

Oznaka poročila: ARRS-CRP-ZP-2018/13

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH CILJNEGA RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	V4-1419
Naslov projekta	Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini Rational use of hardwoods with a focus on beech wood
Vodja projekta	2937 Katarina Čufar
Naziv težišča v okviru CRP	2.03.01 Ocena možnosti racionalne rabe lesa listavcev
Obseg efektivnih ur raziskovalnega dela	2398
Cenovna kategorija	B
Obdobje trajanja projekta	07.2014 - 06.2017
Nosilna raziskovalna organizacija	510 Univerza v Ljubljani 481 Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	219 Inštitut za celulozo in papir 404 Gozdarski inštitut Slovenije
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	4 BIOTEHNIKA 4.01 Gozdarstvo, lesarstvo in papirništvo 4.01.02 Lesarstvo
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FORD/FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.05 Materiali

2. Sofinancerji

	Sofinancerji		
1.	Naziv	Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano republike Slovenije	
	Naslov	Dunajska cesta 22, 1000 Ljubljana	
2.	Naziv	Javna agencija za raziskovalno dejavnost republike Slovenije	

	Sofinancerji
Naslov	Bleiweisova cesta 30, 1000 Ljubljana

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

V projektu CRP »Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini« smo obravnavali: (1) kakovost lesa listavcev s poudarkom na bukovini – od gozda do izdelka, (2) potencialne in možnosti racionalne izrabe lesa listavcev s poudarkom na bukovini, (3) analizo sodobnih tehnoloških in organizacijskih oblik primarne predelave listavcev in (4) možnosti razvoja novih izdelkov in učinkov na gospodarstvo.

Raziskali smo kakovost lesa od gozda (drevesa) do izdelka na reprezentativnih vzorcih rastišč in predelovalnih obratov v Sloveniji. Po razpoložljivih standardih smo ocenili drevo, hlodovino po krojenju in žagan les po razžagovanju na žagarskem obratu ter po tehničnem ali naravnem sušenju. Vzoredno smo spremljali ključne lastnosti lesa, kjer smo ob standardnih testih razvili tudi nove nedestruktivne metode.

Delež najkakovostnejših dreves bukve je v naših gozdovih majhen (7%) zato lahko pričakujemo največ 3% hlodov najvišje kakovosti. Kakovost najbolj zmanjšujejo slepice in rdeče srce. Delež žaganega lesa v bruto količini lesa drevesa pada s kakovostjo drevesa. Med sušenjem so se praviloma pojavile dodatne napake, ki zmanjšujejo kakovost lesa posebno pri slabšem lesu. V sodelovanju z Zavodom za gozdove Slovenije smo razvili metodologijo primerno za spremljanje kakovosti bukovine in drugih listavcev po vsej Sloveniji.

Pri spremljanju kakovosti lesa po žledolomu smo ugotovili, da je bila izguba kakovosti po ujmi manjša pri izruvanih kot pri polomljenih drevesih.

Zaradi dokaj visoke gostote, trdote in trdnosti bukovine (glede na druge komercialne domače lesne vrste) je obetavna uvedba bukovine za različne nove rabe v gradbeništvu, pri čemer jo moramo za konstrukcije na prostem ustrezno zaščititi. Raziskave termične modifikacije in impregnacije z voski ter odpornosti proti navlaževanju v laboratorijskih in terenskih testih so pokazale najboljše rezultate če je les termično modificiran in impregniran s suspenzijo naravnih voskov.

Potencial lesne surovine v slovenski gozdno-lesni verigi ostaja premalo izkoriščen. Raziskave so pokazale, da je za boljši izkoristek lesne surovine za zagotavljanje posrednih učinkov na širše gospodarsko okolje potrebno zagotoviti: (1) učinkovito delovanje celotne gozdno-lesne verige, ki zagotavlja tudi proizvodnjo izdelkov z visoko dodano vrednostjo in (2) polno izkoriščanje potenciala lesne surovine predvsem z vidika njene kakovosti. Identificirali smo glavne vzroke za premajhno učinkovitost primarne predelave lesa, ki so med drugim zaprtje in propad žagarskih ter furnirskih obratov in prekinjene povezave v gozdno-lesni verigi. Predstavili smo potrebe po investicijah v najnovejšo tehnologijo za razžagovanje listavcev in proizvodnjo furnirja. Pokazali smo pomen poznavanja ciljnega trga za uspešen razvoj in trženje izdelkov iz bukovine ali drugih listavcev. Oblikovali smo tri modele, za pomoč podjetjem pri razvoju in trženju novih izdelkov.

ANG

CRP project "Rational use of hardwoods with a focus on beech wood" was dedicated to: (1) quality of hardwoods with emphasis on beechwood - from forest to product, (2) potentials and possibilities for rational use of hardwoods, especially beechwood, (3) modern technological and organizational approaches of primary processing of hardwoods, and (4) possibility of developing new products with beneficial effects on the economy and society. We examined the quality of wood from the forest (tree) to the product on representative sites and enterprises in Slovenia. We evaluated the quality of the wood on standing trees, logs and sawn timber before and after drying. In addition to standard tests, we applied and improved non-destructive methods to assess basic physical properties.

The share of the highest quality beech trees in our forests is small (7%), therefore we can only expect up to 3% of the highest quality logs. Quality is mostly affected by dead knots and red heart. The share of high quality sawn wood is highly related to the quality assessment of trees and logs. In cooperation with the Slovenian Forest Service, we have developed a methodology suitable for monitoring the quality of beech and other deciduous trees throughout Slovenia to better predict the quality of wood.

In trees damaged by ice storm the loss in wood quality over time was smaller in the blown down trees with preserved crowns than in the broken trees left in forest after the storm. Due to the relatively high density, stiffness and hardness of the beechwood (compared to other commercial domestic wood species), it has a great potential to be used for constructions. However, it should be adequately protected for outdoor use.

In search for the new environmentally friendly procedures of wood protection, laboratory and field tests showed that thermal modification and impregnation with a suspension of natural waxes proved to be best.

The use of the wood in the entire Slovenian forest-wood chain is currently under-utilized. To improve this we should ensure (1) efficient operation of the entire forest-timber chain, which would also ensure the fabrication of products with higher added value, and (2) full exploitation of the wood raw material in terms of its quality. We identified the main disadvantages of Slovenian primary wood industry, which is partly due to the closure and collapse of sawmills and veneer plants which caused disconnections in the forest-wood chain. We have shown which investments would be necessary to modernize the sawmilling technologies and veneer production of hardwoods. We have demonstrated that we must know the target market for the successful marketing of various products made of beech and other hardwoods. We have designed three models to help companies to develop and market new products.

The results have been published and presented on conferences and meetings for participants of the entire forest wood chain from Slovenia and abroad.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela oz. ciljev raziskovalnega projekta²

V projektu CRP »Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini« smo sledili ciljem določenim v časovnici projekta, ki so obravnavali: (1) kakovost lesa listavcev s poudarkom na bukovini – od gozda do izdelka, (2) potencialne in možnosti racionalne izrabe lesa listavcev s poudarkom na bukovini, (3) analizo sodobnih tehnoloških in organizacijskih oblik primarne predelave listavcev in (4) možnosti razvoja novih izdelkov in učinkov na gospodarstvo.

Ugotovili smo, da je za racionalno rabo lesa ključen podatek o razpoložljivi količini in kakovosti lesa. V ta namen smo zasnovali eksperiment spremljanja kakovosti lesa navadne bukve (*Fagus sylvatica*) od gozda do izdelka, ki smo ga izvedli na reprezentativnih vzorcih iz treh rastišč v Sloveniji. Poseku dreves je sledilo krojenje hlodovine, nato pa razžaganje na lokalnem žagarskem obratu ter sušenje po različnih postopkih. Za ocenjevanje kakovosti dreves smo uporabili 5-stopenjsko lestvico Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS), pri ocenjevanju sortimentov pa standarde oziroma kriterije za razvrščanje hlodovine: SIST EN 1316-1, JUS standard iz leta 1979 in Pravilnik 2011, za uporabo v državnih gozdovih.

Ugotovili smo, da je delež najkakovostnejših dreves bukve v naših gozdovih majhen (7%), in lahko pričakujemo največ 3% hlodov najvišje kakovosti. S slabšanjem kakovosti drevesa se pričakovano povečuje delež prostorninskega lesa (goli), v drevesih najslabše kakovosti pa je delež sortimentov še primernih za žagarsko proizvodnjo nižji (23 - 36 %). Odločilne napake so slepice in rdeče srce.

Za ocenjevanje kakovosti žaganega lesa smo uporabili pravila Evropskega združenja žagarske industrije (EOS). Delež žaganega lesa v bruto količini lesa drevesa pada s kakovostjo drevesa (od 48% pri drevesih boljše kakovosti in do 13% pri najslabših drevesih). Povprečni količinski izkoristek pri razžaganju hlodovine je bil 70% in je odvisen od kakovosti hlodovine.

Ugotovili smo precejšnje razlike v kakovosti hlodovine iz posameznih rastišč, razlike v kakovosti žaganega lesa pa so bile manjše. Dobra polovica žaganega lesa z vseh rastišč je bila razvrščena v razred EOS-C; pri vzorcih s kakovostnejšo hlodovino je bil nekoliko višji delež žaganega lesa razvrščen v razreda EOS-B in EOS-A, pri vzorcih z manj kakovostno hlodovino pa v kategorijo »Podelava«. Odločilne značilnosti pri razvrščanju žaganega lesa so bile mrtve in trhle grče in rdeče srce.

Rezultat raziskav je razvita metodologija spremljanja kakovosti bukovine od gozda do izdelka, ki bi jo lahko izvedli po vsej Sloveniji in uporabili tudi za druge listavce ter izboljšali oceno kakovosti lesa v slovenskih gozdovih, kar smo podrobno prediskutirali s sodelavci ZGS iz cele Slovenije.

Spremljanje kakovosti lesa od gozda do izdelka bi v Sloveniji morali poenotiti. Pri tem bi veljalo uporabiti evropske standarde, ki bi jih lahko nekoliko dopolnili, kot so to storili tudi v drugih evropskih državah.

V postopku sušenja so se pojavile dodatne napake, ki zmanjšujejo kakovost lesa. Po industrijskem normalno-temperaturnem konvekcijskem komorskem sušenju in po sušenju na prostem smo ugotovili značilen vpliv obeh postopkov na pojav sušilnih napak, razlik med postopkoma pa 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 največ prispevale k nižanju kakovosti žaganic po sušenju iz A- v B- ali nižji kakovostni razred. Po tehničnem in naravnem sušenju smo pri 25 % oz. 33 % kakovost žaganic ocenili slabše.

Za kakovost in rabo lesa so ključne njegove lastnosti, ki so zelo variabilne. V ta namen smo podrobno proučili variabilnost fizikalnih (vlažnost in gostota) in mehanskih lastnosti (togost, upogibna trdnost, strižna trdnost v smeri lesnih vlaken ter tlačna trdnost v vseh anatomskih smereh). Za dopolnitev smo uporabili nedestruktivne metode testiranja z merjenjem preleta ultrazvoka in s frekvenčnim odzivom, kjer smo določili togostne karakteristike na sortimentih v celotni gozdno-lesni verigi, t.j. hlodovini, in na svežem ter osušenem žaganem lesu. Metodi smo izpopolnili za uporabo za listavce. Pokazali sta spodbudne rezultate, ki smo jih še izboljšali z vizualnimi ocenami.

Pri spremljanju kakovosti lesa po žledolomu smo v izruvanih drevesih, ki so po žledolomu ozelenela, ugotovil, da je bila izguba in razporeditev vlage v deblu (ki je merilo in garant za ohranitev kakovosti) ob koncu prve vegetacijske dovolj majhna, da se kakovost še ni bistveno zmanjšala. Stoječa drevesa z različno poškodovanimi krošnjami pa so v letu po ujmi proizvedla od 20 do 95 % ožje ksilemske branike in manj floema kot nepoškodovane bukve.

Dokaj visoka gostota, trdota in trdnost bukovine (glede na druge komercialne domače lesne vrste) so razlog da je bukovina cenjena za mehansko obremenjene izdelke. Zelo obetavna je uvedba bukovine za različne rabe v gradbeništvu, pri čemer jo moramo za konstrukcije na prostem ustrezno zaščititi. Podrobneje smo raziskali, kako vse bolj uveljavljena termična modifikacija in uporaba voskov vpliva na odpornost in življenjsko dobo bukovine, odpornost proti navlaževanju pa smo spremljali v laboratorijskih razmerah in terenskih testih. Les izpostavljen različnim abiotskim in biotskim dejavnikom razkroja se je z vidika navzemanja vode najboljše obnesel v kolikor je bil termično modificiran in impregniran s suspenzijo naravnih voskov.

Potencial lesne surovine v slovenski gozdno-lesni verigi ostaja premalo izkoriščen. Raziskave so pokazale, da je za gospodarnejše ravnanje z lesno surovino ob zagotavljanju posrednih učinkov na širše gospodarsko okolje 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. Podrobneje smo preučili stanje primarne predelave lesa kot pomembnega člana gozdno-lesne verige v Sloveniji ter identificirali nekatere vzroke za njeno neučinkovitost med katerimi smo izpostavili prenehanje proizvodnje v žagarskih obratih in furnirnic ter prekinitev povezav v gozdno-lesni verigi. 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 razžagovanje listavcev in proizvodnjo furnirja. 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, ki so lahko dober pripomoček podjetjem, ko se odločajo za razvoj novih izdelkov in njihovo trženje.

Za učinkovito rabo bukovine potrebujemo ustrezno primarno industrijo. Ocenjujemo, da bi bilo v Sloveniji, smiselno vlagati tako v obstoječe žagarske obrate s ciljem posodobitve tehnologije in povečanja obsega proizvodnje, kot tudi v nove obrate za razžagovanje listavcev. Tako bi 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 novih manjših žagarskih obratov s kapaciteto 25.000 m³/leto (skupno 150.000 m³/leto).

Obnoviti bi morali izdelavo bukovega konstrukcijskega in plemenitega furnirja, za izdelavo že uveljavljenih vezanih plošč, furnirnih plošč ali slojnatega furnirnega lesa (LVL) in za razvoj inovativnih konstrukcijskih kompozitnih elementov kot so novi ploskovni, linijski ali prostorsko ukrivljeni elementi, ki imajo bistveno boljše mehanske lastnosti kot npr. smrekov lepljen lameliran les. Slovenija bi po naši oceni lahko imela do 3 furnirnice s kapacitetami 50.000 m³/leto (skupaj 150.000 m³/leto).

Velike količine bukovine slabše kakovosti, ki ostaja po sečnji ali kot ostanek lesnopredelovalne industrije, predstavljajo pomemben surovinski potencial. Po grobi oceni bi pri zagonu primarne industrije lahko nastalo okrog 300.000 m³/leto ostankov primernih za nadaljnjo predelavo v nove proizvode kot so platformne kemikalije ter napredna goriva (npr. etanol in butanol), lesna vlakna primerna za pripravo lesno-plastičnih kompozitov za širok spekter uporabnosti, celulozna vlakna za izdelavo papirja, tekstila ter nanofibrilirane in nanokristalinične celuloze. Vrsto produktov lahko naredimo tudi iz hemicelulozne in ligninske frakcija. Glede na veliko povpraševanje, bi bilo v Sloveniji smiselno najprej obnoviti proizvodnjo celuloze, saj sodobni postopki delignifikacije lesa omogočajo istočasno pridobivanje ligninskih produktov in dragocenih "zelenih" kemikalij na okoljsko sprejemljiv in ekonomsko učinkovit način. V ta namen bi morali najprej postaviti pilotno (mobilno) biorafinerijo, ki bi služila tudi za raziskave in razvoj novih izdelkov.

Celovita raba lesa bi omogočila delovanje gozdno-lesne verige in bi bila ugodna tudi za majhne lastnike gozdov, kreiranje lokalnih mrež ter razvoj podeželja. S celovitejšo izrabo obnovljivih virov bi podaljšali njihov gospodarskih ciklov, okrepili predelovalno industrijo ter razširili gozdno-lesno verigo na nova področja, s čimer bi povezovali več različnih deležnikov, krepili mrežno organiziranost in zagotovili potencial za odpiranje novih delovnih mest.

Vsi **rezultati** projekta so bili zainteresirani javnosti predstavljeni v okviru obsežne diseminacije. Zaradi praktične naravnosti projekta je bil velik poudarek na povezovanju znanosti in stroke na področju gozdarstva, lesarstva, papirništva, gradbeništva ter drugih disciplin.

Glavni načini diseminacije rezultatov projekta so bili sledeči:

- internetna stran postavljena izključno za namene projekta (<http://crp-bukev.bf.uni-lj.si/>);
- vsakoletni izid spletnih novičk CRP Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini (2015-2017, ISSN 2463-767X) o najnovejših rezultatih projekta;
- kratke novičke o predstavitvi projekta v revijah Lesarski utrip (ISSN 1318-7732) in Gozdarski vestnik (ISSN 0017-2723) (COBISS tip 1.05, 1.20);
- prispevki za radio
- sklop 10 prispevkov objavljenih v tedniku Kmečki glas (ISSN 0350-4093) v obdobju april-julij 2017.
- organizacija mednarodne delavnice Historical Wood Utilization - Past utilization of beech wood and other hardwoods and challenges for the future, junij 2016
- zaključni posvet projekta v okviru prireditve Čar lesa v Cankarjevem domu, 9. 5. 2017, z mednarodno udeležbo.
- zaključna delavnica za Zavod za gozdove Slovenije na Gozdarskem inštitutu Slovenije, 15.6.2017.

V okviru CRP-a je izšlo več tematskih števil, kjer so bili objavljeni prispevki o rezultatih projekta, in sicer:

- V letu 2015 tematska številka Gozdarskega vestnika (ISSN 0017-2723, letn., 73, št. 10), v katerem je bilo poleg predgovora objavljenih 6 prispevkov.
- V letu 2016 tematska številka Acta silvae et ligni (ISSN 2335-3112, št. 110) s 5 prispevki in

uvodnikom.

-V letu 2017 tematska številka Les/Wood (ISSN 0024-1067, št. 1) s 7 prispevki in dvema uvodnikoma.

Rezultati projekta so zbrani v obsežnem poročilu za Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP, datum junij 2017) in predstavljeni na internetni strani projekta (<http://crp-bukev.bf.uni-lj.si/>).

Cilji projekta so bili v celoti doseženi.

Iz objav in programov srečanj (delavnic ter konferenc) je razvidno, da so bili tuji partnerji vključeni v raziskave ter da so sodelovali pri identifikaciji in prenosu dobrih praks.

Ker je diseminacija vključevala znanstvenike, strokovnjake in širšo javnost, so glavni učinki projekta ozaveščanje in seznanitev s problematiko celovite rabe lesa listavcev v celotni gozdno lesni verigi, kje so šibkosti in kako problematiko reševati.

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

V projektu smo sledili štirim glavnim ciljem, na katere smo v celoti odgovorili. Odgovori na cilje se med seboj prepletajo in dopolnjujejo.

Cilj 1: Kakovost lesa listavcev s poudarkom na bukovini – od gozda do izdelka

Cilj 2: Potenciali in možnosti racionalne izrabe lesa listavcev s poudarkom na bukovini

Cilj 3: Analiza sodobnih tehnoloških in organizacijskih oblik primarne predelave listavcev

Cilj 4: Možnosti razvoja novih izdelkov in učinki na gospodarstvo

Količina lesa listavcev v lesni zalogi Slovenije v zadnjih letih narašča; navadna bukev (*Fagus sylvatica*) ima tu največji delež (32%). V projektu na primerih **ovrednotili kakovost lesa bukve od gozda do izdelka**. Pokazali smo katere izdelke in rabe, bi morali proizvajati iz lesa glede na kakovost, kar potrjuje, da so **potenciali racionalne rabe** listavcev v Sloveniji veliki in kako jih lahko izkoristimo.

Pregledali smo **tehnološke in organizacijske** oblik **primarne industrije oz. predelave listavcev** v Sloveniji. Glede na ugotovljeno trenutno stanje primarne industrije, kjer so se pokazale tehnološke in organizacijske pomanjkljivosti, smo podali predloge konkretnih izboljšav, ki smo jih prikazali tudi s primeri dobrih praks pri nas in v tujini. Podali smo predlog primarne tehnologije za celostno predelavo bukovine in drugih listavcev z vidika obstoječih in novih področij uporabe z visoko dodano vrednostjo in s predlogi seznanili uporabnike in odločevalce oz. usmerjevalce gospodarske politike.

Energijo in kapital je treba usmeriti v investicije in **razvoj izdelkov z visoko dodano vrednostjo**. V ta namen smo razvili model vrednotenja dodane vrednosti v izdelku in identificirali ključne izzive pri njenem vrednotenju ter njeno povezavo z drugimi ekonomskimi kazalniki, ki vplivajo na poslovne odločitve podjetij.

Za racionalno izrabo lesa listavcev **mora delovati celotna gozdno lesna veriga**. Pokazali smo potrebe in možnosti povezave gozdarstva in lesarstva ter drugih branž za neprekinjeno dobavno verigo in povezavo razdrobljenih proizvodnih zmogljivosti. Posodobljena primarna predelava lesa je ključni člen gozdno-lesne verige in širše mrežne organiziranosti, ki sta nujna za uveljavljanje **novih poslovnih modelov**.

Za optimalni izkoristek potencialov za **popolnejšo izrabo lesa bukve in listavcev** moramo deloma ohraniti ali ponovno oživiti tradicionalne proizvodnje in izdelke vendar moramo **izboljšati razvojno trženjske procese**. Usmeriti se moramo v **boljšo izrabo lesa slabše kakovosti in lesnih ostankov**. V izvedeni pilotni študiji smo pokazali, Slovenija potrebuje eno ali več bio-rafinerij. Stanje kompetenc/znanj zaposlenih, je solidno, a ga moramo še bolj povezati in usmeriti v razvoj tehnologij za pridobivanje različnih spojin in izdelkov iz različnih vrst odpadne biomase. Boljša povezava znanja in **strateška usmerjenost** pa bi omogočila dodaten razvoj kadrov, za optimalno izrabo domače surovine s **pozitivnimi učinki za celotno družbo**.

6. Spremembe programa dela raziskovalnega projekta oziroma spremembe sestave projektne skupine⁴

Ni bilo sprememb.

7. Najpomembnejši dosežki projektne skupine na raziskovalnem področju⁵

Dosežek			
1.	COBISS ID	2519945	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Hidro-mehansko obnašanje termično modificirane bukovine obremenjene na tlak
		ANG	Hygro-mechanical behavior of thermally treated beech subjected to compression loads
	Opis	SLO	Fizikalne in mehanske lastnosti lesa bukve (<i>Fagus sylvatica</i> L.) so bile določene po industrijski termični obdelavi lesa v parni atmosferi. Vzoredno čisti orientirani vzorci (20 x 20 x 20 mm) so bili izdelani iz kontrolnega in toplotno obdelanega lesa. Vzorci v različnih stanjih od absolutno suhega do kondicioniranega v z vodo nasičeni atmosferi (20 ° C) so bili tlačno obremenjeni vzoredno s potekom aksialnih lementov. Zmanjšana gostota toplotno obdelanega bukve se je odražala v zmanjšani togosti in trdnosti lesa. Vpliva toplotne obdelave na vzdolžno kompresijsko trdnost lesa nismo mogli dokazati. Termično modificiran les je bil manj higroskopen. Rezultati so pomembni zato, ker si v bodoče veliko obetamo od uporabe bukovine za konstrukcije, termična modifikacija pa je med najbolj obetavnimi metodami za povečanje njene odpornosti.
		ANG	The physical and mechanical properties of beech wood (<i>Fagus sylvatica</i> L.) were determined after industrial thermal treatment in a steam atmosphere. Parallel clear uniaxial compression specimens (20 x 20 x 20 mm) were made from control and thermally treated wood, conditioned in a series from an oven dry to saturated atmosphere (20°C) and compression loaded parallel and transverse to the grain. The reduced density of thermally treated beech was reflected in the decreased stiffness and, especially, strength of wood transverse to the grain. No impact of thermal treatment on the longitudinal compression strength of wood was confirmed. Lower hygroscopicity was additionally detected with thermomodified wood. The results are important because the use of beechwood for constructions seems to be one of the most promising uses of this species in the near future, and thermal modification is one of the most promising methods for increasing its natural durability.
	Objavljeno v		Scientific & Technical Press; Construction & building materials; 2016; Vol. 113; str. 28-33; Impact Factor: 3.169; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.583; A': 1; WoS: FA, IM, PM; Avtorji / Authors: Straže Aleš, Fajdiga Gorazd, Pervan Stjepan, Gorišek Željko
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	2527113	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Življenje na robu: dinamika nastajanja lesa navadne bukve (<i>Fagus sylvatica</i>) in rdečega bora (<i>Pinus sylvestris</i>) na robnih rastiščih s sredozemsko klimo
		ANG	Living on the edge
	Opis	SLO	Pri bukvi (<i>Fagus sylvatica</i> L.) in boru (<i>Pinus sylvestris</i> L.), smo proučevali dinamiko nastajanja lesa na rastiščih na robu naravnega areala z mediteransko klimo. Raziskavo je podprlo več projektov, za pričujoči projekt pa so pomembni rezultati, ki podrobno kažejo kako se spremeni priraščanje in kakovost lesa bukve v neugodnih razmerah, kakršne se zaradi spremembe klime obetajo tudi na Slovenskih rastiščih.

	Dosežek		
		ANG	In European beech (<i>Fagus sylvatica</i> L.) and Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.), we studied the dynamics of wood formation on the sites on the edge of the natural range of both species with a Mediterranean climate. The research was supported by several projects. For this project are particularly important the results which show how the growth and quality of beech wood is changing under unfavorable conditions, which are due to progressing climatic changes also expected in the Slovenian sites.
	Objavljeno v		Frontiers Research Foundation; Frontiers in plant science; 2016; Vol. 7, article 370; 20 str.; Impact Factor: 4.291; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.054; A': 1; WoS: DE; Avtorji / Authors: Martinez Del Castillo Edurne, Longares Luis Alberto, Gričar Jožica, Prislan Peter, Pelegrin Eustaquio Gil, Čufar Katarina, De Luis Martin
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	2189193	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Bukova rimska ladja v reki Ljubljani
		ANG	A Roman barge in the Ljubljana river (Slovenia)
	Opis	SLO	Raziskali smo ostanke rimske ladje, ki so jo podvodni arheologi odkrili v reki Ljubljani pri Sinji Gorici pri Vrhniki. Raziskave so pokazale, da je bila presenetljivo izdelana iz lesa bukve (<i>Fagus sylvatica</i>). Ladjo smo dendrokronološko datirali; datum zunanje branike je leto 3 n.št. Presenetila nas je uporaba bukovega lesa, ki ima sicer dobre mehanske lastnosti, vendar zelo majhno odpornost proti škodljivcem. Glede na to, smo ladjo lahko večkrat predstavili kot dober primer univerzalne uporabnosti bukovega lesa, kar se dobro ujema s cilji pričujočega projekta.
		ANG	We investigated remains of ancient Roman barge found during a preventive underwater survey in the Ljubljana river near Sinja Gorica (between Vrhnika and Ljubljana, Slovenia). The investigations to a great surprise showed that it was made of beech (<i>Fagus sylvatica</i>) wood. The wood could be dendrochronologically dated with a post quem end date of AD 3. The use of beech wood, which has good mechanical properties but very low resistance against decay organisms, for ship building is rare. Due to this, we could present this ship as a good example that beech wood is generally useful for a wide range of very different products.
	Objavljeno v		Academic Press; Journal of archaeological science; 2014; Vol. 44, no. 1; str. 128-135; Impact Factor: 2.196; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.05; A': 1; WoS: LE, BF; Avtorji / Authors: Čufar Katarina, Merela Maks, Erič Miran
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	2555017	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv umetnega in naravnega staranja na hidrofbnost in površinskih lastnosti lesa
		ANG	Influence of artificial and natural weathering on the hydrophobicity and surface properties of wood
	Opis	SLO	Uporaba lesa na prostem se v Evropi povečuje. Da bi povečali uporabo lesa v te namene, je treba zagotoviti več informacij v zvezi z njegovo življenjsko dobo in stroški vzdrževanja. Učinkovita izključitev navlaževanja (WEE) je med najpomembnejšimi dejavniki, ki vplivajo na življenjsko dobo in je močno povezana z dinamiko sprejemanja in oddajanja vode, lastnostmi površin in hidrofbnostjo (WEE kot celote). WEE je mogoče izboljšati s postopki modifikacije in s povečanjem hidrofbnosti. Cilj te raziskave je bil, da se pojasni, katere lastnosti površin lesa vplivajo na WEE in kakšne spremembe nastanejo tekom umetnega ali naravnega staranja. Za raziskave so bili uporabljeni vzorci lesa hrasta (<i>Quercus</i>), kostanja (<i>Castanea sativa</i>), evropskega macesna (<i>Larix decidua</i>),

Dosežek		
		jedrovine in beljave rdečega bora (<i>Pinus sylvestris</i>), smreke (<i>Picea abies</i>) in bukve (<i>Fagus sylvatica</i>). Hidrofobnost vzorcev smo povečali s termično modifikacijo, ter vnosom voska, olja in biocidov. Skupaj smo pripravili 17 materialov. Po obdelavi smo uporabili štiri različne postopke staranja. Pred in po staranju, smo vzorce preiskali s pomočjo metode FTIR, določili pa smo tudi barvo in kontaktni kot. Analiza neobdelanih vzorcev lesa je pokazala, da sta trajnost in hidrofobnost povezani. Med vsemi postopki je impregnacija z voskom najbolj pripomogla k ohranitvi visoke hidrofobnosti tudi pri najostrejši metodi staranja (izpostavljenosti na prostem).
	ANG	The use of wood in outdoor, above-ground applications is increasing in Europe. To further increase wood usage, more information related to service life and maintenance costs must be provided. Water exclusion efficacy (WEE) is one of the most important factors influencing service life and strongly correlates to wood moisture dynamics, surface properties, and hydrophobicity (WEE as a whole). WEE can be improved with modifications and hydrophobic treatments. The aim of this study was to elucidate which wood surface properties affect WEE and to note changes over time caused by artificial or natural aging. Wood samples of oak (<i>Quercus</i>), sweet chestnut (<i>Castanea sativa</i>), European larch (<i>Larix decidua</i>), Scots pine heartwood and sapwood (<i>Pinus sylvestris</i>), Norway spruce (<i>Picea abies</i>), and beech (<i>Fagus sylvatica</i>) were used to investigate this phenomenon. The moisture performance of the wood samples was improved with thermal modification, wax, oil, and biocide treatment. In total, 17 materials were prepared. After treatment, four different aging procedures were applied. Before and after aging, Fourier transform infrared spectra, colour, and contact angle were determined. The analysis of untreated wood based materials indicated that durability and hydrophobicity are related. Of all the treatments, wax performed the best and retained high hydrophobicity even after the most severe aging method (outdoor exposure).
	Objavljeno v	Dept. of Wood and Paper Science, College of Natural Resources, North Carolina State University; Bioresources; 2016; Vol. 11, iss. 2; str. 4964-4989; Impact Factor: 1.321; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.962; A': 1; WoS: PJ; Avtorji / Authors: Žlahtič Mojca, Humar Miha
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	2468745 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Kompresijski test termično modificiranega bukovega lesa: Eksperimentalna in numerična analiza
		ANG Compression test of thermally-treated beech wood
	Opis	SLO Predstavljamo eksperimentalno in numerično analizo tlačnega preizkušanja vzorcev naravnega in toplotno obdelanega lesa bukve (<i>Fagus sylvatica</i> L.). V normalni klimi so bili vzorci z dimenzijami 20 x 20 x 20 mm izpostavljeni statičnim tlačnim obremenitvam vzporedno in prečno na potek aksialnih elementov. Po tem smo preizkus modelirali po metodi končnih elementov. Ugotovljeno je bilo, da se je po termični modifikaciji zmanjšala gostota lesa in povečala togost v obeh preizkušanih smereh. Po termični modifikaciji se je trdnost bukovega lesa povečala v smeri vzporedni z aksialnimi elementi in zmanjšala prečno na vlakna. Na podlagi primerjave eksperimentalnih in numeričnih rezultatov ugotavljamo da je mogoče uporabiti hiperelastični konstitutivni zakon za smiselno modeliranje sile in deformacije pri tlačnih preizkusih. Rezultati so pomembni za uporabo bukovine za konstrukcije.
		Experimental and numerical analysis of a compression test carried out on samples of as received and thermally-treated beech (<i>Fagus sylvatica</i> L.) wood is presented. In a normal climate, samples with the dimensions of 20 x 20 x 20 mm were exposed to static compressive loads parallel and

Dosežek		
	ANG	transverse to the grain. Afterwards, the test was modelled using the finite element method. It was confirmed that, after thermal modification, the wood's density decreased and the stiffness in both tested directions increased. After the thermal treatment, the strength of beech wood increased in the direction parallel to the grain and decreased in the direction transverse to the grain. Based on the comparison of experimental and numerical results, it is possible to use the hyperelastic constitutive law to reasonably model the force and displacement obtained in the compression test samples. The results are important for potential use of beechwood for constructions.
Objavljeno v	Dept. of Wood and Paper Science, College of Natural Resources, North Carolina State University; Bioresources; 2015; Vol. 11, 1; str. 223-234; Impact Factor: 1.334; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.905; A': 1; WoS: PJ; Avtorji / Authors: Fajdiga Gorazd, Zafošnik Boštjan, Gospodarič Bojan, Straže Aleš	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

8. Najpomembnejši dosežek projektne skupine na področju gospodarstva, družbenih in kulturnih dejavnosti⁶

Dosežek			
1.	COBISS ID	2590857	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	4. srečanje: Zgodovinska raba lesa: pretekla raba lesa buke in drugih listavcev kot izziv za prihodnost
		ANG	4th meeting: Historical wood utilization - past utilization of beech wood and other hardwoods and challenges for the future
	Opis	SLO	Organizirali smo mednarodno delavnico kjer je skupina znanstvenikov in strokovnjakov iz Avstrije, Belgije, Italije, Nemčije in Slovenije prikazala primere rabe bukovine v različnih obdobjih in okoljih v preteklosti. Delo je potekalo v obliki predavanj, diskusij, praktičnih demonstracij, praktičnega dela in ekskurzije po Sloveniji in ob ogledu gozdnega sestoja pri Kočevju in zgodovinskih objektov v Mirnski dolini. V Deželi kozolcev, Šentrupert in Rokodelskem centru Ribnica so se s praktičnim delom seznanili s tradicionalnimi postopki predelave, obdelave in rabe lesa, ki so omogočile optimalno izkoriščanje prednosti bukovine in drugih lesnih vrst. Ker je pretekla raba temeljila na izredno dobrem poznavanju lesa, so predstavljeni primeri izziv in spodbuda za razvoj novih izdelkov za boljšo izrabo bukovine v prihodnosti, kar je bil tudi osnovni namen delavnice. Z delavnico smo nagovorili tudi lokalne odločevalce in prebivalstvo na območjih z dolgo tradicijo predelave lesa.
		ANG	We organized an international workshop where a group of scientists and experts from Austria, Belgium, Italy, Germany and Slovenia presented examples of the use of beech wood in different periods and environments in the past. The work consisted of lectures, discussions, practical demonstrations, practical work and excursions in Slovenia. The participants visited a forest stand near Kočevje and historical buildings in the Mirna Valley. The Land of hayracks, Šentrupert and the Handicraft center Ribnica organized practical demonstrations and work to better know the traditional wood processing and use. These practices resulted in optimal use of the advantages of beech and other wood species. Since the historical wood utilization was based on a very good knowledge on wood properties, the examples present a challenge and motivation to develop new products and improve the use of beech wood in the future. This was also the primary purpose of the workshop. The workshop was also addressed to local decision makers and the

	Dosežek	
		general population in areas with a long tradition of wood processing.
	Šifra	B.01 Organizator znanstvenega srečanja
	Objavljeno v	Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo; 2016; 3 str.; Avtorji / Authors: Čufar Katarina, Merela Maks, Grabner Michael
	Tipologija	2.25 Druge monografije in druga zaključena dela
2.	COBISS ID	2792585 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Uredništvo tematske številke revije Les / Wood
		<i>ANG</i> Editors of special issue of the journal Les / Wood
	Opis	<i>SLO</i> Uredništvo revije LES / WOOD in souredništvo tematske številke posvečene CRP projektu Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini. Številka obsega sedem člankov s predstavitev sklepnih ugotovitev triletnega projekta, ki se zaključuje v juniju 2017. Članki sledijo ciljem projekta.
		<i>ANG</i> Editors of the journal LES / WOOD and co-editors of the thematic number of the journal dedicated to the CRP project Rational use of hardwoods with emphasis on beechwood. The number comprises seven articles presenting the conclusions of a three-year project, which ends in June 2017. The articles follow the objectives of the project.
	Šifra	C.05 Uredništvo nacionalne revije
	Objavljeno v	Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije; Les; 2017; Let. 66, št. 1; str. 1-2; Avtorji / Authors: Gričar Jožica, Kropivšek Jože, Čufar Katarina
	Tipologija	1.25 Drugi sestavni deli
3.	COBISS ID	2590601 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Funkcionalni znaki v anatomiji lesa
		<i>ANG</i> Functional traits in wood anatomy
	Opis	<i>SLO</i> Vabljeni gostujoči so-urednik in pisec uvodnika v tematski številki revije IAWA journal, ISSN 0928-1541, 2016, vol. 37, no. 2.
		<i>ANG</i> Invited guest- associated editor and co-author of "editorial" in special issue of IAWA journal, ISSN 0928-1541, 2016, vol. 37, no. 2.
	Šifra	C.03 Vabljeni urednik revije (guest-associated editor)
	Objavljeno v	Rijksherbarium/Hortus botanicus; IAWA journal; 2016; Vol. 37, no. 2; str. 124-126; Impact Factor: 0.403; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.286; WoS: KA; Avtorji / Authors: Baas Pieter, Beeckman Hans, Čufar Katarina, De Micco Veronica
	Tipologija	1.20 Predgovor, spremna beseda
4.	COBISS ID	2634121 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Spremembe mehanskih lastnosti bukovine po žledolomu
		<i>ANG</i> Changes of the mechanical properties of beech wood after ice storm
	Opis	<i>SLO</i> V okviru projekta so bili preko doktorskih disertacij ter magistrskih in diplomskih del vključeni študenti: Doktorske disertacije: 2 Magistrska dela (predbolonjski znanstveni magisterij): 1 Magistrska dela (bolonjski študij): 9 Diplomska dela (stari predbolonjski programi): 26 Diplomska dela (visokošolski in univerzitetni BSc študij): 20 V pričujoči raziskavi smo proučevali mehanske lastnosti po žledolomu podrtih dreves navadne bukve (<i>Fagus sylvatica</i> L).
		The project included work of students through :

Dosežek			
		ANG	Doctoral dissertations: 2 Master's theses (Pre-Bologna Scientific Masters): 1 Master thesis (Bologna studies): 9 Graduation (old pre-Bologna programs): 26 Graduation thesis (higher education and university BSc studies): 20 In this work we investigated the mechanical properties of the felled beech wood trees (<i>Fagus sylvatica</i> L) after ice storm.
	Šifra	D.10 Pedagoško delo	
	Objavljeno v	[D. Plavčak]; 2016; X, 48 str., [8] f. pril.; Avtorji / Authors: Plavčak Denis	
	Tipologija	2.09 Magistrsko delo	
5.	COBISS ID	2782089	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vpliv izbranih okoljskih dejavnikov na dinamiko vlaženja lesa
		ANG	Influence of selected environmental factors on moisture dynamics of wood : doctoral dissertation
	Opis	SLO	V doktorski nalogi smo raziskavo zastavili na 17 različnih materialih. Na lesu smreke, bora, macesna, bukve, kostanja in hrasta. Relevantne lastnosti lesa smo izboljšali s termično modifikacijo, z impregnacijo z baker-etanolaminskim pripravkom, s tungovim oljem in z emulzijo naravnega voska. Vzorce smo izpostavili različnim dejavnikom staranja: glivi bele in rjave trohnobe, glivam modrivkam, umetnemu pospešenemu staranju in naravnemu staranju na testnem polju. Ugotovili smo, da se dinamika vlaženja lesa s staranjem spreminja ter je odvisna od lesne vrste in postopka zaščite. Po staranju smo okarakterizirali delovanje dejavnikov staranja in določili dinamiko vlaženja na vzorcih. Določili smo izgubo mase ter barvne in kemijske spremembe. Dinamiko vlaženja smo določali s kapilarnim navzgom vode, z določanjem stičnega kota z metodo s kapljico, dolgotrajnim navzgom vode in s sorpcijskim testom. Ugotovili smo, da se vodoodbojnost in odpornost materiala proti navlaževanju pri večini materialov s staranjem poslabšata. Izjema so materiali, zaščiteni z voski, ki so po nekaterih postopkih staranja izkazali celo bolj hidrofolno površino. Med vsemi testiranimi materiali sta se za najboljša izkazala termično modificirana smrekovina in bukovina, zaščiteni z emulzijo naravnih voskov. Tudi les, impregniciran z olji, je dobro ohranil hidrofolnost. Ugotovili smo, da je z laboratorijskimi testi mogoče določiti odpornost lesa proti navlaževanju, če vzorce pred tem staramo. Dinamika vlaženja lesa je kompleksna lastnost, ki je ni mogoče določiti zgolj z enim laboratorijskim testom, ampak je za to pomembna kombinacija testov. V drugem delu smo se posvetili jedrski magnetni resonanci. Metodo slikanja z magnetno resonanco smo uporabili v raziskavah o dinamiki vlaženja, sušenja in navzema zaščitnih sredstev v les. Z dobljenim signalom in 3D-modelom porazdelitve vode v preizkušancu smo nadgradili informacije o vlažnosti, dobljene s klasičnimi metodami. Ugotovili smo, da je magnetna resonanca primerna metoda za tovrstne raziskave.
			The research work in the doctoral study was conducted on 17 different materials, based on spruce, pine, larch, beech, chestnut and oak wood. In order to improve the wood properties, thermal modification and impregnation with a copper-ethanolamine formulation, tung oil and a natural wax suspension were used. Specimens were exposed to various degradation-aging procedures: white and brown rot decay fungi, blue stain fungi, artificial accelerated weathering and natural weathering in the field test site. Our results indicated that the moisture dynamics of wood changes with ageing and it depends on the wood species and treatment applied. After exposure to various aging procedures, the ageing factors were characterized and the moisture dynamics of wood was evaluated. Mass loss, colour and chemical changes were determined. The moisture dynamics of wood were determined by capillary water uptake, by contact

	Dosežek	
	ANG	angle determination by the sessile drop method, long-term water uptake and a sorption test. Water exclusion efficacy and moisture performance in most of the materials investigated decreased after ageing. Materials treated with waxes were exceptions. The excellent hydrophobic properties even improved after some ageing procedures. Of all of the materials tested, thermally modified spruce and beech treated with an emulsion of natural waxes performed the best. Oil treated woods also retained good hydrophobicity. We found that it is with laboratory tests possible to determine moisture performance if specimens have been previously aged. Comprehensive moisture performance cannot be elucidated with a single laboratory test, but a variety of laboratory tests need to be applied. In the second part of the research, greater emphasis was placed on nuclear magnetic resonance. The magnetic resonance imaging method was applied to elucidate the moisture dynamics of wood, drying and uptake of preservation treatments in wood. The obtained signal and 3D model of water distribution give information that is much more comprehensive compared to the classic gravimetric method. Magnetic resonance is a suitable method for this research.
	Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom
	Objavljeno v	[M. Žlahtič Zupanc]; 2017; XII, 231, [15] str.; Avtorji / Authors: Žlahtič Zupanc Mojca
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

Spoznanja projekta smo sproti prenašali v prakso, diseminaciji rezultatov pa smo se še posebej intenzivno posvetili v zadnjih mesecih projekta.

V ta namen smo:

- sodelovali pri organizaciji razstave Čar lesa 2017, kjer smo nagovorili najširšo javnost.
- organizirali zaključni posvet »Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini«, v okviru prireditve Čar lesa v Cankarjevem domu 9.5.2017.

Posvet je z nagovorom odprl minister Dejan Židan, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP).

Uvodni nagovor je imel direktor direktorata za lesarstvo MGRT Jože Prikeržnik, Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo.

Projekt je predstavil tudi spremljevalec projekta s strani MKGP mag. Robert Režonja.

Raziskovalci na projektu so predstavili izhodišča in rezultate projekta-

Interdisciplinarni pomen in dobre prakse rabe bukovine pri nas in v tujini so predstavili strokovnjaki iz gradbeniške stroke, industrije ter raziskovalci z univerz v Zagrebu, Beogradu in na Dunaju.

Zaključne prireditve se je udeležilo nad 100 udeležencev iz različnih profilov, vključno s strokovnjaki, študenti in širšo javnostjo.

S tem smo zagotovili: posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom, izobraževanje ter splošni napredek znanja. Iz vsebin je bilo razvidno, da je projekt prispeval k razvoju tehnoloških ter kmetijskih ved in gozdarstva.

Pri raziskavah smo sodelovali z Zavodom za gozdove Slovenije (ZGS), preko njihove mreže pa smo dosegli službe po vsej Sloveniji in lastnike gozdov.

Za strokovne službe ZGS smo organizirali dobro obiskan

-zaključni posvet o spremljanju kakovosti lesa v juniju 2017.

Preko ZGS smo nagovorili tudi lastnike gozdov, ki smo jih tudi neposredno ozaveščali tudi preko medijev (npr. radio Ognjišče, časopis Kmečki glas).

V naše raziskave je bila vključena tudi industrija in proizvodni obrati.

Rezultati in učinki projekta so podrobno razvidni iz zaključnega poročila, ki smo ga za MKGP

pripravili ob zaključku projekta v juniju 2017.

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

10.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Pomen projekta za razvoj znanosti je razviden iz znanstvenih objav v revijah Gozdarski vestnik (6), Acta Silvae et Ligni (8) ter Les / Wood (7) in v več kot 10 objavah v drugih revijah z visokimi faktorji vpliva.

Rezultati so pokazali, da mora celovit pregled nad kakovostjo lesa v slovenskih gozdovih vključevati spremljanje od stoječih dreves do izdelka. Za to trenutno uporabljamo več standardov. Za oceno kakovosti lesa v stoječih drevesih uporabljamo 5-stopenjsko lestvico Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS), pri ocenjevanju gozdnih sortimentov predvsem standard SIST EN 1316-1:2013 in pri ocenjevanju žaganega lesa pravila Evropskega združenja žagarske industrije (EOS). Vizualna ocena v stoječih drevesih praviloma ne razkriva vseh dejavnikov kakovosti (npr. rdeče srce in grče). S predelavo lesa (krojenjem, razžagovanjem, sušenjem) pa se razkrivajo ali pojavljajo še dodatne napake. Raziskave nedestruktivnih metod testiranja lastnosti lesa so pokazale, s katerimi prilagoditvami jih lahko uporabimo za les listavcev. Pokazali smo kako lahko izkoristek bukovega žaganega lesa povečamo z ustreznim krmiljenjem parametrov sušilnega postopka in v kolikšni meri lahko uporabljamo energetske ugodno naravno sušenje. Poškodbe dreves zaradi ujm (npr. žledoloma) vplivajo na zmanjšanje prirastka in kakovosti lesa. V kolikor so drevesa v ujmah izruvana in skorja ostane bolj ali manj nepoškodovana, les lahko več mesecev po ujmi ohrani vlago, ki ga varuje pred okužbami ter razvrednotenjem kakovosti. Termična modifikacija lesa in impregnacija z voski sta obetavna načina povečanja odpornosti lesa bukke. V raziskavah smo pokazali, kako lahko vodimo postopek modifikiranja, da je izguba trdnosti čim manjša.

Glede na proučevane lastnosti lesa in njihovo variabilnost ima bukovina v primerjavi z drugimi domačimi lesnimi vrstami razmeroma visoko gostoto, trdnost in trdoto, kar jo kvalificira za uporabe kjer se zahtevajo dobre mehanske lastnosti.

Bukovina sodi med lesne vrste z najslabšo odpornostjo proti lesnim glivam. Ker večina obstoječih podatkov o odpornosti bukovine temelji na laboratorijskih testiranjih, smo življenjsko dobo lesa določali tudi s terenskimi testi in pridobili podatke o odpornosti bukovine v tretjem razredu uporabe (na prostem, ni v stiku z zemljo) v naših klimatskih razmerah. Analizirali smo dinamiko vlaženja lesa v različnih razmerah uporabe, kar predstavlja ključna spoznanja za širšo rabo bukovega lesa na prostem.

Specifične prednosti lesa bukke odraža pretekla raba bukovine. V okviru organizirane mednarodne delavnice, smo zbrali primere rabe bukovine v Evropi v preteklosti, ki so nam omogočile boljše vrednotenje prednosti te lesne vrste.

Lastnosti bukovine omogočajo njeno široko uporabo. Iz bukovine je v celotni gozdno-lesni verigi mogoče izdelati več sto različnih izdelkov, odločitev o tem, kaj je smiselno delati iz nje pa je smiselna samo na osnovi izračuna kazalnikov za lažje odločanje, ki smo jih ugotovili v okviru razvoja modela vrednotenja dodane vrednosti. Izkazalo se je, da potrebujemo primerjalno analizo med različnimi izdelki glede na dodano vrednost. Poleg temeljnega kazalnika dodane vrednosti moramo upoštevati tudi delež dodane vrednosti v prodajni ceni izdelka, ki 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.

Raziskave so pokazale, da je poleg kazalnikov dodane vrednosti pri odločanju, katere izdelke proizvajati, treba upoštevati tudi druge posredne učinke na gospodarstvo, ki se kažejo v izkoriščanju celotnega potenciala lesne predelave, ter inovacijski preboj lesne panoge.

Podrobne raziskave bukovine, ki je v slovenskih gozdovih najbolj zastopana, nakazujejo tudi rešitve za optimalno rabo drugih listavcev.

Glavni znanstveni prispevki projekta so dostopni na spletni strani <http://crp-bukev.bf.uni-lj.si/>

ANG

The significance of the project for the development of science is evident from publications in the journals Gozdarski vestnik (6 articles), Acta Silvae et Ligni (8 articles) and Les / Wood (7 articles), and in more than 10 articles in other magazines with high impact factors.

The results showed that a comprehensive assessment of the wood quality in Slovenian forests should include monitoring from standing trees to the product. For this we are currently using several standards. In standing trees, we use the 5-level scale of the Slovenian Forest Service (ZGS), for forest assortments we mainly use the SIST EN 1316-1: 2013 and for the assessment of sawn wood the EOS (European Organization for the Sawmill Industry) standard – Grading rules for unedged lumber. Visual assessment in standing trees generally does not reveal all the factors of wood quality (e.g., red heart and various knots). However, the processing of wood (cutting, sawing, drying) reveals or produces additional errors. Studies of non-destructive methods of testing wood properties have shown how to adapt them for application in hardwoods. We showed how the quality of wood can be increased by appropriate control of the drying parameters and to what extent we can use energy-efficient natural seasoning. The damage of trees caused by climatic disasters provokes the reduction of growth and reduces quality of the wood. If the trees are blown down (but not broken) and the bark remains intact, the wood can retain sufficient moisture to be protected against infections and degradation of quality. Thermal modification of wood and impregnation with waxes are promising ways to increase the resistance of beech wood. Our research has shown how the modification process can be managed to reduce the loss of strength as much as possible.

Beech wood is characterized by relatively high density, strength and hardness, which qualifies it to be used for constructions. At the same time beech belongs to wood species with the lowest resistance to wood fungi. Since most of the available resistance data are based on laboratory tests, the service life of the wood was also determined by field tests to obtain the data on the resistance of beech in the third grade of use (outdoor, not in contact with soil) in our climatic conditions. We analysed the dynamics of water uptake in different conditions of use, with key findings which will enable wider use of beech wood in the open air.

We organized an international workshop, where we collected examples of the historical use of beech wood in Europe. The results enabled us to better evaluate the advantages of this species.

Beechwood can be used to produce hundreds of different products throughout the forest-wood chain. For the decision on what to produce we need to calculate indicators relevant for decision-making. We have defined a list of such indicators needed for the development of the value-added evaluation model. It turned out that we need a comparison among different products in terms of added value. Here we showed that in addition to the basic indicator of added value, we also have to take into account the share of added value in the sales price of the product. This is the most important in comparative analyses, since it contains information on the share of the selling price to cover the labour costs, capital as well as other indirect costs and profit that are crucial for business decisions. In addition to value-added indicators, we should take into account also other indirect effects on the economy, to exploit the full potential of wood. We also need the innovation breakthrough in the timber industry.

Detailed studies on beechwood, which is the most frequent in Slovene forests, also suggest solutions for the optimal use of other hardwoods.

The most relevant scientific results are available on the project's website <http://crp-bukev.bf.uni-lj.si/>

10.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Potencial lesa listavcev, posebej bukovine, v naših gozdovih je mogoče optimalno izkoristiti, če deluje gozdno lesna veriga v vseh njenih segmentih. Projekt je pokazal kje je prišlo do prekinitev ali neučinkovitosti verige in podaja napotke kako jo ponovno vzpostaviti.

S sledenjem kakovosti lesa od gozda (drevesa) do izdelka smo na primeru bukve na treh reprezentativnih rastiščih in predelovalnih obratih ugotovili, da je delež najkakovostnejših dreves bukve v naših gozdovih majhen (pod 10%), in da lahko pričakujemo le nekaj odstotkov hlodovine najvišje kakovosti. Odločilne napake, ki zmanjšujejo kakovost bukovine so grče slepice in rdeče srce, ki na zunaj pogosto niso vidne in se razkrijejo šele v procesu predelave lesa. Delež kakovostnega žaganega lesa v bruto količini lesa drevesa pada s kakovostjo drevesa. V postopku sušenja se lahko pojavijo še dodatne napake, ki zmanjšujejo kakovost lesa, izraziteje na slabšem lesu. Podali smo predloge za izboljšanje metodologije za spremljanje kakovosti bukovine, ki bi jo v sodelovanju z Zavodom za

gozdove Slovenije lahko uporabili po vsej Sloveniji in tudi za druge listavce. Potrebujemo predelavo lesa v izdelke z visoko dodano vrednostjo, ki jo je treba voditi glede na vhodno kakovost lesa.

Pregledali smo stanje primarne industrije in predstavili katere investicije bi bile potrebne da bi posodobili tehnologijo za razžagovanje lesa listavcev. Hitro bi morali oživiti proizvodnjo plemenitega in konstrukcijskega furnirja, ki je skoraj zamrla. Zaradi lastnosti lesa je bukovina široko uporabna in smiselno je ohraniti predelavo v tradicionalne izdelke. Zaradi dokaj visoke gostote, trdote in trdnosti bukovine (glede na druge komercialne domače lesne vrste) je obetavna uvedba različnih novih rab v gradbeništvu. Za konstrukcije na prostem jo moramo ustrezno zaščititi, pri čemer so obetavni sodobni pristopi, ki vključujejo tudi termično modifikacijo lesa in impregnacijo z naravnimi voski.

Les dreves poškodovanih v ujmah, ostanke po sečnji ter ostanke lesno predelovalne industrije bi morali usmeriti v kemično predelavo v izdelke kot so platformne kemikalije in napredna goriva (npr. etanol in butanol). Ponovno bi morali oživiti proizvodnjo celuloznih vlaken za papir, tekstil ter nanofibrilirano in nanokristalinično celulozo. Pri tem bi morali uvesti sodobne postopke delignifikacije, ki omogočajo energetsko učinkovito in ekološko sprejemljivo pridelavo celuloze. Lesna vlakna imajo velik potencial za pripravo lesno plastičnih kompozitov, ki imajo širok spekter uporabnosti. Smiselna je tudi uporaba hemicelulozne in ligninske frakcije lesa. Z vse to bi Slovenija takoj potrebovala vsaj eno pilotno in eno industrijsko biorafinerijo s potencialom celovite izrabe biomase.

Za gospodarnejše ravnanje z lesno surovino ob zagotavljanju posrednih učinkov na širše gospodarsko okolje smo identificirali kje je prišlo do prekinitev gozdno-lesne verige. Potrebujemo razvoj izdelkov z visoko dodano vrednostjo, kjer moramo potencial lesne surovine usmerjati predvsem z vidika njene kakovosti. Na osnovi ocen razpoložljivosti surovine po kakovosti in namenu uporabe ter dodano vrednost na m³ lesa smo predstavili potrebne investicije v najnovejšo tehnologijo. Za uspešen razvoj in trženje izdelkov, morajo podjetja predhodno dobro raziskati ciljni trg, posebej še, če gre za izdelke iz specifične vrste lesa - v našem primeru iz bukovine ali drugih listavcev. Predstavili smo tri modele kot pripomočke podjetjem, ko se odločajo za razvoj novih izdelkov in njihovo trženje.

Projekt v celoti podaja rešitve, ki so pomembne za gozdarstvo (gospodarjenje z gozdovi) in lesarstvo (predelavo lesa) in imajo posreden učinek na razvoj podeželja, razvoj podjetništva, novih tehnologij, proizvodnih procesov, novih izdelkov ter storitvenih dejavnosti in so pomembne za varovanje kulturne dediščine in okolja. Podrobni rezultati so dostopni na spletni strani projekta <http://crp-bukev.bf.uni-lj.si/>

ANG

Hardwoods, especially beechwood, can be optimally exploited if the forest-wood chain operates in all its segments. The present project has shown where the chain has been interrupted or inefficient and we have suggested how to improve it.

For assessing the quality of the wood from the forest to the product, we selected three representative beech sites and nearby wood working enterprises. We found that the share of the highest quality beech trees is small in our forests (below 10%), therefore we can expect only a few percent of the highest quality lumber. Crucial defects that reduce wood quality are knots and red heart, which are often not visible when the tree is standing and are revealed only during the wood processing. The share of high quality sawn wood is related to the quality of the tree. In the drying process, further defects may occur which reduce the quality. We presented suggestions for improving the methodology for monitoring the quality of trees, which, in cooperation with the Slovenian Forest Service, could be used throughout Slovenia for beech as well as for other hardwoods.

We examined the state of the primary industry and presented which investments are needed to update the technology for hardwood sawing. We should also revive the production of rotary and sliced veneer. Due to the characteristics of wood, beech wood can be used for great variety of products. It is reasonable to preserve the productions of some traditional products. Due to its relatively high density, stiffness and hardness (compared to other commercial domestic wood species), it is promising to use it for constructions. For outdoor constructions, it must be properly protected. We showed new promising approaches which include hydrothermal modification and impregnation with natural waxes. Wood from the trees damaged in various storms, residues after logging and residues of the wood processing industry should be used for chemical processing into products such as platform chemicals and advanced fuels (e.g., ethanol and butanol). We should revive the production of cellulose fibres for paper, textiles and nanofibrilized and nanocrystalline cellulose. In this context, modern delignification procedures should be introduced to enable energy efficient and ecologically acceptable production of cellulose. Wood fibres have great

potential to produce wood plastic composites, which have a wide range of usability. The use of hemicellulose and lignin fraction of the wood is also promising. With all of this, Slovenia would immediately need at least one pilot and one industrial bio-refinery with the potential for a comprehensive use of biomass and residues.

For the more economical management of raw materials (with indirect beneficial effects on general economy), we identified the interruptions of the forest-timber chain. We need to develop products with high added value where the potential of raw material should be directed primarily from the point of view of its quality. Based on estimates of availability of raw materials by quality and end-use as well as added value per m³ of wood, we presented the necessary investments in the primary technology. For the successful development and marketing of products, companies must first research the target market, especially if the products are made of beechwood or other hardwoods. We presented three models to support the companies when deciding on the development of new products and their marketing.

The project provides solutions that are important for forest management and woodworking (timber processing) and have an indirect impact on rural development, the development of entrepreneurship, new technologies, production processes, new products and service activities and are important for the protection of cultural heritage and the environment.

Detailed results are available on <http://crp-bukev.bf.uni-lj.si/>

11. Vpetost raziskovalnih rezultatov projektne skupine

11.1. Vpetost raziskave v domače okolje

Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- ☐ 1 v domačih znanstvenih krogih
- ☐ 2 pri domačih uporabnikih

Kdo (poleg sofinancerjev) že izraža interes po vaših spoznanjih oziroma rezultatih? [11](#)

Zavod za gozdove Slovenije
Lastniki gozdov, lokalne skupnosti
Lesno predelovalna podjetja
Društvo lesarjev Slovenije
Gradbeniška stroka
Vse papirnice v Sloveniji
Proizvajalci nano celuloze
Visoka šola za polimere
Grafiki, plastičarji, embalažerji, tekstilna industrija
Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo (MKGP)
Direktorat za lesarstvo
Gospodarska zbornica Slovenije - Združenje lesne in pohištvene industrije

Našteti so bili vključeni v aktivnosti na projektu.

11.2. Vpetost raziskave v tuje okolje

Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- ☐ 1 v mednarodnih znanstvenih krogih
- ☐ 2 pri mednarodnih uporabnikih

Navedite število in obliko formalnega raziskovalnega sodelovanja s tujini raziskovalnimi inštitucijami: [12](#)

Z več kot 10 univerzami, inštituti, združenji, akcijami.
Izbior:

University of West Hungary Sopron

Universität für Bodenkultur Wien
 Universidad de Zaragoza,
 Universidad de Alicante,
 Università degli studi di Napoli "Federico II" ,
 Università degli studi di Padova
 Georg-August-Universität Göttingen
 Norwegian Institute of Bioeconomy Research
 Sveučilište u Zagrebu
 Universitet Beograd

Asociacija WoodEMA in 10 Univerz
 COST FP 1106 STReESS,
 COST FP 1302 Wood Musick

...

Kateri so rezultati tovrstnega sodelovanja:¹³

Izbor rezultatov sodelovanj:

Skupna organizacija in izvedba delavnice

»Current challenges on NDT of trees, wood and timber products«, Ljubljana, 2014

Skupna organizacija in izvedba mednarodne delavnice

»Historical wood utilization, Past utilization of beech wood and other hardwoods and challenges for the future«, Šentrupert, Slovenija, 2016

Skupna izvedba zaključnega posveta za strokovno in širšo javnost ter politiko, Cankarjev dom, Ljubljana, 2017

Sodelovanje pri pripravi razstave Čar lesa v Cankarjevem domu

Sodelovanje v okviru asociacije WoodEMA i.a. , sodelovanje v okviru posvetov GOZDARSKO INŽENIRSTVO JUGOVZHODNE EVROPE – STANJE IN IZZIVI 2015, 2016

Skupno raziskovalno delo

-pri razvoju nedestruktivnih metod za testiranje dreves, lesa in lesnih izdelkov

- na modelih odpornosti in življenjske dobe lesa

Izmenjava predavateljev, izmenjava študentov, sodelovanje pri diplomah in doktorskih disertacijah

Skupna objava člankov

12.Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen

	Uporaba rezultatov	V celoti
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	

	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	

	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanju naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE

	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	DA DA NE NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

13. Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	1	2	3	4	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	1	2	3	4	
G.01.03.	Drugo:	1	2	3	4	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	1	2	3	4	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	1	2	3	4	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	1	2	3	4	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	1	2	3	4	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	1	2	3	4	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	1	2	3	4	
G.02.07.	Večji delež izvoza	1	2	3	4	
G.02.08.	Povečanje dobička	1	2	3	4	
G.02.09.	Nova delovna mesta	1	2	3	4	

G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	1	2	3	4	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	1	2	3	4	
G.02.12.	Drugo:	1	2	3	4	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	1	2	3	4	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	1	2	3	4	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	1	2	3	4	
G.03.04.	Drugo:	1	2	3	4	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	1	2	3	4	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	1	2	3	4	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	1	2	3	4	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	1	2	3	4	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	1	2	3	4	
G.04.06.	Drugo:	1	2	3	4	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete	1	2	3	4	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	1	2	3	4	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	1	2	3	4	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	1	2	3	4	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	1	2	3	4	
G.07.04.	Drugo:	1	2	3	4	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	1	2	3	4	
G.09.	Drugo:	1	2	3	4	

Komentar**14. Naslov spletne strani za projekte, odobrene na podlagi javnih razpisov za sofinanciranje raziskovalnih projektov za leti 2015 in 2016¹⁴**
<http://crp-bukev.bf.uni-lj.si/>

Projekt se je začel leta 2014.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni;
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za

- potrebe ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS;
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki (v primeru, da poročilo ne bo oddano z digitalnima podpisoma);
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta;
- bomo sofinancerjem istočasno z zaključnim poročilom predložili tudi elaborat na zgoščenki (CD), ki ga bomo posredovali po pošti, skladno z zahtevami sofinancerjev.

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška
fakulteta

Katarina Čufar

ŽIG

Datum:

12.3.2018

Oznaka poročila: ARRS-CRP-ZP-2018/13

¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku). [Nazaj](#)

² Navedite cilje iz prijave projekta in napišite, ali so bili cilji projekta doseženi. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Navedite morebitna bistvena odstopanja in spremembe od predvidenega programa dela raziskovalnega projekta, zapisanega v prijavi raziskovalnega projekta. Navedite in utemeljite tudi spremembe sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta (t. j. v letu 2016). Če sprememb ni bilo, navedite »Ni bilo sprememb«. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite dosežke na raziskovalnem področju (največ deset), ki so nastali v okviru tega projekta.

Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatke, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite dosežke na področju gospodarstva, družbenih in kulturnih dejavnosti (največ pet), ki so nastali v okviru tega projekta.

Dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka, sistem nato sam izpolni podatke, manjkajoče rubrike o dosežku pa izpolnite.

Dosežek na področju gospodarstva, družbenih in kulturnih dejavnosti je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek dosežka na področju gospodarstva, družbenih in kulturnih dejavnosti praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. v sistemu COBISS rezultat ni evidentiran). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹¹ Največ 500 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹² Največ 500 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹³ Največ 1.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹⁴ Izvajalec mora za projekte, odobrene na podlagi Javnega razpisa za izbiro raziskovalnih projektov Ciljnega raziskovalnega programa »CRP 2016« v letu 2016 in Javnega razpisa za izbiro raziskovalnih projektov Ciljnega raziskovalnega programa »Zagotovimo.si hrano za jutri« v letu 2016, na spletnem mestu svoje RO odpreti posebno spletno stran, ki je namenjena projektu. Obvezne vsebine spletne strani so: vsebinski opis projekta z osnovnimi podatki glede financiranja, sestava projektne skupine s povezavami na SICRIS, faze projekta in njihova realizacija, bibliografske reference, ki izhajajo neposredno iz izvajanja projekta ter logotip ARRS in drugih sofinancerjev. Spletna stran mora ostati aktivna še 5 let po zaključku projekta. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-CRP-ZP/2018 v1.00
12-55-FA-1D-26-46-4B-DF-9B-AF-1D-EE-CC-F9-C0-E3-85-CF-FE-F3

Priloga 1: Vsebinsko poročilo

Povzetek (v slovenskem jeziku)

V projektu CRP »Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini« smo sledili ciljem določenim v časovnici ki obravnavajo: (1) kakovost lesa listavcev s poudarkom na bukovini – od gozda do izdelka, (2) potencialne in možnosti racionalne izrabe lesa listavcev s poudarkom na bukovini, (3) analizo sodobnih tehnoloških in organizacijskih oblik primarne predelave listavcev in (4) možnosti razvoja novih izdelkov in učinkov na gospodarstvo. Ugotovili smo, da je za racionalno rabo lesa ključen podatek o razpoložljivi količini in kakovosti lesa. V ta namen smo zasnovali eksperiment spremljanja kakovosti lesa navadne bukve (*Fagus sylvatica*) od gozda do izdelka, ki smo ga izvedli na reprezentativnih vzorcih iz treh rastišč v Sloveniji. Poseku dreves je sledilo krojenje in razžagovanje hlodovine na žagarskem obratu ter sušenje po različnih postopkih. Za ocenjevanje kakovosti dreves smo uporabili 5-stopenjsko lestvico Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS), pri ocenjevanju sortimentov pa standarde oziroma kriterije za razvrščanje hlodovine: SIST EN 1316-1, JUS standard iz leta 1979 in Pravilnik 2011, za uporabo v državnih gozdovih.

Ugotovili smo, da je delež najkakovostnejših dreves bukve v naših gozdovih majhen (7%), in lahko pričakujemo največ 3% hlodov najvišje kakovosti. S slabšanjem kakovosti drevesa se pričakovano povečuje delež prostorninskega lesa (goli), v drevesih najslabše kakovosti pa je delež sortimentov še primernih za žagarsko proizvodnjo nižji (23 - 36 %). Odločilne napake so slepice in rdeče srce.

Za ocenjevanje kakovosti žaganega lesa smo uporabili pravila Evropskega združenja žagarske industrije (EOS). Delež žaganega lesa v bruto količini lesa drevesa pada s kakovostjo drevesa (od 48% pri drevesih boljše kakovosti in do 13% pri najslabših drevesih). Povprečni količinski izkoristek pri razžaganju hlodovine je bil 70% in je odvisen od kakovosti hlodovine.

Ugotovili smo precejšnje razlike v kakovosti hlodovine iz posameznih rastišč, razlike v kakovosti žaganega lesa pa so bile manjše. Dobra polovica žaganega lesa z vseh rastišč je bila razvrščena v razred EOS-C; pri vzorcih s kakovostnejšo hlodovino je bil nekoliko višji delež žaganega lesa razvrščen v razreda EOS-B in EOS-A, pri vzorcih z manj kakovostno hlodovino pa v kategorijo »Podelava«. Odločilne značilnosti pri razvrščanju žaganega lesa so bile mrtve in trhle grče in rdeče srce.

Rezultat raziskav je razvita metodologija spremljanja kakovosti bukovine od gozda do izdelka, ki bi jo lahko izvedli po vsej Sloveniji in uporabili tudi za druge listavce ter izboljšali oceno kakovosti lesa v slovenskih gozdovih, kar smo podrobno prediskutirali s sodelavci ZGS iz cele Slovenije.

Spremljanje kakovosti lesa od gozda do izdelka bi v Sloveniji morali poenotiti. Pri tem bi veljalo uporabiti evropske standarde, ki bi jih lahko nekoliko dopolnili, kot so to storili tudi v drugih evropskih državah.

V postopku sušenja so se pojavile dodatne napake, ki zmanjšujejo kakovost lesa. Po industrijskem normalno-temperaturnem konvekcijskem komorskem sušenju in po sušenju na prostem smo ugotovili značilen vpliv obeh postopkov na pojav sušilnih napak, razlik med postopkoma pa 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 največ prispevale k nižanju kakovosti žaganic po sušenju iz A- v B- ali nižji kakovostni razred. Po tehničnem in naravnem sušenju smo 25 % in 33 % kakovost žaganic ocenili slabše.

Za kakovost in rabo lesa so ključne njegove lastnosti, ki so zelo variabilne. V ta namen smo podrobno proučili variabilnost fizikalnih (vlažnost in gostota) in mehanskih lastnosti (togost,

upogibna trdnost, strižna trdnost v smeri lesnih vlaken ter tlačna trdnost v vseh anatomskih smereh). Za dopolnitev smo uporabili nedestruktivne metode testiranja z merjenjem preleta ultrazvoka in s frekvenčnim odzivom, kjer smo določili togostne karakteristike na sortimentih v celotni gozdno-lesni verigi, t.j. hlodovini, in na svežem ter osušenem žaganem lesu. Metodi smo izpopolnili za uporabo za listavce. Pokazali sta spodbudne rezultate, ki smo jih še izboljšali z vizualnimi ocenami.

Pri spremljanju kakovosti lesa po žledolomu smo v izruvanih drevesih, ki so po žledolomu ozelenela, ugotovil, da je bila izguba in razporeditev vlage v deblu (ki je merilo in garant za ohranitev kakovosti) ob koncu prve vegetacijske dovolj majhna, da se kakovost še ni bistveno zmanjšala. Stoječa drevesa z različno poškodovanimi krošnjami pa so v letu po ujmi proizvedla od 20 do 95 % ožje ksilemske branike in manj floema kot nepoškodovane bukve.

Dokaj visoka gostota, trdota in trdnost bukovine (glede na druge komercialne domače lesne vrste) so razlog da je bukovina cenjena za mehansko obremenjene izdelke. Zelo obetavna je uvedba bukovine za različne rabe v gradbeništvu, pri čemer jo moramo za konstrukcije na prostem ustrezno zaščititi. Podrobneje smo raziskali, kako vse bolj uveljavljena termična modifikacija in uporaba voskov vpliva na odpornost in življenjsko dobo bukovine, odpornost proti navlaževanju pa smo spremljali v laboratorijskih razmerah in terenskih testih. Les izpostavljen različnim abiotskim in biotskim dejavnikom razkroja se je z vidika navzemanja vode najboljše obnesel v kolikor je bil termično modificiran in impregniran s suspenzijo naravnih voskov.

Potencial lesne surovine v slovenski gozdno-lesni verigi ostaja premalo izkoriščen. Raziskave so pokazale, da je za gospodarnejše ravnanje z lesno surovino ob zagotavljanju posrednih učinkov na širše gospodarsko okolje 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. Podrobneje smo preučili stanje primarne predelave lesa kot pomembnega člana gozdno-lesne verige v Sloveniji ter identificirali nekatere vzroke za njeno neučinkovitost med katerimi smo izpostavili prenehanje proizvodnje v žagarskih obratih in furnirnic ter prekinitev povezav v gozdno-lesni verigi. 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 razžagovanje listavcev in proizvodnjo furnirja. 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, ki so lahko dober pripomoček podjetjem, ko se odločajo za razvoj novih izdelkov in njihovo trženje.

Za učinkovito rabo bukovine potrebujemo ustrezno primarno industrijo. Ocenjujemo, da bi bilo v Sloveniji, smiselno vlagati tako v obstoječe žagarske obrate s ciljem posodobitve tehnologije in povečanja obsega proizvodnje, kot tudi v nove obrate za razžagovanje listavcev. Tako bi 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 novih manjših žagarskih obratov s kapaciteto 25.000 m³/leto (skupno 150.000 m³/leto).

Obnoviti bi morali izdelavo bukovega konstrukcijskega in plemenitega furnirja, za izdelavo že uveljavljenih vezanih plošč, furnirnih plošč ali slojnatega furnirnega lesa (LVL) in za razvoj inovativnih konstrukcijskih kompozitnih elementov kot so novi ploskovni, linijski ali prostorsko ukrivljeni elementi, ki imajo bistveno boljše mehanske lastnosti kot npr. smrekov lepljen lameliran les. Slovenija bi po naši oceni lahko imela do 3 furnirnice s kapacitetami 50.000 m³/leto (skupaj 150.000 m³/leto).

Velike količine bukovine slabše kakovosti, ki ostaja po sečnji ali kot ostanek lesnopredelovalne industrije, predstavljajo pomemben surovinski potencial. Po grobi oceni bi

pri zagonu primarne industrije lahko nastalo okrog 300.000 m³/leto ostankov primernih za nadaljnjo predelavo v nove proizvode kot so platformne kemikalije ter napredna goriva (npr. etanol in butanol), lesna vlakna primerna za pripravo lesno-plastičnih kompozitov za širok spekter uporabnosti, celulozna vlakna za izdelavo papirja, tekstila ter nanofibrilirane in nanokristalinične celuloze. Vrsto produktov lahko naredimo tudi iz hemicelulozne in ligninske frakcija. Glede na veliko povpraševanje, bi bilo v Sloveniji smiselno najprej obnoviti proizvodnjo celuloze, saj sodobni postopki delignifikacije lesa omogočajo istočasno pridobivanje ligninskih produktov in dragocenih "zelenih" kemikalij na okoljsko sprejemljiv in ekonomsko učinkovit način. V ta namen bi morali najprej postaviti pilotno (mobilno) biorafinerijo, ki bi služila tudi za raziskave in razvoj novih izdelkov.

Celovita raba lesa bi omogočila delovanje gozdno-lesne verige in bi bila ugodna tudi za majhne lastnike gozdov, kreiranje lokalnih mrež ter razvoj podeželja. S celovitejšo izrabo obnovljivih virov bi podaljšali njihov gospodarskih cikel, okrepili predelovalno industrijo ter razširili gozdno-lesno verigo na nova področja, s čimer bi povezovali več različnih deležnikov, krepili mrežno organiziranost in zagotovili potencial za odpiranje novih delovnih mest.

Vsi rezultati projekta so bili zainteresirani javnosti predstavljeni v okviru obsežne diseminacije, ki je predstavljena v prilogi poročila in na internetni strani projekta (<http://crp-bukev.bf.uni-lj.si/>).

Povzetek (v angleškem jeziku)

In the CRP project "Rational use of hardwoods with a focus on beechwood", we followed the objectives set up in the timetable. In view of objectives we followed: (1) the quality of hardwoods, especially European beech (*Fagus sylvatica*) wood from forest to product, (2) potentials and possibilities for rational use of hardwoods, especially beech wood, (3) analysis of modern technological and organizational forms of primary processing of hardwoods, and (4) the possibility of developing new products and effects on the economy. For the rational use of wood we need the information on the available quantity and quality of the wood. For this purpose, we designed an experiment for monitoring the quality of beech wood from forest to product, which was carried out on representative sample plots from three sites in Slovenia. The harvesting was followed by bucking, processing of logs at the sawmill facility and wood drying. In order to assess the quality of trees, we used the 5-point scale of the Slovenian Forest Service (ZGS). For the assessment of assortments we used the standards and rules as follows: SIST EN 1316-1 European standard, JUS widely used local (Slovenian) standard from 1979 and Rules 2011 developed for the use in the state forests. We have found that the share of the highest quality beech trees in our forests is small (7%), and we can expect up to 3% of the highest quality logs. With the decreasing quality of trees, the yield of high quality timber is decreasing, while in the worst-quality trees the share of assortments for sawmill conversion is 23 - 36%. Defects like unsound knots and red heart are decisive for assessment of quality.

To assess the quality of sawn timber, we have applied the rules of the European Organisation of the Sawmill Industry (EOS). The share of sawn timber in the gross amount of a tree decreases with the quality of the tree (from 48% in the tree of better quality and up to 13% in the lowest tree quality). The average yield of logs was 70% and depends on the quality of the logs. We found significant differences in the quality of logs from different sites, while the differences in the quality of sawn timber were lower. About half of sawn timber from all sites was classified into EOS-C class. For samples with higher quality logs, a slightly higher share of sawn timber was classified into EOS-B and EOS-A grades. The decisive defects of sawn timber were knots and red heart. Consequently, we developed the methodology for monitoring of beech wood quality from forest tree to end product. This methodology could be carried out in all types of forests and could be adapted to assess other hardwoods as well. Monitoring the quality of wood in the entire forest-wood chain should be standardised. It would be worthwhile to apply the European standards, which could be supplemented, as was done in other European countries. During the drying process appeared additional defects that reduce the quality of the wood. After the kiln drying or natural seasoning, a significant influence of the two processes on the appearance of drying errors was detected, whereas the differences between the procedures were not confirmed. The number and size of surface and end cracks mostly increased after drying, especially in lower B- and C-grades. The latter contributed a lot to reducing the quality of the sawn wood after drying from A to B or lower quality. After kiln and natural drying, 25% and 33% of the boards were assessed to lower quality as before drying. Quality and rational use of wood are tightly related to wood properties which are highly variable. For this purpose, we studied the variability of physical (moisture content and density) and mechanical properties (toughness, bending strength, shear strength in the direction of wood fibres as well as compressive strength in all anatomical directions). In addition, we used non-destructive testing methods by measuring the speed of ultrasound and with the frequency response, where we determined the stiffness characteristics on assortments in the entire forest-wood chain, i.e. logs, as well as green and dried sawn timber. The methods which we

improved and adapted for application in hardwoods showed encouraging results. They were further improved with visual assessments.

We monitored the quality of wood in trees affected by the vast ice storm of 2014. The blown down trees which developed green leaves after the disaster preserved sufficient moisture content in the stems during the first vegetation period after the storm. Therefore the decrease of wood quality was minor. The standing trees with differently damaged crowns however produced between 20 - 95% less xylem and less phloem than normal trees.

Relatively high density, hardness and mechanical properties of beech wood (compared to other commercial domestic wood species) are the reasons why beech is appreciated for loaded products. Currently, we seek to use more beech wood for building purposes. As the beech wood is not resistant against biological pests it must be properly protected for outdoor constructions. We studied the effect of thermal modification, impregnation with waxes and water uptake to evaluate the resistance and service life of the beech wood. The resistance against moisture uptake as a predictor of service life was monitored in laboratory conditions and field tests. The beech wood exposed to various abiotic and biotic factors of degradation showed the best performance (and lowest moisture uptake) if it was thermally modified and impregnated with natural waxes.

The potential of wood as a raw material in the Slovenian forest wood supply chain is currently insufficiently exploited. To promote its more rational use, which would have 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 as a raw material in terms of quality. 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 beech wood, were assessed in order to prove the reasonableness of investments in the newest technologies for hardwood processing and veneer production. If a company in the wood industry wants to develop and market its products successfully, it has to explore its target market as well, especially for products from a specific type of wood - in our case, from beech wood. We designed three models, which can be a good tool that companies can usefully apply when deciding on developing and marketing a new product.

Abundant quantities of beech wood forest residues and industrial residues represent a potentially valuable raw material. There are different options for the chemical processing of biomass to marketable innovative products.

All the results of the project were presented to the interested public in the framework of the extensive dissemination, which is presented in the appendix of the report and on the website of the project (<http://crp-bukev.bf.uni-lj.si/>).

Opis problema in ciljev

Cilji projekta so bili določeni s časovnico, ki smo jo sprejeli ob začetku projekta. Vključevala je delo šestih delovnih sklopov z naslovi, ki odražajo glavne cilje projekta:

- Kakovost lesa listavcev s poudarkom na bukovini – od gozda do izdelka
- Potenciali in možnosti racionalne izrabe lesa listavcev s poudarkom na bukovini
- Analiza sodobnih tehnoloških in organizacijskih oblik primarne predelave listavcev
- Možnosti razvoja novih izdelkov in učinki na gospodarstvo

Delo na sklopih je bilo v časovnici podrobno razdelano. Z napredovanjem projekta se je delo na sklopih vse bolj prepletalo, zato so zaradi vsebinske celovitosti in preglednosti poročila specifični cilji posameznih sklopov razvrščeni po vsebini ali združeni.

Izhajali smo iz dejstva, da količina lesa listavcev v lesni zalogi Slovenije v zadnjih letih narašča. Navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.) je drevesna vrsta, ki v lesni zalogi Slovenije zavzema največji delež (32%). Les bukve je splošno uporaben in ga zaradi razpoložljivosti pogosto uporabljamo kot nadomestek za druge lesne vrste. Zaradi propada industrije in nedelovanja gozdno lesne verige, v zadnjih letih bukovine in drugih listavcev ne uporabljamo racionalno in s tem zamujamo številne priložnosti za gospodarski in družbeni razvoj.

Analize količin bukovine so zajete v mnogih dosedanjih raziskavah in dokumentih. Vprašanje kakšna je kakovost lesa, ali razpoložljivi les racionalno predelujemo in uporabljamo in kakšne ukrepe potrebujemo, da bi stanje izboljšali, je bolj kompleksno in manj raziskano. Pri veliki količini surovine je prvo vprašanje kakovosti. Spremljanje kakovosti lesa se začne v gozdu v stoječemu drevesu, spremljati pa jo je treba vse do končnega izdelka. V ta namen smo na skupinah izbranih bukovih dreves na različnih lokacijah v Sloveniji zadali cilje opraviti ali spremljati:

oceno kakovosti lesa v gozdu in spremljanje kakovosti preko gozdne ceste, žagarskega obrata in nadaljnje predelave, razlike in podobnosti pri uporabi različnih meril pri ocenjevanju kakovosti od gozda do različnih proizvodov, kakšna je kakovost izdelanih sortimentov iz spremljanih dreves, razmerja med kakovostnimi razredi znotraj skupine, razmerja med hlodovino in prostorninskim lesom, kakovost žaganega lesa ali drugih končnih izdelkov in njihove količine, kakšna je povezava med kakovostjo dreves in iz njih izdelanega žaganega lesa in izdelkov.

Na kakovost lesa vplivajo lastnosti lesa, ki so deloma vrojene, odvisne od rastišča, klime in drugih zunanjih dejavnikov, delovanja kambija ter vpliva notranjih dejavnikov. Na kakovost vplivajo tudi poškodbe zaradi ujm in drugih dejavnikov. Člani projekta so sodelovali pri temeljnih raziskavah, ki se ukvarjajo s temi vprašanji in so potekale tudi v povezavi z drugimi projekti. V tem projektu smo od lastnosti lesa posebej podrobno spremljali fizikalno mehanske lastnosti ter odpornost lesa in njegovo življenjsko dobo. Z vidika učinkov ujm smo proučevali učinke žledoloma.

Od fizikalnih lastnosti smo proučevali gostoto, mehanske lastnosti in vlažnost lesa ter njihovo variabilnost ter porazdelitev v drevesih. V procesu predelave lesa smo spremljali vpliv sušilnih postopkov na pojav napak v posameznih kakovostnih razredih žaganega. Ker so mehanske lastnosti ključne za nekatere tradicionalne in inovativne rabe lesa, smo poleg klasičnih metod razvijali tudi uporabo nedestruktivnih metod za spremljanje in napovedovanje togostnih karakteristik bukovine.

Les na prostem je izpostavljen delovanju biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja. V naravi so ti procesi zaželeni, kadar les uporabljamo v komercialne namene, pa želimo razkroj čim bolj upočasniti. V našem podnebnem pasu, kot tudi v večini kontinentalne Evrope les ogrožajo predvsem glive, zato smo se v raziskavah usmerili predvsem v ta vidik razkroja. Bukovina tako kot večina komercialnih evropskih vrst listavcev, razen robinije in kostanja, nima odpornega lesa (EN 350, 2017). Cilji raziskav so bili zato usmerjeni v študij življenjske dobe lesa listavcev v drugem in tretjem razredu uporabe, ko je les pokrit, nad tlemi in obstaja nevarnost močenja (razred II), ali ko je les nad tlemi, nepokrit in izpostavljen pogostem močenju (razred III). Kadar uporabljamo les v gradbeništvu je bolj kot odpornost lesa pomemben podatek o življenjski dobi lesa in potrebnih intervalih vzdrževanja v posameznem okolju. Ti podatki so pomembni za projektante, investitorje in uporabnike. Z naraščanjem priljubljenosti lesa kot gradbenega materiala, ga v vedno večji meri zahtevajo tudi različni gradbeni predpisi po vsem svetu.

Visoka vlažnost lesa v nepoškodovanem živem drevesu les ščiti pred biološkim razkrojem. Poškodbe zaradi ujm, npr. žledoloma, sprožijo spremembe v vlažnosti lesa in njeni porazdelitvi v drevesih, zato smo si za cilj zastavili tudi spremljanje vlažnosti v drevesih poškodovanih v žledolomu ter vlogo vlažnosti pri ohranjanju kakovosti lesa. V ta namen smo proučevali v žledolomu izravana drevesa, ki so v prvi vegetacijski dobi še ozelenela, a so imela zaradi spremenjenih vodnih razmer v beljavi slabo preživetveno prognozo. V vzporedni študiji pa smo na drevesih z različno poškodovanimi krošnjami (v žledolomu) spremljali nastajanje lesa in floema na celičnem nivoju, kar nam je dalo vpogled v procese nujne za preživetje dreves in njihovo priraščanje.

Za racionalno rabo lesa listavcev nujno potrebujemo ustrezno primarno industrijo in možnosti za predelavo. V ta namen smo opravili analizo tehnoloških in organizacijskih oblik primarne predelave listavcev, kjer smo si za cilje zadali: oceno trenutnega stanju primarne industrije v Sloveniji, opredelitev najočitnejših tehnoloških in organizacijskih pomanjkljivosti, oceno stanja na področju primarne industrije v Sloveniji primerjavi z drugimi državami JV Evrope s predlogi konkretnih izboljšav, predstavitev primerov dobrih in slabih praks ter izdelavo predloga primerne tehnologije za celostno predelavo bukovine z vidika obstoječih in novih področij uporabe z visoko dodano vrednostjo.

Na področju možnosti razvoja novih izdelkov in učinkov gospodarstvo smo izhajali iz sledečih predpostavk oz. hipotez:

- zaostreni pogoji poslovanja vodijo v usmerjanje energije in kapitala v boj za preživetje, ne pa tudi v investicije in razvoj izdelkov z visoko dodano vrednostjo,
- nepovezanost gozdarstva in lesarstva ter drugih branž, se kaže v prekinjeni dobavni verigi, razdrobljenosti proizvodnih zmogljivosti, nezadostnemu prehodu znanj med raziskovalnimi institucijami in prakso ter nizki dodani vrednosti v končnih proizvodih.
- neizkoriščeni potenciali za popolnejšo izrabo lesne surovine, se kaže na vztrajanju pri tradicionalnih izdelkih iz bukovine, pomanjkljivo izvedenem razvojno trženjskem procesu ter premalo inovativnosti pri izrabi lesnih ostankov in lesa slabše kakovosti

Glede na to smo si zastavili sledeče cilje:

-razviti model vrednotenja dodane vrednosti v izdelku in identificirati ključne izzive pri njenem vrednotenju ter njeno povezavo z drugimi ekonomskimi kazalniki, ki vplivajo na poslovne odločitve podjetij; razvrstitev izdelkov iz bukovine glede na višino dodane vrednosti v izdelku in s tem pokazati na potencialne te surovine tudi z vidika vpliva na družbo in njen gospodarski razvoj.

-preučiti stanje primarne predelave lesa kot pomembnega člana gozdno-lesne verige in širše mrežne organiziranosti ter uveljavljanja novih poslovnih modelov

-preučiti inovativno rabo bukovine, predvsem lesa slabše kakovosti in lesnih ostankov

-oceniti možnosti razvoja in trženja proizvodov iz lesa in lesne biomase z visoko dodano vrednostjo, kakor tudi z učinkovitejšo izrabo vseh delov in oblik lesa in lesne biomase (tudi npr. tehnologije pridobivanja najpomembnejših spojin iz različnih vrst odpadne biomase); oceniti stanje in možnosti razvoja kompetenc/znanj zaposlenih

Cilj projekta je bil tudi široka diseminacija rezultatov zainteresiranim ciljnim skupinam.

Povzetek ključnih ugotovitev iz literature

Slovenski gozdovi imajo razmeroma bogato in pestro sestavo lesnih vrst, med katerimi vse bolj prevladuje bukev z zelo raznoliko kakovostjo. Zlasti hlodovina bukovine visoke kakovosti, ki jo ocenjujejo na okoli 8 % od celotne zaloge bukovega lesa v naših gozdovih, ima zelo velik potencial za predelavo v kakovostne izdelke z visoko dodano vrednostjo. Rentabilnost predelave lesa do zahtevnih končnih izdelkov je zagotovljena le z uporabo kakovostne hlodovine. Za manj zahtevne izdelke so na razpolago velike količine manj kakovostne hlodovine, njihova količina pa se ob vse pogostejših ujmah še povečuje. Danes je preveč pogosto bukovina slabo izrabljena in jo uporabimo le kot energetska surovino.

Z vidika rentabilnosti in smotrnosti uporabe je pomembno, da že z ocenjevanjem dreves v gozdu in kasneje razvrščanjem hlodovine in žaganega lesa v ustrezne kakovostne razrede nakažemo najprimernejšo nadaljnjo predelavo lesa. Dosedanje metode razvrščanja in ocenjevanja kakovosti lesa temeljijo na vizualnih ocenah pojavnosti rastnih posebnosti, ki še zlasti pri drevesih in hlodovini ostanejo prikriti in se pokažejo šele pri razžagovanju. Manj pogosto se za kakovostno razvrščanje uporabljajo tudi ocene fizikalnih in mehanskih lastnosti lesa, ki pa so še posebej pomembne za uporabo lesa v konstrukcijske namene. Velika variabilnost zgradbe lesa zato predstavlja izziv pri uporabi različnih metod fizikalno mehanskega karakteriziranja lesa. Posebej je pomemben razvoj zanesljivih neporušnih (nedestruktivnih) metod ocenjevanja in razvrščanja, ki bi omogočile spremljanje kakovosti lesa listavcev skozi celotno predelovalno gozdno - lesno verigo, saj nekatere nudijo tudi možnost predvidevanja napak, ki jih sicer ne vidimo.

Spremljanje količin in kakovosti lesa v naših gozdovih ima dolgo tradicijo, vendar so širše vprašanje rabe lesa listavcev pogosto reševali le v okviru ožjih strokovnih vprašanj (Lipoglavšek, 1994, 1996, Rebula, 2002, Kadunc, 2006, Prka, 2003, 2006, 2010, Stankić in sod., 2014). Zaradi nepovezanosti gozdarske in lesarske stroke, se ocenjevanje kakovosti lesa iz gozdov pogosto konča na kamionski cesti, kjer se zaključuje proizvodni proces v gozdu. Tam praviloma opravijo tudi izmero količin, ocenijo kakovost in oddajo sortimente. Prednost pričujočega projekta je, da smo s širokim naborom znanj raziskovalcev lahko sledili lesu od gozda preko različnih postopkov predelave do končnega izdelka. V predhodnih raziskavah so različni avtorji ugotovili, da zaradi neenakih meril in pristopa ocenjevanje kakovosti lesa pri nas predstavlja problem in nerešen izziv (Marenče in Šega, 2015, Piškur, 2003, 2009, Piškur in Marenče, 2011, Rantaša, 2013, Rogelj, 2012). Zato smo v se v okviru tega projekta

posvetili celoviti problematiki ocenjevanja kakovosti bukovine in iz nje izdelanih proizvodov. Uporabili smo različne pristope in metodologije in jih primerjali med seboj.

Splošne lastnosti bukovine so sicer dobro znane, manjka pa predvsem podatkov o variabilnosti lesnih lastnosti. Primanjkuje tudi podatkov o pomenu razporeditve vlažnosti v drevesih in kako se ta spreminja po poseku. Literatura za bukovino navaja da je splošno uporabna in da je iz nje mogoče narediti več kot 250 izdelkov. Več je podatkov o predelavi v tradicionalne izdelke, čeprav so trenutne smernice v celotni Evropi usmerjene v razvoj novih izdelkov z visoko dodano vrednostjo.

Trdnostne lastnosti predstavljajo eno od glavnih prednosti bukovine. Kvalificirajo jo za uporabo v gradbeništvu, pri tem pa oviro predstavlja njena zelo slaba odpornost proti biološkim škodljivcem. Klasični biocidni postopki impregnacije omogočajo učinkovito podaljšanje življenjske dobe izdelkom iz bukovine. Žal so ti postopki neželeni, zato si veliko obetajo od termično modificirane bukovine, zato je razvoj usmerjen v različne postopke modifikacije. Še bolj kot odpornost je pomembna življenjska doba lesa v izdelkih.

Za napovedovanje ali oceno življenjske dobe se danes uporabljajo različni matematični modeli. Glede na sistem, ki bi ga radi analizirali, se lahko tip in struktura 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 nasprotju z biološkimi pristopi, ki so namenjeni prikazovanju celotnega procesa razgradnje, od prvih, komaj vidnih stopenj, do konca življenjske dobe. Zaradi tega je bil razvit pristop, s katerim lahko ocenimo 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). Trenutno najpogostejše uporabljena metoda za določanje življenjske dobe lesa in lesenih komponent je metoda faktorjev v skladu s standardom ISO 15686-1 (2011). Osnova metode so izhodiščna življenjska 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.

Žledolom 2014 je v slovenskih gozdovih pustil pravo opustošenje, saj je bilo za sanacijski posek predvidenih kar 9,3 milijona m³ lesne zaloge, v gozdu pa je ostalo tudi veliko bolj ali manj poškodovanih dreves. Pri tem je njihovo preživetje ogroženo, kakovost lesa pa zmanjša in se s časom še poslabšuje. Kakovost lesa poškodovanih dreves so sistematično spremljali po obsežnem žledolomu v januarju 1998 na severovzhodu ZDA (Shortle in sod., 2003; Shortle in Smith, 2014; Smith in Shortle, 2003). V študijah, opravljenih na različnih drevesnih vrstah (javorjih, brezah in ameriškem jesenu), so dokazali vpliv različne stopnje poškodovanosti krošnje na debelinski prirastek. Prikazali so tudi zvezo med stopnjo preživetja in ohranjanja debelinske rasti s sposobnostjo obnavljanja krošnje. Prav tako so ugotovili, da je zdravstveno stanje drevesa pred žledolomom velikega pomena za njegov odziv na poškodbe. S sistematičnim študijem odziva dreves na poškodovanje pa so preko večletnega spremljanja dobili vpogled v zmanjšanje kakovosti lesa v preživelih drevesih. V Sloveniji kljub pogostim žledolomom po nam znanih informacijah še ni sistematičnega spremljanja kakovosti lesa v preživelih drevesih.

Za optimalno rabo lesa listavcev in bukovine potrebujemo delujočo gozdno lesno verigo. Zavedanje, da gozdno-lesna veriga v Sloveniji (še) ne deluje zadostno. Ker bi bilo njeno delovanje ključnega pomena za uspešno delovanje celotne panoge, je v zadnjem času pripeljalo do vzpostavljanja gozdno-lesne verige na različnih nivojih od lokalnih 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. Razloge za nedelovanje te verige so preučevali številni avtorji (Šubic, 2017; Selišnik, 2014; Zavrl Bogataj, 2012; Humar et al., 2012). Zelo pomemben koncept, kjer namen uporabe hlodovine določa njena kakovost, je koncept mejne kakovosti vhodne surovine (angl: marginal log), ki predvideva, 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 (Ringe & Hoover, 1987). To razmišljanje je zelo podobno konceptu krožnega gospodarstva (Circular Economy, 2017), kjer je poudarek na ponovni uporabi, popravilih in recikliranju obstoječih materialov in izdelkov.

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). Po nekaterih ocenah (Selišnik, 2014) lahko iz 1 mio m³ bukove lesne mase ustvarimo 300 mio € dodane vrednosti.

Podrobnejši pregled stanja na področju je podan v člankih in prispevkih, ki smo jih objavili v okviru projekta. Tam je navedena tudi **literatura in viri** na katero se sklicujemo v besedilu.

Material in metode dela

Za spremljanje kakovosti lesa od gozda do izdelka smo izvedli eksperimente na različnih reprezentativnih lokacijah v Sloveniji, kjer smo spremljanje kakovosti lesa v gozdu lahko navezali na industrijske obrate za predelavo lesa. Eksperimente smo vedno opravili na vzorcu deset bukovih dreves (raziskovalne ploskve so bile izbrane na območjih GGO Brežice, GGO Kočevje in GGO Murska Sobota, na rastiščih Hacquetio-Fagetum in Luzulo Fagetum). Posamezna drevesa, vključena v raziskavo, so se po vizualni oceni bistveno razlikovala med seboj po kakovosti. Izbrana so bila glede na petstopenjsko lestvico, ki jo Zavod za gozdove Slovenije (ZGS) uporablja na stalnih vzorčnih ploskvah. Iz vsakega kakovostnega razreda sta bili izbrani po dve drevesi. Drevesa so pred sečnjo na podlagi omenjene lestvice ocenili strokovnjaki ZGS. Po sečnji so drevesa skrojili, sortimente pa smo sodelavci projekta ocenili po kakovosti. Pri tem smo uporabili tri standarde oz. pravilnike: privzeti evropski standard SIST EN 1316-1, Pravilnik iz leta 2011 in JUS-a iz leta 1979 ter izmerili količine. Z doslednim označevanjem dreves in iz njih izdelanih sortimentov smo zagotovili sledljivost v procesu predelave lesa. Za vsako posamezno drevo smo ugotavljali tudi razmerje med hlodovino in prostorninskim lesom. Srednje premere sortimentov smo merili s skorjo in pri hlodovini upoštevali odbitek 1 cm. Hlodovino smo izmerili na cm natančno, pri dolžini pa upoštevali običajno zaokroževanje in 10 cm nadmero. Zanimala nas je predvsem povezava med okularno oceno kakovosti stoječega drevja in sortimentno strukturo, ki smo jo ocenjevali po omenjenih načinih. Vsak sortiment smo ustrezno obravnavali glede na njegovo kakovost. Dele drevesa, ki po standardu niso sodili v hlodovino, smo razvrstili v prostorninski les.

Hlodovino smo v vseh treh primerih razžagovali na hlodovnih tračnih žagalnih strojih v industrijskem okolju, pri čemer smo sledili cilju proizvesti žagan les čim boljše kakovosti. Parametri razžaganja niso bili posebej prilagojeni naši raziskavi. Končni izdelek so bile nerobljene deske in plohi različnih debelin. Zunanjo cono hlodov smo žagali v stranske deske

debelin 20 oz. 25 mm, centralni del hlodov pa v žaganice debelin od 38 do 50 mm. Način žaganja ni bil predpisan, oziroma je bila izbira prepuščena izvajalcu. Večinoma je bil uporabljen način t.i. ostrega žaganja, del hlodovine pa je bil razžagan s tehniko tangencialnega žaganja. Posamezno desko smo označili z oznako drevesa, zaporedno številko hloda v deblu in zaporedno številko deske v hlodu. Nato smo deske izmerili (širino smo merili s polovico žamanja na obeh straneh) in jo fotografirali. Merjenje in izračun prostornine žaganega lesa smo opravili v skladu s standardi SIST EN 1309-1, SIST EN 1312 in SIST EN 1313-2. Pri izračunu prostornine žaganega lesa smo upoštevali obračunske dimenzije pri referenčni vlažnosti lesa (20 %) in bonifikacijo širine in/ali dolžine. Žagani les smo razvrstili po pravilih EOS (European Organisation of the Sawmill Industry) v kakovostne razrede EOS-A, EOS-B in EOS-C. Deske, ki niso dosegale zahtev za kakovostni razred EOS-C, a so bile primerne za nadaljnjo predelavo, smo uvrstili v razred »Podelava« (P). Iz podatkov o količinah nažaganega lesa in hlodovine oz. celotnega bruto volumna izbranih dreves smo izračunali količinske izkoristke.

Za ovrednotenje lastnosti lesa, ki so bistvene za kakovost in rabo, smo uporabili naslednje uveljavljene metode:

določanje vlažnosti lesa z gravimetrično metodo in električnimi uporovnimi merilniki, standardno in piknometrično merjenje gostote,

določanje modula elastičnosti z merjenje hitrosti preleta ultra zvoka, akustično določanje modula elastičnosti iz frekvenčnega odziva, standardne porušne metode določanja trdnostnih karakteristik lesa.

Za spremljanje odpornosti in življenjske dobe smo preizkušali materiale iz neoporne bukovine (*Fagus sylvatica*), jedrovine kostanja (*Castanea sativa*) in hrasta (*Quercus sp.*) ter neopornega lesa topola (*Populus sp.*). Za primerjavo smo uporabili še smrekovino (*Picea abies*). Del materialov je bil tudi termično modificiran.

Odpornost proti razkroju smo določali z standardnimi testi odpornosti. Sterilne vzorce smo 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 ± 2 °C) in jim izračunali spremembo mase.

Odpornost lesa proti navlaževanju lesa smo določali z več metodami; kapilarnim navzecom, in dolgotrajnim navzemanjem vode ter uravnovešanjem v komori s 100 % vlažnostjo zraka. Dolgotrajno navzemanje vode smo ugotavljali z modificirano standardno laboratorijsko metodo o izpiranju aktivnih učinkovin iz lesa, EN 1250-2 (1994).

Kot model za določanje življenjske dobe so uporabili model Meyer-Veltrup. Modifikacijske faktorje k_{inh} in k_{wa} ter vrednosti DR_d in DR_{dRel} smo izračunali v skladu z metodologijo opisano v prispevku Meyer-Veltrup (2017).

Rezultate modela smo verificirali na terenske polju Oddelka za lesarstvo. Vzorce ($2,5 \times 5,0 \times 50$ cm³) izdelane iz izbranih lesnih vrst smo preizkusili tudi na terenskem polju Oddelka za lesarstvo v Rožni dolini v Ljubljani na pretežno senčno in zatišno lego (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). Sedem ali devet enako obdelanih vzorcev smo zložili v dve vrsti. Vzorci v zgornji vrsti so bili za polovico vzorca zamaknjeni.

Za proučevanje učinka žledoloma proučevali skupino izruvanih dreves, ki so v sezoni po žledolomu ozelenela. Drevesa so se razlikovala po poškodovanosti krošnje in koreninskega sistema ter ohranjenosti stika korenin s tlemi, po izpostavljenosti osončenju in po površini stika padlega debla s tlemi.

V vzporednem eksperimentu smo proučevali stoječa drevesa z različno poškodovanimi krošnjami. Izbrali smo skupino, jih razvrstili v 4 razrede glede na stopnjo poškodovanosti krošnje (K – nepoškodovana, A – do 50 %, B – med 50 in 75 %, C – več kot 75 % poškodovana krošnja). V dvotedenskih intervalih smo iz njih odvzemali mikro-izvrtke in pripravili mikroskopske preparate lesa, kambija in skorje, ki smo jih analizirali s svetlobnim mikroskopom in sistemom za analizo slike in ugotovili produktivnost kambija ter nastajanje lesa in floema preko rastle sezone.

Za ovrednotenje možnosti razvoja novih izdelkov in učinkov na gospodarstvo smo uporabili naslednje metode:

- zbiranje in pregled javno dostopnih podatkov o stanju lesne zaloge, poseku, vplivih ujm na njegovo povečanje, cenah za surovine in proizvode po stopnjah obdelave za namen razvoja modela za ocenjevanje dodane vrednosti v proizvodih, finančnih podatkih (iz iBON-a) za oceno delovanja gozdno-lesne verige ipd.

- zbiranje in analiza podatkov o stanju primarne industrije

- zbiranje podatkov s pomočjo anketiranja/spletnih vprašalnikov za potrebe razvoja modelov trženja, poslovnih modelov in mrežnega povezovanja ter njihova poglobljena analiza (AHP metoda ipd.)

- ocenjevanje stanja kompetenc proizvodnih delavcev s pomočjo ocenjevalnih listov
preučitev lastnosti lesa in izvedba nekaterih praktičnih laboratorijskih preizkusov za razvoj inovativnih rab

- razvoj modela vrednotenja dodane vrednosti v izdelku na osnovi pilotnih projektov v treh slovenskih lesnih podjetjih

Podrobnejša predstavitev uporabljenih materialov in metod je podana v člankih in prispevkih, ki smo jih objavili v okviru projekta. Članki so zbrani v **prilogi poročila**.

Rezultati raziskav

Rezultati raziskav so zbrani v člankih i prispevkih v **prilogi poročila**, tukaj povzemamo najpomembnejše.

Na izbranih lokacijah, kjer smo spremljali kakovost lesa od drevesa do izdelka smo proučevali po 10 dreves, njihova bruto odkazana lesna masa je v povprečju znašala okrog 28 m³. Delež hlodovine je v najvišjem kakovostnem razredu lestvice ZGS znašal od 53 do 66 %, v zadnjem, kakovostno najslabšem razredu, pa med 23 in 36 %. Podatki se nanašajo na del analiz, kjer smo uporabili privzeti evropski standard.

Ugotovili smo, da pri ocenjevanju kakovosti stoječega drevja upoštevamo zgolj značilnosti, ki so vidne. Pri tem ne moremo upoštevati skritih napak, kot so napake srca, kar štejemo za glavno pomanjkljivost vizualnega ocenjevanja dreves. Napake srca so med pomembnejšimi in običajno bistveno spremenijo oceno kakovosti drevesa in iz njega izdelanih sortimentov. To je bil tudi glavni vir odstopanj ocen celotnega drevesa s strani ZGS od naknadnih ocen istega drevesa p poseku, ko so bili iz njega izdelani različni sortimenti.

Na osnovi vzorcev posekanih dreves in iz njih izdelanih sortimentov, lahko ocenimo, da smo iz najvišje ocenjenih dreves (kakovost 1) večinoma tudi izdelali največji delež bolj kakovostnih sortimentov (A, B). V tem primeru je takšnih sortimentov bilo od 30 do 54 %. V ostalih razredih 5-stopenjske lestvice (2 do 5) se kakovost A skoraj ni pojavljala. Zabeležili smo sorazmerno visok delež kakovosti B, ki med hlodovino prevladuje. Le pri najslabše ocenjenih drevesih (kakovost 5) dobimo kakovost hlodovine iz kakovostnih razredov C in D, ostalo predstavlja prostorninski les.

Oceno dobljeno na opisanih manjših vzorcih lahko dopolnimo s podatkom ocenjene kakovosti bukovine na vseh stalnih vzorčnih ploskvah v Sloveniji (podatek ZGS) in ocenimo kakovost bukovine v celotni Sloveniji. Po podatkih ZGS je v slovenskih gozdovih največji delež ocenjenih dreves dobre kakovosti (ocena 3), odlična pa predstavljajo najmanjši delež (7% lesne zaloge bukovine).

Na treh žagarskih obratih smo razžagali skupno 75 hlodov. Pri drevesih boljše kakovosti je bil delež žaganega lesa v bruto količini posekanega lesa od 41% do 48%, pri drevesih 5. kakovostne stopnje pa je bil ta delež bistveno nižji in je znašal samo še od 13% do 26%. Iz 43,72 m³ skrojene hlodovine smo skupno proizvedli 30,69 m³ žaganega lesa, od tega je bilo 85 % centralni desk.

Količinski izkoristki razžagovanja so bili od 65 do 77 % (povprečni izkoristek 70,2 %). 53% proizvedenega žaganega lesa smo razvrstili v razred EOS-C, 31% v razred EOS-B in 7% v najkakovostnejši razred EOS-A; preostali žagani les je bil uvrščen v kategorijo »Podelava«. Pri manj kakovostnih hlodih je bil količinski izkoristek žaganega lesa slabši. Očiten je tudi padec kakovosti žaganega lesa pri drevesih in hlodih slabše kakovosti.

Pri razvrstitvi hlodovine smo lahko upoštevali značilnosti, vidne na čelih, ki jih pri oceni stoječih dreves nismo mogli. Povezanost med kakovostjo hlodovine in kakovostjo žaganega lesa je zato boljša, kot povezanost med kakovostjo dreves in kakovostjo žaganega lesa.

Kakovost desk in plohov je najpogostejše (pri 53 % desk) odvisna od prisotnosti in velikosti mrtvih in trhljih grč. To so grče, ki jih večinoma odkrijemo pri žaganju slepic. Po

pomembnosti si nato sledijo: prisotnost rdečega srca, naklon vlaken, ukrivljenost, druga obarvanja in trohnoba.

Les za predelavo in uporabo ustrezno osušiti. Potrdili smo, da je sušenje lesa pomembna predelovalna operacija za zagotavljanje kakovosti končnih izdelkov. Sušenje predstavlja tveganje za zmanjšanje kakovosti, saj se med sušenjem dodatno pojavi veliko napak. Pri bukovini se tudi ob ustrezno blagem režimu sušenja pojavijo značilne razlike v kinetiki sušenja beljave in rdečega srca. V kolikor smo uporabili ostrejši režim tehničnega sušenja so se sušilne napake stopnjevale.

Raziskava ni potrdila značilnih razlik sušilnih postopkov (tehničnega in naravnega sušenja lesa) na kakovost lesa. Naši rezultati kažejo, da je bila začetna kakovost žaganega lesa pred sušenjem po obeh postopkih podobna, primerljivo pa je bilo tudi degradiranje žaganic v nižje kakovostne razrede po zaključenem sušenju. V proučevanih sušilnih postopkih smo na polovici žaganic zaznali prisotnost rdečega srca. Interakcija beljave in rdečega srca, zlasti zaradi razlik v permeabilnosti, povzroča v začetni fazi sušenja stopnjevanje sušilnih napetosti. Pri sušenju rdečega srca bukovine se na površini lesa hitro vzpostavi difuzijska bariera. Povečan vlažnostni gradient povzroča neenakomerno krčenje po debelini sortimentov ter vodi do generiranja sušilnih napetosti, ki so vzrok zaskorjenju in poklinam ter posledično slabšanju kakovosti. 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, kar je vodilo do razvrščanja osušenega žaganega lesa v nižje kakovostne razrede.

V proučenih bukovih deblih smo zaznali značilno variiranje gostote v vseh kakovostnih razredih, gostota pa je običajno povezana s togostjo in trdnostjo lesa. Ugotovili smo značilen vzorec porazdelitev gostote, ki se po višini drevesa povečuje. Zabeležili smo tudi variiranje gostote v radialni smeri, ki se je od stržena proti periferiji rahlo zmanjševala. Primerjava mehanskih trdnosti z gostoto, je nepričakovano pokazala, da se mehanske lastnosti povečujejo od stržena proti periferiji, medtem ko se gostota rahlo zmanjšuje. To nakazuje, da pri bukovini s pomočjo gostote ne moremo vedno zanesljivo napovedovati mehanskih lastnosti in je potrebno upoštevati tudi anatomske značilnosti lesa.

Vizualno razvrščanje hlodovine in žaganega lesa smo primerjalno ocenjevali in sledili tudi z neporušnimi (nedestruktivnimi) metodami preko določanja togosti z merjenjem hitrosti ultrazvočnega preleta in z ugotavljanjem lastnih frekvenc, obe metodi pa smo verificirali s standardnimi statičnimi testi. Izkazalo se je, da sta modula elastičnosti določena iz frekvenčnega odziva ter s hitrostjo ultrazvoka zamaknjena glede na vrednosti, ki so bile določene pri statičnem testiranju, vendar pa je bila pri vseh potrjena značilna korelacija z gostoto in tudi vizualnim razvrščanjem gozdarskih in lesnih sortimentov. Nedestruktivni metodi sta se pri visokih vlažnosti lesa izkazali kot manj primerni za oceno togosti in razvrščanje konstrukcijskega lesa. V kolikor bi ju želeli uporabiti za zanesljive napovedi, moramo upoštevati tudi zgradbene posebnosti lesa. Ena od možnosti za izboljšanje ocene mehanskih lastnosti lesa je določanje specifičnega modula elastičnosti.

Zaradi vedno večje okoljske zavesti, se kupci vedno redkeje odločajo za impregniran les ali les tropskih lesnih vrst. Za uporabo lesa domačih lesnih vrst na prostem, moramo les dobro poznati, da ga znamo prav uporabiti. Pri določanju odpornosti izbranih vrst listavcev s testi po modelu Meyer-Veltrup smo potrdili, da je ta model ki temelji na metodi faktorjev, primeren 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. Potrdili smo, da je za celovito oceno teh dveh parametrov treba izvesti več ločenih testov. Izkazalo se je, da se rezultati modela dobro ujemajo z rezultati terenskih testiranj.

Na terenskem polju smo preizkušali termično modificiran les bukve ter termično modificiran les bukve, ki je bil naknadno impregniran z voskom Silvacera. Potrdili smo, da je terensko testiranje materialov relativno dolgotrajno, ker je do prvih znakov razkroja prišlo šele po letu ali dveh. Spremljanje vlažnosti med eksperimentom, se je izkazalo za uspešno za hitrejše pridobivanje podatkov. Nebiocidni mehanizem zaščite namreč temelji na dejstvu, da želimo les ohraniti suh, saj glive suhega lesa ne morejo razkrajati. Tako smo na vodoravno položene vzorce bukovine, termično modificirane bukovine in z voski impregnirane termično modificirane bukovine namestili uporovne merilce vlažnosti znamke Scanntronik in jim dvakrat dnevno zabeležili vlažnost. Iz podatkov je bilo razvidno, da termična modifikacija negativno vpliva na vlažnost lesa. S termično modifikacijo povečamo permeabilnost lesa, zato se ob padavinskih dogodkih bolj navlaži. Tako je vlažnost termično modificiranega lesa celo višja od vlažnosti netretirane bukovine. Po drugi strani pa smo potrdili pozitiven vpliv impregnacije bukovine z vodno emulzijo voska. Vlažnost tako obdelanega lesa je bila večino časa bistveno nižja od vlažnosti bukovine in termično modificirane bukovine.

Terenski testi izvedeni na testnem polju Oddelka za lesarstvo so pokazali, 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 pokažejo predvsem kot spremembe barve ali zelo površinski razkroj oziroma mehčanje lesa. Razkroj lesa ne sega več kot 1 mm v globoko. 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.

Potrdili smo, da fiziološko stanje v ujmah poškodovanih dreves in njihovo kljubovanje okužbam lahko ocenjujemo tudi s spremljanjem vlažnosti lesa, ki je pomemben pokazatelj vitalnosti in preživetja dreves ter odpornosti lesa proti okužbam. Vlažnost v deblu ni enakomerno razporejena. Zunanji deli debel, ki prevajajo vodo, so praviloma bolj vlažni. Pri nepoškodovanih bukvah poteka prevajanje vode v širšem zunanjem delu debla, vlažnost tam znaša tudi preko 100%. V smeri proti notranjosti debla se vlažnost praviloma postopoma zmanjšuje in najnižje vrednosti doseže na območju sušine. Pri izruvanih drevesih del koreninskega sistema ostane v stiku s tlemi in še omogoča fiziološko aktivnost, vendar pa je zaradi delne izgube stika s tlemi, oskrba z vodo bolj ali manj motena. Delujoč koreninski sistem in prevodni sistem v deblu še delno omogočata tok vode, ki zadostuje, da drevesa ozelenijo, vendar se manjši tok vode odraža v izsuševanju lesa v deblu, reduciranju krošnje in v morfoloških spremembah listov. Visoka vlažnost v zdravem drevesu preprečuje nevarnost okužbe z biološkimi škodljivci, v izruvanih drevesih pa se je vlažnost lesa zaradi poškodb in motene oskrbe z vodo zmanjševala, kar predstavlja neposredno nevarnost za okužbo z biološkimi škodljivci.

Izkazalo se je, da je bilo zmanjšanje lesne vlažnosti značilno večje pri drevesih z zmanjšanim deležem korenin v stiku z zemljo, ki so ležala na manj vlažnih legah ali so bila bolj direktno izpostavljena sončnemu obsevanju. Pri zelo prizadetih drevesih se je zmanjšala vlažnost in

povečalo tveganje za okužbe že v prvi vegetacijski dobi po ujmi, pri nekoliko manj prizadetih drevesih pa je bilo zmanjšanje vlažnosti proti koncu prve vegetacijske dobe po ujmi še zadovoljivo. Eksperimenta nismo mogli nadaljevati v sledečih letih po ujmi, vendar rezultati nakazujejo, da lahko v naslednjih vegetacijskih dobah pričakujemo zmanjšano biološko odpornost in razkroj lesa. Stojeca poškodovana drevesa imajo pogosto še zmožnost obnovitve krošnje in preživetja, kakovost lesa, pa zaradi obarvanja in okužb hitro pada. Sprememb gostote in mehanskih lastnosti lesa v izruvanih drevesih v prvi vegetacijski dobi po ujmi še nismo zaznali.

Vsa drevesa s polomljenimi krošnjami so preživela prvo rastno sezono. Poškodovane bukve so proizvedle od 20 do 95 % ožje ksilemske branike kot nepoškodovane, manjši je bil tudi prirastek floema. Izmed štirih razredov poškodovanosti so se pri bukvi največje razlike v debelinski rasti pokazale med razredoma A in B.

Rezultati usmerjeni v možnost razvoja novih izdelkov in učinkov na gospodarstvo so pokazali, da je iz bukovine v celotni gozdno-lesni verigi mogoče izdelati več sto izdelkov, ki smo jih zaradi preglednosti razvrstili v 27 skupin. Odločitev o tem, katere izdelke proizvajati, je zelo zahtevna, pa vendarle za gospodarno ravnanje s to surovino ključna. Pri tem je zelo pomemben tudi izračun konkretnih ekonomskih kazalnikov, med katerimi je dodana vrednost v izdelku med najpomembnejšimi. V okviru **razvoja modela vrednotenja dodane vrednosti v bukovih izdelkih** smo predlagali razširjen model, ki zagotavlja ključne informacije za poslovne odločitve znotraj podjetij in tudi panoge. Ugotovili smo tudi številne izzive, s katerimi se srečujemo pri natančnejšem vrednotenju dodane vrednosti in pri tem predlagali kategorizacijo bukovih proizvodov/polproizvodov glede na dodano vrednost v izdelku. Dodana vrednost v kompleksnejših končnih izdelkih je lahko zelo visoka, in je 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). Res pa je, da **visoka dodana vrednost v izdelku podjetjem še ne zagotavlja tudi (kratkoročnega) dobička iz poslovanja**, kar je bila tudi ena izmed pomembnejših ugotovitev raziskave o dodani vrednosti. 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.

Preučevali smo **stanje kompetenc za različne profile zaposlenih v lesni proizvodnji** in ugotovili precejšen vpliv načrtnih usposabljanj na zmanjšanje deficitov teh kompetenc; ob čemer lahko zaključimo, da je stanje kompetenc proizvodnih delavcev v slovenskih lesnih podjetjih dobro. Velike spremembe v poslovnem okolju in hitri tehnološki razvoj ter drugačni pristopi k opravljanju dela zahtevajo od zaposlenih v podjetjih (tudi lesnih), da neprestano razvijajo svoje sposobnosti in širijo znanja. Hkrati pa je za podjetja nujno, da se med sabo povezujejo in tako izkoriščajo sinergijo mrežnih povezav. **Poslovni modeli** v lesni panogi morajo temu slediti, predvsem pa omogočiti nadaljnji razvoj gozdno-lesne verige.

Preučevali smo tudi možnosti razvoja in trženja lesnih izdelkov. Oblikovali smo model za oceno možnosti razvoja izdelkov iz bukovine, s katerim lahko ugotavljamo, ali je izdelek skladen s tehnološko proizvodnimi možnostmi podjetja. Tudi če ta model pokaže, da se izdelek s tega vidika splača 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. Zato smo oblikovali še model za oceno možnosti trženja izdelka iz bukovine.

Opravili smo tudi oceno tržnega potenciala izdelkov iz bukovine. Za ta del raziskave smo uporabili analitični hierarhični proces.

Glede na dejstvo, da bukovina v naših gozdovih predstavlja največjo lesno zalogo in ob upoštevanju dejstva, da se kljub stremenju 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, smo se intenzivno ukvarjali z **možnostmi 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. Tako smo na primer dokazali, da je bukova žagovina povsem primerna kot ojačitvena komponenta za pripravo biorazgradljivih kompozitnih materialov. Pokazali smo, da so ostanki lesno predelovalne industrije, kot je npr. žagovina, potencialna surovina za sintezo novih fleksibilnih materialov, ki najdejo široko uporabnost v gradbeništvu, embalažerstvu, avtomobilski industriji in za proizvodnjo predmetov za široko potrošnjo. Za kemično predelavo je moč uporabiti različne kategorije ostankov lesnopredelovalne industrije kot so skorja, žagovina in lesni prah pa tudi prostorninski les in sečne ostanke iz gozda. 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.

Diseminacija rezultatov

Diseminacija rezultatov je bila zelo pomembna aktivnost tekom celotne izvedbe projekta, saj je ključna za uspešen prenos znanja v prakso. Velik poudarek je bil na povezovanju znanosti in stroke na področju gozdarstva, lesarstva, papirništva, gradbeništva ter drugih disciplin. Dosežki projektne skupine V4-1419 so zavedeni v sistemu COBISS in so bili predstavljeni kot: (i) izvirni znanstveni članki v slovenskem ali tujem jeziku (COBISS tip 1.01, 1.03), (ii) strokovni članki (COBISS tip 1.04) in (iii) poljudni članki (COBISS tip 1.05). Poleg tega so bili rezultati projekta predstavljeni na številnih domačih in mednarodnih konferencah (COBISS tip 1.08, 1.09, 1.12, 3.15). Drugi primeri prenosov rezultatov raziskav v prakso so razvidni iz sistema COBISS tip 2.02, 2.03, 2.06, 2.12, 2.13, 2.15, 2.17 in 2.24 za celotno projektno skupino.

Glavni načini diseminacije rezultatov projekta so bili sledeči:

- internetna stran postavljena izključno za namene projekta (<http://crp-bukev.bf.uni-lj.si/>);
- vsakoletni izid spletnih novičk CRP Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini (2015-2017, ISSN 2463-767X) o najnovejših rezultatih projekta;
- kratke novičke o predstavitvi projekta v revijah Lesarski utrip (ISSN 1318-7732) in Gozdarski vestnik (ISSN 0017-2723) (COBISS tip 1.05, 1.20);
- prispevki za radio
- sklop 10 prispevkov objavljenih v tedniku Kmečki glas (ISSN 0350-4093) v obdobju april-julij 2017.
- organizacija mednarodne delavnice Historical Wood Utilization - Past utilization of beech wood and other hardwoods and challenges for the future, junij 2016
- zaključni posvet projekta v okviru prireditve Čar lesa v Cankarjevem domu, 9. 5. 2017, z mednarodno udeležbo.
- zaključna delavnica za Zavod za gozdove Slovenije na Gozdarskem inštitutu Slovenije, 15. 6. 2017.

V okviru CRP-a je izšlo več tematskih števil, kjer so bili objavljeni prispevki o najnovejših rezultatih projekta, in sicer:

- V letu 2015 tematska številka Gozdarskega vestnika (ISSN 0017-2723, letn., 73, št. 10), v katerem je bilo poleg predgovora objavljenih šest prispevkov.
- V letu 2016 tematska številka Acta silvae et ligni (ISSN 2335-3112, št. 110) s petimi prispevki in uvodnikom.
- V letu 2017 tematska številka Les/Wood (ISSN 0024-1067, št. 1) s sedmimi prispevki in dvema uvodnikoma.

Omenjeni prispevki so del **priloge**, kjer so grupirani po tematiki.

Razprava, zaključki in priporočila naročniku

Z vidika gozdarske in lesarske stroke je **podatek o razpoložljivi količini bukovine**, predvsem pa njeni **kakovosti**, ključen. Kakovostno se potencial bukovine ocenjuje s 5-stopenjsko lestvico, ki razvršča drevesa na osnovi vizualnih značilnosti. Kljub temu, da se ocenjevalna lestvica uporablja že skoraj dve desetletji, raziskave tega projekta predstavljajo nov in originalen pristop, za ugotavljanje povezave ocen kakovosti dreves z izdelanimi sortimenti, s sledenjem iz hlodovine izdelanega žaganega lesa.

V raziskavi smo ugotovili nekaj značilnosti **obstoječega načina ocenjevanja kakovosti dreves**, ki bi jih bilo smiselno dopolniti. Rezultate smo predstavili in prediskutirali z načrtovalci ZGS iz celotne Slovenije. Izkazalo se je, da je za dobro oceno ključna usposobljenost in natančnost ocenjevalca. Glavna lastnost oz. napaka lesa, ki ob vizualni oceni ostane skrita, pa je prisotnosti rdečega srca oziroma napak srčne cone.

V okviru projekta smo raziskali možnost nadgradnje vizualne ocene stoječega drevesa z vključitvijo **nedestruktivnih metod za oceno lastnosti lesa** (npr. ultrazvočna metoda, ...). S prilagoditvami, ki so rezultat tega projekta, je mogoče nedestruktivne metode uspešno uporabljati tudi za oceno lastnosti lesa **listavcev**. Izkazalo se je, da nedestruktivne metode omogočajo natančnejšo oceno kakovosti, kot samo vizualna ocena. Trenutno je visoka cena opreme za nedestruktivno spremljanje kakovosti lesa v stojećih drevesih med glavnimi ovirami za njihovo široko uporabo.

Za **oceno kakovosti lesa**, ki ga tržimo so v uporabi **različna merila**. Uporaba standardov za ocenjevanje kakovosti sortimentov ni obvezna, nam pa standardi ob prodaji, nakupu oziroma prevzemu lesa zelo pomagajo in olajšajo delo. V državnih gozdovih uporabljamo Pravilnik. V zasebnih gozdovih, kjer se poseka največ lesa, se še vedno uporablja stare standarde JUS, ki formalno niso več v veljavi. Razlogi za njihovo rabo so v tem, da so jih dolgo uporabljali in da jih stroka še vedno dobro pozna, izrazoslovje iz njih se uporablja v praksi. Zaradi uporabe različnih standardov in določil pri ocenjevanju kakovosti okroglega lesa je trenutno v praksi še vedno nemogoče enotno spremljati dogajanje na celotnem trgu z gozdnimi lesnimi sortimenti, ki je zato manj urejen in usklajen.

Večjo enotnost bi lahko dosegli z **izdelavo enotnih kakovostnih razredov za okrogli les**. Vanje bi morali vključiti veljavne **evropske standarde**, kljub njihovim pomanjkljivostim, na katere smo opozorili v objavah in na posvetih. Tu bi se morda veljalo zgledovati po praksi v drugih državah. V Nemčiji na primer od leta 2015 velja okvirni sporazum za trgovanje s »surovim« lesom – Rahmenvereinbarung für den Roh-holzhandel in Deutschland (RVR, 2015), ki razvršča hlodovino po kakovosti in ne po namenu uporabe. Razvrstitev bukove hlodovine je podobna kot v evropskem standardu, merila pa so nekoliko prilagojena. V avstrijskih uzancah (ÖHU, 2006) so najprej definirane zahteve za hlodovino za proizvodnjo luščenega in plemenitega furnirja ter ločeno od njih kakovostni razredi hlodovine A, B, C in Cx oz. D.

V nadaljnjih predelovalnih postopkih, predvsem pri **sušenju**, se pojavijo dodatne **napake, ki zmanjšujejo kakovost lesa**. Bistveno več napak in izmeta pojavlja pri žaganem lesu slabše kakovosti.

Rezultat raziskav je postavljena metodologija spremljanja kakovosti bukovine od gozda do izdelka, ki je primerna za ponovitev na večjem vzorcu in dodatnih rastiščih. S tako raziskavo bi v bodočnosti lahko izboljšali oceno kakovosti lesa v Slovenskih gozdovih.

Uporaba **nedestruktivnih metod za določanje togosti lesa** kaže spodbudne rezultate, ki so bolj zanesljivi kadar ocenjujemo togost osušenega lesa. Zaradi pestre in raznolike strukture lesa bukve in drugih listavcev bo v prihodnje potrebno proučiti še več dejavnikov, ki vplivajo na togost kot tudi trdnost lesa. Slednji sta ključni za uporabo bukovega lesa v gradbeništvu. Za večjo zanesljivost **napovedovanja trdnosti lesa z določanjem modula elastičnosti** priporočamo hkratno določanje vizualnih značilnosti lesa.

Drevesa, ki so v ujmi izruvana in v prvi vegetacijski dobi po ujmi še ozelenijo, se obnašajo drugače kot drevesa z odlomi debla in večjih vej. Procese degradacije v teh drevesih se odražajo v **vlažnosti lesa in njenem razporedu**. Pri izruvanih ozelenelih drevesih se v letu po ujmi vlažnost in njena razporeditev zmanjša manj kot pri polomljenih drevesih, ostale fizikalne lastnosti lesa pa se še ne spremenijo. Posebno pri drevesih brez večjih odlomov in poškodb skorje (tudi zaradi osončenosti po ujmi) **degradacija kakovosti lesa v letu po ujmi poteka počasneje** kot pri drevesih z velikimi mehanskimi poškodbami (odlomi delov krošnje). Sprememba vlažnosti je izrazitejša na perifernih delih debla in pade tudi pod 60 %, to je pod vlažnost, ki v grobem omogoča zaščito pred biološkimi okužbami. Kljub temu je pri drevesih, ki so izruvana a po ujmah ozelenijo, pričakovati nižjo kakovost lesa.

Obseg in oblika poškodovanosti krošnje vpliva na preživetje dreves, revitalizacijo krošnje in na nastajanje lesa ter floema pri bukvi. Za dolgotrajnejši vpliv poškodb dreves na prirastek bi bilo potrebno **sistematično spremljanje poškodovanih dreves**. S tako raziskavo bi natančneje ugotovili dejanski dolgotrajen vpliv poškodovanosti dreves, njihov prirastek in spremembe kakovosti lesa.

Pregled gozdno-lesne verige je pokazal, da je potencial lesne surovine (predvsem bukovine) v slovenski gozdno-lesni verigi pogosto neizkoriščen, kar negativno vpliva na širše gospodarsko okolje, predvsem pa razvoj lesne panog, ki se ukvarjajo s predelavo lesa. Vzrokov za to je več, med njimi pa je zagotovo **neučinkovito delovanje celotne gozdno-lesne verige**, ki naj zagotavlja proizvodnjo izdelkov z visoko dodano vrednostjo in polno izkoriščanje potenciala lesne surovine glede na njeno kakovost. Poleg številnih izzivov pri vrednotenju dodane vrednosti v izdelkih smo identificirali, da se **najkakovostnejša hlodovina (pre)pogosto znajde med energetske surovino** (drva in sekanci), kar nikakor ni optimalna rešitev s stališča izrabe surovine glede na njene potenciale. Razlogi za to so različni:

- prevelika razpršenost kakovostne hlodovine, ki zaradi slabe organiziranosti med lastniki gozdov povzroča previsoke stroške logistike,
- opuščanje in zanemarjanje primarne predelave kot veznega člena gozdno lesne verige,
- nedelujoč / neurejen trg lesnih sortimentov in proizvodov primarne proizvodnje,
- neustrezna tehnologija za proizvodnjo novejših inovativnih izdelkov,
- neprepoznan visok vrednostni potencial hlodovine ali zaradi kratkoročnih ciljev ali zaradi nepoznavanja vrednotenja kakovosti hlodovine.

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 vlaganj 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.**

Z **neučinkovitim delovanjem primarne predelave lesa** (proizvodnja furnirja in žaganega lesa), ki je predvsem posledica velike razpršenosti žagarskih obratov, njihove relativne majhnosti, katerih kapacitete ne omogočajo predelave večjih količin surovine, predvsem listavcev, hkrati pa ne predstavljajo dovolj močnega člana v verigi dodane vrednosti, **panoga 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 izgubljammo 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 celovitejše in smotrnejše izkoriščanje pomembnega naravnega vira. Spodbuditi pa je potrebno tudi **posodabljanje poslovnih modelov**, ki vključujejo nove komunikacijske tehnologije in predvsem omogočajo učinkovite mrežne povezave, s čimer bomo spodbujali še učinkovitejše delovanje verig. 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 novih 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 posodobitvijo obratov primarne predelave, bi se morali usmeriti v rabo/razvoj tehnologij, ki omogočajo veliko fleksibilnost in so primerne tako za večji, kot tudi za manjši obseg proizvodnje, kar bi lahko bila, ob ustrezni povezanosti obratov, 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 in plemenitega furnirja** je bila pri nas uveljavljena, zelo preverjena, visoko storilna in zelo obvladljiva tehnologija. 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. Razmerje med maso in upogibno trdnostjo je pri bukovih kompozitih ugodnejše, 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.

Z navedenim 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.) in vzpostavljanjem (skupnega) trga teh proizvodov, bi spodbudili 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 dolgoročno predstavljajo zelo omejen potencial razvoja tako panoge kot tudi podeželja. V Sloveniji razpolagamo z **dovolj hlodovine ustrezne kakovosti**, ki **zagotavlja rentabilno izdelavo visoko kakovostnih izdelkov iz lesa z visoko dodano vrednostjo**. Za to je potrebno najprej zagotoviti delovanje gozdno-lesne verige, vseh njenih členov.

Pomembno pri razvoju izdelkov z najvišjo dodano vrednostjo je tudi oblikovanje **raziskovalno-razvojnih centrov** in učinkovito **trženje** ter **mrežno povezovanje** oz. sodelovanje tako znotraj gozdno-lesne verige kot tudi s širše (kemija, farmacija, živilstvo, biotehnologija, nanomateriali, gradbeništvo itd.). V ta namen smo razvili **tri trženjske modele** (model za oceno možnosti razvoja izdelkov iz bukovine, model za oceno možnosti trženja teh izdelkov in model za oceno njihovega tržnega potenciala), ki so lahko dober pripomoček podjetjem, ko se odločajo za razvoj novih izdelkov iz bukovine ter njihovo trženje in kažejo na kompleksnost te, za delovanje celotne gozdno-lesne verige zelo pomembne faze poslovnega procesa. Za učinkovito rabo bukovine je **nujna razširitev gozdno-lesne verige** tudi na ostala področja, pri čemer pa je treba zagotoviti najprej 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. Bukova vlakna, ki predstavljajo približno 50 % lesne biomase so zelo iskana surovina, primerna za proizvodnjo papirja, tekstila, nano-celuloze in bioplastike. Obnovitev proizvodnje celuloze bi pomenila možnost izrabe bukovine slabše kvalitete in ostankov. Sodobni postopki delignifikacije lesa omogočajo istočasno pridobivanje ligninskih produktov in dragocenih “zelenih” kemikalij na okoljsko sprejemljiv in ekonomsko učinkovit način. Prvi korak k optimalnejši izrabi biomase bi bil najprej vzpostavitev pilotne (mobilne) biorafinerije kot raziskovalnega centra. V okviru projekta smo ugotovili katere predelovalne tehnologije so napredne in kateri produkti tržno zanimivi. Za implementacijo bo treba sprejeti celovito strategijo razvoja lesno predelovalne industrije, ki bo vključevala vse deležnike, in sicer tako iz gospodarstva kot iz politike. V primeru, da z inovativno rabo 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.

Iz navedenega sledijo še nekateri dodatni izzivi in priložnosti za prihodnost

- ocena koristi in potrebnih investicij v posamezne dele gozdno lesne verige, s poudarkom na primarni predelavi lesa (žagarski obrati in furnirski obrati) in predelavi lesnih ostankov (npr. biorafinerije..)
- snovanje, razvoj in implementacija novih inovativnih proizvodov iz laboratorijskega/pilotnega nivoja v industrijo
- razvoj tržnih modelov za ustvarjenje tržnih priložnosti za celotno gozdno-dlesno verigo z namenom razvoja pull poslovnih modelov
- razvoj mrežne organiziranosti skozi sodobne poslovne modele, ki vključuje poleg gozdno-lesne verige tudi ostala področja (kemija, papirništvo, ipd.)

Priloge k poročilu (objave)

Kakovost bukovine od gozda do izdelka

MARENČE, Jurij, GORNIK BUČAR, Dominika, ŠEGA, Bogdan. V slovenskih gozdovih bukev prevladuje – je njen les tudi kakovosten? *Kmečki glas*, ISSN 0350-4093, 26. 2017, v tisku

GORNIK BUČAR, Dominika, ŠEGA, Bogdan, MARENČE, Jurij. Kako razvrščati bukovo hlodovino? *Kmečki glas*, ISSN 0350-4093, 26. 2017, v tisku

MARENČE, Jurij, ŠEGA, Bogdan. Povezave med kakovostjo bukovih dreves in iz njih izdelanih sortimentov = Links between beech tree quality and assortments made of them. *Gozdarski vestnik*, ISSN 0017-2723. [Tiskana izd.], dec. 2015, letn. 73, št. 10, str. 429-441, ilustr. [COBISS.SI-ID [2473097](#)]

MARENČE, Jurij, GORNIK BUČAR, Dominika, ŠEGA, Bogdan. Bukovina - povezave med kakovostjo dreves, hlodovine in žaganega lesa = Beech wood - correlations between the quality of trees, logs and sawn wood. *Acta silvae et ligni*, ISSN 2335-3112. [Tiskana izd.], 2016, 111, str. 35-47, ilustr. <https://doi.org/10.20315/ASetL.111.4>, doi: [10.20315/asetl.111.4](https://doi.org/10.20315/asetl.111.4). [COBISS.SI-ID [4717990](#)]

MARENČE, Jurij, MATIJAŠIČ, Dragan, GRECS, Zoran
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. *Les / Wood*, 2017, 66, 1, 7-6 (v tisku)

Lastnosti lesa bukve, raba lesa, ujme in kakovost

GRIČAR, Jožica. Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini. *Kmečki glas*, ISSN 0350-4093, 26. april 2017, letn. 74, št. 17, str. 8. [COBISS.SI-ID [4794022](#)]

ČUFAR, Katarina. Ali je bukov les uporaben? *Kmečki glas*, ISSN 0350-4093, 26. april 2017, letn. 74, št. 17, str. 8.

GORIŠEK, Željko. Kako ravnati z lesom, da ohranimo njegovo visoko kakovost in vrednost. *Kmečki glas*, ISSN 0350-4093, 26. 2017, v tisku

STRAŽE, Aleš. Prihodnost večje rabe bukovine je tudi v leseni gradnji. *Kmečki glas*, ISSN 0350-4093, 26. 2017, v tisku

ČUFAR, Katarina, GORIŠEK, Željko, MERELA, Maks, ŠEGA, GORNIK BUČAR, Dominika, KROPIVŠEK, Jože, STRAŽE, Aleš. Lastnosti bukovine in njena raba = Properties of beechwood and its use. *Les / Wood*, 2017, 66, 1, 27-39 (v tisku)

STRAŽE, Aleš, MERELA, Maks, ČUFAR, Katarina, ŠEGA, Bogdan, GORNIK BUČAR, Dominika, GORIŠEK, Željko. Vpliv sušilnega postopka na kakovost in izkoristek bukovnega žaganega lesa = Impact of the drying process on the quality and utilization rate of sawn beechwood. *Les / Wood*, 2017, 66, 1, 17-26 (v tisku)

GORIŠEK, Željko, PLAVČAK, Denis, GORNIK BUČAR, Dominika, MERELA, Maks, KRŽE, Luka, ČUFAR, Katarina, STRAŽE, Aleš. Fizikalne in mehanske lastnosti svežega in osušenega lesa v bukovih deblih, izruvanih med žledolomom = Physical and mechanical properties of green and dry wood in beech stems blown down in ice storm. *Acta silvae et ligni*, ISSN 2335-3112. [Tiskana izd.], 2017, 112, str. 1-14 (v tisku)

STRAŽE, Aleš, MERELA, Maks, KRŽE, Luka, ČUFAR, Katarina, GORIŠEK, Željko. Fizikalne lastnosti bukovine po žledolomu = Physical properties of beech wood after the ice storm. *Gozdarski vestnik*, ISSN 0017-2723. [Tiskana izd.], dec. 2015, letn. 73, št. 10, str. 454-460, ilustr. [COBISS.SI-ID [2473609](#)]

MERELA, Maks, HABJAN, Primož, ČUFAR, Katarina. Nastajanje ksilemske in floemske branike pri bukvah, poškodovanih v žledolomu = Formation of xylem and phloem in European beech tree after ice storm damage. *Acta silvae et ligni*, ISSN 2335-3112. [Tiskana izd.], 2016, 110, str. 3-13, ilustr. <https://doi.org/10.20315/ASetL.110.5>, doi: [10.20315/ASetL.110.5](https://doi.org/10.20315/ASetL.110.5). [COBISS.SI-ID [4679334](#)]

HABJAN, Primož, MERELA, Maks. Kako poškodbe krošenj dreves vplivajo na prirastek lesa?. *Kmečki glas*, ISSN 0350-4093, 2017, letn. 74, št. 19, str. 10, ilustr. [COBISS.SI-ID [2774409](#)]

Odpornost in življenjska doba lesa listavcev

HUMAR, Miha, LESAR, Boštjan, THALER, Nejc, KRŽIŠNIK, Davor, KREGAR, Nace, DRNOVŠEK, Simon. Edino kvalitetna zaščita lesa zagotavlja dolgo življenjsko dobo lesu. *Kmečki glas*, ISSN 0350-4093, 26. 2017, v tisku ŽLAHTIČ ZUPANC, Mojca, KRŽIŠNIK, Davor, LESAR, Boštjan, THALER, Nejc, HUMAR, Miha

Model za določanje življenjske dobe lesa listavcev = Model for service life prediction of hardwoods. *Les / Wood*, 2017, 66, 1, 53- 59 (v tisku)

HUMAR, Miha, KRŽIŠNIK, Davor, LESAR, Boštjan, THALER, Nejc, ŽLAHTIČ, Mojca. Življenjska doba bukovine na prostem = Service life of beech wood in outdoor applications. *Gozdarski vestnik*, ISSN 0017-2723. [Tiskana izd.], dec. 2015, letn. 73, št. 10, str. 461-469, ilustr. [COBISS.SI-ID [2473865](#)]

ŽLAHTIČ ZUPANC, Mojca, HUMAR, Miha. Vpliv izbranih okoljskih dejavnikov na dinamiko vlaženja bukovine = Influence of selected environmental factors on moisture dynamics of beech wood. *Acta silvae et ligni*, ISSN 2335-3112. [Tiskana izd.], 2016, 110, str. 27-37, ilustr. <https://doi.org/10.20315/ASetL.110.3>, doi: [10.20315/ASetL.110.3](https://doi.org/10.20315/ASetL.110.3). [COBISS.SI-ID [4679846](#)]

Stanje in izboljšave tehnologij za predelavo lesa listavcev

PRISLAN, Peter, PIŠKUR, Mitja, GORNIK BUČAR, Dominika. Stanje žagarske panoge v Sloveniji 2013/2014 = Situation of the Slovenian sawmill sector in 2013/2014. *Gozdarski vestnik*, ISSN 0017-2723. [Tiskana izd.], dec. 2015, letn. 73, št. 10, str. 442-453, ilustr. [COBISS.SI-ID [2473353](#)]

GORNIK BUČAR, Dominika, GOSPODARIČ, Bojan. Waviness of beech sliced veneer = Valovitost bukovnega rezanega furnirja. *Acta silvae et ligni*, ISSN 2335-3112. [Tiskana izd.], 2016, 110, str. 15-26, ilustr. <https://doi.org/10.20315/ASetL.110.1>, doi: [10.20315/ASetL.110.1](https://doi.org/10.20315/ASetL.110.1). [COBISS.SI-ID [4679590](#)]

Inovativna raba manjvrednega lesa in ostankov, razvoj novih izdelkov

ZULE, Janja. Ali je bukov les uporaben za papir in kemično predelavo? *Kmečki glas*, ISSN 0350-4093, 26. 2017, v tisku

ZULE, Janja, GORNIK BUČAR, Dominika, KROPIVŠEK, Jože. Inovativna raba bukovine slabše kakovosti in ostankov = Innovative use of low quality beechwood and residues. *Les / Wood*, 2017, 66, 1, 41 - 51 (v tisku)

ZULE, Janja. Možnosti kemične predelave bukovnega lesa = Possibilities for chemical conversion of beech wood. *Gozdarski vestnik*, ISSN 0017-2723. [Tiskana izd.], 2015, letn. 73, št. 10, str. 479-487, ilustr. [COBISS.SI-ID [4253094](#)]

ZULE, Janja, BOLKA, Silvester, SLAPNIK, Janez. Ocena primernosti bukovne žagovine kot ojačitvene komponente pri pripravi termoplastičnih biokompozitov = Suitability evaluation of beech sawdust as reinforcement component in the preparation of thermoplastic biocomposites. *Acta silvae et ligni*, ISSN 2335-

3112. [Tiskana izd.], 2016, 110, str. 39-48, ilustr. <https://doi.org/10.20315/ASetL.110.2>, doi: [10.20315/ASetL.110.2](https://doi.org/10.20315/ASetL.110.2). [COBISS.SI-ID [4680102](#)]

Dodana vrednost, kompetence zaposlenih, trženje

KROPIVŠEK, Jože, GORIŠEK, Željko. Kakovostna hlodovina naj bo za izdelke z visoko dodano vrednostjo. *Kmečki glas*, ISSN 0350-4093, 26. 2017, v tisku

KROPIVŠEK, Jože, ČUFAR, Katarina. Potencialna raba bukovine in vrednotenje dodane vrednosti v izdelkih iz bukovine = Potential use of beechwood and estimation of value added of beechwood products. *Gozdarski vestnik*, ISSN 0017-2723. [Tiskana izd.], dec. 2015, letn. 73, št. 10, str. 470-478, ilustr. [COBISS.SI-ID [2474121](#)]

KROPIVŠEK, Jože, GORNIK BUČAR, Dominika. 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. *Les / Wood*, 2017, 66, 1, 61-72 (v tisku)

KROPIVŠEK, Jože, MOKOREL, Marko, JOŠT, Matej. Stanje in razvoj kompetenc zaposlenih v lesni proizvodnji = The state and development of competencies of employees in wood based production. *Acta silvae et ligni*, ISSN 2335-3112. [Tiskana izd.], 2016, 110, str. 49-58, ilustr. <https://doi.org/10.20315/ASetL.110.4>, doi: [10.20315/ASetL.110.4](https://doi.org/10.20315/ASetL.110.4). [COBISS.SI-ID [4680358](#)]

OBLAK, Leon, JOŠT, Matej, KROPIVŠEK, Jože. Ocena možnosti razvoja in trženja proizvodov iz bukovine = Development and marketing possibilities of beechwood products assessment. *Les / Wood*, 2017, 66, 1, 73-83 (v tisku)

Objave na radiu, vabila na dogodke, poročila

Bibliografija