomemben kot drugi (preglednica 1).

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & L & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & L & a_{2n} \\ M & M & & M \\ a_{n1} & a_{n2} & L & 1 \end{bmatrix},$$

Dimenzija matrike n pomeni, da smo med seboj primerjali n elementov. Člen matrike a_{ij} pomeni parno primerjavo elementa i z elementom j , oziroma, da je element i a_{ij} -krat bolj (ali manj) pomemben kot element j . Obratni (inverzni) primerjavi (ko primerjamo element j z elementom i) dodelimo obratno (recipročno) vrednost.

Matrika A je konsistentna, če je $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$ za vse $i, j, k = 1, \dots, n$. Če je matrika A konsistentna, potem jo lahko zapišemo v obliki razmerij:

- Stopnjo nekonsistentnosti matrike parnih primerjav A merimo s konsistenčnim količnikom:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

- CI je konsistenčni indeks:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Preglednica 1. Lestvica parnih primerjav (Saaty, 2006: 73)

Table 1. The fundamental scale of the AHP (Saaty, 2006: 73)

intenziteta pomembnosti a_{ij}	Definicija	razlaga
1	enaka pomembnost	kriterija i in j sta enako pomembna
2	šibka razlika pomembnosti	
3	opazna razlika pomembnosti	kriterij i je nekoliko pomembnejši od j
4	srednja razlika pomembnosti	
5	velika razlika pomembnosti	kriterij i je precej pomembnejši od j
6	zelo velika razlika pomembnosti	
7	močna razlika pomembnosti	kriterij i je močno pomembnejši od j
8	zelo močna razlika pomembnosti	
9	ekstremna razlika pomembnosti	kriterij i je ekstremno pomembnejši od j

Konsistentni indeks primerjamo s povprečnim konsistentnim indeksom RI, ki ga je izračunalo več avtorjev z generiranjem slučajnih recipročnih matrik za različne velikosti matrik in različno velike vzorce (Forman, 1990; Saaty, 2006). Preglednica 2 prikazuje povprečne konsistentne indekse za različne velikosti matrik.

Preglednica 2. Preglednica indeksov RI (Saaty, 2006: 84)

Table 2. Table of RI indexes (Saaty, 2006: 84)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Mejo sprejemljive nekonsistentnosti je Saaty (2006) postavil na 10 %, saj naj bi bila za eno velikostno stopnjo manjša kot so same ocene. Torej, stopnja nekonsistentnosti matrike A je sprejemljiva, če je $CR < 0,1$.

Predloga je bila narejena v programu Excel, s katerim smo nato naredili izračune in združevanje s pomočjo geometrijske sredine, uteži pa smo izračunali s pomočjo aditivne normalizacije.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 MODEL ZA OCENO MOŽNOSTI RAZVOJA IZDELKOV IZ BUKOVINE

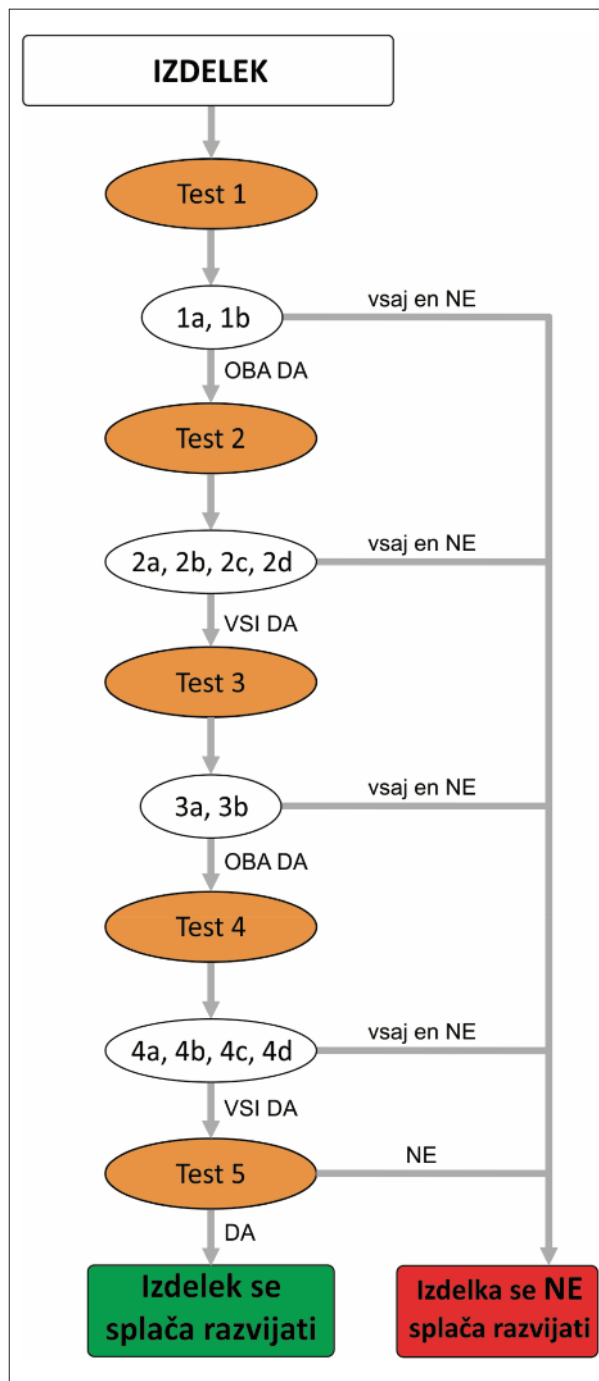
3.1 THE MODEL FOR EVALUATING THE POSSIBILITY OF BEECHWOOD PRODUCT DEVELOPMENT

Oblikovali smo model za oceno možnosti razvoja izdelkov iz bukovine, s katerim lahko ugotavljamo, ali je izdelek skladen s tehnološko proizvodnimi možnostmi podjetja. Model je prikazan na sliki 3.

S »Testom 1« preverjamo, ali lahko podjetje nov izdelek vključi v obstoječ proizvodni proces oziroma ali je ideja skladna s proizvodnimi možnostmi podjetja. Odgovor »1a« pomeni, da ima podjetje potrebno tehnologijo za izdelavo takega izdelka, odgovor »1b« pa, da ima dovolj velike zmogljivosti. Če sta oba odgovora pozitivna, gre izdelek na naslednji test, če pa je kateri od obeh odgovorov negativen, se izdelka ne splača razvijati.

S »Testom 2« preverjamo, ali so za izdelavo novega izdelka potrebne nove naložbe. Odgovor »2a« pomeni, da podjetje ima ali lahko zgradi potrebne

zgradbe, »2b«, da ima ali lahko nabavi potrebne stroje, »2c«, da ima ali lahko nabavi potrebna orodja in »2d«, da ima ali lahko nabavi potrebne naprave. Če so vsi štirje odgovori pozitivni, gre izdelek na na-



Slika 3. Model za oceno možnosti razvoja izdelkov iz bukovine

Figure 3. The model for evaluating the possibility of beechwood product development

slednji test, če pa je kateri od odgovorov negativen, se izdelka ne spleča razvijati.

S »Testom 3« preverjamo, ali je za izdelavo novega izdelka potreben nov kader. Odgovor »3a« pomeni, da podjetje ima ali lahko zaposli dovolj usposobljene delavce, odgovor »3b« pa pomeni, da ima ali lahko zaposli dovolj delavcev za proizvodnjo takega izdelka. Če sta oba odgovora pozitivna, gre izdelek na naslednji test, če pa je kateri od odgovorov negativen, se izdelka ne spleča razvijati.

S »Testom 4« preverjamo, ali lahko podjetje nabavi vstopke (inpute), ki so potrebni za nov izdelek. Odgovori »4a«, »4b«, »4c« in »4d« pomenijo, da podjetje lahko nabavi ustrezne surovine, materiale, polizdelke in energijo. Če so vsi štirje odgovori pozitivni, gre izdelek na naslednji test, če pa je kateri od odgovorov negativen, se izdelka ne spleča razvijati.

S »Testom 5« preverjamo, ali ima podjetje za vlaganje v proizvodnjo novega izdelka potrebna finančna sredstva. Če je odgovor pozitiven, smo uspešno prišli do konca modela, kar pomeni, da se izdelek spleča razvijati. V primeru negativnega odgovora se izdelka ne spleča razvijati.

3.2 MODEL ZA OCENO MOŽNOSTI TRŽENJA IZDELKOV IZ BUKOVINE

3.2 THE MODEL FOR EVALUATING THE POSSIBILITY OF BEECHWOOD PRODUCT MARKETING

Tudi če model za oceno možnosti razvoja izdelkov iz bukovine pokaže, da je izdelek skladen s tehnološko proizvodnimi možnostmi podjetja in da se ga spleča razvijati, še ni nujno, da se podjetje odloči za njegovo izdelavo. Treba je opraviti še tržno testiranje novega izdelka, ki pokaže, ali je izdelek za izbran ciljni trg sploh zanimiv. Model za oceno možnosti trženja izdelka iz bukovine je prikazan na sliki 4.

S »Testom 1« preverjamo, kakšne so potencialne potrebe trga po takem izdelku. Če so velike, gre izdelek na naslednji test, če pa so majhne, pa izdelek ni tržno zanimiv in se ga ne spleča razvijati.

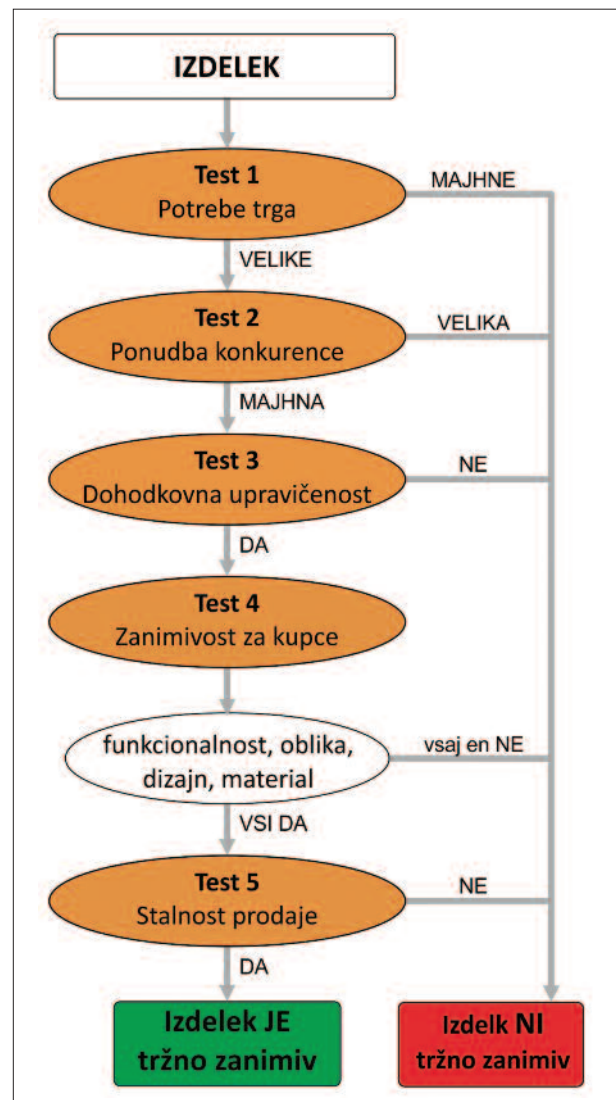
S »Testom 2« preverjamo, kakšna je ponudba podobnih izdelkov na ciljnem trgu. Če je majhna, gre izdelek na naslednji test, če pa je velika, izdelek ni tržno zanimiv in se ga ne spleča razvijati.

S »Testom 3« preverjamo, če je izdelek za kupce dovolj cenovno zanimiv, da bo za podjetje dohodkovno zanimiv. Pozitivni odgovor pomeni, da gre izdelek na naslednji test, če pa rezultati tržnega testa

pokažejo, da izdelek za podjetje ni dohodkovno zanimiv, se ga ne spleča razvijati.

S »Testom 4« preverjamo, ali je izdelek zanimiv za potencialne kupce z vidika funkcionalnosti, oblike, dizajna in materiala. Če so vsi štirje odgovori pozitivni, gre izdelek na naslednji test, če pa je kateri od odgovorov negativen, se izdelka ne spleča razvijati.

S »Testom 5« preverjamo, ali izdelek lahko zagotavlja stalnost prodaje. Če je odgovor pozitiven, smo uspešno prišli do konca modela, kar pomeni, da se izdelek spleča razvijati. V primeru negativnega odgovora se izdelka ne spleča razvijati.



Slika 4. Model za oceno možnosti trženja izdelkov iz bukovine

Figure 4. The model for evaluating the possibility of beechwood product development

3.3 MODEL ZA OCENO TRŽNEGA POTENCIALA IZDELKOV IZ BUKOVINE

3.2 THE MODEL FOR EVALUATE OF BEECHWOOD PRODUCT MARKETING POTENTIAL

Model za oceno tržnega potenciala izdelkov iz bukovine smo oblikovali s pomočjo AHP metode, ki je zelo primerna in pogosto uporabljena metoda pri tovrstnih raziskavah.

Najprej smo oblikovali model za izdelke iz bukovine. Postavili smo odločitveno drevo, v katerega smo vključili vse kriterije/dejavnike, ki so pomembni za uspešno trženje izdelkov. Razdelili smo jih na kriterije in podkriterije ter razvrstili na več nivojev in jih hierarhično povezali. Kriteriji so prikazani v preglednici 3.

Preglednica 3. Kriteriji in podkriteriji za oceno tržnega potenciala izdelkov iz bukovine

Table 3. Criteria and subcategories to estimate the market potential of products from beech

kvaliteta
material
izdelava (certifikati)
ideja
oblika, dizajn
funkcionalnost
možnost konfiguriranja izdelka
(večvariantnost, prilagodljivost)
cena / cenovni razred (nizek, srednji, visok)
dodatne storitve
predprodajne aktivnosti
(izmere na domu, svetovanje, izris, ...)
prodajne aktivnosti
(plačilne ugodnosti – popusti, zamik plačila, krediti, ...)
poprodajne aktivnosti (dostava, montaža, servis, ...)
promocijski splet
(oglaševanje, osebna prodaja, neposredno trženje, ...)

Naslednji korak v procesu AHP analize je bil parna primerjava vseh elementov na istem nivoju glede na element, s katerim so povezani na naslednjem višjem nivoju. Uporabili smo lestvico parnih primerjav, ki je prikazana v preglednici 1. Anketirali smo 9 strokovnjakov, ki se v lesarskih podjetjih ukvarjajo z razvojem in trženjem izdelkov. Del vprašalnika za najvišji nivo odločitvenega drevesa je prikazan v preglednici 4.

Tretji korak je predstavljal združitev ocen strokovnjakov v skupno oceno s pomočjo geometrijske sredine. Zadnji korak pa je bil sinteza rezultatov po

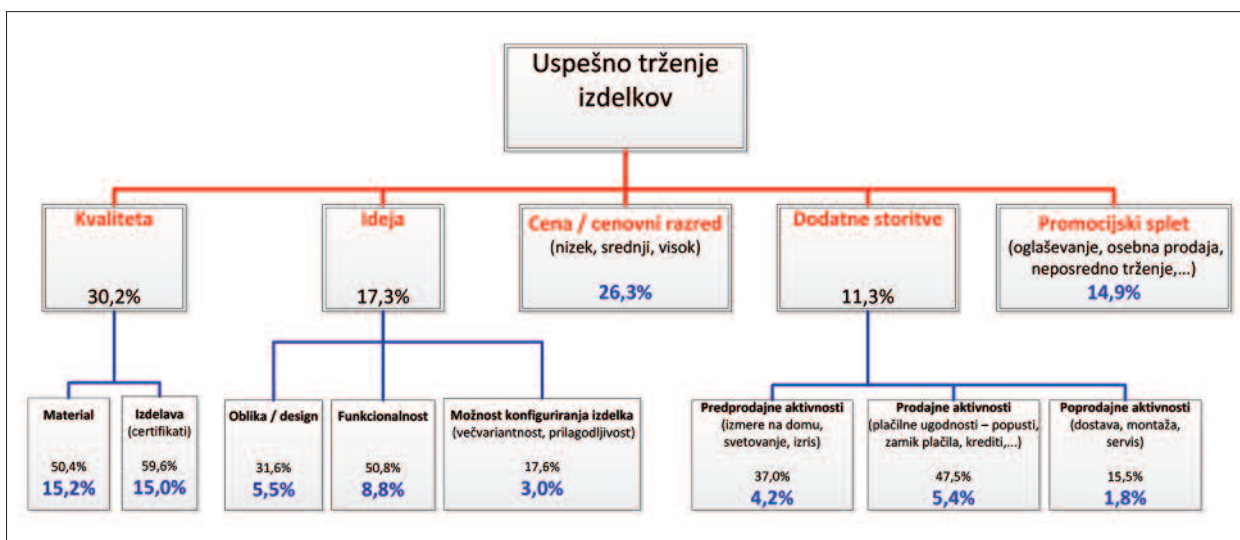
Preglednica 4. Del vprašalnika za najvišji nivo odločitvenega drevesa

Table 4. A part of questionnaire for the highest level of decision tree

Kvaliteta																	Ideja
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Kvaliteta																	Cena/cenovni razred
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Kvaliteta																	Dodatne storitve
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Kvaliteta																	Promocijski splet
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ideja																	Cena/cenovni razred
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ideja																	Dodatne storitve
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ideja																	Promocijski splet
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Cena/cenovni razred																	Dodatne storitve
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Cena/cenovni razred																	Promocijski splet
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Dodatne storitve																	Promocijski splet
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

različnih nivojih hierarhije. Tako smo dobili končni rezultat, ki je grafično prikazan na sliki 5.

Na sliki 5 odstotki v črni barvi predstavljajo lokalne, v modri barvi pa globalne uteži. Iz slike se vidi, da anketirani strokovnjaki ocenjujejo, da je kakovost najpomembnejši kriterij pri odločanju o nakupu izdelkov iz bukovine. Teža tega kriterija je kar 30,2 %. Drugi najpomembnejši kriterij je cena (26,3 %), tretji pa ideja (17,3 %). Promocijski splet (14,9 %) in dodatne storitve (11,3 %) po mnenju anketiranih strokovnjakov le v manjši meri vplivajo na odločitev kupcev o nakupu izdelkov iz bukovine. Pri kakovosti kupci v procesu nakupa enako pozornost namenjajo materialom, iz katerih je izdelek izdelan, (ta poleg lesa bukovine lahko vsebuje še številne druge dodatke, kot na primer razne kovine, blago, plastične materiale ...) in sami izdelavi. Pri ideji je najvažnejša funkcionalnost (8,8 %), nekoliko manj pa oblika (5,5 %) in možnost konfiguriranja izdelka (3,0 %). Anketirani strokovnjaki menijo, da so pri dodatnih storitvah najpomembnejše prodajne (razne plačilne



Slika 5. Rezultat AHP analize

Figure 5. The result of the AHP analysis

ugodnosti kot na primer popusti, zamik plačila, krediti ipd.). Teža tega podkriterija je 5,4 %. Kot nekoliko manj pomembne (4,2 %) so ocenili predprodajne aktivnosti (izmere na domu, svetovanje, izris ipd.), kot precej manj pomembne (1,8 %) pa poprodajne aktivnosti (dostava, montaža, servis ipd.).

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

Razvoj izdelka je izjemno zahtevna naloga. Če želi biti podjetje pri razvoju novega izdelka uspešno, mora upoštevati številne dejavnike. Večina izdelkov, ki jih podjetja razvijajo, propade, še preden pridejo na trg. Vzroki za to so različni, najpogostejši vzrok pa so preslabo raziskane potrebe in želje trga. Čeprav so stroški razvoja novega izdelka visoki, je ta dejavnost nujna, saj morajo novi izdelki nadomestiti tiste, ki zastarijo ali katerih prodaja upada. Če podjetje ne bi razvijalo novih izdelkov, bi sčasoma propadlo. Osnovni razlogi za razvijanje novih izdelkov so zastarevanje obstoječih izdelkov, spremembe okusov in navad kupcev, konkurenčni izdelki in tehnološki napredek. Model za oceno možnosti razvoja izdelkov iz bukovine, ki smo ga razvili, podjetjem omogoča, da ugotovijo, ali je izdelek skladen z njihovimi tehnološko proizvodnimi možnostmi.

Če je odgovor na to vprašanje pozitiven, mora podjetje opraviti še tržno testiranje novega izdelka. Model za oceno možnosti trženja izdelka iz buko-

vine, ki je bil prav tako del naše raziskave, pokaže, ali je izdelek za izbran ciljni trg sploh zanimiv. Model preverja, kakšne so potencialne potrebe trga po takem izdelku, kakšna je ponudba podobnih izdelkov na ciljnem trgu, ali je izdelek za kupce dovolj ceno- vno zanimiv, da bo za podjetje dohodkovno zanimiv, ali je izdelek zanimiv za potencialne kupce z vidika funkcionalnosti, oblike, dizajna in materiala ter ali izdelek lahko zagotavlja stalnost prodaje. Če so vsi odgovori pozitivni, se izdelek splača razvijati.

Z AHP smo ugotavljali, kateri so najpomembnejši kriterij pri odločanju o nakupu izdelkov iz bukovine. Po pričakovanju sta se na prvih dveh mestih znašli kakovost in cena, sledijo ideja, promocijski splet in dodatne storitve.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

The problem of non-competitiveness of companies in the wood industry is amongst all manifested in low value-added products and improper or lack of intensive investments in product development. The product life cycles are getting shorter, causing the need for more intensive development of new products or updating the existing ones. Companies in the wood industry can be competitive in a challenging global market only with the development of innovative, modern designed, functional, ergonomic, and aesthetic products.

Many of the new products are not successful enough or not at all. There are many different reasons for that, but the most common reason is a poorly conducted market research. Even the product itself may be the reason for failure. It could be badly designed or wrongly positioned on the market, had a wrong price or was not promoted well. Also a very common reason is a bad idea behind the new product.

Before a company starts developing a new product it must check the possibilities of its development. This means to verify whether a new product can be incorporated into an existing production process and whether the idea is consistent with the production potential of the company. It is also very important, so that a company has the appropriate technology to produce a new product and enough production capacity. If the production of a new product requires new investments, needed financial resources for new buildings, machinery, tools or equipment should be available. A company should also check if new staff needs to be employed and if all inputs (raw materials, materials, intermediate products, energy, etc.) for development and production of a new product are provided. If all of it allows the development of a new product, the company has to perform testing of a market, which shows attractiveness of the new product to the selected target market.

In this part, it is verified by the market analysis what are the potential needs for such product, what is the offer of similar products and if the product is attractive for customers on the target market in terms of price, functionality, form, material and design. If the findings are positive, and if the product can also provide continuity of sales, it is worth to develop it further.

For the assessment of developing and marketing possibilities of a new product, we developed two models which address all key issues and enable decision makers to make good decisions.

In the research, the AHP method for designing a model was used to estimate the market potential of beechwood products. The surveyed experts have evaluated several criteria when deciding on the purchase of beechwood products. The results are expected and show that quality is the most important criterion when making purchasing decisions. The weight of this criterion is 30.2%. The second

most important criterion is price (26.3%), and the third one is the idea (17.3%). Even the promotional mix (14.9%) and additional services (11.3%) influence the decisions of customers when purchasing beechwood products. At the second level of a decision tree the experts highlighted as the most important quality of materials (15.2%), quality of manufacturing (15.0%), functionality (8.8%) and sales activities of the company (paying benefits (such as discounts), deferred payments, loans, etc.). Weight of the subcategories is 5.4%.

Models, presented and designed in the article, are without a doubt a good tool that companies can usefully apply when deciding on developing and marketing a new product.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Delo je nastalo 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

- Altuzarra, A., Moreno-Jiménez, J. M., & Salvador, M. (2007). A Bayesian prioritization procedure for AHP-group decision making. *European Journal of Operational Research*, 182(1), 367–382. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.025>
- Esmaili, M., & Fazeli, S. F. (2015). Surveying of importance of green marketing compared purchase budget and preferred brand when buying by AHP method. *Mediterranean journal of social sciences*, 6 (4), 388–394.
- Forman, E., & Peniwati, K. (1998). Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 108(1), 165–169. [http://dx.doi.org/10.1016/s0377-2217\(97\)00244-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0377-2217(97)00244-0)
- Grošelj, P., Pezdevšek Malovrh, Š., & Zadnik Stirn, L. (2011). Methods based on data envelopment analysis for deriving group priorities in analytic hierarchy process. *Central European Journal of Operations Research*, 19(3), 267–284. <http://dx.doi.org/10.1007/s10100-011-0191-x>
- Grošelj, P., Zadnik Stirn, L., Ayilimis, N., & Kitek Kuzman, M. (2015). Comparison of some aggregation techniques using group ana-

- lytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications*, 42(4), 2198–2204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2014.09.060>
- Kotler, P. (1996). *Marketing Management – Trženjsko upravljanje: Analiza, načrtovanje, izvajanje in nadzor*. Ljubljana: Slovenska knjiga, 832 str.
- Motik, D., Šegotić, K., & Jazbec, A. (2010). Application of AHP model and survey results in deciding on a product line in furniture industry. *Drvena industrija*, 61(2), 83–87.
- Oblak, L. (2012). *Trženje lesnih izdelkov in storitev*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 175 str.
- Potočnik, V. (2002). *Temelji trženja*. Ljubljana: GV Založba, 531 str.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (2006). *Fundamentals of decision making and priority theory with the Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Scholz, S. W., & Decker, R. (2007). Measuring the impact of wood species on consumer preferences for wooden furniture by means of the Analytic Hierarchy Process. *Forest Products Journal*, 57(3), 23–28.

