



Anže Zajc, Jure Žigon, Marko Frelj, Maks Merela

Les kipov z območja zahodne in osrednje Afrike
Wood of sculptures from West and Central Africa

Maks Brus, Jernej Dolenc, Aleš Serženta, Milan Šernek

**Proučevanje utrjevanja lepil na osnovi tanina in lignina
s sistemom za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti**
Study of the curing of tannin- and lignin-based adhesives
using an automated bonding evaluation system

Darja Stare, Žiga Lukančič, Denisa Krevh, Marko Uhan

Validacija NIR spektroskopije za določanje kakovosti lesnih peletov
Validation of NIR spectroscopy for wood pellet quality assessment

Tjaša Redek, Eva Erjavec

**Stanje in priložnosti v slovenski lesnopredelovalni industriji
s perspektive podjetij**
The current state and opportunities in the Slovenian wood industry
from the perspective of companies

Neja Bizjak Štrus, Zlata Kelar Tučeková, Dávid Brodňanský, Sebastian Dahle

Obdelava površin lesa z DCSBD plazmo pred nanosom premazov
DCSBD plasma treatment of wood surfaces before coating application



VSEBINA / CONTENTS

Letnik 75, številka 1 / Volume 75, Number 1

• Uvodnik	3
Editorial	
Manja Kitek Kuzman	
• Les kipov z območja zahodne in osrednje Afrike	5
Wood of sculptures from West and Central Africa	
Anže Zajc, Jure Žigon, Marko Frelj, Maks Merela	
• Proučevanje utrjevanja lepil na osnovi tanina in lignina s sistemom za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti	29
Study of the curing of tannin- and lignin-based adhesives using an automated bonding evaluation system	
Maks Brus, Jernej Dolenc, Aleš Serženta, Milan Šernek	
• Validacija NIR spektroskopije za določanje kakovosti lesnih peletov	39
Validation of NIR spectroscopy for wood pellet quality assessment	
Darja Stare, Žiga Lukančič, Denisa Krevh, Marko Uhan	
• Stanje in priložnosti v slovenski lesnopredelovalni industriji s perspektive podjetij	53
The current state and opportunities in the Slovenian wood industry from the perspective of companies	
Tjaša Redek, Eva Erjavec	
• Obdelava površin lesa z DCSBD plazmo pred nanosom premazov	75
DCSBD plasma treatment of wood surfaces before coating application	
Neja Bizjak Štrus, Zlata Kelar Tučková, Dávid Brodňanský, Sebastian Dahle	
Novice	
• Dr. Jožica Gričar – prejemnica Zoisovega priznanja za pomembne dosežke na področju biologije dreves	87
Dr Jožica Gričar received the Zois Award for important achievements in the field of tree biology	
Katarina Čufar, Peter Prislán	
• Izr. prof. dr. Maks Merela je prejel priznanje Biotehniške fakultete za izjemne dosežke	97
Associate Prof. Dr Maks Merela received the Award of the Biotechnical Faculty for Exceptional Achievements	
Aleš Straže	
• Dr. Nina Škrk Dolar, Jesenkova nagrajenka za najboljšo diplomantko doktorskega študija v letu 2026	104
Dr Nina Škrk Dolar received the Jesenko Award for best doctoral graduate in 2026	
Katarina Čufar, Maks Merela	
• In memoriam: prof. dr. Franc Bizjak (1942–2025)	110
In memoriam: Prof. Dr Franc Bizjak (1942–2025)	
Leon Oblak, Lidija Zadnik Stirn	
• Mozaik srečanj s prof. dr. Francem Bizjakom	112
Mosaic of encounters with Prof. Dr Franc Bizjak	
Darinka Kozinc	
• Prof. dr. Jože Lenič (1922–2012) – pionir na področju raziskav lesnih vlaknin	114
Prof. Dr Jože Lenič (1922–2012) – a pioneer in the field of wood fibre research	
Jože Resnik, Katarina Čufar	

Les/Wood

Založila/Published by

Založba Univerze v Ljubljani / *University of Ljubljana Press*

Za založbo/For the Publisher

Gregor Majdič, rektor Univerze v Ljubljani / *the Rector of the University of Ljubljana*

Izdala/Issued by

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo /
University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology

Za izdajatelja/For the Issuer

Marina Pintar, dekanja Biotehniške fakultete UL / *the Dean of the Biotechnical Faculty UL*

Naslov uredništva/Editorial Office Address

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Revija Les/Wood, Jamnikarjeva ulica 101, 1000 Ljubljana, Slovenia

Glavna urednica/Editor-in-chief

Katarina Čufar, Slovenija / *Slovenia*, katarina.cufar@bf.uni-lj.si

Odgovorni urednik/Managing editor

Jože Kropivšek, Slovenija / *Slovenia*, joze.kropivsek@bf.uni-lj.si

Tehnična urednika/Technical editors

Anton Zupančič, Slovenija / *Slovenia*, anton.zupancic@bf.uni-lj.si
Teja Bizjak Govedič, Slovenija / *Slovenia*, teja.bizjakgovedic@bf.uni-lj.si

Uredniški odbor/Editorial board

Christian Brischke, Nemčija / *Germany*
Alan Crivellaro, Italija / *Italy*
Dominika Gornik Bučar, Slovenija / *Slovenia*
Miha Humar, Slovenija / *Slovenia*
Denis Jelačić, Hrvaška / *Croatia*
Maks Merela, Slovenija / *Slovenia*
Leon Oblak, Slovenija / *Slovenia*
Primož Oven, Slovenija / *Slovenia*
Krishna K. Pandey, Indija / *India*
Manuela Romagnoli, Italija / *Italy*
Kevin T. Smith, ZDA / *USA*
Milan Šernek, Slovenija / *Slovenia*
Rupert Wimmer, Avstrija / *Austria*

Jezikovni pregled/Proofreading

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

Prelom/Layout

Tiskarna Koštomaj, Celje

Tisk/Print

Silveco d.o.o.
Natisnjeno v juniju 2026 v 100 izvodih./*Printed in June 2026 in 100 copies.*

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

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

<https://journals.uni-lj.si/les-wood>

Periodičnost/Frequency

Dve številki letno/*Two issues per year*

Les/Wood je referiran v mednarodnih bibliografskih zbirkah

Les/Wood is indexed in the international bibliographic databases

CABI - Cab international, DOAJ, ROAD, AGRIS, Ulrich periodicals directory, CrossRef, COBISS.si, dLib.si, Google Scholar

To delo je ponujeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva-Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna licenca. / *This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.*

Izdajanje revije sofinancira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) / *The journal is co-financed by Slovenian Research and Innovation Agency (ARIS)*

Fotografija na naslovnici/Photo on cover page: iStock.com/xxwp



Les/Wood, Vol. 75, No. 1, June 2026



Les kot material tradicije in prihodnosti

V času, ko se arhitektura, oblikovanje in tehnologija vse intenzivneje soočajo z vprašanji trajnosti, podnebnih sprememb ter odgovorne rabe virov, les ponovno stopa v ospredje kot eden ključnih materialov prihodnosti. Ne le zaradi svoje obnovljivosti in nizkega ogljičnega odtisa, temveč tudi zaradi izjemne sposobnosti povezovanja človeka z naravnim okoljem, lokalno identiteto in kulturnim spominom.

Na pomen lesa v sodobnem grajenem okolju opozarja tudi pobuda Novi evropski Bauhaus, ki povezuje trajnost, estetiko in kakovost bivanja. Les pri tem predstavlja enega ključnih materialov za ustvarjanje bolj trajnostne, vključujoče in človeku prijazne prihodnosti.

Prepričani smo, da bo les zaradi svojih estetskih, strukturnih in okoljskih značilnosti tudi v prihodnje ostal eden najpomembnejših gradbenih materialov. Mnoga naša najgloblja dožemanja sveta in arhitekture namreč izhajajo prav iz uporabe lesa. Po interpretacijah nekaterih zgodovinarjev proporcij grškega dorskega sloga, ki je pomembno zaznamoval estetske kanone zahodne civilizacije, temeljijo prav na razmerjih drevesa. Vendar odnos do lesa in dreves sega še globlje v ozadje naše kulturne podzavesti. Kot je zapisal arhitekt in teoretik Juhani Pallasmaa, je drevo »eden najspešnejših in najbolj pomenljivih človeških simbolov.«

Na presečišču arhitekture, lesarstva in znanosti o materialih danes nastajajo nove raziskovalne paradigme. Razvoj naprednih lesenih konstrukcij, digitalnih tehnologij obdelave, krožnega oblikovanja ter biosnovanih materialov odpira prostor za drugačno razumevanje grajenega okolja - bolj vklju-

čujoče, prilagodljivo in odgovorno. Les tako ni več razumljen kot tradicionalen ali alternativen material, temveč kot visokotehnološki nosilec inovacij.

Ob tem postaja vse pomembnejša tudi vloga univerze kot nosilke novega znanja in družbenega napredka. Univerza ni zgolj prostor prenosa informacij, temveč okolje raziskovanja, kritične misli in interdisciplinarnega povezovanja. Današnji čas zahteva široko razgledane posameznike, sposobne inovativnega razmišljanja in ustvarjanja trajnostno naravnane družbe. Tudi na področju lesa in trajnostne gradnje se kaže, da tehnološki razvoj sam po sebi ni dovolj - enako pomembno je razumevanje človeka, prostora in kulture bivanja.

Posebna vrednost raziskovanja lesa se kaže tudi v njegovi dvojni naravi: les je hkrati predmet natančne znanstvene analize in material človeške izkušnje. Njegova tekstura, vonj, staranje in taktilnost vplivajo na kakovost prostora ter dobrobit uporabnika na način, ki presega zgolj tehnične parametre. Razmislek o lesu zato ni le tehnološko ali konstrukcijsko vprašanje, temveč tudi kulturno, etično in prostorsko vprašanje.

V času hitrih sprememb trga dela in tehnološkega razvoja je še posebej pomembno izobraževati generacije, ki bodo sposobne prilagajanja, sodelovanja in ustvarjanja novih rešitev. Tudi v Sloveniji usposabljammo znanstvenice in znanstvenike, inženirke in inženirje, oblikovalke in oblikovalce ter raziskovalke in raziskovalce, ki bodo znanje znali pretvoriti v inovacije, raziskave pa v kakovostne izdelke, storitve in bivalna okolja prihodnosti.

* e-pošta: Manja.KitekKuzman@bf.uni-lj.si

Tudi revija Les/Wood predstavlja prispevke, ki odpirajo široke poglede na uporabo lesa v arhitekturi, oblikovanju, konstrukcijah in trajnostnem razvoju. Verjamemo, da znanstvena odličnost nastaja

prav skozi odprtost za sodelovanje, kritično refleksijo ter povezovanje različnih znanj.

Naj bo les tudi v prihodnje material raziskovanja, ustvarjalnosti in odgovornega bivanja.

Wood as a Material of Tradition and the Future

At a time when architecture, design, and technology are increasingly confronted with questions of sustainability, climate change, and the responsible use of resources, wood is once again coming to the forefront as one of the key materials of the future. Not only because of its renewability and low carbon footprint, but also because of its exceptional ability to connect people with the natural environment, local identity, and cultural memory.

The importance of wood in the contemporary built environment is also emphasized by the New European Bauhaus initiative, which connects sustainability, aesthetics, and the quality of life. In this context, wood represents one of the key materials for creating a more sustainable, inclusive, and human-centred future.

We are convinced that, due to its aesthetic, structural, and environmental qualities, wood will continue to remain one of the most important building materials in the future. Many of our perceptions of the world and of architecture are rooted precisely in the use of wood. According to interpretations by some historians, the proportions of the Greek Doric order, which significantly shaped the aesthetic canon of Western civilization, are based on the proportions of a tree. As the architect and theorist Juhani Pallasmaa wrote, the tree is “one of the most universal and meaningful human symbols”.

New research paradigms are now emerging at the intersection of architecture, wood science, and materials research. The development of advanced timber structures, digital fabrication technologies, circular design, and bio-based materials is opening up space for a different understanding of the built environment – one that is more inclusive, adaptable, and responsible. Wood is therefore no longer understood as a traditional or alternative material, but rather as a high-tech driver of innovation.

At the same time, the university as a generator of new knowledge and social progress is not just a place for the transfer of information, but an environment for research, critical thinking, and interdisciplinary collaboration. Our time calls for broadly educated individuals capable of innovative thinking and of creating a sustainability-oriented society. In the field of wood and sustainable construction, it is becoming evident that technological development alone is not enough, and that an understanding of society, space, and the culture of living is equally important.

The special value of wood research is also reflected in its dual nature: wood is simultaneously an object of precise scientific analysis and a material of human experience. Its texture, scent, ageing process, and tactility influence the quality of space and the well-being of users in ways that go beyond purely technical parameters. Reflection on wood is therefore not only a technological or structural issue, but also a cultural, ethical, and spatial one.

At a time of rapid changes in the labour market and technological development, it is particularly important to educate generations capable of adaptation, collaboration, and the creation of new solutions. In Slovenia we are educating scientists, engineers, designers, and researchers who will be able to transform knowledge into innovation, and research into high-quality products, services, and living environments of the future.

The journal Les/Wood reflects this broad perspective on the use of wood in architecture, design, structures, and sustainable development. We believe that scientific excellence emerges through openness to collaboration, critical reflection, and the integration of diverse forms of knowledge.

May wood continue to be a material of research, creativity, and responsible living.



LES KIPOV Z OBMOČJA ZAHODNE IN OSREDNJE AFRIKE

WOOD OF SCULPTURES FROM WEST AND CENTRAL AFRICA

Anže Zajc¹, Jure Žigon¹, Marko Frelih², Maks Merela^{1*}

UDK članka: 630*811:630*836.5(6)

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 6.02.2026

Sprejeto / Accepted: 1.04.2026

Izvleček / Abstract

Izvleček: Slovenski etnografski muzej (SEM) hrani številne zbirke lesenih predmetov iz celega sveta. V raziskavi smo proučili devet lesenih kipov iz območja zahodne in centralne Afrike. Cilj raziskave je bila mikroskopska identifikacija lesa kipov, ki so izdelani iz v Sloveniji manj znanih lesnih vrst. Po izboru smo kipe natančno pregledali, opisali in fotografirali. Na podlagi muzejskih virov, oblik kipov in pregleda literature smo okvirno določili regije njihovega izvora v Afriki. S prilagojenim, čim manj destruktivnim načinom smo odvzeli vzorce za anatomske raziskave lesa, tako da je strukturna celovitost kipov ostala nespremenjena, ter da je mesto odvzema lesa čim manj vidno. Iz vzorcev smo izdelali trajne anatomske preparate za mikroskopsko identifikacijo lesa. S pomočjo mikroskopske analize, anatomskega znakov in literature smo določili družine ali lesne vrste, iz katerih so kipi narejeni, in sicer: *Diospyros* spp., *Guibourtia* spp., *Millettia* spp., *Cylicodiscus* spp., *Ceiba pentandra*, *Xylocarpus* spp., *Dracontomelon* dao ter *Balanites cf. aegyptiaca*.

Ključne besede: anatomija lesa, identifikacija lesa, svetlobni mikroskop, muzejski predmeti, tropska Afrika, Slovenski etnografski muzej

Abstract: The Slovene Ethnographic Museum (SEM) in Ljubljana, Slovenia, houses numerous collections of wooden objects from around the world. In this work we have examined nine sculptures from West and Central Africa. The goal of the research was microscopic wood identification, which is required as the sculptures are made of lesser known wood species. After the selection, we precisely examined, described and photographed the sculptures. Based on their shapes, museum sources and available literature, we assigned the sculptures to specific regions of Africa. We carefully collected small samples of wood for anatomical analysis, taking care to preserve the structural integrity of the sculptures and ensure that the sampling locations remained invisible. We made permanent slides for microscopic wood identification. Using a light microscope, available literature, and anatomical characteristics, we were able to determine the following taxa: *Diospyros* spp., *Guibourtia* spp., *Millettia* spp., *Cylicodiscus* spp., *Ceiba pentandra*, *Xylocarpus* spp., *Dracontomelon* dao, and *Balanites cf. aegyptiaca*. The results of wood identification complement the documentation of the sculptures.

Keywords: wood anatomy, wood identification, light microscope, museum artefacts, tropical Africa, Slovene Ethnographic Museum

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Slovenski etnografski muzej (SEM), Kustodiat za afriške in ameriške zbirke v Ljubljani, hrani številne primere lesenih kipov iz Afrike. Ti so raznoliki po obliki in izdelavi ter imajo pogosto obredni in simbolni pomen. Večinoma so povezani s kultom prednikov, podobo božanstev in vsakdanjim življenjem različnih ljudstev. Poleg estetske vrednosti predsta-

vljajo dragocen vir informacij o duhovni in kulturni dediščini.

Afriško kiparstvo ima dolgo in raznoliko tradicijo, ki sega daleč v preteklost. Kiparji so bili v skupnostih spoštovani in obravnavani kot ljudje s posebnimi sposobnostmi in znanjem. Pogosto so bili kovači tudi šamani ali zdravilci, kar kaže na povezanost obrtniških veščin z duhovnostjo in obredi. Večina umetnikov je bila moških, ki so se kiparstva

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

² Slovenski etnografski muzej, Kustodiat za afriške in ameriške zbirke, Metelkova ulica 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

* e-pošta: maks.merela@bf.uni-lj.si

učili že v mladosti pri izkušenih mojstrih. Kiparstvo ni bilo samostojen poklic, temveč del širšega sistema znanja, povezanega z izdelavo mask, kipov in predmetov obrednega pomena. (Chanda, 1993; LaGamma, 2002; LaGamma (ur.), 2007; Meyer, 1995).

Umetnost afriškega kiparstva je bila zunaj celine skoraj neznana do konca 19. stoletja, kasneje pa je močno vplivala na zahodno umetnost. Kipi so večinoma zasnovani frontalno s simetrično razporeditvijo okoli navpične osi, značilne so povečane glave, velike roke in poudarjen popek. Glava je pogosto simbolno poudarjena kot središče znanja in čustev, obraz pa idealiziran in prikazan kot neminljiv (Chanda, 1993; Segy, 1958).

Kipi so bili včasih premazani z naravnimi barvili, kot so blato, glina ali rastlinski pigmenti. Na Slonokoščeni obali so na primer uporabljali zemeljske odtenke, pri ljudstvu Joruba pa tudi komercialne barve evropskega izvora. Pogosta je bila rdečkasta barva »tukula«, pridobljena iz prahu zdrobljenega domačega lesa, ki je imela simbolni pomen zaščite in plodnosti (Segy, 1958).

Ljudstvo Dogon, nekoč imenovano tudi Habbe, je eno najbolj znanih ljudstev Zahodne Afrike, naseljeno na območju Malija. Po ustnem izročilu so se naselili med 14. in 15. stoletjem, danes pa živi približno 250.000 pripadnikov tega ljudstva. Večina Dogonov prebiva v vaseh na pečinah severnega in vzhodnega dela območja, kjer se pretežno ukvarja s kmetijstvom, zlasti s pridelavo prosa, ki ga gojijo na suhih poljih ob robu pečin (Bacquart, 1998; Paulme, 1962). Kipi Dogonov so prepoznavni po podolgovatih, stiliziranih telesih in poudarjeni geometriji, s katero kiparji izražajo ravnotežje med telesno obliko in duhovnim pomenom. Pogosto so prekriti z debelo, razpokano patino, nastalo zaradi ritualnega polivanja z živalsko krvjo in prahom, kar potrjuje njihovo vlogo v obredih, povezanih s kultom prednikov. Mnogi kipi prikazujejo figure z dvignjenimi rokami, kar simbolizira prošnjo za dež ali povezavo med zemeljskim in nebeškim svetom, kar izhaja iz tradicij ljudstev Niongom in Tellem (Segy, 1975; Bedaux, 2012).

Obrazne poteze kipov so prepoznavne po brazgotinah, pravokotnih ustih in cevastih očeh, telesa pa so vitka in rahlo podaljšana. Umetnost Dogonov je razdeljena na več slogov, ki odražajo geografske in kulturne vplive: slog Tintam je bolj naturalističen in vključuje figure materinstva z značilnimi gladkimi

pričeskami, razdeljenimi na tri dele, medtem ko slog Nduleri poudarja podolgovate poteze in dovršeno, z vzorci vrezano frizuro. Na zahodnem robu planote so se Dogoni prepletli s kulturami Bambara in Bobo, kar je privedlo do nastanka slogov Tomo-ka, s polkrožnimi ušesi, prebodenimi s kovinskimi obročki, in Kibsi, prepoznavnega po rdečkasti patini in geometrijskih linijah (Bacquart, 1998).

Ljudstvo Baule je eno najpomembnejših ljudstev Slonokoščene obale, njihova naselitev sega od osrednjih delov države do meje z Nigerijo. Po legendi izvira ime iz časa kraljice Abe Pokou iz 18. stoletja, ki je med begom s svojim ljudstvom proti območju rudnikov zlata žrtvovala lastnega sina bogu reke. Po tem dogodku je svoje ljudstvo poimenovala Bauli, kar v prevodu pomeni »sin je mrtev« (Bacquart, 1998).

Baule slovijo po izjemni umetniški tradiciji, njihovi kipi pa veljajo za ene najbolj prefinjenih v afriški umetnosti. Odlikujejo jih uravnoteženi proporciji, natančno izdelani detajli ter mehke, elegantne poteze. Figure, visoke od 10 do 60 centimetrov, večinoma stojijo na podstavkih z rahlo pokrčenimi nogami in rokami, položenimi na trebuh kot znamenje miru in spoštovanja. Značilni so podolgovati vratovi, nežni obrazi z brazgotinami, izbuljene oči, visoko čelo in skrbno izdelane pričeske. Sedeče figure so redke in so jih lahko uporabljale le osebe z visokim družbenim položajem (Bacquart, 1998; Paulme, 1962; Segy, 1975).

Njihovi kipi so imeli estetsko in duhovno vrednost. Pogosto so predstavljali duhove Asie Usu, za katere so verjeli, da živijo na podeželju in vplivajo na plodnost, zdravje ter uspeh pri lovu. Takšne kipe so posamezniki hranili v domovih in jih obredno mazali s krvjo in jajci, da bi pridobili njihovo naklonjenost. Posebno mesto imajo tudi figure Blolo Bla (duhovna žena) in Blolo Bian (duhovni mož), ki po verovanju Baulejev predstavljata nevidne zakonce iz duhovnega sveta. Verjeli so, da ima vsak človek svojega duhovnega partnerja, ki se mu lahko razkrije v sanjah in vpliva na njegovo življenje. Kip teh figur je nastal po navodilih vaškega vedeževalca in je bil deležen spoštovanja, daritev ter simbolične skrbi. Poleg človeških figur so izrezovali tudi figure opic, ki držijo skodelico, prekrite z debelo patino, povezano z obredi plodnosti in zaščite (Bacquart, 1998).

Ljudstvo Mossi je največja etnična skupina v Burkini Faso, saj predstavlja približno 40 % prebivalstva države. Po ustnem izročilu izvirajo iz zveze med princeso Yennengo in lovцем Mandejem, njun sin Ouedraogo pa velja za ustanovitelja ljudstva Mossi. Družbo so imeli urejeno strogo hierarhično, z močnim vplivom poglavarjev in kraljev, pod katerimi so bili podložniki organizirani v tradicionalne skupnosti (Mossi people, 2023).

Kipi Mossijev so večinoma visoki od 60 do 100 centimetrov in pogosto predstavljajo umrle poglavarje. Figure so oblikovane z rahlo pokrčenimi nogami, rokami, odmaknjenimi od telesa, zaobljeno glavo in ploščatim obrazom. Takšni kipi so bili pomemben del pogrebnih obredov. Pogosto so jih simbolično pokopali namesto dejanskega trupla poglavarja, medtem ko so njegovo telo na skrivaj pokopali že prej. Tako so figure služile kot duhovna povezava med skupnostjo in njenim nekdanjim voditeljem, ki je po smrti ostal varuh skupnosti (Bacquart, 1998).

Ljudstvo Joruba živi predvsem v Nigeriji in Beninu, na območju, kjer se gozdovi prepletajo s savanami. Njihov izvor sega v konec prvega tisočletja, ko je nastala civilizacija Ife, eno najstarejših in najpomembnejših kulturnih središč v Zahodni Afriki. Po njenem razpadu so se oblikovala številna kraljestva, med njimi Ijebu in Oyo, ki sta v 18. in 19. stoletju doživela razkroj. V 19. stoletju so se Jorubi ponovno politično združili, njihova bogata kulturna tradicija pa se ohranja še danes (Bacquart, 1998).

Jorube danes štejejo več kot 50 milijonov ljudi, večina jih živi v Nigeriji. Večina prebivalstva se ukvarja s kmetijstvom, gojenjem prosa, koruze in arašidov, hkrati pa so Jorube znani kot eni najbolj spretnih rokodelcev v Afriki, zlasti na področju kiparstva, obdelave kovin in tkanja (Yoruba, 2023). Njihova umetniška tradicija sega v obdobje od 12. do 14. stoletja, ko so ustvarjali izjemne skulpture iz gline, pozneje tudi iz brona. Uporabljali so postopek vlivanja po izgubljenem vosku: kipar je najprej oblikoval model iz gline, ga prevlekel s plastjo čebeljega voska, nato z glino ustvaril kalup, vanj vлил bron in po ohlajanju odstranil zunanjo plast, kar je razkrilo popolno figuro (Mullen, 2004).

Med najbolj prepoznavnimi umetniškimi deli Jorub so leseni kipi dvojčkov, imenovani Ere Ibeji. Ti predstavljajo duhovno podobo umrlih otrok, saj imajo dvojčki med Jorubami poseben pomen in

visoko stopnjo svetosti. Kipi služijo kot spomin na izgubljenega otroka in kot zaščitniki družine. Zanje so značilne stožčaste glave, urejene pričeske in uravnoteženi telesni proporci, kar izraža harmoničnost in spokojnost, ki ju umetniki Joruba še danes postavljajo v središče svoje umetnosti (Ere Ibeji Figures, 2023; Clarke, 2006).

Ljudstvo Babembe (ali Bembe) je etnična skupina iz vzhodnega dela Demokratične republike Kongo (Bacquart, 1998). Po izročilu so se v 18. stoletju preselili iz osrednjega Konga in se naselili ob reki Zaire, na planotah ter v bližini jezera Nkunda, pa tudi v mestih Brazzaville, Dolisie in Pointe-Noire (Bembe, 2023). Družbeno življenje Babembejev temelji na delitvi dela med spoloma – ženske obdelujejo polja, moški pa se ukvarjajo z lovom in ribolovom. Osrednji del njihove duhovne tradicije je kult prednikov, v okviru katerega so v svetiščih darovali živali kot znamenje spoštovanja ter prošnje za zaščito in plodnost (Bacquart, 1998).

Njihovi kipi so običajno majhni in namenjeni obredni ali zdravilni uporabi. Pogosto so služili kot figure plodnosti ali zaščitni simboli, povezani z verovanjem v moč prednikov. Figure stojijo na kratkih nogah s pokrčenimi koleni in velikimi stopali, roke pa imajo položene na trebuh. Značilne so velike glave z mandljevimi očmi, pogosto okrašenimi s keramičnimi dodatki, ter trikotni nosovi, ki kipom dajejo izrazit in prepoznaven videz (Bacquart, 1998). Kipi navadno predstavljajo prednike, upodobljene v idealizirani obliki, in imajo med nogami majhno vdolbino, v katero polagajo zdravilne snovi kot del ritualnih praks (Bembe, 2023).

Eden izmed podatkov, ki lahko pomembno prispeva k razumevanju izvora in pomena kipcev, je tudi vrsta lesa, iz katerega so izdelani, saj je izbira lesne vrste pogosto povezana z geografskim in kulturnim okoljem (Zajc, 2023). Ta podatek pogosto ni znan, zato je potrebna identifikacija lesa (Čufar et al., 2022). Ker so kipi večinoma izdelani iz pri nas manj znanih tropskih lesnih vrst, makroskopska določitev običajno ni mogoča, zato je v večini primerov potrebna mikroskopska analiza. Cilj te študije je bil v SEM izbrati kipce, primerne za raziskavo, izdelati trajne anatomske preparate za mikroskopsko identifikacijo lesa ter določiti lesne taksone in njihov izbor ovrednotiti s pomočjo relevantne strokovne literature.



Slika 1. Afriški kipci, izbrani za raziskave (visoki od 15 cm do 40 cm).

Figure 1. African sculptures selected for the study (with heights ranging from 15 cm to 40 cm).

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

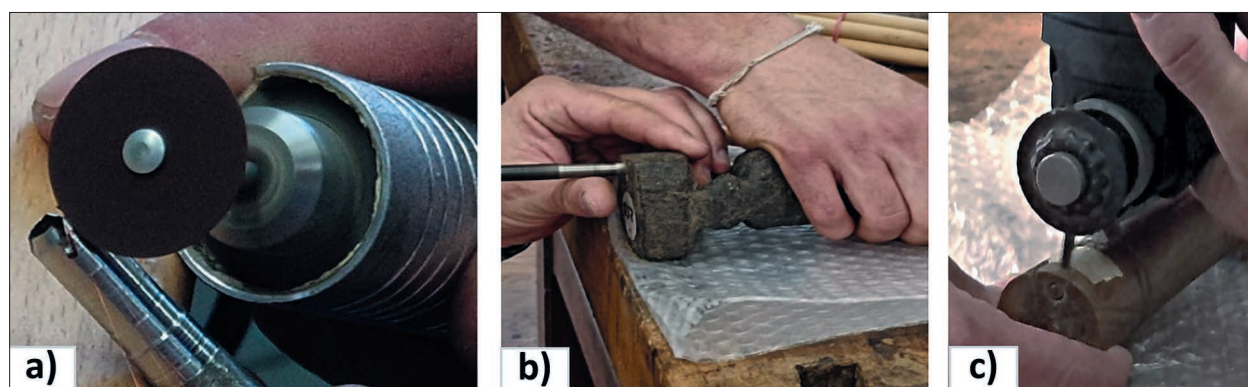
2.1 IZBOR IN ODVZEM MATERIALA

2.1 SELECTION AND SAMPLING OF MATERIAL

Raziskava je potekala v sodelovanju Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani s SEM. Raziskali smo devet afriških kipov iz muzejske zbirke (slika 1), ki so bili izbrani v sodelovanju s kustosom, z namenom analize uporabljenih lesnih vrst in njihove morebitne povezave z geografskim in kulturnim izvorom predmetov. Izbrani kipci se po slogovnih in morfoloških značilnostih pripisujejo ljudstvom, predstavljenim v uvodu. Vsak kip smo pregledali in ocenili njegovo stanje. Pred vzorčenjem smo vsak kipec fotografirali. S soavtorjem Markom Frelihom, kustosom SEM, in restavratorji

smo določili manj opazna mesta odvzema vzorcev lesa, primerna za kasnejšo konservatorsko sanacijo. Vzorčenje je bilo izvedeno na manj opaznih mestih s čim manj invazivnimi postopki, pri čemer smo želeli odvzeti čim manjši vzorec, ki še omogoča identifikacijo lesa. Pred odvzemom vzorcev smo pri vsakem kipcu primerjalno ocenili gostoto lesa in jih razvrstili v razrede gostote (nizka, srednja, visoka).

Za pridobitev vzorcev smo uporabili baterijski vrtalni stroj s posebnim votlim svedrom (slika 2a in b) ter vibracijsko žago s pritrjenim modificiranim rezilom (slika 2c). Po odvzemu smo vzorce lesa skrbno shranili v ustrezno označene posodice, kar je omogočilo sledljivost in povezavo med vzorcem in kipcem.



Slika 2. Orodje in odvzem vzorcev: a) priprava svedra, b) odvzem izvrtka, c) izrezovanje z vibracijsko žago.

Figure 2. Equipment and sampling process: a) preparation of the hollow drill, b) core sampling, c) cutting with a vibration saw.



Slika 3. Odvzem in priprava vzorcev: a) prikaz lokacije odvzema, b) vzorec v obliki izvrtka (7 mm × 15 mm), c) vzorci v mehčalnem mediju.

Figure 3. Sampling and sample preparation: a) sampling location, b) sample (7 mm × 15 mm), and c) samples in softening medium.

2.2 PRIPRAVA VZORCEV

2.2 SAMPLE PREPARATION

Odvzeti vzorci so bili zračno suhi (slika 3a,b), zato smo jih pred rezanjem preparatov zmehčali v mehčalnem mediju (slika 3c), pripravljenem iz mešanice vode, etanola in glicerina (Čufar et al., 2022). S stereo mikroskopom (SZ-STU2; Olympus, Tokio, Japonska) smo določili orientacijo lesnega tkiva, kar je nujno za pridobitev čistega prečnega, radialnega in tangencialnega prereza.

Za rezanje smo uporabili drsni mikrotom (SM2000R; Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Nemčija; slika 4a,b), s katerim smo izdelali histološke rezine debeline približno 20 µm v vseh treh ksilotomskih ravninah (prečna, radialna in tangencialna).

Rezine smo prenesli in obarvali na urnem steklu z mešanico safranina in astro modrega barvila (slika 4c). Rdeče barvilo safranin je obarvalo lignin in polifenolne komponente, astro modro barvilo pa je obarvalo celulozo oziroma nelignificirane dele celičnih sten (Prislan et al., 2009). Po obarvanju

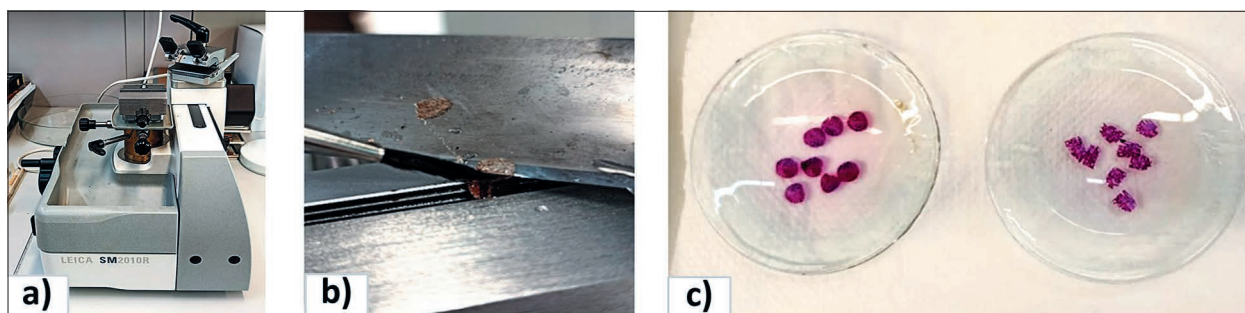
smo rezine spirali v etanolu različnih koncentracij, s čimer smo odstranili vodo in odvečno barvilo (slika 4c).

Na koncu smo pripravili trajne mikroskopske preparate. Rezine smo namestili na objektna stekla z vklopnim medijem (Euparal), jih prekrili s krovnimi stekli in obtežili. Tako smo dobili trajne mikroskopske preparate, primerne za natančno mikroskopsko analizo (slika 5c).

2.3 IDENTIFIKACIJA LESA

2.3 WOOD IDENTIFICATION

Mikroskopsko analizo smo izvedli s svetlobnim mikroskopom Axio Imager Z2 (Zeiss GmbH, Jena, Nemčija; slika 5a), pri čemer smo uporabili različne povečave za natančno opazovanje anatomske značilnosti (slika 5b). Za opazovanje lesnih preparatov smo uporabili kamero mikroskopa, povezano z računalnikom, na katerem je bil nameščen program Zen 33 Blue Edition (Zen Pro; Zeiss GmbH). Pri analizi vrst z anorganskimi vključki (kristali), smo uporabili polarizirano svetlobo (Prislan et al., 2009). Za



Slika 4. Priprava histoloških rezin: a) drsni mikrotom SM2000R (Leica Microsystems GmbH), b) rezanje histoloških rezin, c) obarvane histološke rezine po spiranju.

Figure 4. Preparation of histological sections: a) sliding microtome SM2000R (Leica Microsystems GmbH), b) cutting histological sections, c) stained histological sections after rinsing.



Slika 5. Mikroskopska identifikacija lesa: a) mikroskop Axio Imager (Zeiss GmbH) in program Zen 3.3 Blue Edition (Zen Pro; Zeiss GmbH), b) vzorec, vpet v vrtljiv nosilec na mikroskopu, c) trajni mikroskopski preparati.

Figure 5. Microscopic identification of wood: a) Axio Imager microscope (Zeiss GmbH) and Zen 3.3 Blue Edition software (Zen Pro; Zeiss GmbH), b) sample mounted in a rotating holder on the microscope, c) permanent microscopic slides.

identifikacijo lesnih vrst smo uporabili računalniški program Intkey (Richter & Dallwitz, 2002) ter podatke spletne baze InsideWood (InsideWood, 2026; Wheeler, 2011), ki temelji na mikroskopskem ključu za identifikacijo lesa IAWA (IAWA Committee, 1989). Znaki so podrobno opisani v učbeniku Anatomija lesa (Čufar, 2006), seznama znakov IAWA in Intkey pa sta podana v slovenski in angleški verziji gradiva Anatomija lesa – navodila za vaje (Čufar & Merela, 2023 a, b).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

Analiza anatomskih značilnosti lesa je pokazala, da so bili kipi izdelani iz različnih tropskih lesnih vrst.

Pri identifikaciji lesa smo uporabili identifikacijski ključ IntKey (Richter & Dallwitz, 2002), predstavljen v gradivu *Anatomija lesa – navodila za vaje* (Čufar & Merela, 2023a, b) (Preglednice 1–8). Pri identifikaciji smo si pomagali tudi z IAWA anatomskimi znaki lesa, ki so primerjalno podani in opisani v preglednici S1, objavljeni v repozitoriju Zenodod (Zajc et al., 2026). V besedilu so pri vsakem kipcu s krepko pisavo označene številke IAWA znakov, ki smo jih opazili pri analiziranih vzorcih.

Kadar je uporaba ključa IntKey vodila do več možnih rezultatov, smo izbor zožili z izločanjem na podlagi opaženih anatomskih znakov ter ob upoštevanju IAWA rezultatov.

3.1 KIPEC: P225

3.1 SCULPTURE: P225

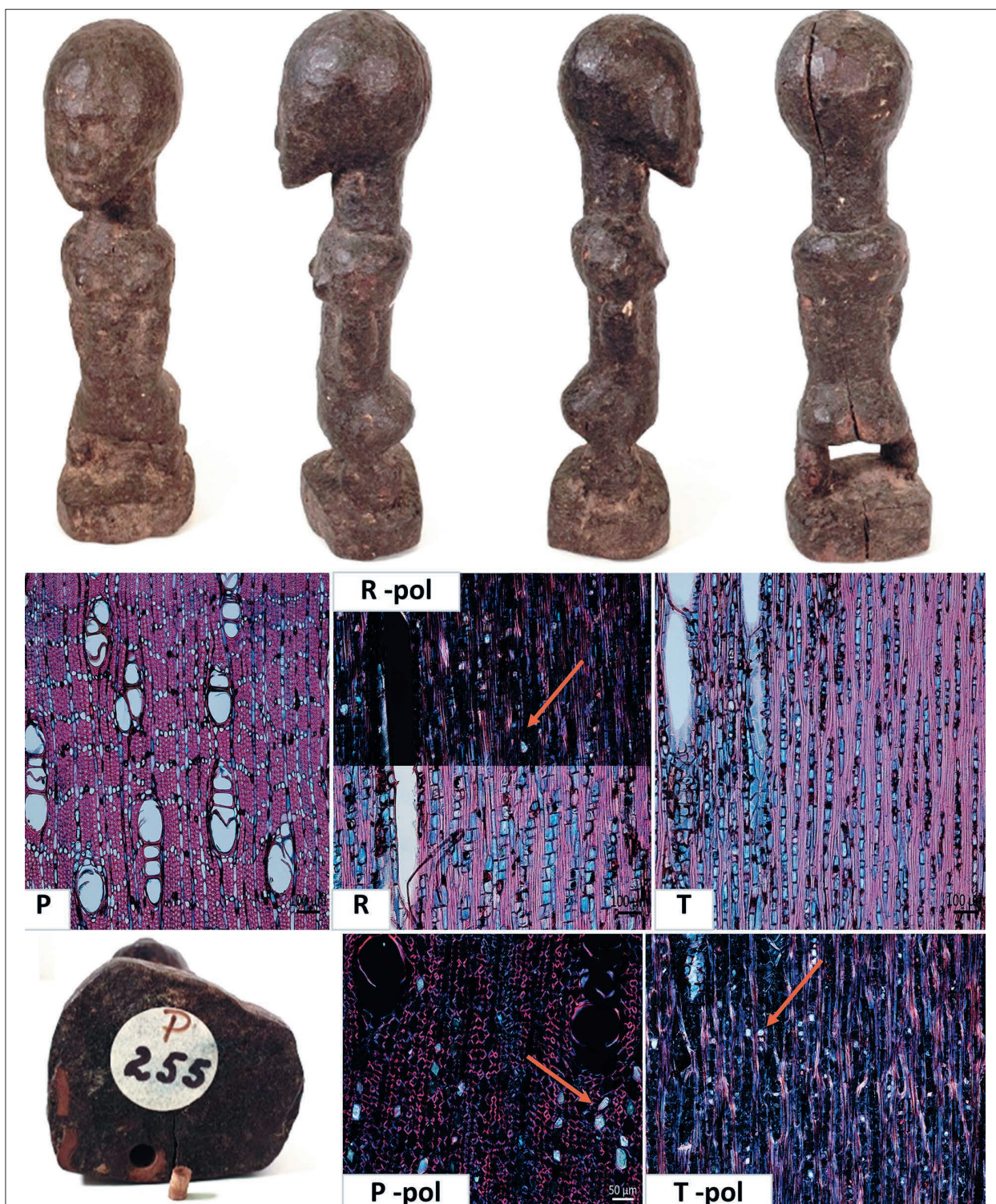
Kipec z oznako P225 je izdelan iz enega kosa lesa, površinsko je slabše ohranjen in zaščiteno s premazom. Na podlagi razpoložljive literature in muzejskih virov ni bilo mogoče zanesljivo določiti, kateremu ljudstvu pripada.

Mikroskopska analiza lesa (slika 6) je pokazala, da je bil kipec izdelan iz lesa iz družine *Ebenaceae*, rodu *Diospyros* (*Diospyros* spp.). Rod *Diospyros* obsega več kot 700 drevesnih in grmovnih vrst. Med njimi so najbolj cenjene ebenovine zaradi dekorativnega temnega lesa. Konec leta 2023 je CITES v Prilogo II uvrstil 88 ebenovin (*Diospyros* spp.). Glede na navedeno identifikacija lesa do nivoja vrste na osnovi mikroskopskih znakov ni bila mogoča. Težavnost identifikacije lesa iz rodu *Diospyros* do nivoja vrste je podobna kot pri palisandrih (*Dalbergia* spp.) in je mogoča samo z uporabo naprednih tehnik kot je na primer analiza DNK (Čufar et al., 2018).

Les kipca P225 (*Diospyros* spp.) vsebuje naslednje IAWA anatomske znake: 2, 5, 7, 10, 11, 13, 22, 23, 24, 25, 30, 41, 42, 47, 53, 58, 61, 66, 70, 72, 76, 77, 79, 86, 87, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 106, 107, 115, 136, 137, 138, 142, 168, 169, 189, 192, 195, 196, 197, 202 (preglednica S1).

Preglednica 1 prikazuje ključne anatomske znake lesa po ključu IntKey, ki so bili uporabljeni pri identifikaciji kipca P225.

Tipične skupne lastnosti ebenovin iz rodu *Diospyros* so, da imajo les visoke gostote (praviloma nad 1000 kg/m³) ter dragocen temen, pogosto črn



Slika 6. Kipec P225 v različnih pogledih (zgoraj), mikro izvrtek odvzet iz spodnjega dela kipca (spodaj levo), ter mikroskopska zgradba lesa v različnih pogledih v presečni svetlobi (P–prečni, R- radialni, T- tangencialni prerez) in polarizirani svetlobi (P-pol, R-pol, T-pol). Puščice: kristali v aksialnem parenhimu.

Figure 6. Sculpture P225 in different views (top), micro-core taken from the bottom part of the sculpture (bottom left), and wood microstructure observed in transmitted light (P – transverse, R – radial, T – tangential section) and polarized light (P-pol, R-pol, T-pol). Arrows indicate crystals in axial parenchyma cells.

Preglednica 1. Seznam glavnih diagnostičnih znakov za *Diospyros* sp. v identifikacijskem ključu IntKey.

Table 1. List of the main diagnostic features for *Diospyros* sp. in the IntKey identification key.

IntKey znak IntKey feature	Opis znaka Feature description
62	Vsebuje izrecno neseptirana vlakna. Fibres are exclusively non-septate.
18	Les je difuzno porozen. The wood is diffuse porous.
82	Trakovi so enoredni. Rays exclusively uniseriate.
89	Trakovno tkivo je heterogeno. Heterocellular rays.
121	Vsebuje prizmatične kristale. Prismatic crystals are present.
122	Kristali so prisotni v trakovnih celicah. Crystals are located in ray cells.
66	Aksialni parenhim je v pasovih. Axial parenchyma typically banded.

Preglednica 2. Seznam glavnih diagnostičnih znakov za *Ceiba pentandra* v identifikacijskem ključu IntKey.

Table 2. List of the main diagnostic features for *Ceiba pentandra* in the IntKey identification key.

IntKey znak IntKey feature	Opis znaka Feature description
62	Vsebuje izrecno neseptirana vlakna. Fibres are exclusively non-septate.
18	Les je difuzno porozen. The wood is diffuse porous.
82	Trakovi so večredni. Rays are multiseriate.
89	Trakovno tkivo je heterogeno. Heterocellular rays.
121	Vsebuje prizmatične kristale. Prismatic crystals are present.
122	Kristali so prisotni v trakovnih celicah. Crystals are located in ray cells.
93	V traku so prisotne ovojne celice. Sheath cells are present.

les jedrovine. Gostoto lesa preiskovanega kipa smo tudi mi ocenili kot visoko. Uspevajo v tropskem podnebjju in so praviloma počasi rastoče, drevesa pa dosegajo velike dimenzije. Les je praviloma odporen proti napadom gliv in insektov. Les se običajno uporablja za prestižne izdelke in dele glasbil (*Diospyros ebenum*, 2023a, b).

3.2 KIPEC: P40

3.2 SCULPTURE: P40

Kipec z oznako P40 je izdelan iz enega kosa lesa in stoji na podstavku. Les je svetlejšje barve. Gostoto lesa smo ocenili kot zelo nizko, kar je značilno za les vrste *Ceiba pentandra*. Na podlagi razpoložljive literature ni bilo mogoče zanesljivo določiti, katerega ljudstvu pripada.

Mikroskopska analiza lesa (slika 7) je pokazala, da je bil kipec izdelan iz lesa kapokovca (*Ceiba pentandra*).

Les kipca P40 (*Ceiba pentandra*) vsebuje naslednje IAWA anatomske znake: 1, 2, 5, 7, 11, 13, 22, 23, 26, 27, 31, 32, 35, 43, 46, 47, 53, 56, 61, 66, 68, 69, 72, 73, 77, 79, 86, 89, 91, 92, 93, 98, 99, 102, 104, 110, 114, 115, 120, 122, 136, 137, 138, 141, 183, 184, 186, 187, 189, 192, 193, 197, 198, 200, 201 (preglednica S1).

Ključne anatomske znake lesa po ključu IntKey, uporabljene pri identifikaciji kipca P40, prikazuje preglednica 2.

Ceiba pentandra je razširjeno tropsko drevo iz družine *Malvaceae*, ki raste v Srednji in Južni Ameriki, Afriki ter Aziji (*Ceiba pentandra*, 2023). Drevo doseže višino do 70 m in premer debla do 3 m. Les je belkast do blede rjav, mehak in lahek, z gostoto okoli 320 kg/m³ ter je po gostoti in trdnosti podooben lipi. Zaradi teh lastnosti se uporablja tudi za izdelavo lepljenih plošč, škatel in stavbnega pohištva (Woodwork Details, *Ceiba* (*Ceiba pentandra*), 2023).

3.3 KIPEC: P131

3.3 SCULPTURE: P131

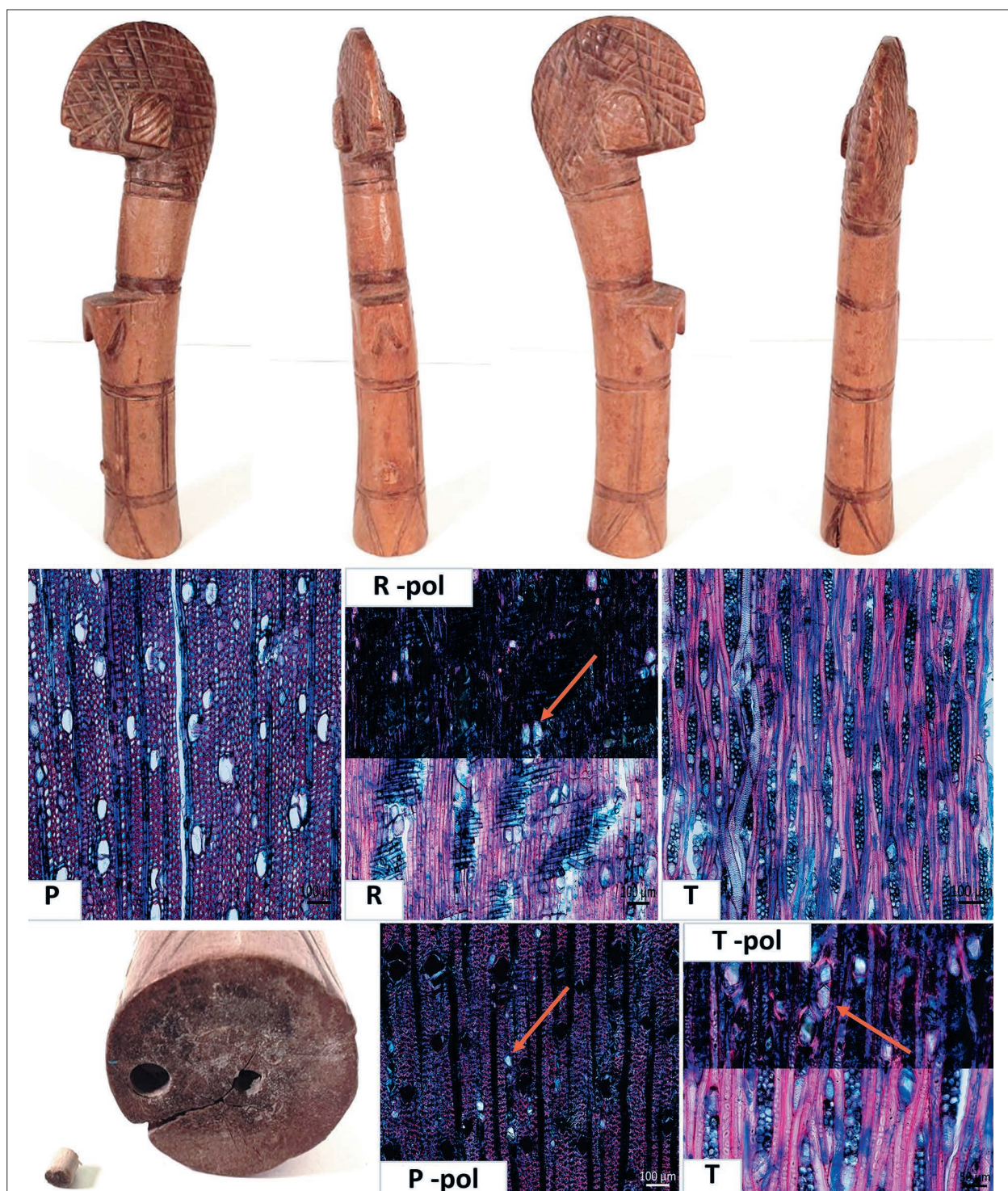
Kipec z oznako P131 je izdelan iz enega kosa svetlejšega lesa. Lesno vrsto smo ocenili kot nizko do srednje gosto. Na podlagi oblikovnih značilnosti in literature sklepamo, da kipec pripada ljudstvu Mossi (Burkina Faso).

Mikroskopska analiza lesa (slika 8) je pokazala, da je bil kipec izdelan iz lesa družine melijevk (*Meliaceae*), rod *Xylocarpus* (*Xylocarpus* spp.). Natančne vrste ni bilo mogoče zanesljivo določiti.



Slika 7. Kipek P40 v različnih pogledih (zgoraj), mikro izvrtek, odvzet iz spodnjega dela kipca (spodaj levo), ter mikroskopska zgradba lesa v različnih pogledih v presevni svetlobi (P – prečni, R – radialni, T – tangencialni prerez) in polarizirani svetlobi (P-pol, R-pol, T-pol). Puščice: piknje v prečnem prerezu in kristali v trakovnem parenhimu.

Figure 7. Sculpture P40 in different views (top), micro-core taken from the bottom part of the sculpture (bottom left), and wood microstructure observed in transmitted light (P – transverse, R – radial, T – tangential section) and polarized light (P-pol, R-pol, T-pol). Arrows indicate pits in the transverse section and crystals and ray parenchyma cells.



Slika 8. Kipec P131 v različnih pogledih (zgoraj), mikro izvrtek odvzet iz spodnjega dela kipca (spodaj levo), ter mikroskopska zgradba lesa v različnih pogledih v presevni svetlobi (P – prečni, R – radialni, T – tangencialni prerez) in polarizirani svetlobi (P-pol, R-pol, T-pol). Puščice: kristali v aksialnem in trakovnem parenhimu.
 Figure 8. Sculpture P131 in different views (top), micro-core taken from the bottom part of the sculpture (bottom left), and wood microstructure observed in transmitted light (P – transverse, R – radial, T – tangential section) and polarized light (P-pol, R-pol, T-pol). Arrows indicate crystals in axial and ray parenchyma cells..

Preglednica 3. Seznam glavnih diagnostičnih znakov za *Xylocarpus* spp. v identifikacijskem ključu IntKey.
Table 3. List of the main diagnostic features for *Xylocarpus* spp. in the IntKey identification key.

IntKey znak IntKey feature	Opis znaka Feature description
62	Vsebuje izrecno septirana vlakna. <i>Fibres are exclusively septate.</i>
18	Les je difuzno porozen. <i>The wood is diffuse porous.</i>
82	Trakovi so večredni. <i>Rays are multiseriate.</i>
89	Trakovno tkivo je heterogeno. <i>Heterocellular rays.</i>
121	Vsebuje prizmatične kristale. <i>Prismatic crystals are present.</i>
122	Kristali so prisotni v trakovnih celicah. <i>Crystals are located in ray cells.</i>
66	Aksialni parenhim je v pasovih. <i>Axial parenchyma typically banded.</i>

Les kipca P131 (*Xylocarpus* spp.) vsebuje naslednje IAWA anatomske znake: 1, **5**, **7**, **11**, **13**, 22, 24, 30, **41**, **42**, **47**, **52**, **53**, 61, **65**, **69**, **71**, **72**, **77**, 78, 89, 93, **98**, **102**, **106**, **107**, 115, **136**, **137**, **138**, 141, **189**, 192, 196, 197, 198 (preglednica S1).

Preglednica 3 prikazuje ključne anatomske znake lesa po ključu IntKey, uporabljene pri identifikaciji kipca P131.

Tipičen predstavnik rodu *Xylocarpus* je na primer *Xylocarpus granatum*, ki je zimzeleno drevo iz družine mahagonijevk (*Meliaceae*), ki uspeva v mangrovskih gozdovih od vzhodne Afrike do Tonge. Doseže do 12 m višine, debla so pogosto zvita in votla. Les je trd, trpežen in odporen ter se tradicionalno uporablja pri gradnji čolnov, konstrukcijah in izdelavi pohištva (*Xylocarpus granatum*, 2023).

3.4 KIPEC: P263

3.4 SCULPTURE: P263

Kipec z oznako P263 je izdelan iz enega kosa svetlejšega lesa. Les smo ocenili kot vrsto s srednjo gostoto. Na podlagi literature ni bilo mogoče zanesljivo določiti, kateremu ljudstvu pripada.

Mikroskopska analiza lesa (slika 9) je pokazala, da je bil kipec izdelan iz lesa iz družine *Anacardiac*

Preglednica 4. Seznam glavnih diagnostičnih znakov za *Dracontomelon dao* v identifikacijskem ključu IntKey.
Table 4. List of the main diagnostic features for *Dracontomelon dao* in the IntKey identification key.

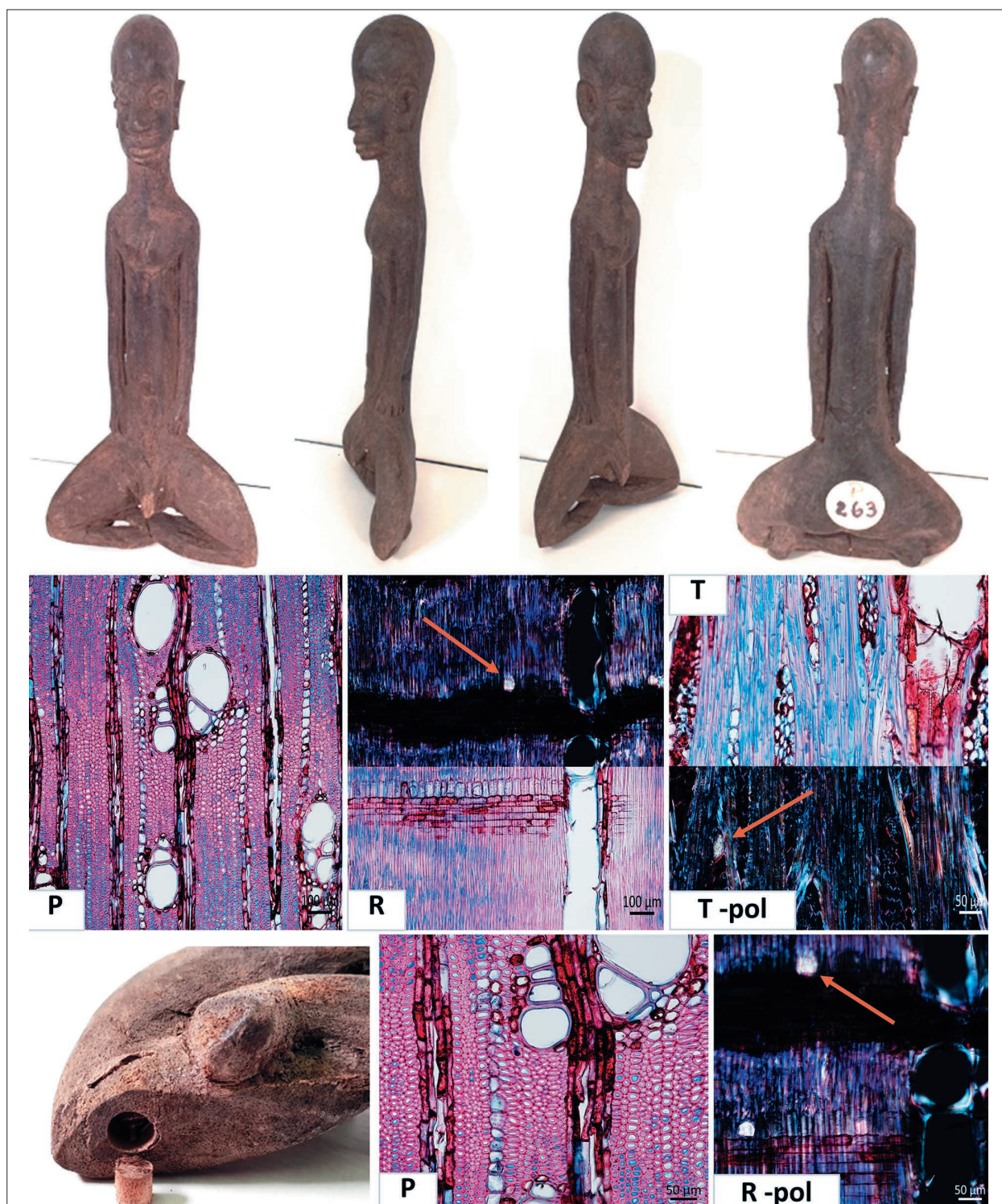
IntKey znak IntKey feature	Opis znaka Feature description
62	Vsebuje septirana ali neseptirana in septirana vlakna. <i>Both septate and non-septate fibres are present.</i>
18	Les je difuzno porozen. <i>The wood is diffuse porous.</i>
21	Traheje so v skupinah. <i>Vessel clusters common.</i>
82	Trakovi so večredni. <i>Rays are multiseriate.</i>
89	Trakovno tkivo je heterogeno. <i>Heterocellular rays.</i>
121	Vsebuje prizmatične kristale. <i>Prismatic crystals are present.</i>
122	Kristali so prisotni v trakovnih celicah. <i>Crystals are located in ray cells.</i>
66	Aksialni parenhim ni v pasovih. <i>Axial parenchyma is not banded.</i>

ceae, rodu *Dracontomelon*, najverjetneje vrste *Dracontomelon dao*.

Les kipca P263 (*Dracontomelon dao*) vsebuje naslednje IAWA anatomske znake: 2, **5**, **7**, **11**, **13**, 22, 23, 27, 31, 32, **42**, 43, **46**, **47**, **53**, 56, 61, **65**, **66**, **69**, **72**, **76**, **79**, 80, 81, 84, 93, 94, **97**, **98**, **102**, **106**, **107**, 115, **136**, **137**, 138, 141, 171, 173, **189**, 192, 194, 195, 197, 200, 201 (preglednica S1).

Preglednica 4 prikazuje ključne anatomske znake lesa po ključu IntKey, uporabljene pri identifikaciji kipca P263.

Dracontomelon dao je zimzeleno drevo, ki raste v tropskih gozdovih jugovzhodne Azije, od Indije in Tajske do Filipinov, Vietnama, Papue Nove Gvineje in Salomonovih otokov (DAO – *Dracontomelon dao*, 2023). Zraste lahko do 50 m visoko, les pa ima gostoto okoli 500–700 kg/m³. Barva jedrovine je od zeleno rumene do orehovo rjave, beljava pa je široka in blede rumene barve. Tekstura je enakomerna, zmerno groba do groba. Les ni posebej odporen proti škodljivcem, zato se uporablja predvsem za pohištvo, furnirje, vezane plošče in notranje elemente (DAO -*Dracontomelon dao*, 2023).



Slika 9. Kipec P263 v različnih pogledih (zgoraj), mikro izvrtek, odvzet iz spodnjega dela kipca (spodaj levo), ter mikroskopska zgradba lesa v različnih pogledih v presevni svetlobi (P–prečni, R- radialni, T- tangencialni prerez) in polarizirani svetlobi (P-pol, R-pol, T-pol). Puščice: kristali v trakovnem parenhimu.

Figure 9. Sculpture P263 in different views (top), micro-core taken from the bottom part of the sculpture (bottom left), and wood microstructure observed in transmitted light (P – transverse, R – radial, T – tangential section) and polarized light (P-pol, R-pol, T-pol). Arrows indicate crystals in ray parenchyma cells.

3.5 KIPCA: VZ1 IN VZ2

3.5 SCULPTURES: VZ1 AND VZ2

Kipa z oznakama VZ1 in VZ2 sta izdelana iz enega kosa svetlejšega lesa in predstavljata par – moško in žensko figuro. Gostoto lesa smo ocenili kot nizko. Na podlagi literature in oblikovnih značilnosti domnevamo, da kipa pripadata ljudstvu Baule s Slo-nokoščene obale.

Mikroskopska analiza lesa (slika 10) je poka-zala, da je bil kipek izdelan iz lesa kapokovca (*Cei-ba pentandra*). Drevesna vrsta *Ceiba pentandra* je predhodno že opisana pri kipcu P40 (poglavje 3.2, preglednica 2, S1).

3.6 KIPCA: P124 IN P125

3.6 SCULPTURES: P124 AND P125

Kipca z oznakama P124 in P125 sta izdelana iz enega kosa temnejšega lesa in predstavljata dvojč-ka – moško in žensko figuro. Gostoto lesa smo oce-nili kot srednjo. Na podlagi oblikovnih značilnosti sklepamo, da kipa pripadata ljudstvu Joruba iz Ni-gerije.

Mikroskopska analiza lesa (slika 11) je pokaza-la, da sta bila kipca izdelana iz lesa družine *Fabace-ae*, rodu *Millettia* (*Millettia* spp.). Točne vrste nismo uspeli določiti.

Omenjeni rod vsebuje anorganske znake v obliki prizmatičnih kristalov, v celicah aksialnega parenhima. V našem vzorcu kristalov nismo našli. Vsi ostali identificirani anatomske znaki so ustrezali anatomskemu opisu rodu. Razlog za odsotnost anorganskih znakov v našem izredno majhnem vzorcu je lahko povezan z možnostjo, da je bil vzorec odvzet z območja beljave. Večina anorganskih znakov se sicer v lesu odloži v procesu ojedritve (Hillis, 1987).

Les kipca P124 in P125 (*Millettia* spp.) vsebuje naslednje IAWA anatomske znake: **5, 10, 11, 13, 22, 26, 29, 30, 42, 43, 47, 52, 53, 61, 66, 70, 72, 76, 79, 85, 89, 97, 98, 102, 104, 115, 120, 136, 142, 189, 192** (preglednica S1).

Rod *Millettia* spada v družino *Fabaceae* (mel-tuljnice) in obsega približno 150 vrst, razširjenih v subtropskih in tropskih predelih sveta (*Millettia*, 2023). Drevesa so srednje velika, običajno visoka 10–30 m, s premerom debla 50–80 cm. Med go-spodarsko najpomembnejšimi in znanimi vrstami je *Millettia laurentii* (Wenge), katere temen in trajen les se uporablja za pohištvo, talne obloge, glasbene instrumente in številne druge namene. Zelo podob-

Preglednica 5. Seznam glavnih diagnostičnih znakov za *Millettia* spp. v identifikacijskem ključu IntKey.

Table 5. List of the main diagnostic features for *Millettia* spp. in the IntKey identification key.

IntKey znak IntKey feature	Opis znaka Feature description
62	Vsebuje izrecno neseptirana vlakna. Fibres are exclusively non-septate.
18	Les je difuzno porozen. The wood is diffuse porous.
82	Trakovi so večredni. Rays are multiseriate.
89	Trakovno tkivo je homogeno. Homogeneous rays.
98	Prisotne so etažne strukture. Storied structures are present.
66	Aksialni parenhim je v pasovih. Axial parenchyma typically banded.
67	Pasovi aksialnega parenhima so margi-nalni. Axial parenchyma bands marginal.

ne lastnosti ima *Millettia stuhlmannii* (Panga pan-ga), ki je nekoliko svetlejša različica wengeja (*Millettia laurentii*, 2023; *Millettia stuhlmannii*, 2023).

3.7 KIPEC: VZ3

3.7 SCULPTURE: VZ3

Kipek z oznako VZ3 je izdelan iz enega kosa te-mnejšega lesa. Lesno vrsto smo ocenili kot srednje gosto. Na podlagi literature in oblikovnih značilnos-ti sklepamo, da kipek pripada ljudstvu Babembe z območja današnje Demokratične republike Kongo.

Mikroskopska analiza lesa (slika 12) je pokaza-la, da je bil kipek izdelan iz lesa iz družine *Fabaceae*, rodu *Guibourtia* (*Guibourtia* spp.). Točne vrste nis-mo uspeli določiti. Rod *Guibourtia* spp. je vpisan v konvencijo CITES v Prilogo II, za posamezne vrste, saj je mednarodna trgovina z njihovim lesom regu-lirana zaradi varovanja naravnih populacij.

V našem vzorcu kristalov nismo našli. Vsi ostali identificirani anatomske znaki so ustrezali anatom-skemu opisu. Tudi tu je razlog za odsotnost anorganskih znakov v tem, da je naš vzorec izredno maj-hen in je z območja beljave.

Les kipca VZ3 (*Guibourtia* spp.) vsebuje nasled-nje IAWA anatomske znake: **5, 7, 11, 13, 41, 42, 47,**



Slika 10. Kipec VZ1 in VZ2 v različnih pogledih (zgoraj), mikro izvrtek odvzet iz spodnjega dela kipca (spodaj levo), ter mikroskopska zgradba lesa v različnih pogledih v presečni svetlobi (P – prečni, R – radialni, T – tangencialni prerez) in polarizirani svetlobi (P-pol, R-pol, T-pol). Puščice: kristali v trakovnem parenhimu.

Figure 10. Sculptures VZ1 and VZ2 in different views (top), micro-core taken from the bottom part of the sculpture (bottom left), and wood microstructure observed in transmitted light (P – transverse, R – radial, T – tangential section) and polarized light (P-pol, R-pol, T-pol). Arrows indicate crystals in ray parenchyma cells.



Slika 11. Kipec P124 in P125 v različnih pogledih (zgoraj), mikro izvrtek odvzet iz spodnjega dela kipca (spodaj levo), ter mikroskopska zgradba lesa v različnih pogledih v presevni svetlobi (P–prečni, R- radialni, T- tangencialni prerez).

Figure 11. Sculptures P124 and P125 in different views (top), micro-core taken from the bottom part of the sculpture (bottom left), and wood microstructure observed in transmitted light (P – transverse, R – radial, T – tangential section).



Slika 12. Kipec VZ3 v različnih pogledih (zgoraj), mikro izvrtek odvzet iz spodnjega dela kipca (spodaj levo), ter mikroskopska zgradba lesa v različnih pogledih v presečni svetlobi (P–prečni, R–radialni, T–tangencialni prerez).

Figure 12. Sculpture VZ3 in different views (top), micro-core taken from the bottom part of the sculpture (bottom left), and wood microstructure observed in transmitted light (P – transverse, R – radial, T – tangential section).

Preglednica 6. Seznam glavnih diagnostičnih znakov za *Guibourtia* spp. v identifikacijskem ključu IntKey. Table 6. List of the main diagnostic features for *Guibourtia* spp. in the IntKey identification key.

IntKey znak IntKey feature	Opis znaka Feature description
62	Vsebuje izrecno neseptirana vlakna. Fibres are exclusively non-septate.
18	Les je difuzno porozen. The wood is diffuse porous.
82	Trakovi so večredni. Rays are multiseriate.
89	Trakovno tkivo je homogeno. Homogeneous rays.
98	Brez prisotnosti etažnih struktur. Storied structures are absent.
121	Vsebuje prizmatične kristale. Prismatic crystals are present.
122	Kristali prisotni v celicah aksialnega parenhima. Crystals are located in axial parenchyma cells.
66	Aksialni parenhim ni v pasovih. Axial parenchyma is not banded.

52, 53, 66, 71, 72, 76, 79, 98, 99, 102, 104, 136, 189, 192, 195, 196 (preglednica S1).

Preglednica 6 prikazuje ključne anatomske znake lesa po ključu IntKey, uporabljene pri identifikaciji kipca VZ3.

Guibourtia spada v družino *Fabaceae* (metuljnice) in izvira iz območja Gabona, Republike Kongo, zahodnega dela Demokratične republike Kongo ter severnega dela Angole (Cabinda). Drevesa dosežejo višino 40–50 m, debela pa premer od 1 do 2 m (*Guibourtia*, 2023). Les velja za dragocen in ima srednjo odpornost proti škodljivcem, vključno s termiti. Zaradi privlačne barve in teksture se pogosto uporablja za intarzije, vrhunsko pohištvo, talne obloge, ročaje nožev, tobačne pipe, glasbila in druge izdelke (*Guibourtia arnoldiana*, 2023).

3.8 KIPEC: P278

3.8 SCULPTURE: P278

Kipec z oznako P278 je izdelan iz enega kosa svetlejšega lesa. Kip je poškodovan in premazan s premaznim sredstvom. Sklepamo, da kipec naj-

Preglednica 7. Seznam glavnih diagnostičnih znakov za *Cylicodiscus* spp. v identifikacijskem ključu IntKey. Table 7. List of the main diagnostic features for *Cylicodiscus* spp. in the IntKey identification key.

IntKey znak IntKey feature	Opis znaka Feature description
62	Vsebuje izrecno neseptirana vlakna. Fibres are exclusively non-septate.
18	Les je difuzno porozen. The wood is diffuse porous.
20	Traheje so brez specifičnega razporeda. Vessels show no specific arrangement.
81	Trakovi visoki 5–7 mm v tangencialni smeri. Rays are 5–7 mm high in tangential section.
82	Trakovi so večredni. Rays are multiseriate.
89	Trakovno tkivo je homogeno. Homogeneous rays.
121	Vsebuje prizmatične kristale. Prismatic crystals are present.
66	Aksialni parenhim ni v pasovih. Axial parenchyma is not banded.

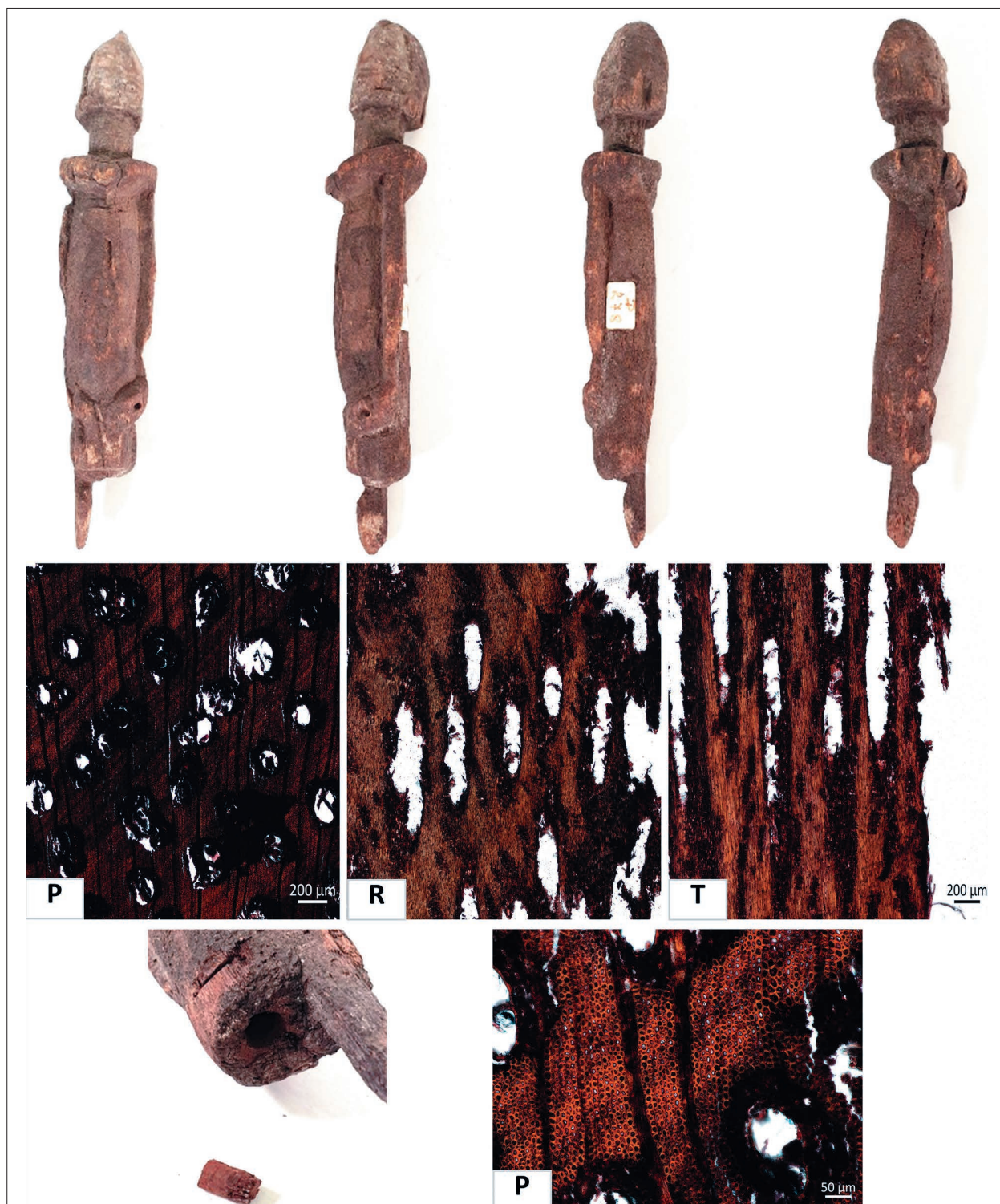
verjetneje pripada ljudstvu Senufo v Slonokoščeni obali.

Mikroskopska analiza lesa (slika 13) je pokazala, da je bil kipec izdelan iz lesa družine *Fabaceae*, najverjetneje rodu *Cylicodiscus* (*Cylicodiscus* spp.). Točne vrste nam ni uspelo ugotoviti.

Les kipca P278 (*Cylicodiscus* spp.) vsebuje naslednje IAWA anatomske znake: 2, 5, 7, 11, 13, 22, 23, 25, 26, 29, 30, 42, 43, 46, 47, 52, 53, 58, 61, 66, 69, 70, 71, 72, 73, 97, 98, 102, 104, 115, 136, 138, 178, 179, 189, 192, 195, 196, 197, 199, 201 (preglednica S1).

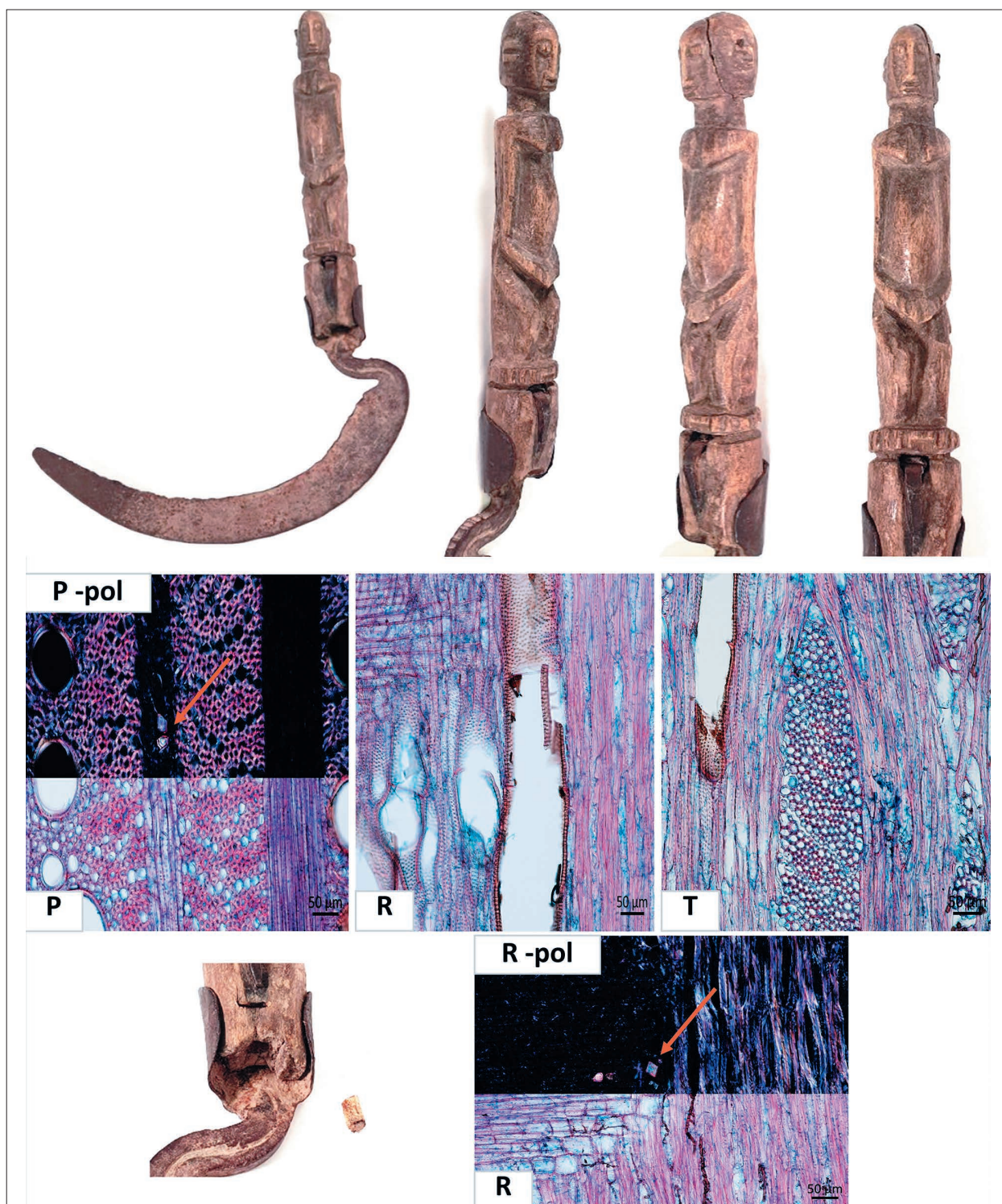
Preglednica 7 prikazuje ključne anatomske znake lesa po ključu IntKey, uporabljene pri identifikaciji kipca P278.

Znani predstavnik rodu *Cylicodiscus gabunensis* (okan) je zimzeleno ali listopadno drevo iz družine *Fabaceae* (metuljnice), poddružine *Mimosoideae*. Razširjen je od zahodne tropske Afrike, Slonokoščne obale do Kameruna, južno pa do severne Angole (*Cylicodiscus gabunensis*, 2023). Drevo doseže višino do 45 m, premer debela pa lahko preseže 2 m. Les je rdečerrjave barve, z zmerno grobo teksturo in



Slika 13. Kipec P278 v različnih pogledih (zgoraj), mikro izvrtek odvzet iz spodnjega dela kipca (spodaj levo), ter mikroskopska zgradba lesa v različnih pogledih v presevni svetlobi (P–prečni, R- radialni, T- tangencialni prerez).

Figure 13. Sculpture P278 in different views (top), micro-core taken from the bottom part of the sculpture (bottom left), and wood microstructure observed in transmitted light (P – transverse, R – radial, T – tangential section).



Slika 14. Kipec DR28 v različnih pogledih (zgoraj), mikro izvrtek odvzet iz spodnjega dela kipca (spodaj levo), ter mikroskopska zgradba lesa v različnih pogledih v presečni svetlobi (P–prečni, R- radialni, T- tangencialni prerez) in polarizirani svetlobi (P-pol, R-pol, T-pol). Puščice: kristali v trakovnem parenhimu.

Figure 14. Sculpture DR28 in different views (top), micro-core taken from the bottom part of the sculpture (bottom left), and wood microstructure observed in transmitted light (P – transverse, R – radial, T – tangential section) and polarized light (P-pol, R-pol, T-pol). Arrows indicate crystals in ray parenchyma cells.

rahlo progasto strukturo. Ima visoko gostoto (okoli 910 kg/m³) ter zelo dobro naravno odpornost. Uporablja se ga lahko v 4. razredu izpostavitve (SIST EN 335:2013; stik s tlemi ali sladko vodo). Les se težko suši in obdeluje (Okan – *Cylicodiscus gabunensis* Harms, 2023). Uporablja se za težke konstrukcije, ladjedelništvo, mostove, železniške pragove, pohištvo in rezbarjenje. Skorja je bogata s saponini in se v nekaterih regijah uporablja kot nadomestek mila (Useful Tropical Plants, *Cylicodiscus gabunensis*, 2023). Med pregledom kipca smo opazili, da ima les visoko gostoto, kar tudi ustreza rodu *Cylicodiscus*.

3.9 SRP Z LESENIM ROČAJEM: DR28

3.9 SICKLE WITH WOODEN HANDLE: DR28

Srp z oznako DR28 je sestavljen iz dveh delov: spodnjega železnega ukrivljenega rezila in zgornjega lesenega ročaja s figuralnim okrasom. Ocenili smo, da ima les nizko gostoto. Sklepamo, da srp najverjetneje pripada ljudstvu Dogon iz Malija.

Mikroskopska analiza lesa (slika 14) je pokazala, da je bil kipec najverjetneje izdelan iz lesa *Balanites cf. aegyptiaca*.

Les kipca DR28 (*Balanites cf. aegyptiaca*) vsebuje naslednje IAWA anatomske znake: 1, 2, **5, 7, 8, 13, 22, 23, 24, 25, 30, 41, 42, 45, 47, 52, 53, 54, 58, 60, 62, 63, 66, 70, 71, 72, 73, 76, 77, 79, 86, 88, 90, 91, 98, 99, 102, 106, 107, 110, 114, 120, 121, 136, 137, 138, 139, 140, 142, 164, 166, 168, 169, 178, 179, 189, 192, 194, 196, 199** (preglednica S1).

Drevesne vrste ni bilo mogoče identificirati z uporabo identifikacijskega orodja IntKey. Za dodatno pomoč pri identifikaciji lesa smo se obrnili na sodelavke in sodelavce Inštituta za raziskave lesa Thünen v Hamburgu.

Balanites aegyptiaca spada v družino *Zygophyllaceae* (jarmolistovke) in izvira iz Afrike, razširjena pa je tudi na Arabskem polotoku (*Balanites aegyptiaca*, 2023). Drevo zraste 8–10 m visoko, s premerom debla 30–50 cm (*Balanites aegyptiaca*, 2020). Les je blede rumenkasto rjave barve, trd in enostaven za obdelavo. Zaradi teh lastnosti se pogosto uporablja za izdelavo lesenih žlic, ročajev, glavnikov, kmetijskih orodij ter kakovostnega oglja z visoko kalorično vrednostjo (okoli 4600 kcal/kg) (*Balanites aegyptiaca*, 2020; 2023).

4 SKLEPI

4 CONCLUSIONS

Afriško kiparstvo je izjemno raznoliko in odraža bogato kulturno dediščino številnih ljudstev. Vsako ljudstvo je razvilo svoj značilen slog, povezan z verovanji, obredi in vsakdanjim življenjem. Kipi imajo pogosto duhovni in simbolni pomen ter pričajo o bogati umetniški in zgodovinski tradiciji afriških kultur. Ena pomembnih značilnosti teh umetnin je tudi vrsta lesa, ki lahko razkrije več podatkov o njihovem izvoru in vlogi v posameznih kulturah, vendar v mnogih primerih ni znana.

Proučevanih je bilo devet afriških kipov, cilj raziskave je bil identifikacija lesa in ocena, kateremu ljudstvu pripadajo. Les za raziskave smo pridobili s postopkom čim manj destruktivnega odvzema vzorcev, ki so ga razvili na Katedri za tehnologijo lesa Oddelka za lesarstvo BF UL in Slovenskem etnografskem muzeju.

Kip z vzorčno številko P225 je izdelan iz lesa družine *Ebenaceae*, rodu *Diospyros* (*Diospyros* spp.). Stoji na podstavku, vendar je slabše ohranjen. Les je temen in ima visoko gostoto. Za kip ni bilo mogoče pridobiti zanesljivih podatkov, kateremu ljudstvu pripada.

Kip z vzorčno številko P40 je izdelan iz lesa kapokovca (*Ceiba pentandra*). Les je svetle barve in ima nizko gostoto. Kip stoji na podstavku in je lepo ohranjen. Za kip ni zanesljivih podatkov o tem, kateremu ljudstvu pripada.

Kip z vzorčno številko P131 je izdelan iz lesa družine mahagonijevk *Meliaceae* (*Xylocarpus* spp.). Les je svetlejši in srednje gostote. Kip je podolgovate oblike in najverjetneje pripada ljudstvu Mossi iz Burkine Faso.

Kip z vzorčno številko P263 je izdelan iz lesa pacifiškega oreha (*Dracontomelon dao*). Les je svetlejši in srednje gostote. Kip je dobro ohranjen. Za kip ni zanesljivih podatkov o tem, kateremu ljudstvu pripada.

Kipa z vzorčnima številcama VZ1 in VZ2 sta, tako kot kip z vzorčno številko P40, izdelana iz lesa kapokovca (*Ceiba pentandra*). Predstavljata moško in žensko figuro, sta dobro ohranjena in najverjetneje pripadata ljudstvu Baule s Slonokoščene obale.

Kipa z vzorčnima številcama P124 in P125 sta izdelana iz lesa družine *Fabaceae*, rodu *Milletia*

Preglednica 8. Pregled vseh analiziranih vzorcev glede na rod ali lesno vrsto, ljudstvo, državo izvora in status po konvenciji CITES.

Table 8. Overview of all analysed samples according to wood genus / species, ethnic group, country of origin, and CITES status.

Vzorec Sample	Znanstveno ime rodu / lesne vrste Scientific name of genus / species	Ljudstvo in država People and country	CITES CITES
P225	<i>Diospyros</i> spp.	Ni zanesljivega podatka No reliable data	✓ – Priloga II ✓ – Appendix II
P40	<i>Ceiba pentandra</i>	Ni zanesljivega podatka No reliable data	X
P131	<i>Xylocarpus</i> spp.	Mossi, Burkina Faso Mossi, Burkina Faso	X
P263	<i>Dracontomelon dao</i>	Ni zanesljivega podatka No reliable data	X
VZ1, VZ2	<i>Ceiba pentandra</i>	Baule, Slonokoščena obala Baule, Ivory Coast	X
P124, P125	<i>Millettia</i> spp.	Joruba, Nigerija Yoruba, Nigeria	X
VZ3	<i>Guibourtia</i> spp.	Babembe, DR Kongo Babembe, DR Congo	✓ – Priloga II ✓ – Appendix II
P278	<i>Cylicodiscus</i> spp.	Senufo, Slonokoščena obala Senufo, Ivory Coast	X
DR28	<i>Balanites cf. aegyptiaca</i>	Dogon, Mali Dogon, Mali	X

spp. Predstavljata dvojčka – moško in žensko figuro. Najverjetneje pripadata ljudstvu Joruba iz Nigerije.

Kip z vzorčno številko VZ3 je izdelan iz lesa družine *Fabaceae*, rodu *Guibourtia* spp. Les je temnejši in srednje gost. Kip je srednje dobro ohranjen in ga na podlagi oblikovnih značilnosti pripisujemo ljudstvu Babembe iz Demokratične republike Kongo.

Kip z vzorčno številko P278 je izdelan iz lesa družine *Fabaceae*, rodu *Cylicodiscus* (*Cylicodiscus* spp.). Les je svetlejši in zelo gost. Kip je poškodovan in premazan s premaznim sredstvom. Najverjetneje pripada ljudstvu Senufo iz Slonokoščene obale.

Kip z vzorčno številko DR28 je izdelan iz lesa *Balanites cf. aegyptiaca*. Gre za držalo orodja – srpa. Srp je sestavljen iz dveh delov: kovinskega rezila in lesenega ročaja, izrezljanega v podobi figure. Les je nizke gostote. Srp najverjetneje pripada ljudstvu Dogon iz Malija.

Skupni rezultati mikroskopske analize so povzeti v Preglednici 8, ki prikazuje ugotovljene lesne

vrste ter ljudstva in države, iz katerih izvirajo analizirani kipi.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

African sculptures are remarkably diverse and reflect the rich cultural heritage of African people. Each of numerous ethnic groups has developed its own distinctive style, closely linked to beliefs, rituals, and everyday life. Some of these artworks are stored in the Slovene Ethnographic Museum (SEM), where they form an important part of the African collection. The sculptures carry spiritual and symbolic meanings and bear witness to the rich artistic and historical traditions of African cultures.

One important characteristics of these artworks is the type of wood used, which can reveal valuable information about their origin and role within individual cultures, although in many cases this information is not known.

In cooperation between SEM and Chair for Wood Science (CWS), Department of Wood Science and Technology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana (DWST BF UL), nine African objects suitable for analysis were selected for the study. The aim of the research was identification of the wood used to make the sculptures and to determine the ethnic groups to which they potentially belong. A less destructive sampling method developed in cooperation between SEM and CWS, focusing on minimizing damage to the sculptures and selecting inconspicuous sampling sites and obtaining optimal slides for observations under the light microscope was used.

For sampling, we used a specially designed hollow drill with an outer diameter of 7 mm, and a vibration saw with a small, customized blade. After sampling, the specimens were stored in a medium composed of water, ethanol, and glycerin, which allowed the material to soften and enabled the preparation of thin sections for anatomical analysis.

Anatomical sections were prepared using a sliding microtome, with cuts made in three anatomical planes: transverse, radial, and tangential. The sections were stained with a mixture of safranin and astra blue dyes and mounted in Euparal resin. Wood identification was performed using the computer-based identification key IntKey (Richter & Dallwitz, 2002) and the InsideWood database (InsideWood, 2016).

The sculpture with sample number P225 is made of wood from the family *Ebenaceae*, genus *Diospyros* (*Diospyros* spp.). It stands on a pedestal and is poorly preserved. The wood is dark and has a high density. There is no reliable data on the ethnic group to which it belongs.

The sculpture with sample number P40 is made of *Ceiba pentandra* with common names ceiba or fromager. The wood is light-coloured and low in density. The sculpture stands on a pedestal and is well preserved. There is no reliable data regarding its ethnic affiliation.

The sculpture with sample number P131 is made of wood from the *Meliaceae* family (*Xylocarpus* spp.). The wood is light and of medium density. The sculpture is elongated and belongs to the Mosi people of Burkina Faso.

The sculpture with sample number P263 is made of Pacific walnut (*Dracontomelon dao*). The wood is light and of medium density. The sculpture is well preserved, and there is no reliable data on its ethnic origin.

The sculptures with sample numbers VZ1 and VZ2, like the sculpture with sample number P40, are made of *Ceiba pentandra*. They represent a male and a female figure, are well preserved, and most likely belong to the Baule people of Ivory Coast.

The sculptures with sample numbers P124 and P125 are made of wood from the family *Fabaceae*, genus *Millettia* spp. They represent twins (a male and a female figure) and belong to the Yoruba people of Nigeria.

The sculpture with sample number VZ3 is made of wood from the family *Fabaceae*, genus *Guibourtia* spp. The wood is dark and of medium density. The sculpture is moderately well preserved and belongs to the Babembe people of the Democratic Republic of the Congo.

The sculpture with sample number P278 is made of wood from the family *Fabaceae*, genus *Cylicodiscus* (*Cylicodiscus* spp.). The wood is light and very dense. The sculpture is damaged and coated with a finishing substance. It belongs to the Senufo people of Ivory Coast.

The sculpture with sample number DR28 is made of *Balanites cf. aegyptiaca*. It represents a tool (a sickle) consisting of two parts: a metal blade and a wooden handle carved in the form of a figure. The wood is of low density, and the object belongs to the Dogon people of Mali.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENT

Raziskavo je finančno podprla Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS), v okviru programov P4-0015 in P4-0430.

Za strokovno pomoč in sodelovanje se zahvaljujemo Slovenskemu etnografskemu muzeju v Ljubljani, zlasti restavratorju Gregorju Kosu, ki je bil nepogrešljiv pri snovanju orodja in metode za odvzem vzorcev.

Zahvaljujemo se Luki Kržetu, dipl. inž. les. z Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v

Ljubljani za pomoč pri eksperimentalnem delu raziskave.

Pri identifikaciji lesa so pomagali zasl. prof. dr. Katarina Čufar (UL, BF) ter prof. dr. Gerald Koch in dr. Gabriele Ehmcke s Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg, Nemčija – vsem se iskreno zahvaljujemo.

DOSTOPNOST RAZISKOVALNIH PODATKOV DATA AVAILABILITY

DODATNE INFORMACIJE IN PODATKI

Raziskovalni podatki (preglednica S1), obravnavani v članku, ki so na voljo v odprtem dostopu prek repozitorija Zenodo na povezavi <https://doi.org/10.5281/zenodo.19254521>, naj bodo citirani kot Zajc et al., 2026.

SUPPLEMENTAL INFORMATION AND RAW DATA

Supplemental material and raw data (Table S1) can be accessed openly via the Zenodo at <https://doi.org/10.5281/zenodo.19254521>, and cited as Zajc et al., 2026.

VIRI

REFERENCES

- Bacquart, J. B. (1998). The tribal arts of Africa: Surveying Africa's artistic geography. London, Thames and Hudson.
- Balanites aegyptiaca* (2020). URL: <https://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Balanites+aegyptiaca> (25.07.2023)
- Balanites aegyptiaca* (2023). URL: <https://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Balanites+aegyptiaca> (25.07.2023)
- Bedaux, J. B. (2012). Art of the Dogon: A private collection of Dogon material culture. Brussels, Bedaux Art Editions.
- Bembe (2023). URL: <https://www.101lasttribes.com/tribes/bembe.html> (29.08.2023)
- Ceiba pentandra* (2023). URL: <https://www.woodworkdetails.com/knowledge/wood/species/imported-hardwood/ceiba> (20.07.2023)
- Chanda, J. (1993). Traditional African woodcarving: An introduction. Lusaka, Multimedia Publications.
- Clarke, C. (2006). The Art of Africa: A Resource for Educators. New York, The Metropolitan Museum of Art.
- Cylicodiscus gabunensis* (2023). URL: <https://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Cylicodiscus+gabunensis> (23.07.2023)
- Čufar, K. (2006). Anatomija lesa [univerzitetni učbenik]. Univerzitetni, visokošolski ali višješolski učbenik z recenzijo. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=121140>
- Čufar, K., Beeckman, H., Frelj, M., Krže, L., Hubau, W., & Merela, M. (2022). Identifikacija lesa predmetov ljudstva Bambuti iz Konga v zbirki slovenskega etnografskega muzeja: Wood identification in objects of Bambuti people from the Congo in the collection of the Slovene ethnographic museum. *Les/Wood*, 71(2), 5-24. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2022.v71n02a04>
- Čufar, K., Merela, M. (2023a). Anatomija lesa—navodila za vaje. 2. dopolnjena izd. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Čufar, K., & Merela, M. (2023b). Wood anatomy: instructions for laboratory work. 2nd ed. Ljubljana: University of Ljubljana Press. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=162289>
- DAO (Dracontomelon dao) (2023). URL: <https://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Dracontomelon+dao> (23.07.2023)
- Diospyros ebenum* – JK'nig. (2023a). URL: <https://www.jknig.com/woods/diospyros-ebenum> (21.07.2023)
- Diospyros ebenum* (2023b). URL: <https://www.wood-database.com/ebony/> (21.07.2023)
- Ere Ibeji Figures (2023). URL: <https://africa.uima.uiowa.edu/> (29.08.2023)
- Guibourtia arnoldiana* (2023). URL: <https://www.wood-database.com/guibourtia-arnoldiana/> (27.07.2023)
- Guibourtia* (2023). URL: <https://www.wood-database.com/bubinga/> (27.07.2023)
- Hillis, W. E. (1987). Heartwood and tree exudates. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag.
- IAWA Committee (1989). IAWA List of microscopic features for hardwood identification. Wheeler, E. A., Baas, P., Gasson, P. E. Eds. *IAWA Bulletin n.s.*, 10 (3), 226–332.
- InsideWood (2004–onwards). URL: <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search> (30.1.2026)
- LaGamma, A. (2002). Genesis: Ideas of Origin in African Sculpture. New York, The Metropolitan Museum of Art
- LaGamma, A. (ed.) (2007). Eternal Ancestors: The Art of the Central African Reliquary. New York, The Metropolitan Museum of Art.
- Meyer, L. (1995). Art and Craft in Africa: Everyday Life, Ritual, Court Art. Paris, Pierre Terrail editions.
- Millettia (2023). URL: <https://www.wood-database.com/millettia/> (23.07.2023)
- Millettia laurentii* (2023). URL: <https://www.wood-database.com/millettia-laurentii/> (23.07.2023)
- Millettia stuhlmannii* (2023). URL: <https://www.wood-database.com/millettia-stuhlmannii/> (23.07.2023)
- Mossi people (2023). URL: <https://www.everyculture.com/wc/Africa/Mossi.html> (29.08.2023)
- Mullen, C. (2004). African bronzes: Lost-wax casting techniques in Yoruba art. New York, Metropolitan Museum Publications.
- Okan – *Cylicodiscus gabunensis* Harms (2023). Published on the Internet. URL: <https://www.wood-database.com/okan-cylicodiscus-gabunensis/> (23.07.2023)
- Paulme, D. (1962). L'art nègre. Paris, Presses Universitaires de France.

- Prislan, P., Merela, M., Zupančič, M., Krže, L., & Čufar, K. (2009). Uporaba izbranih svetlobno mikroskopskih tehnik za raziskave lesa in skorje. *Les* 61 (5): 222-229.
- Richter, H. G., & Dallwitz, M. J. (2002). Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval: computer program, version in English 2017.
- Segy, L. (1958). *African sculpture speaks*. New York, Da Capo Press.
- Segy, L. (1975). *Masks and sculpture of Africa*. New York, Dover Publications.
- SIST EN 335: 2013 (2013). Trajnost lesa in lesnih proizvodov – Opredelitev razredov uporabe lesa glede na izpostavljenost biotskim dejavnikom. Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.
- Wheeler, E. A. (2011). InsideWood—a web resource for hardwood anatomy. *IAWA Journal*, 32 (2), 199–211.
- Woodwork Details, *Ceiba* (*Ceiba pentandra*) (2023). Published on the Internet. URL: <https://www.woodworkdetails.com/knowledge/wood/species/imported-hardwood/ceiba> (20.07.2023)
- Xylocarpus granatum* (2023). URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Xylocarpus_granatum (22.07.2023)
- Yoruba (2023). Published on the Internet. URL: <https://www.britannica.com/topic/Yoruba> (29.08.2023)
- Zajc, A. (2023). Raziskava lesa afriških kipov z območja Slonokoščene obale in Malija: diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.
- Zajc, A., Žigon, J., Frelih, M., & Merela, M. (2026). Wood of sculptures from West and Central Africa [Data set]. Zenodo. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19254521>



PROUČEVANJE UTRJEVANJA LEPIL NA OSNOVI TANINA IN LIGNINA S SISTEMOM ZA AVTOMATIZIRANO VREDNOTENJE ZLEPLJENOSTI

STUDY OF THE CURING OF TANNIN- AND LIGNIN-BASED ADHESIVES USING AN AUTOMATED BONDING EVALUATION SYSTEM

Maks Brus¹, Jernej Dolenc¹, Aleš Serženta¹, Milan Šernek^{1*}

UDK članka: 630*824.82
Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 8.4.2026
Sprejeto / Accepted: 6.5.2026

Izvleček / Abstract

Izvleček: V raziskavi so bile proučevane lepilne mešanice na osnovi lignina in tanina, zamrežene s heksametilentetraminom (HMTA) in heksametilendiaminom (HMDA). Proces utrjevanja lepila je bil raziskan z metodo ABES (Automated Bonding Evaluation System) pri desetih različnih časih stiskanja od 15 do 600 sekund in štirih temperaturah: 125 °C, 150 °C, 175 °C in 200 °C. Dodatno je ugotavljanje strižne trdnosti lepilnega spoja potekalo po EN 12765:2016 in EN 205:2016, pri temperaturi 200 °C in času stiskanja 15 minut, pri taninskem lepilu tudi pri 175 °C in 15 minutah. ABES rezultati so pokazali, da je strižna trdnost lepilnih spojev naraščala s temperaturo in časom stiskanja. Najvišja trdnost okoli 6,4 MPa je bila ugotovljena za lepilni mešanici T-HMDA in L-HMDA pri 200 °C in času stiskanja 10 minut. Lepilni spoj na osnovi lignina je imel nižjo trdnost kot lepilni spoj na osnovi tanina. Najvišja trdnost po standardni metodi je bila ugotovljena za T-HMDA pri 175 °C in je znašala 10,8 MPa, kar zadostuje zahtevam standarda za nekonstrukcijsko rabo v suhih pogojih (C1).

Ključne besede: naravna lepila, taninska lepila, ligninska lepila, ABES

Abstract: This study investigated adhesive mixtures based on lignin and tannin crosslinked with hexamethylenetetramine (HMTA) and hexamethylenediamine (HMDA). Curing was assessed using the ABES (Automated Bonding Evaluation System) at ten different pressing times, ranging from 15 to 600 seconds, and at four temperatures: 125 °C, 150 °C, 175 °C, and 200 °C. Shear strength was evaluated according to EN 12765:2016 and EN 205:2016 at 200 °C with a 15-minute press time, and for the tannin adhesive also at 175 °C with a 15-minute press time. ABES results show that bond shear strength increased with pressing time and pressing temperature. The highest strength achieved with ABES was for T-HMDA and L-HMDA, of around 6.4 MPa at 200 °C and 10-minute press time. The lignin-based adhesive exhibited lower shear strength than the tannin-based adhesive. The highest bond strength obtained by standard testing was for T-HMDA at 10.8 MPa when pressed at 175 °C, which is sufficient for non-structural use in dry conditions (C1).

Keywords: natural adhesives, tannin adhesives, lignin adhesives, ABES

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Zahteve po zmanjševanju izpustov škodljivih hlapnih snovi, predvsem formaldehida, ki je dokazano rakotvorna snov (International Agency for Research on Cancer [IARC], 2006), so povečale zanimanje za zamenjavo sintetičnih lepil v lesnih kompozitih z naravnimi alternativami. V zadnjih 30 letih so se zato intenzivno raziskovala lepila na

osnovi proteinov, ogljikovih hidratov, lignina, tanina in naravnih smol (Pizzi, 2006, 2014). Tanin in lignin izstopata kot naravna vira fenolnih spojin, ki lahko tvorita zamreženo strukturo, podobno fenolnim lepilom, pri čemer ju je mogoče pridobiti iz ostankov lesnopredelovalne verige (ekstrakcija lubja za pridobivanje taninov in lignin kot stranski produkt papirništva) (Dunky, 2021, 2023b; Fink, 2023). Lepila iz kondenziranih taninov se že desetletja uporabljajo

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

* e-pošta: milan.sernek@bf.uni-lj.si

jo v industriji proizvodnje ivernih, vlaknenih in furnirnih plošč, kjer izkazujejo dobro odpornost proti vlagi in nizko emisijo formaldehida (Dunky, 2023b). V lesni biomasi je lignin druga najbolj razširjena komponenta (takoj za celulozo) in predstavlja najbolj razširjen fenolni polimer na svetu (Fink, 2023). Kljub ogromni količini surovine se lepila iz lignina komercialno ne uporabljajo, saj izkazujejo nizko reaktivnost in variabilnost v zgradbi, kar otežuje zamreževanje in znižuje mehanske lastnosti (Dunky, 2023a; Fink, 2023).

Taninska lepila je mogoče zamreževati z aldehydi (formaldehid, gliksal) (Böhm et al., 2016) ali s heksaminom/heksametilentetraminom (HMTA) (Saražin et al., 2022), pri nekaterih vrstah taninov (npr. borov tanin) pa nastopi tudi samozamreževanje (Pizzi, 2023). Taninska lepila zamrežujejo hitro, imajo nizke emisije formaldehida in uveljavljeno industrijsko uporabo pri proizvodnji lesnih plošč. Izziv pri uporabi predstavljajo visoka viskoznost, kratka obstojnost in nehomogenost lepilne mešanice (Dunky, 2023b; Šernek & Žigon, 2023). Lignin je pogosto kemijsko modificiran z metilolacijo, fenolacijo, gliksalizacijo, encimsko obdelavo ali primešan taninskim lepilom za povečanje reaktivnosti (Fink, 2023; Stücker et al., 2016). Raziskave so pokazale zadovoljive rezultate z lignin-fenol-formaldehidnimi (LFG) smolami (Antov et al., 2021; Stücker et al., 2016; Younesi-Kordkheili in Pizzi, 2020) in mešanicami na osnovi tanina in gliksiliranega lignina (Sauget et al., 2013), čeprav se je izkazalo, da imajo mešanice, ki vsebujejo lignin, nižjo hitrost graditve strižne trdnosti in zahtevajo višje temperature stiskanja kot mešanice brez lignina (Navarrete et al., 2010; Saražin et al., 2020; Zhao et al., 2025).

HMTA in heksametilendiamin (HMDA) sta nealdehidna zamreževalca, ki posebej učinkovito zamrežujeta kondenzirane tanine. Mehanizem reakcije poteka preko iminskih produktov – iminov in imino-metilnih baz, ki hitro reagirajo z nukleofilnimi skupinami na taninskem A-obroču ter tvorijo aminometilne in benzilaminske ($-\text{CH}_2\text{-NH}-$) mostove (Kamoun in Pizzi, 2000a, 2000b; Pichelin et al., 1999). Utrjevanje je temperaturno odvisno – pri nizkih temperaturah ali kratkih časih stiskanja pride pretežno do tvorbe benzilaminskih mostov, pri temperaturah nad $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ pa se benzilaminski mostovi preuredijo v metilenske (Pizzi in Tekely, 1995). HMTA se dodaja kot zamreževalec k hibridnim lig-

ninskim sistemom, kot je kombinacija polivinil alkohola (PVA), lignina in HMTA (Lubis et al., 2022) ter lignina, tanina in HMTA (Navarrete et al., 2010). Za pripravo neizocianatnega poliuretanskega lepila na osnovi lignina se je uporabila kombinacija dimetilkarbonata in HMDA (Saražin et al., 2021).

Čeprav so v literaturi jasno predstavljene prednosti uporabe HMTA v lepilih, kot sta nizka emisija formaldehida in dobra reaktivnost s tanini (Pichelin et al., 1999; Pizzi in Tekely, 1995), je primerjava med HMTA in HMDA redko predstavljena, zlasti pri ligninskih lepilnih mešanicah. Za boljše razumevanje kinetike utrjevanja lepil, zamreženih s HMTA in HMDA, smo v tej raziskavi s pomočjo Sistema za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti – ABES (Automated Bonding Evaluation System) raziskali in primerjali kinetiko utrjevanja lepil iz dveh naravnih virov – tanina in lignina. Za primerjavo učinkovitosti posameznega zamreževalca so bila taninska in ligninska lepila zamrežena z dodatkom HMTA, HMDA ali njuno kombinacijo. Na osnovi rezultatov ABES smo izbrali optimalne parametre stiskanja za izdelavo lepljencev in izvedbo strižnih testov po standardni metodologiji.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 MATERIALI

2.1 MATERIALS

Za pripravo lepilnih mešanic smo uporabili borov tanin (T) (vsebnost polifenolov 92–94 %) (Phenopin, DRT, Dax, Francija), kraft lignin (L) (sarža: KH22M, Ingevity Corporation, North Charleston, Južna Karolina, ZDA), HMTA (H) (Carlo Erba Reagents S.A.S., Val de Reuil, Francija) in HMDA (Sigma-Aldrich, St. Louis, ZDA).

V raziskavi smo pripravili šest različnih lepilnih mešanic na osnovi tanina in lignina (preglednica 1). Mešanice so bile pripravljene tako, da se je osnovna komponenta (tanin ali lignin) dodala v destilirano vodo, sledila je homogenizacija na magnetnem mešalu, nato pa se je dodal zamreževalec (HMTA, HMDA ali oboje) glede na suho maso tanina ali lignina. Izhodišča za pripravo lepilnih mešanic izvirajo iz predhodnih raziskav (Saražin et al., 2020; Dolenc, 2024; Serženta, 2025).

Preglednica 1. Nazivi lepilnih mešanic z oznakami in mešalnimi razmerji.

Table 1. Names of adhesive mixtures with designation and mixing ratios.

Lepilna mešanica / Adhesive mixture	Oznaka / Designation	Formulacija / Formulation	Razmerja / Ratios
Tanin – heksamin / Tannin – hexamine	T-H	H ₂ O : T : H	60 : 40 : 2,4
Tanin – heksametilendiamin / Tannin – hexamethylenediamine	T-HMDA	H ₂ O : T : HMDA	60 : 40 : 3
Tanin–heksamin – heksametilendiamin / Tannin – hexamine – hexamethylenediamine	T-H-HMDA	H ₂ O : T : H : HMDA	60 : 40 : 2,4 : 3
Lignin–heksamin / Lignin – hexamine	L-H	H ₂ O : L : H	60 : 40 : 2,4
Lignin – heksametilendiamin / Lignin – hexamethylenediamine	L-HMDA	H ₂ O : L : HMDA	60 : 40 : 3
Lignin–heksamin -heksametilendiamin / Lignin – hexamine – hexamethylenediamine	L-H-HMDA	H ₂ O : L : H : HMDA	60 : 40 : 2,4 : 3

Pri ABES smo za pripravo preskušancev uporabili polradialno usmerjen rezan bukov furnir (*Fagus sylvatica* L.). Za EN 205:2016 pa smo glede na zahteve standarda uporabili masivno bukovino z radialno do polradialno usmeritvijo, gostoto (700 ± 50) kg/m³ in vlažnostjo (12 ± 1) %.

pomikom, ki povzroči natezne strižne obremenitve. Po porušitvi spoja se zabeleži maksimalna sila (F) in izmeri natančna dolžina (l) ter širina (b) preklopa, iz česar smo izračunali strižno trdnost (f_v) lepilnega spoja po enačbi (1).

$$f_v = \frac{F}{l \cdot b} \quad (1)$$

2.2 METODE

2.2 METHODS

2.2.1 Optimizacija parametrov stiskanja z metodo ABES

2.2.1 Optimization of pressing parameters with the ABES method

Za določitev optimalnih pogojev stiskanja za mešanice T-HMDA, T-H-HMDA, L-HMDA in L-H-HMDA smo izbrali štiri temperature stiskanja: 125 °C, 150 °C, 175 °C in 200 °C ter deset različnih časov stiskanja: 15 s, 30 s, 60 s, 120 s, 180 s, 240 s, 300 s, 420 s in 600 s. Za referenčni mešanici T-H in L-H smo izbrali le temperaturo 200 °C pri istih časih. Pri vsaki kombinaciji temperatura–čas je bilo opravljenih najmanj pet meritev.

Za ugotavljanje strižne trdnosti se pri metodi ABES uporabljata dva lističa furnirja dimenzij 117 mm × 20 mm × 0,85 mm (dolžina × širina × debelina). Furnirje se nareže s posebnim pnevmatskim rezalnikom AES (Adhesive Evaluation Systems Inc., Oregon, ZDA), z dolžino vzporedno z aksialno smerjo vlaken. Na furnir smo nanesti 200 g/m² lepila in ga razporedili z lopatico na površino 5 mm × 20 mm (100 mm²). Lističa se vstavi v čeljusti stroja, nastavljenega tako, da je preklap med lističema 5 mm. Specifični tlak stiskanja je bil 1,2 MPa. Po končanem stiskanju se spoj obremeni z aksialnim

2.2.2 Strižni testi po standardu EN 12765:2016 in EN 205:2016

2.2.2 Shear tests according to EN 12765:2016 and EN 205:2016

Preskušance za strižno testiranje smo izdelali iz masivne bukovine. Lamle so imele dimenzije 620 mm × 130 mm × 5 mm (dolžina × širina × debelina) in so bile na končno debelino skobljane isti dan kot je potekalo lepljenje, da je bila zagotovljena aktivna površina lesa. Lepilne mešanice smo pred nanosom dobro premešali. Lepilo smo nanesti v količini 200 g/m² s pomočjo valjčka in lopatice. Polovico lepila smo nanesti na eno, polovico pa na drugo lamelo. Stiskanje je potekalo pri 175 °C in 200 °C ter specifičnem tlaku 1,2 MPa, čase stiskanja pa smo določili z meritvami ABES. Za L-HMDA je bil čas stiskanja 15 min pri 200 °C, za T-HMDA pa 15 min pri 175 °C in 200 °C. Za vsako kombinacijo temperatura–čas je bilo izdelanih 20 preskušancev iz enega lepljenja. Geometrija preskušancev je predstavljena v EN 205:2016 in v prejšnji literaturi (Saražin et al., 2020; Sitar et al., 2023). Po EN 12765:2016 smo preskušance ustrezno tretirali za razreda C1 in C2

Preglednica 2. Pogoji izpostavitve po EN 12765:2016 in zahteve za strižno trdnost za razreda C1 in C2. Standardno atmosfero predstavlja 20 °C in 65 % RZV.

Table 2. Treatment conditions according to EN 12765:2016 and shear strength requirements for C1 and C2 classes. Standard atmosphere refers to 20 °C and 65% RH.

Oznaka izpostavitve / Treatment	Trajanje in pogoji izpostavitve / Conditions	C1 (MPa)	C2 (MPa)
1	7 dni v standardni atmosferi / 7 days in standard atmosphere	≥ 10	≥ 10
2	7 dni v standardni atmosferi / 7 days in standard atmosphere	–	≥ 7
	24 h v vodi (20 ± 5 °C) / 24 h in water (20 ± 5 °C)		

(preglednica 2). Preskušanci za C1 so bili 7 dni klimatizirani v standardni atmosferi (20 ± 2 °C in 65 ± 5 % RZV). Preskušanci za C2 so bili najprej 7 dni klimatizirani v standardni atmosferi in nato še 24 ur potopljeni v vodi s temperaturo 20 ± 5 °C. S površine preskušancev za C2 smo pred testiranjem s papirnato brisačo odstranili površinsko vodo.

Ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev smo izvedli na univerzalnem testirnem stroju Zwick Z05 (Zwick Roell, Ulm, Nemčija) po standardu EN 205:2016. Izmerjene so bile maksimalna sila (F), dolžina (l) in širina (b) preklopa, strižna trdnost pa je bila izračunana po enačbi (1). Delež loma po lesu smo vizualno ocenili (0, 25, 50, 75 in 100) %, pri čemer 100 % pomeni popoln lom po lesu, 0 % pa popoln lom po lepilu.

2.2.3 Statistična analiza

2.2.3 Statistical analysis

Za ABES smo za vsak časovni interval izračunali povprečje petih meritev in standardni odklon. Krivulje rasti smo med seboj primerjali tako, da smo za vsak časovni interval izvedli ANOVA in Duncanov multiple range test (DMRT). Intervale smo primerjali znotraj iste lepilne mešanice (T-HMDA, T-H-HMDA, L-HMDA in L-H-HMDA), znotraj iste osnovne komponente (tanin in lignin) ter med vsemi meritvami.

Za analizo rezultatov strižne trdnosti po EN 12765:2016 smo izračunali povprečje in standardni odklon, za primerjavo med skupinami pa smo uporabili ANOVA in DMRT.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

3 RESULTS AND DISCUSSION

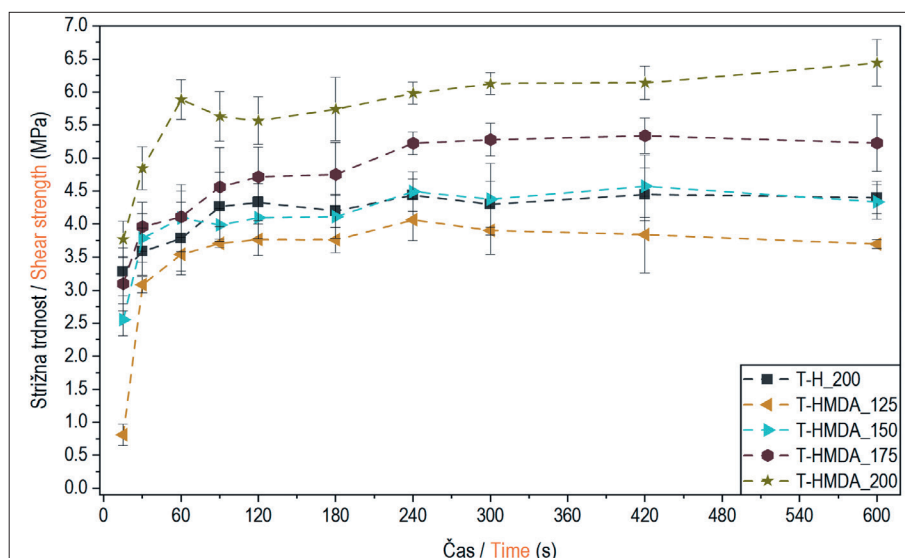
3.1 RAST STRIŽNE TRDNOSTI

3.1 BOND STRENGTH DEVELOPMENT

Na slikah 1–4 so prikazani grafi rasti strižne trdnosti, pridobljeni z metodo ABES za različne lepilne mešanice pri različnih časih in temperaturah stiskanja. Imena v legendi predstavljajo ime mešanice in temperaturo (npr. T-HMDA_150 – mešanica T-HMDA pri 150 °C). Na vsakem grafu je poleg preiskovane mešanice prikazana tudi referenčna mešanica s HMTA (T-H_200 ali L-H_200), ki je bila v literaturi že raziskana (Engozogho Anris et al., 2021; Saražin et al., 2020, 2022; Zhang et al., 2025).

Opazna je višja reaktivnost taninskih mešanic T-HMDA in T-H-HMDA v primerjavi z referenčno T-H, saj so trdnosti pri nižjih temperaturah stiskanja blizu referenčne vrednosti (slika 1 in 2). Pri mešanici T-HMDA (slika 1) sta trdnosti pri 175 °C in 200 °C bistveno višji od referenčne in tvorita dve značilni skupini, trdnost po stiskanju pri 150 °C je primerljiva z referenco, pri 125 °C pa je trdnost značilno nižja. Pri kratkih časih stiskanja (< 60 s) je le stiskanje pri 200 °C značilno višje. Podobno je opazno tudi pri mešanicah T-H-HMDA (slika 2), le da so trdnosti v splošnem nižje kot pri T-HMDA. Tudi po 10 minutah stiskanja imajo preskušanci, pripravljeni pri 175 °C in 200 °C, najvišjo trdnost.

Po analizi vseh mešanic na osnovi tanina z ANOVA in DMRT ima najvišjo trdnost mešanica T-HMDA_200 (6,4 MPa), sledita T-H-HMDA_200 (6,0 MPa) in T-H-HMDA_175 (5,6 MPa), med katerima ni statistične razlike, na tretjem mestu pa je T-HMDA_175 (5,2 MPa).



Slika 1. Krivulje rasti strižne trdnosti, pridobljene z ABES meritvami za T-HMDA, pri različnih temperaturah in referenco T-H_200 pri 200 °C.

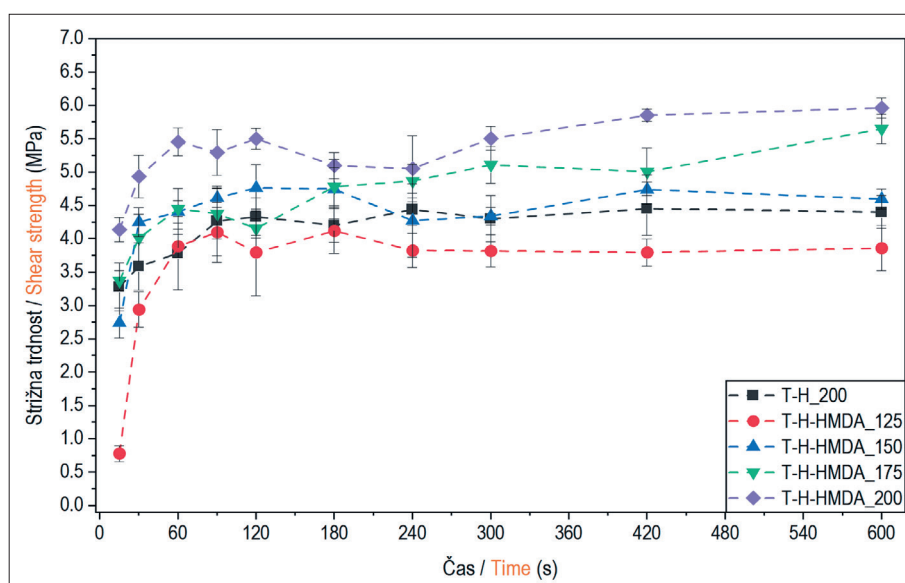
Figure 1. Bond strength development curves obtained with ABES for T-HMDA at different press temperatures and reference T-H_200 at 200 °C.

Saražin et al. (2022) so proučevali T-H lepila z višjo koncentracijo HMTA (6 % glede na suho maso tanina), pri čemer so pri nižjih temperaturah (125, 150 in 175 °C) dosegli višje trdnosti od reference, pri 175 °C pa primerljive s T-HMDA pri 200 °C v tej raziskavi.

Strižna trdnost spojev, zlepljenih z ligninskimi mešanici L-HMDA in L-H-HMDA, je le pri temperaturi 200 °C višja od referenčne L-H_200 (slika 3 in 4). Pri mešanici L-HMDA je opazna razlika med stiskanjem pri 200 °C in nižjih temperaturah (slika 3). Preskok v trdnosti nakazuje, da temperature do 175 °C ne povzročijo bistvenega zamreženja. Podobno so opazili Saražin et al. (2022), ko so raz-

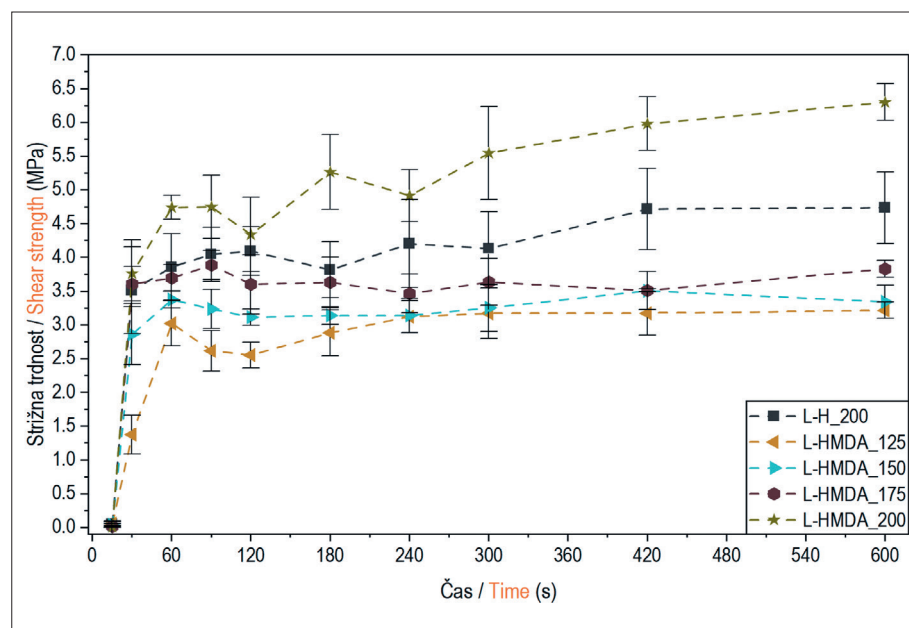
skovali neizocianatno poliuretansko lepilo na osnovi lignina in HMDA, kjer je bila očitna razlika med trdnostmi preskušancev, pripravljenih pri 175 °C in 200 °C, kar so potrdili tudi z DSC meritvami. Trdnosti so primerljive, a nekoliko nižje kot tiste, dosežene z utekočinjenim lesom, zamreženim s HMDA (Žigon et al., 2022). Mešanice na osnovi L-H-HMDA imajo nekoliko nižje trdnosti (slika 4). Najvišja trdnost pri L-H-HMDA je pri 200 °C, vendar ni značilno različna od reference po 10 minutah stiskanja. Višje trdnosti so dosežene pri krajših časih, z vrhom pri 120 sekundah (5,5 MPa).

Po analizi vseh mešanic na osnovi lignina z ANOVA in DMRT ima najvišjo trdnost mešanica



Slika 2. Krivulje rasti strižne trdnosti, pridobljene z ABES meritvami za T-H-HMDA, pri različnih temperaturah in referenco T-H_200 pri 200 °C.

Figure 2. Bond strength development curves obtained with ABES for T-H-HMDA at different press temperatures and reference T-H_200 at 200 °C.



Slika 3. Krivulje rasti strižne trdnosti, pridobljene z ABES meritvami za L-HMDA, pri različnih temperaturah in referenco L-H_200 pri 200 °C.

Figure 3. Bond strength development curves obtained with ABES for L-HMDA at different press temperatures and reference L-H_200 at 200 °C.

L-HMDA_200 (6,3 MPa), sledita L-H-HMDA_200 (5,2 MPa) in L-H_200 (4,7 MPa). Trdnosti L-HMDA so višje, kot so jih dosegli Saražin et al. (2021), z uporabo organosolv lignina, dimetil karbonata in HMDA pri 200 °C. Ko so v raziskavi povišali temperaturo stiskanja na 230 °C, so opazili, da že 3-minutno stiskanje povzroči hitro zamreževanje in visoke trdnosti lepilnih spojev (> 8 MPa).

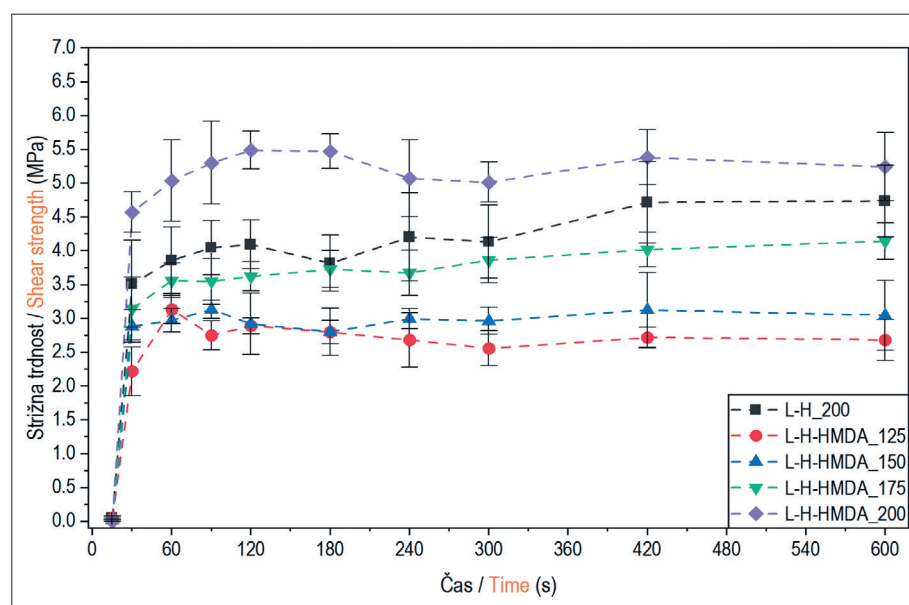
Analiza vseh proučevanih mešanic na osnovi lignina in tanina z ANOVA in DMRT je pokazala, da je najvišja trdnost dosežena pri T-HMDA_200 (6,4 MPa) in L-HMDA_200 (6,3 MPa), med katerima ni

statistično značilne razlike. Sledita T-H-HMDA_200 (6,0 MPa) in T-H-HMDA_175 (5,6 MPa), med katerima prav tako ni statistične razlike.

3.2 KAKOVOST ZLEPLJENOSTI IN KLASIFIKACIJA LEPIL

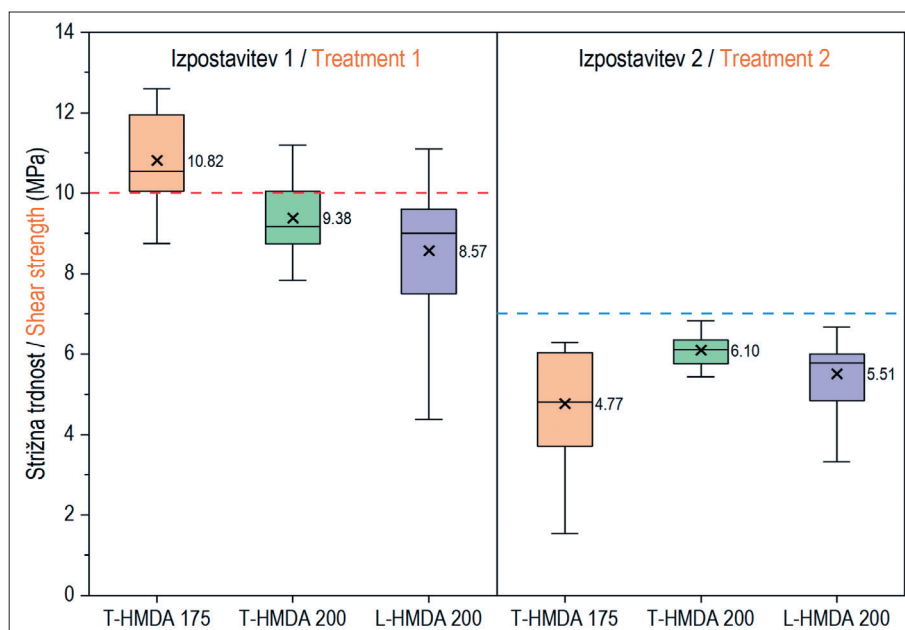
3.2 BOND QUALITY AND CLASSIFICATION OF ADHESIVES

Za proučitev kakovosti zlepljenosti in klasifikacijo lepilnih mešanic po standardu smo glede na rezultate ABES izbrali čas stiskanja 15 minut (5 minut prehoda toplote in 10 minut utrjevanja) za lepilni



Slika 4. Krivulje rasti strižne trdnosti, pridobljene z ABES meritvami za L-H-HMDA, pri različnih temperaturah in referenco L-H_200 pri 200 °C.

Figure 4. Bond strength development curves obtained with ABES for L-H-HMDA at different press temperatures and reference L-H_200 at 200 °C.



Slika 5. Rezultati strižne trdnosti za T-HMDA in L-HMDA lepilo po EN 205:2016, z zahtevami standarda za izpostavitve 1 (rdeče) in 2 (modro) po EN 12765:2016.

Figure 5. Shear strength results for T-HMDA and L-HMDA adhesive based on EN 205:2016 with requirements for Treatment 1 (red) and 2 (blue) based on EN 12765:2016.

mešanici T-HMDA in L-HMDA, ki sta izkazali najvišjo trdnost. Rezultati meritev za taninska in ligninska lepila glede na izpostavitve 1 in izpostavitve 2 po EN 12765:2016 so predstavljeni na sliki 5. Najvišjo trdnost v suhih pogojih (izpostavitve 1) je doseglo lepilo T-HMDA pri temperaturi stiskanja 175 °C, in sicer 10,8 MPa, kar zadostuje pogojem za klasifikacijo lepila v trajnostni razred C1 (za nekonstrukcijsko uporabo v suhih prostorih). Trdnosti so nekoliko nižje kot pri Saražin et al. (2020) za T-H lepila pri pH 11 (~12 MPa) in pH 6,5 (~14 MPa) ter temperaturi stiskanja 150 °C. Pri temperaturi stiskanja 200 °C je trdnost lepila T-HMDA padla na 9,4 MPa zaradi termične modifikacije in delne degradacije lesnega tkiva bukovih lamel pri visoki temperaturi. Delež loma po lesu je bil v obeh primerih blizu 100 % (preglednica 3). Strižna trdnost lepilnega spoja je odvisna od kohezijske trdnosti lesa, kohezijske trdnosti lepi-

la in adhezije med lepilom in lesom (Marra, 1992). Glede na visok delež loma po lesu je prišlo do kohezijskega loma v lesu, kar nakazuje, da je šibki člen les in ne lepilo. Pri lesu, segretem nad 190 °C, se pojavi izrazita izguba mase (Kariž, 2011) zaradi kemijskih sprememb, ki povzročijo degradacijo hemiceluloze in znižanje mehanskih lastnosti lesa (Boonstra et al., 2007; Jančíková & Jablonský, 2025; Wang et al., 2022).

Lepilo na osnovi L-HMDA je v suhih pogojih doseglo nižjo trdnost (8,6 MPa) z veliko variabilnostjo (slika 5). Vrednosti so primerljive z raziskavo Saražin et al. (2020), kjer je L-H lepilo imelo trdnost blizu 9 MPa, vendar ne dosegajo zahtev standarda, kar pomeni, da tega lepila ni mogoče klasificirati kot C1. Vse mešanice so bile statistično značilno različne.

Nobena od lepilnih mešanic ni dosegla trdnostnih zahtev po izpostavitvi 2, zato jih ni mogoče

Lepilo / Adhesive	Temperatura / Temperature (°C)	Izpostavitve / Treatment	Povprečje / Mean (%)	St. odklon / St. Dev. (%)	KV / CV
T-HMDA	175	1	100	0	0
		2	61	37.6	62.1
	200	1	97	7.9	8.1
		2	99	5.6	5.7
L-HMDA	200	1	64	39.3	61.6
		2	55	40.2	73.1

Preglednica 3. Rezultati deleža loma po lesu za lepilni mešanici T-HMDA in L-HMDA pri različnih temperaturah stiskanja glede na EN 205:2016. Predstavljeni so povprečje, standardni odklon in kvocient variabilnosti (KV).

Table 3. Wood failure (WF) results of EN 205:2016 testing for T-HMDA and L-HMDA at different pressing temperatures. The mean, standard deviation and coefficient of variability (CV) are presented.

uvrstiti v razred C2. Najvišjo trdnost je imelo lepilo T-HMDA pri 200 °C (6,1 MPa), vendar ni bilo statistično značilno različno od L-HMDA (5,5 MPa).

4 ZAKLJUČEK

4 CONCLUSIONS

Zaradi vse večjih zahtev po zmanjševanju emisij zdravju škodljivega formaldehida je bilo v tej raziskavi sistematično proučenih šest lepilnih mešanic na osnovi lignina in tanina. Rezultati ABES so pokazali, da so imeli lepilni spoji, zlepljeni s T-HMDA in L-HMDA najvišje trdnosti, okoli 6,4 MPa. Za ti dve mešanici so bile opravljene meritve tudi po standardu EN 12765:2016. Najvišjo strižno trdnost je doseglo lepilo T-HMDA pri 175 °C – 10,8 MPa, kar zadostuje zahtevam standarda za klasifikacijo v razred C1. Preskušanci, pripravljeni pri 200 °C, so izkazovali toplotno degradacijo lesa in posledično nižje trdnosti. Mešanice na osnovi lignina so dosegle nižjo strižno trdnost kot taninske. Rezultati kažejo, da je mogoče iz tanina pripraviti lepilo, ki se lahko uporablja za nekonstrukcijske namene v suhih pogojih (C1).

5 POVZETEK

5 SUMMARY

Due to increasing legislative pressure to reduce emissions of volatile compounds, especially formaldehyde, a proven carcinogenic compound, interest has grown in replacing synthetic adhesives with natural adhesives in wood bonding and wood-based composites. Over the past 30 years, research has focused on protein-, carbohydrate-, lignin-, tannin- and natural resin-based adhesives. Among these, lignin and tannin show promise as natural polymers derived from lignocellulosic materials. Lignin is the second most abundant natural polymer and the most abundant polyphenolic polymer in nature, but its reactivity and practical implementation are limited. In contrast, tannin adhesives have already been developed and adopted industrially, as they exhibit good reactivity and performance comparable to phenolic adhesives.

Adhesives based on lignin and tannin have been studied using various strategies to improve bond strength and reduce pressing times. For tannin, the most common approaches are crosslinking

with aldehydes (formaldehyde, glyoxal) or hexamethylenetetramine (HMTA). Tannin adhesives are characterised by good reactivity, low formaldehyde emission, and industrial adoption, while challenges include high viscosity and short pot life. The lignin used in adhesives is usually chemically modified to increase reactivity, such as by methylation, phenolation, glyoxalation, or enzymatic treatments. Blending with more reactive compounds, such as phenol or tannin, is also common for lignin adhesives.

HMTA and hexamethylenediamine (HMDA) are two non-aldehyde crosslinkers that are particularly effective for crosslinking condensed tannins. They can form either aminomethylene or benzylamine bridges, depending on the pressing temperature. Although HMTA and HMDA offer clear advantages, such as low formaldehyde emissions and good reactivity with tannins, a direct comparison between them is lacking, especially in the context of lignin adhesive mixtures.

To better understand the kinetics of bond strength development in adhesives crosslinked with HMTA and HMDA, the Automated Bonding Evaluation System (ABES) was used. Ten different pressing times, ranging from 15 seconds to 600 seconds, at four pressing temperatures (125, 150, 175, and 200 °C) were applied. Six adhesive mixtures – three based on tannin and three based on lignin – were examined. The adhesive mixtures with the highest strength were further compared using standard tests according to EN 12765:2016 and EN 205:2016. European beech wood (*Fagus sylvatica* L.) was used to prepare the test samples. A 200 g/m² layer of adhesive was evenly spread onto freshly planed wood using a roller and spatula. The pressing temperature was 200 °C at 1.2 MPa specific pressure for 15 minutes for both lignin and tannin adhesives; the latter was also prepared at 175 °C for 15 minutes. Samples were conditioned according to C1 (7 days in standard climate) or C2 (7 days in standard climate, followed by 24 hours of water submersion) prior to testing.

ABES testing showed that pressing temperature significantly influenced bond strength, with higher temperatures leading to increased bond strength. Samples pressed at 125 °C exhibited the lowest strength, while those pressed at 200 °C showed the highest. Adhesive mixtures T-HMDA

and L-HMDA pressed at 200 °C achieved a shear strength of approximately 6.4 MPa and were selected for standard testing. L-HMDA recorded a shear strength of 8.6 MPa according to C1 and 5.5 MPa according to C2. T-HMDA reached higher strengths of 9.4 MPa and 6.1 MPa for C1 and C2, respectively. As there were clear signs of wood degradation at high pressing temperatures (100% wood failure without meeting standard requirements), additional samples of T-HMDA were prepared at 175 °C. These samples achieved 10.8 MPa for C1 and 4.8 MPa for C2. T-HMDA met the requirements for C1 classification and can be considered for non-structural use in dry conditions.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENT

Raziskavo je finančno podprla Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru programa P4-0015 »Les in lignocelulozni kompoziti«.

DOSTOPNOST RAZISKOVALNIH PODATKOV

DATA AVAILABILITY

Raziskovalni podatki, uporabljeni v članku, so prosto dostopni prek repozitorija Zenodo na povezavi <https://doi.org/10.5281/zenodo.20065599> in naj bodo citirani kot Brus et al., 2026.

All research data used in this paper are publicly available in the Zenodo repository at <https://doi.org/10.5281/zenodo.20065599> and can be cited as Brus et al., 2026.

VIRI

REFERENCES

- Antov, P., Savov, V., Mantanis, G. I., & Neykov, N. (2021). Medium-density fibreboards bonded with phenol-formaldehyde resin and calcium lignosulfonate as an eco-friendly additive. *Wood Material Science & Engineering*, 16(1), 42–48. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480272.2020.1751279>
- Böhm, R., Hauptmann, M., Pizzi, A., Friedrich, C., & Laborie, M.-P. (2016). The chemical, kinetic and mechanical characterization of tannin-based adhesives with different crosslinking systems. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 68, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.01.006>
- Boonstra, M. J., Van Acker, J., Tjeerdma, B. F., & Kegel, E. V. (2007). Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Annals of Forest Science*, 64(7), 679–690. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:2007048>
- Brus, M., Dolenc, J., Serženta, A., & Šernek, M. (2026). Data for: "Study of the Curing Process of Tannin- and Lignin-Based Adhesive Using an Automated Bonding Evaluation System (1.1) [Data set]. Zenodo. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20065599>
- EN 12765:2016. Classification of thermosetting wood adhesives for non-structural applications.
- EN 205:2016. Adhesives – Wood adhesives for non-structural applications – Determination of tensile shear strength of lap joints.
- Dolenc, J. (2024). Proučevanje procesa utrjevanja lepila na osnovi tanina s sistemom za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti [Thesis, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta]. URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=161208> (30.3.2025)
- Dunky, M. (2021). Wood Adhesives Based on Natural Resources: A Critical Review: Part III. Tannin- and Lignin-Based Adhesives. In *Progress in Adhesion and Adhesives* (pp. 383–529). John Wiley & Sons, Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119846703.ch10>
- Dunky, M. (2023a). Natural Crosslinkers for Naturally-Based Adhesives. In *Biobased Adhesives* (pp. 207–254). John Wiley & Sons, Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781394175406.ch6>
- Dunky, M. (2023b). Naturally-Based Adhesives for Wood and Wood-Based Panels. In *Biobased Adhesives* (pp. 517–578). John Wiley & Sons, Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781394175406.ch19>
- Engozogho Anris, S. P., Bikoro Bi Athomo, A., Safou-Tchiamia, R., Leroy, L., Vidal, M., & Charrier, B. (2021). Development of green adhesives for fibreboard manufacturing, using okoume bark tannins and hexamine – characterization by ¹H NMR, TMA, TGA and DSC analysis. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 35(4), 436–449. DOI: <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1808356>
- Fink, J. K. (2023). Biorefinery Products as Naturally-Based Key Raw Materials for Adhesives. In *Biobased Adhesives* (pp. 119–165). John Wiley & Sons, Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781394175406.ch4>
- International Agency for Research on Cancer (2006). Formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxypropan-2-ol (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 88). World Health Organization. URL: <https://incchem.org/documents/iarc/vol88/volume88.pdf> (30.3.2026)
- Jančíková, V., & Jablonský, M. (2025). Thermal Modification of Wood—A Review. *Sustainable Chemistry*, 6(3), 19. DOI: <https://doi.org/10.3390/suschem6030019>
- Kamoun, C., & Pizzi, A. (2000a). Mechanism of hexamine as a non-aldehyde polycondensation hardener. Part 2: Recombination of intermediate reactive compounds. *Holzforschung Und Holzverwertung*, 52, 66–67.
- Kamoun, C., & Pizzi, A. (2000b). Mechanism of Hexamine as a non-aldehyde polycondensation resins hardener.—Part 1: Hexamine

- decomposition and reactive intermediates. *Holzforschung Und Holzverwertung*, 52, 16–19.
- Kariž, M. (2011). Vpliv termične modifikacije lesa na utrjevanje lepil in kakovost lepilnih slojev: Doktorska disertacija [Thesis, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta]. URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=126881> (30.3.2025)
- Lubis, M. A. R., Labib, A., Sudarmanto, Akbar, F., Nuryawan, A., Antov, P., Kristak, L., Papadopoulos, A. N., & Pizzi, A. (2022). Influence of Lignin Content and Pressing Time on Plywood Properties Bonded with Cold-Setting Adhesive Based on Poly (Vinyl Alcohol), Lignin, and Hexamine. *Polymers*, 14(10), 2111. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14102111>
- Marra, A. A. (1992). Technology of wood bonding: Principles in practice. Van Nostrand Reinhold.
- Navarrete, P., Mansouri, H. R., Pizzi, A., Tapin-Lingua, S., Benjelloun-Mlayah, B., Pasch, H., & Rigolet, S. (2010). Wood Panel Adhesives from Low Molecular Mass Lignin and Tannin without Synthetic Resins. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 24(8–10), 1597–1610. DOI: <https://doi.org/10.1163/016942410X500972>
- Pichelin, F., Kamoun, C., & Pizzi, A. (1999). Hexamine hardener behaviour: Effects on wood glueing, tannin and other wood adhesives. *Holz Als Roh- Und Werkstoff*, 57(5), 305–317. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001070050349>
- Pizzi, A. (2006). Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: Opportunities and issues. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 20(8), 829–846. DOI: <https://doi.org/10.1163/156856106777638635>
- Pizzi, A. (2014). Natural Adhesives, Binders, and Matrices for Wood and Fiber Composites: Chemistry and Technology. In *Research Developments in Wood Engineering and Technology* (pp. 131–181). IGI Global Scientific Publishing. DOI: <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4554-7.ch004>
- Pizzi, A. (2023). The Chemistry of Bioadhesives. In *Biobased Adhesives* (pp. 85–117). John Wiley & Sons, Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781394175406.ch3>
- Pizzi, A., & Tekely, P. (1995). Mechanism of polyphenolic tannin resin hardening by hexamethylenetetramine: CP–MAS 13C-NMR. *Journal of Applied Polymer Science*, 56(12), 1645–1650. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.1995.070561215>
- Saražin, J., Pizzi, A., Amirou, S., Schmiedl, D., & Šernek, M. (2021). Organosolv Lignin for Non-Isocyanate Based Polyurethanes (NIPU) as Wood Adhesive. *Journal of Renewable Materials*, 9(5), 881–907. DOI: <https://doi.org/10.32604/jrm.2021.015047>
- Saražin, J., Poljanšek, I., Pizzi, A., & Šernek, M. (2022). Curing Kinetics of Tannin and Lignin Biobased Adhesives Determined by DSC and ABES. *Journal of Renewable Materials*, 10(8), 2117–2131. DOI: <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.019602>
- Saražin, J., Schmiedl, D., Pizzi, A., & Šernek, M. (2020). Bio-based adhesive mixtures of pine tannin and different types of lignins. *BioResources*, 15(4), 9401–9412. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.15.4.9401-9412>
- Sauget, A., Nicollin, A., & Pizzi, A. (2013). Fabrication and mechanical analysis of mimosa tannin and commercial flax fibers biocomposites. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 27(20), 2204–2218. DOI: <https://doi.org/10.1080/01694243.2013.767151>
- Serženta, A. (2025). Proučevanje procesa utrjevanja lepila na osnovi lignina s sistemom za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti [Thesis, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta]. URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=173367>(30.3.2025)
- Sitar, M., Pondelak, A., Grbec, S., & Šernek, M. (2023). Strižna trdnost spojev z ribjim klejem lepljenega lesa ovrednotena z metodo ABES. *Les/Wood*, 72(2), 49–56. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2023.v72n02a03>
- Stücker, A., Schütt, F., Saake, B., & Lehnen, R. (2016). Lignins from enzymatic hydrolysis and alkaline extraction of steam refined poplar wood: Utilization in lignin-phenol-formaldehyde resins. *Industrial Crops and Products*, 85, 300–308. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.062>
- Šernek, M., & Žigon, J. (2023). Curing and Adhesive Bond Strength Development in Naturally-Based Adhesives. In *Biobased Adhesives* (pp. 255–278). John Wiley & Sons, Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781394175406.ch7>
- Wang, D., Fu, F., & Lin, L. (2022). Molecular-level characterization of changes in the mechanical properties of wood in response to thermal treatment. *Cellulose*, 29(6), 3131–3142. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04471-3>
- Younesi-Kordkheili, H., & Pizzi, A. (2020). Some of Physical and Mechanical Properties of Particleboard Panels bonded with Phenol- Lignin- Glyoxal Resin. *The Journal of Adhesion*, 96(16), 1385–1395. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218464.2019.1600405>
- Zhao, D., Li, Z., Zhang, Y., & Fu, P. (2025). The role of lignin in adhesives for lignin-based formaldehyde-based resins: A review. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15(11), 16307–16341. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-024-06397-1>
- Zhang, Y., Hu, W., Zhang, Y., Zhou, Y., Zhu, N., & Han, S. (2025). Tannin-hexamethylenetetramine wood adhesives with high performance and environmentally friendly characteristics: Based on photocatalytic degradation of larch tannins. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 8(4), 333. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42114-025-01417-8>
- Žigon, J., Šeda, V., Čermák, P., & Šernek, M. (2022). Characterization of Curing and Bonding of Wood with Adhesive Mixtures of Liquefied Wood and Hexamethylenediamine. *Journal of Renewable Materials*, 11(2), 991–1001. DOI: <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.023584>



VALIDACIJA NIR SPEKTROSKOPIJE ZA DOLOČANJE KAKOVOSTI LESNIH PELETOV

VALIDATION OF NIR SPECTROSCOPY FOR WOOD PELLET QUALITY ASSESSMENT

Darja Stare^{1*}, Žiga Lukančič¹, Denisa Krevh², Marko Uhan²

UDK članka: 630*839.81

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 25.3.2026

Sprejeto / Accepted: 25.5.2026

Izvleček / Abstract

Izvleček: V zadnjem desetletju se je v EU povečala raba lesne biomase, zlasti lesnih peletov, kar poudarja pomen zanesljivega nadzora kakovosti. Namen raziskave je bil ovrednotiti primernost bližnje rdeče (NIR) spektroskopije kot hitre metode za določanje kakovosti peletov v primerjavi z laboratorijskimi metodami po SIST EN ISO standardih. V raziskavi smo analizirali 14 vzorcev peletov kakovostnega razreda A1 z obema metodama ter primerjali vsebnost vlage, pepela, gostote nasutja in mehanske obstojnosti, pri čemer smo rezultate statistično ovrednotili z vidika ujemanja in ponovljivosti. Rezultati kažejo, da NIR spektroskopija omogoča hitro in učinkovito napoved ključnih kemijsko-fizikalnih parametrov kot sta vsebnost vlage in pepela, z dobro primerljivostjo s standardnimi laboratorijskimi metodami, medtem ko pri določanju lastnosti, kot je mehanska obstojnost in gostota nasutja, ostaja omejena. Z vidika praktične uporabe je zato primerna kot orodje za hitro oceno nekaterih parametrov, medtem ko laboratorijske metode ostajajo ključne za ugotavljanje skladnosti s standardi in certificiranje.

Ključne besede: NIR–bližnja rdeča spektroskopija, lesna biomasa, peleti, kakovost

Abstract: The use of wood biomass, especially wood pellets, has increased in the EU over the past decade, emphasizing the importance of reliable quality control. The aim of this study was to evaluate the suitability of near-infrared (NIR) spectroscopy as a rapid method for determining pellet quality, in comparison with laboratory methods according to SIST EN ISO standards. Fourteen samples of A1 quality pellets were analysed using both methods, and the moisture content, ash content, bulk density, and mechanical durability were compared. The results were statistically evaluated for agreement and repeatability. The findings show that NIR spectroscopy enables rapid and efficient prediction of some key parameters like moisture and ash content, with good comparability to standard laboratory methods, although it remains limited in determining mechanical properties. From a practical perspective, it is therefore suitable as a tool for rapid assessment of certain parameters like bulk density, and mechanical durability. However, reference laboratory methods remain essential for determining compliance with standards and certification.

Keywords: NIR – near-infrared spectroscopy, wood biomass, pellets, quality

1 UVOD

1 INTRODUCTION

V zadnjem desetletju se je v Evropski uniji (EU) in širše povečalo zanimanje za uporabo lesne biomase kot obnovljivega vira energije, zlasti v obliki lesnih peletov za individualno in industrijsko rabo. Ta trend je povezan s prehodom z energetskega sistema, ki temelji predvsem na fosilnih gorivih, na sistem, ki temelji na obnovljivih virih energije. Dodatno ga spodbujajo cilji razogljičenja ter razvoj

biogospodarstva, v katerem ima lesna biomasa pomembno vlogo kot lokalno dostopen, obnovljiv in razmeroma stabilen energent. Direktiva (EU) 2018/2001 (RED II) ter njena posodobitev, Direktiva (EU) 2023/2413 (RED III), poudarjata pomen trajnostne in učinkovite rabe biomase ter državam članicam priporočata uporabo usklajenih evropskih standardov za zagotavljanje primerljivosti, sledljivosti in kakovosti biogoriv. Evropski zeleni dogovor (Evropska komisija, 2019) in EU Podnebni

¹ Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

² Labtim d.o.o., Peruzzijska ulica 109, 1000 Ljubljana, Slovenija

* e-pošta: darja.stare@gozdis.si

zakon (Uredba (EU) 2021/1119) pravno zavezuje ta EU k doseganju podnebne nevtralnosti do leta 2050 ter vsaj 55-odstotnemu zmanjšanju emisij do leta 2030, pri čemer ima bioenergija pomembno vlogo. Na nacionalni ravni ima raba lesnih goriv pomembno vlogo pri doseganju ciljev Celovitega nacionalnega energetskega in podnebne načrta Republike Slovenije (NEPN, 2020), zlasti pri zmanjšanju emisij toplogrednih plinov ter povečevanju deleža obnovljivih virov energije v končni rabi. Lesni peleti tako predstavljajo pomemben proizvod gozdno-lesne verige z visoko dodano vrednostjo in imajo pomembno vlogo pri doseganju energetskih in podnebnih ciljev EU. Evropa v zadnjih letih še vedno predstavlja največjo regijo tako po proizvodnji kot porabi peletov. Dolgoročni trend rasti proizvodnje in porabe peletov se je v zadnjih letih upočasnil ali v določenih regijah začel stagnirati. Po podatkih Bioenergy Europe (2025) je svetovna proizvodnja peletov v letu 2024 ostala razmeroma stabilna in dosegla 48,3 milijona ton, medtem ko je svetovna poraba prvič presegla 45 milijonov ton. Poudarjajo, da nadaljnji razvoj trga ni odvisen le od povpraševanja, temveč predvsem od stabilnih političnih ukrepov in finančnih podpor, ki pomembno vplivajo na širitev uporabe ogrevalnih sistemov na pelete v EU. Trend proizvodnje peletov v zadnjih letih v Sloveniji kaže rast, prav tako se je bistveno povečalo število proizvajalcev, kar se ujema s širšim evropskim trendom rasti uporabe biomase za ogrevanje (Ščap et al., 2025).

Povpraševanje po lesnih gorivih je v številnih državah že povzročilo omejitve pri razpoložljivosti surovin, kot so žagovina in lesni oblanci, kar povečuje pritisk na učinkovito rabo virov, vključevanje alternativnih surovin ter dosledno zagotavljanje kakovosti končnih produktov. Zaradi naravne heterogenosti biomase, ki je posledica vrste lesa, rastiščnih razmer, časa sečnje, tehnologije predelave in skladiščenja, je nadzor kakovosti lesnih goriv ključen tako za učinkovito delovanje kurilnih naprav kot tudi za zmanjševanje emisij. Na ravni EU (in Slovenije) so za področje trdnih biogoriv uveljavljeni standardi ISO, ki zagotavljajo enotno terminologijo, metodologijo in razvrščanje goriv. Zahteve za kakovost in razvrščanje trdnih biogoriv v posamezne kakovostne razrede (npr. lesni peleti, sekanci, briketi), tako za neindustrijsko kot industrijsko rabo, določa-

jo standardi serije ISO 17225, v Sloveniji trenutno veljavni SIST EN ISO 17225 iz leta 2021.

Standardne metode na področju kakovosti lesnih goriv se osredotočajo predvsem na določanje ključnih kemijsko-fizikalnih parametrov, kot so vsebnost vlage, vsebnost pepela, mehanska obstojnost, kurilna vrednost ter elementna sestava, ki neposredno vplivajo na energijsko učinkovitost, emisije in primernost goriva za posamezne tipe kurilnih naprav. Metode predstavljajo referenčno osnovo za določanje kakovosti lesnih goriv in so nujne za certificiranje, tržni nadzor ter znanstveno primerljivost rezultatov. Standardne metode zagotavljajo sledljivost in zanesljivost, vendar so pogosto časovno potratne, zahtevajo obsežno pripravo vzorcev ter laboratorijsko infrastrukturo, kar omejuje njihovo uporabnost pri sprotne nadzoru proizvodnje. Zato se v zadnjih letih vse več pozornosti namenja tudi razvoju hitrih in nekontaktnih metod, ki bi dopolnjevale ali nadomeščale klasične laboratorijske postopke. Vse pomembnejšo vlogo med hitrimi analiznimi tehnikami ima bližnja infrardeča (NIR) spektroskopija, ki omogoča hitro in cenovno učinkovito napoved izbranih parametrov kakovosti ter s tem omogoča sproten nadzor proizvodnje in optimizacijo procesov (Gillespie et al., 2015; Sundaram et al., 2015; Feng et al., 2018; Mancini et al., 2020; Ahmed et al., 2025). Zaradi svojega hitrega odziva je metoda NIR posebej primerna za industrijsko okolje, saj omogoča vgradnjo neposredno v proizvodno linijo ter kontinuirano spremljanje proizvoda v realnem času. Tak pristop je že uveljavljen v prehrambni in farmacevtski industriji, kjer predstavlja pomemben del sodobnih sistemov za zagotavljanje in sprotni nadzor kakovosti (npr. Mantanus et al., 2010; Ahmed et al., 2025), vse bolj pa tudi v lesnopredelovalni industriji (Lestander et al., 2009; Posom et al., 2016; Pitak et al., 2022; Ahmed et al., 2025). Metoda NIR se izkaže kot primerna predvsem za napoved kemijsko-fizikalnih lastnosti, kot so vsebnost vlage, pepela ali kurilna vrednost, medtem ko za določanje mehanskih lastnosti (npr. mehanska obstojnost peletov, delež finih delcev) ostaja omejena ali posredna (Gillespie et al., 2015; Mancini et al., 2020).

Napoved vsebnosti vlage je neposredno povezana z izrazitimi absorpcijskimi pasovi O–H vezi vode in hidroksilnih skupin v lesni biomasi, kar omogoča visoko napovedno točnost (Gillespie et

al., 2015). Podobno je napoved kurilne vrednosti posredno vezana na kemijsko sestavo (delež ogljika, vodika in kisika), ki določa energijsko vrednost goriva in se odraža v NIR spektrih preko značilnih absorpcijskih pasov organskih komponent (Gillespie et al., 2015). Pri vsebnosti pepela je povezava manj neposredna, saj mineralna frakcija sama po sebi ne absorbira NIR sevanja, vendar je napoved še vedno mogoča na podlagi posrednih korelacij s kemijsko sestavo organskega dela biomase in spremljajočimi elementi, kar vodi do zmerne napovedne uspešnosti (Gillespie et al., 2015; Mancini et al., 2020). Nasprotno pa je pri mehanskih in strukturnih lastnostih povezava z NIR spektralnim odzivom pretežno posredna. Mehanska obstojnost je odvisna od vezave delcev, deleža lignina ter pogojev stiskanja, kar NIR zaznava le posredno preko vpliva kemijske sestave na vezivne mehanizme. Gostota nasutja in delež finih delcev sta dodatno pogojena z geometrijo delcev, poroznostjo in razporeditvijo delcev, kar ne vpliva na specifične absorpcijske pasove, zato je njuna napoved manj robustna. Kljub temu so študije pokazale, da je z uporabo naprednih kemometričnih pristopov mogoče zaznati določene korelacije, ki izhajajo iz povezave med kemijsko sestavo, mikrostrukturo in stopnjo zgoščenosti materiala (Mancini et al., 2020) ter iz posredne povezave med odbojnostjo in notranjo strukturo peletov (Pitak et al., 2022).

Mancini in sodelavci (2018) tudi ugotavljajo, da je NIR spektroskopija primerna metoda za zanesljivo določanje izvora lesa in nadzor surovine v proizvodnji peletov, saj omogoča učinkovito razlikovanje lepljenega in obdelanega lesa (npr. iverne plošče, vezane plošče in OSB) od naravnega neobdelanega lesa. Podobno ugotavljajo tudi Toscano in sodelavci (2022), da infrardeča spektroskopija (NIR/FTIR) omogoča razlikovanje lesnih peletov glede na njihov izvor in sestavo. Lestander in sodelavci (2009) ter Gillespie in sodelavci (2016) pa so poleg dobrih napovedi vsebnosti vlage in sestave mešanic žagovine ugotovili tudi možnost napovedi porabe električne energije, kar kaže, da NIR spektri vsebujejo informacije o kompresijskih in trenjskih lastnostih vhodne biomase, pomembnih za spremljanje in optimizacijo procesa peletiranja. Zato NIR ne nadomešča standardnih metod in kakovostnih zahtev po SIST EN ISO 17225-2, temveč jih dopolnjuje, pri čemer referenčne metode ostajajo temelj za kali-

bracijo, validacijo in zagotavljanje merilne sledljivosti (Gillespie et al., 2015; Mancini et al., 2020; Toscano et al., 2022; Ahmed et al., 2025).

Namen raziskave je ovrednotiti primernost in uporabnost NIR kot hitre analize metode za določanje izbranih parametrov kakovosti lesnih goriv v primerjavi z laboratorijskimi referenčnimi metodami po SIST EN ISO standardih. Izhodišče raziskave temelji na predpostavki, da NIR spektroskopija zaradi svoje občutljivosti na vibracijske lastnosti kemijskih vezi v materialu omogoča zanesljivejšo napovedovanje kemijsko-fizikalnih parametrov, ki so neposredno povezani s kemijsko sestavo (npr. vsebnost vlage in pepela), medtem ko je pri strukturnih in mehanskih lastnostih (npr. mehanska obstojnost, gostota nasutja) pričakovati šibkejšo povezavo z NIR spektralnim odzivom. Predpostavljamo tudi, da so mehanske lastnosti peletov posredno povezane z njihovo kemijsko sestavo in mikrostrukturo (npr. delež lignina, vezava delcev), ki vplivajo na nastanek in stabilnost vezi med delci ter posledično na mehansko obstojnost in gostoto nasutja. Osrednji cilj raziskave je zato validirati ustrezne NIR-kalibracijske modele ter preveriti, ali lahko NIR-metoda ob ustrezni kalibraciji napove ključne kemijsko-fizikalne parametre z merilno negotovostjo, ki je primerljiva negotovosti standardnih laboratorijskih metod ter predstavlja učinkovito dopolnilo standardnim analizam, zlasti za potrebe hitrega nadzora kakovosti in podpore odločanju v proizvodnih in logističnih procesih. Pri tem pričakujemo, da bo NIR spektroskopija dosegala višjo napovedno točnost pri parametrih, ki so neposredno povezani s kemijsko sestavo, medtem ko bo napoved mehanskih in strukturnih lastnosti manj zanesljiva zaradi njihove posredne povezanosti s spektralnim odzivom.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

V raziskavi smo primerjali dve metodi določanja kakovosti lesnih peletov. Najprej smo pelete analizirali po standardnih metodah na podlagi SIST EN ISO standardov, nato pa so bili isti vzorci analizirani še z laboratorijskim NIR spektrometrom. Testirali smo parametre: vsebnost vlage, delež pepela, gostota nasutja in mehanska obstojnost. Rezultati obeh metod so bili statistično primerjani z namenom ocene ujemanja, ponovljivosti ter uporabnosti

NIR metode kot hitre alternativne metode za ocenjevanje kakovosti lesnih peletov.

2.1 PRIPRAVA IN ANALIZA VZORCEV

2.1 PREPARATION AND ANALYSE OF SAMPLES

Vzorci lesnih peletov so bili pred analizami ustrezno homogenizirani, torej premešani za zagotovitev enakomerne sestave in reprezentativnosti vzorca, potem pa je bila naključno odvzeta ustrezna količina celih peletov. Za potrebe standardnih analiz so bili peleti, kjer je to zahtevala metodologija, zmleti in pripravljeni v skladu s predpisanimi postopki posameznih SIST EN ISO standardov. Analiziranih je bilo 14 različnih vzorcev peletov, ki so na embalaži zagotavljali kakovostni razred A1. Za vsak vzorec sta bila odvzeta minimalno 2 podvzorca za 2 ponovitvi posameznih analiz. V primeru vzorca 1 sta bili narejeni dve ponovitvi, v primeru vseh ostalih vzorcev pa so bile opravljene po 4 ponovitve. Za potrebe NIR analiz posebna priprava vzorcev ni bila potrebna in je bila za vsak vzorec naključno odvzeta ustrezna količina celih peletov, s katero je bila enakomerno zapolnjena merilna posodica NIR spektrometra (slika 1).

Vsebnost vlage v lesnih peletih je bila določena po gravimetrični metodi v skladu s standardom SIST EN ISO 18134-2:2024, ki temelji na sušenju vzorca pri nadzorovani temperaturi do konstantne mase. Masni delež vlage je bil izračunan iz razlike med maso vzorca pred in po sušenju ter izražen na vlažni osnovi. Pri tem so bili upoštevani pogoji merjenja in ponovljivost metode. Analize so bile izvedene v več ponovitvah, rezultat pa je bil izražen kot povprečna vrednost. Merilna negotovost metode izhaja predvsem iz tehtanja, homogenosti vzorca ter vpliva zunanjih dejavnikov.

Delež pepela je bil določen po metodi v skladu s standardom SIST EN ISO 18122:2023. Pripravljeni vzorci so bili postopno segrevani in žgani v laboratorijski peči pri predpisani temperaturi, dokler ni bila dosežena konstantna masa nezgorele snovi (pepela). Masni delež pepela je bil izražen kot razmerje med maso anorganskega ostanka po žganju in suho maso vzorca, kar omogoča oceno mineralne vsebnosti goriva. Ponovljivost meritev je bila zagotovljena tako, da je bil vsak vzorec analiziran v najmanj dveh podvzorcih, ki sta bila hkrati segrevana in žgana, končna vrednost pa je bila določena kot povprečje obeh meritev. Merilna negotovost pa

je povezana predvsem s stabilnostjo temperature v peči, maso preskusnega vzorca ter homogenostjo mletega materiala.

Mehanska obstojnost lesnih peletov je bila določena po metodi v skladu s standardom SIST EN ISO 17831-1:2025, ki opisuje postopek mehanskega obremenjevanja peletov v standardiziranem preizkusnem bobnu. Po v naprej določenem številu obratov je bil določen delež drobnih delcev, mehanska obstojnost pa je izražena kot masni delež nepoškodovanih peletov po preskusu. Preskusi so bili izvedeni v več ponovitvah, pri čemer na ponovljivost in merilno negotovost vpliva predvsem začetna porazdelitev velikosti peletov, masa vzorca ter natančnost sejanja drobnih delcev.

Gostota nasutja je bila določena po metodi v skladu s standardom za določanje prostorninske mase SIST EN ISO 17828:2025, pri kateri se meri masa znane prostornine peletov v standardizirani posodi brez dodatnega zgoščevanja. Rezultat je izražen kot razmerje med maso in prostornino nasutega materiala. Merilna negotovost metode je povezana z natančnostjo tehtanja, prostornine merilne posode ter načinom nasutja materiala, zato so bile meritve izvedene v več ponovitvah, rezultati pa izraženi kot povprečne vrednosti.

V naslednjem koraku so bili isti vzorci analizirani z laboratorijskim NIR spektrometrom Perten DA 7250 proizvajalca PerkinElmer, pri čemer so bile referenčne vrednosti, pridobljene s standardnimi metodami, uporabljene kot osnova za ovrednotenje NIR napovednih modelov. NIR temelji na interakciji bližnje infrardeče svetlobe z materialom, pri čemer pride do absorpcije elektromagnetnega valovanja v spektralnem območju med približno 780 in 2500 nm, v raziskovanem primeru med 950 in 1650 nm. NIR meritve so bile izvedene v refleksijskem načinu, pri katerem instrument vzorec osvetli z bližnjo infrardečo svetlobo, detektor pa zazna delež svetlobe, ki se od površine vzorca odbije nazaj. Posamezna meritev je trajala le nekaj sekund, med merjenjem pa se je merilna posodica vrtela. Za vsak vzorec je bilo zajetih več zaporednih spektrov z namenom zmanjšanja vpliva naključnega šuma in izboljšanja ponovljivosti meritev. Napovedi posameznih parametrov so bile pridobljene z uporabo že razvitih kalibracijskih modelov proizvajalca, tako napovedi kot modeli temeljijo na spektrih celotnega spektralnega območja. V okviru te študije so



Slika 1. Hitra analiza peletov z NIR spektroskopijo v Laboratoriju za lesno biomaso, Gozdarski inštitut Slovenije (foto: D. Stare).

Figure 1. Rapid analysis of pellets with NIR spectroscopy in the Laboratory for Wood Biomass, Slovenian Forestry Institute (photo: D. Stare).

bile uporabljene neposredne napovedi teh modelov, medtem ko surovi spektralni podatki niso bili dodatno obdelovani ali analizirani. Ovrednotenje je bilo usmerjeno v presojo napovedne uspešnosti modelov na podlagi primerjave z referenčnimi laboratorijskimi vrednostmi, vključno z analizo sistematičnega odmika in naklona.

2.2 PRIPRAVA IN OBDELAVA PODATKOV

2.2 DATA PROCESSING AND ANALYSES

Za oceno napovedne sposobnosti NIR modelov so bile uporabljene absolutne razlike med laboratorijskimi referenčnimi vrednostmi in NIR napovedmi, izražene v izvornih merskih enotah (odstotne točke ali kg/m^3). Čeprav so nekateri parametri izraženi v odstotkih, odstopanja niso bila izražena kot relativni delež procentnih vrednosti, saj tak pristop lahko povzroči matematično povečanje napake pri nizkih absolutnih vrednostih. Namesto tega je bila za oceno skladnosti uporabljena:

- standardna napaka napovedi (standard error of prediction, SEP): ocena negotovosti meritve v NIR v primerjavi z laboratorijsko referenčno vrednostjo;
- koeficient determinacije (R^2);

- analiza sistematičnega odmika (bias): sistematična razlika med laboratorijskimi referenčnimi vrednostmi in NIR vrednostmi;
- analiza naklona regresijske premice (slope): naklon med rezultati NIR in laboratorijskimi referenčnimi vrednostmi;
- največja absolutna razlika.

Izražanje napake v odstotnih točkah omogoča realno in neposredno primerjavo med metodama ter odraža dejansko merilno negotovost brez vpliva relativnega skaliranja.

3 REZULTATI

3 RESULTS

Za analize, opravljene na podlagi metod po SIS EN ISO standardih, so v preglednici 1 za vsak vzorec prikazane povprečne vrednosti štirih ponovitev, napovedane vrednosti po NIR metodi pa so prikazane za vse 4 ponovitve analiz za posamezen vzorec.

Za oceno ujemanja med napovedanimi in izmerjenimi vrednostmi smo analizirali skladnost rezultatov obeh metod z uporabo statističnih kazalnikov (SEP, R^2 , bias, slope in največja absolutna razlika). Rezultati primerjav po posameznem parametru (vsebnost vlage, mehanska obstojnost, delež pepela in gostota nasutja) so predstavljeni v preglednici 2.

3.1 NAPOVED VSEBNOSTI PEPELA

3.1 ASH CONTENT PREDICTION

Napoved deleža pepela je pokazala dobro ujemanje z laboratorijskimi meritvami ($R^2 = 0,809$; SEP = 0,189 %) (slika 2, preglednica 1 in 2). Povprečna absolutna razlika med laboratorijskimi in NIR rezultati znaša približno 0,19 odstotne točke, največja razlika pa je bila manjša od 0,5 odstotne točke. Glede na razpon analiziranih vrednosti (0,17–1,13 %) je takšna negotovost primerna za hitro industrijsko kontrolo kakovosti.

Na desni strani grafa je mogoče opaziti posamezne točke, ki vizualno izstopajo in bi jih lahko interpretirali kot potencialni odstopajoči podatek. Vendar podrobnejši pregled pokaže, da vrednost ne odstopa zaradi merilne napake ali tehničnega artefakta, temveč predstavlja dejanski vzorec z višjo vsebnostjo pepela, ki razširja merilni razpon podatkov. Ker koeficient determinacije (R^2) temelji na po-

Preglednica 1. Rezultati analize skladno s SIST EN ISO standardi in po NIR spektroskopiji.

Table 1. Results of analysis in accordance with SIST EN ISO standards and by NIR spectroscopy.

Št. / Nr.	Vzorec / Sample ID	Vsebnost vlage (%) LAB / Lab Moisture (%)	Vsebnost vlage (%) NIR / Predicted Mo- isture (%)	Mehanska obstočnost (%) LAB / Lab Durabi- lity (%)	Mehanska obstočnost (%) NIR / Predicted Durability (%)	Delež pepela (%) LAB / Lab Ash (%)	Delež pe- pela (%) NIR / Predi- cted Ash (%)	Gostota nasutja (kg/m ³) LAB / Lab Densi- ty (kg/m ³)	Gostota nasutja (kg/m ³) NIR / Predicted Density (kg/m ³)
1	22d	6,63	7,13	98,55	99,22	0,55	0,47	665,81	675,13
2	22c	6,63	7,34	98,55	99,34	0,55	0,44	665,81	677,30
3	22b	6,63	7,18	98,55	99,16	0,55	0,41	665,81	672,93
4	22a	6,63	7,30	98,55	99,33	0,55	0,44	665,81	673,20
5	16d	7,53	7,87	98,54	99,01	0,34	0,30	646,90	679,82
6	16c	7,53	7,94	98,54	98,96	0,34	0,26	646,90	677,81
7	16b	7,53	8,01	98,54	98,95	0,34	0,26	646,90	679,90
8	16a	7,53	8,02	98,54	99,01	0,34	0,26	646,90	681,39
9	15d	9,28	8,91	98,32	99,52	0,49	0,33	634,27	664,72
10	15c	9,28	8,87	98,32	99,54	0,49	0,36	634,27	669,76
11	15b	9,29	9,10	98,32	99,76	0,49	0,31	634,27	663,21
12	15a	9,28	8,94	98,32	99,64	0,49	0,32	634,27	668,61
13	11d	8,02	7,53	98,83	98,54	0,50	0,51	656,21	656,56
14	11c	8,02	7,38	98,83	98,45	0,50	0,46	656,21	656,56
15	11b	8,02	7,45	98,83	98,45	0,50	0,45	656,21	655,73
16	11a	8,02	7,45	98,83	98,38	0,50	0,44	656,21	651,11
17	10d	6,10	6,24	98,47	98,56	0,98	0,75	623,25	633,40
18	10c	6,10	6,32	98,47	98,40	0,98	0,74	623,25	629,74
19	10b	6,10	6,24	98,47	98,21	0,98	0,75	623,25	632,38
20	10a	6,10	6,30	98,47	98,20	0,98	0,76	623,25	632,38
21	09d	7,37	7,40	98,57	98,49	0,67	0,40	702,47	672,20
22	09c	7,37	7,44	98,57	98,21	0,67	0,39	702,47	663,87
23	09b	7,37	7,44	98,57	98,45	0,67	0,40	702,47	667,26
24	09a	7,37	7,35	98,57	98,31	0,67	0,41	702,47	667,06
25	08d	7,37	7,74	98,88	97,87	0,34	0,28	656,76	662,22
26	08c	7,37	7,75	98,89	97,94	0,34	0,31	656,76	657,66
27	08b	7,37	7,66	98,89	98,15	0,34	0,30	656,76	668,55
28	08a	7,37	7,68	98,89	97,93	0,34	0,28	656,76	665,06
29	07d	6,93	7,77	95,09	97,72	0,28	0,30	653,22	672,74
30	07c	6,93	7,71	95,09	97,92	0,28	0,31	653,22	673,24
31	07b	6,93	7,71	95,09	97,74	0,28	0,29	653,22	674,93
32	07a	6,93	7,61	95,09	97,73	0,28	0,28	653,22	676,14
33	06d	9,28	8,98	99,31	97,54	0,41	0,33	674,08	647,41
34	06c	9,28	8,90	99,31	97,64	0,41	0,30	674,08	649,42

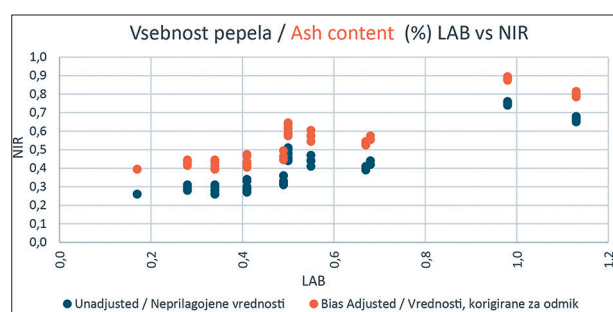
Št. / Nr.	Vzorec / Sample ID	Vsebnost vlage (%) LAB / Lab Moisture (%)	Vsebnost vlage (%) NIR / Predicted Mo- isture (%)	Mehanska obstojnost (%) LAB / Lab Durabi- lity (%)	Mehanska obstojnost (%) NIR / Predicted Durability (%)	Delež pepela (%) LAB / Lab Ash (%)	Delež pe- pela (%) NIR / Predi- cted Ash (%)	Gostota nasutja (kg/m ³) LAB / Lab Densi- ty (kg/m ³)	Gostota nasutja (kg/m ³) NIR / Predicted Density (kg/m ³)
35	06b	9,28	8,82	99,31	97,57	0,41	0,34	674,08	643,67
36	06a	9,28	8,87	99,31	97,55	0,41	0,33	674,08	645,15
37	05d	7,52	7,42	98,63	98,63	0,50	0,51	668,21	673,55
38	05c	7,52	7,57	98,63	98,59	0,50	0,50	668,21	677,95
39	05b	7,52	7,40	98,63	98,68	0,50	0,48	668,21	672,15
40	05a	7,52	7,46	98,63	98,62	0,50	0,48	668,21	672,74
41	04d	7,36	7,59	98,54	98,53	0,41	0,27	655,67	664,22
42	04c	7,36	7,52	98,54	98,41	0,41	0,28	655,67	666,02
43	04b	7,36	7,50	98,54	98,45	0,41	0,29	655,67	662,49
44	04a	7,36	7,53	98,54	98,29	0,41	0,29	655,67	660,25
45	03d	6,44	6,51	98,67	97,98	1,13	0,66	641,11	632,51
46	03c	6,44	6,42	98,67	97,89	1,13	0,65	641,11	630,65
47	03b	6,44	6,47	98,67	97,90	1,13	0,67	641,11	635,30
48	03a	6,44	6,40	98,67	97,95	1,13	0,68	641,11	632,05
49	02d	8,76	8,29	98,97	97,56	0,68	0,42	662,23	636,02
50	02c	8,76	8,13	98,97	97,64	0,68	0,44	662,23	638,22
51	02b	8,76	8,19	98,97	97,79	0,68	0,42	662,23	636,06
52	02a	8,76	8,12	98,97	97,78	0,68	0,42	662,23	631,29
53	01b	6,04	6,02	98,91	98,01	0,17	0,26	627,97	617,49
54	01a	6,04	5,96	98,91	97,90	0,17	0,26	627,97	614,80

Preglednica 2. Rezultati primerjave za vsebnost vlage, mehansko obstojnost, delež pepela in gostoto nasutja.
Table 2. Comparison of the results for moisture content, mechanical durability, ash content and bulk density.

Spremenljivka / Variable	Št. / Nr.	R ² / R ²	Standardna napa- ka napovedi / SEP –standard error of prediction	Sistematični odmik / Bias	Analiza sistematič- nega odmika / T-bias	Na- klon / Slope	Analiza naklona re- gresijske premice / T-slope
Vsebnost vlage / Moisture content	54	0,847	0,411	-0,044	-0,791	1,151	-2,227
Mehanska obstoj- nost / Mechanical dura- bility	54	0,619	0,856	0,282	2,440	-0,339	34,890**
Delež pepela / Ash content	54	0,809	0,189	0,134	7,243*	1,546	-5,240**
Gostota nasutja / Bulk density	54	0,153	20,672	-1,394	-0,492	0,418	4,274**

* statistično značilen sistematični odmik / data is biased;

** naklon se statistično značilno razlikuje / data is sloped



Slika 2. Primerjave vsebnosti pepela (%) v vzorcih peletov, izmerjene z NIR in laboratorijskimi (LAB) metodami. Neprilagojene vrednosti: napovedi NIR metode brez korekcije; vrednosti, korigirane za odmik: korigirane NIR napovedi.

Figure 2. Comparison of ash content (%) in pellet samples measured by NIR and laboratory (LAB) methods. Unadjusted: NIR method predictions without correction; Bias Adjusted: corrected NIR predictions.

jasnjeni varianci znotraj celotnega razpona meritev, ima širši razpon podatkov pomembno vlogo pri realni oceni napovedne sposobnosti modela. Odstranitev te točke bi umetno zožila variabilnost vzorca ter lahko vplivala na oceno korelacije in robustnosti modela. Zato je bila vključena v analizo, saj predstavlja legitimno meritev znotraj preučevanega območja in prispeva k bolj realistični oceni delovanja modela v širšem razponu vrednosti.

3.2 NAPOVED VSEBNOSTI VLAŽE

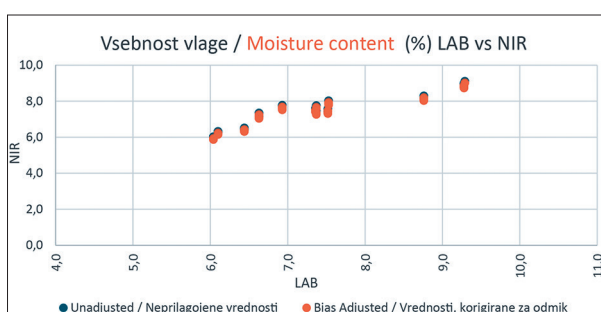
3.2 MOISTURE CONTENT PREDICTION

Napoved vsebnosti vlage je pokazala najboljšo napovedno sposobnost med vsemi analiziranimi parametri ($R^2 = 0,847$; $SEP = 0,411$ %) (slika 3, preglednica 1 in 2). Povprečna absolutna razlika znaša približno 0,4 odstotne točke, kar glede na razpon meritev (6,0–9,3 %) predstavlja nizko merilno negotovost in potrjuje primernost metode za rutinsko uporabo v proizvodnji.

3.3 NAPOVED MEHANSKE OBSTOJNOSTI

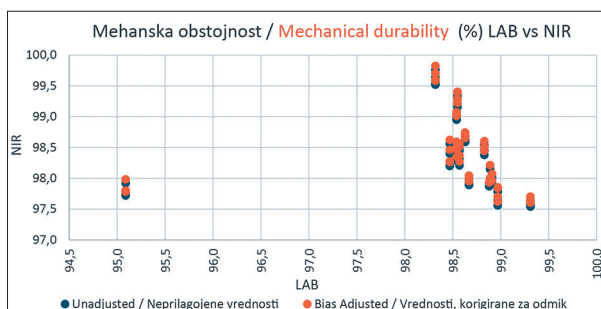
3.3 MECHANICAL DURABILITY PREDICTION

Napoved mehanske obstojnosti v osnovni analizi ni pokazala ustrezne korelacije z laboratorijskimi rezultati ($R^2 = 0,007$; $SEP = 1,102$ %) (slika 4). Povprečna absolutna razlika znaša približno 1,1 odstotne točke, največja razlika pa približno 2,6 odstotne točke. Čeprav absolutne razlike niso izra-



Slika 3. Primerjava vsebnosti vlage (%) v vzorcih peletov, izmerjene z NIR in laboratorijskimi (LAB) metodami. Neprilagojene vrednosti: napovedi NIR metode brez korekcije; Vrednosti, korigirane za odmik: korigirane NIR napovedi.

Figure 3. Comparison of moisture content (%) in pellet samples measured by NIR and laboratory (LAB) methods. Unadjusted: NIR method predictions without correction; Bias Adjusted: corrected NIR predictions.

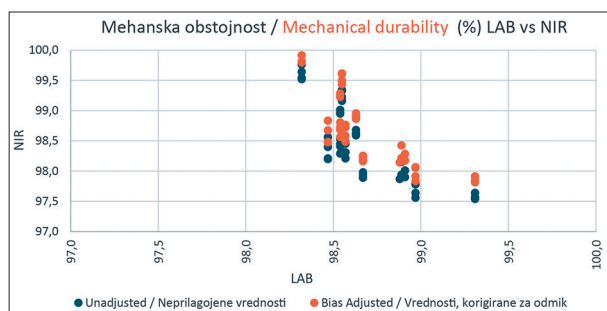


Slika 4. Primerjava mehanske obstojnosti (%) v vzorcih peletov, izmerjene z NIR in laboratorijskimi (LAB) metodami. Neprilagojene vrednosti: napovedi NIR metode brez korekcije; Vrednosti, korigirane za odmik: korigirane NIR napovedi.

Figure 4. Comparison of mechanical durability (%) in pellet samples measured by NIR and laboratory (LAB) methods. Unadjusted: NIR method predictions without correction; Bias Adjusted: corrected NIR predictions.

zito velike, nizka korelacija na prvi pogled kaže na slabo napovedno sposobnost modela za mehansko obstojnost. Pri podrobnejšem pregledu grafa je na levi strani slike opaziti točke, ki izrazito odstopajo od ostalih meritev in ima nesorazmeren vpliv na regresijsko analizo.

Nadaljnja analiza tega vzorca pokaže, da gre za odstopajočo vrednost (outlier), ki bistveno povečuje razpršenost podatkov in s tem zmanjšuje



Slika 5. Primerjava mehanske obstojnosti (%) vzorcev peletov, izmerjene z NIR in laboratorijskimi (LAB) metodami, po izključitvi odstopajočih točk. Neprilagojene vrednosti: napovedi NIR metode brez korekcije; Vrednosti, korigirane za odklik: korigirane NIR napovedi.

Figure 5. Comparison of mechanical durability (%) of pellet samples measured by NIR and laboratory (LAB) methods, after excluding the outliers. Unadjusted: NIR method predictions without correction; Bias Adjusted: corrected NIR predictions.

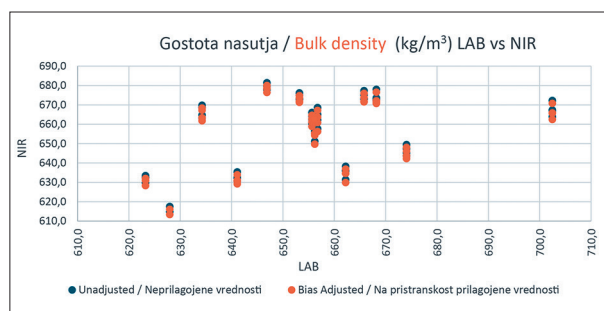
koeficient determinacije. Ker odstopanje ni reprezentativno za splošni trend med laboratorijskimi in NIR meritvami, je bila odstopajoča točka izključena. Po izključitvi odstopajoče točke se napovedna sposobnost modela izrazito izboljša ($R^2 = 0,619$; $SEP = 0,856$ %), kar kaže na zmerno korelacijo med metodama (slika 5, preglednica 1 in 2). Povprečna absolutna napaka se hkrati zmanjša, kar potrjuje, da so imeli odstopajoči vzorci nesorazmeren vpliv na statistične kazalnike.

Takšen pristop je skladen s standardno statistično prakso, kjer se analiza izvede tako z vključenimi kot izključenimi odstopajočimi vrednostmi, pri čemer je končna interpretacija podana ob upoštevanju njihovega vpliva na robustnost modela.

3.4 NAPOVED GOSTOTE NASUTJA

3.4 BULK DENSITY PREDICTION

Napoved gostote nasutja je pokazala omejeno napovedno sposobnost ($R^2 = 0,153$; $SEP = 20,672$ kg/m^3) (slika 6, preglednica 1 in 2). Povprečna absolutna razlika znaša približno 21 kg/m^3 , kar predstavlja približno 3 % razpona merjenih vrednosti. Rezultati kažejo na omejeno uporabnost NIR metode za napoved tega makroskopskega fizikalnega parametra.



Slika 6. Primerjava gostote nasutja (kg/m^3) vzorcev peletov, izmerjene z NIR in laboratorijskimi (LAB) metodami. Neprilagojene vrednosti: napovedi NIR metode brez korekcije; Vrednosti, korigirane za odklik: korigirane NIR napovedi.

Figure 6. Comparison of bulk density (kg/m^3) of pellet samples measured by NIR and laboratory (LAB) methods. Unadjusted: NIR method predictions without correction; Bias Adjusted: corrected NIR predictions.

4 RAZPRAVA

4 DISCUSSION

Kakovost lesnih peletov je neposredno povezana s skladnostjo s standardi in zahtevami trga, saj vpliva na certificiranje (npr. Enplus, S4Q), tržno vrednost proizvoda, zanesljivost dobave in zadovoljstvo uporabnikov. Stabilna in preverjena kakovost je ključna za učinkovito delovanje celotne dobavne verige biomase. Nepravilna ocena parametrov kakovosti biomase lahko vodi do slabšega izgorevanja in povečanja emisij, slabšega delovanja kurilnih naprav ter zmanjšanja energetske učinkovitosti, kar vpliva tako na okoljske kot tudi ekonomske vidike rabe biomase (Scott et al., 2025).

Primerjava rezultatov metode NIR, kot hitre analize metode za določanje izbranih parametrov kakovosti lesnih goriv, v primerjavi z laboratorijskimi referenčnimi metodami po standardih SIST EN ISO, temelji na oceni ujemanja napovedanih in izmerjenih vrednosti ter na analizi merilne negotovosti. Tak pristop omogoča presojo, ali NIR spektroskopija lahko služi kot zanesljivo orodje za hiter nadzor kakovosti lesnih peletov. Klasične laboratorijske metode so namreč časovno zahtevne, medtem ko NIR omogoča hitro in stroškovno učinkovito analizo z minimalno pripravo vzorca (Mancini et al., 2020; Ahmed et al., 2025). Izražanje napake v absolutnih merskih enotah (odstotne točke oziroma kg/m^3) pa omogoča objektivno primerjavo med metodama

ter preprečuje matematično povečanje odstopanj, ki bi lahko nastalo pri uporabi relativnih izrazov pri nizkih absolutnih vrednostih.

Rezultati potrjujejo, da je napovedna sposobnost NIR spektroskopije izrazito odvisna od narave analiziranega parametra, kar so raziskovali že v preteklosti (Gillespie et al., 2015; Sundaram et al., 2015; Pitak et al., 2021; Ahmed et al., 2025). NIR spektroskopija namreč temelji na zaznavi vibracijskih prehodov kemijskih vezi, zato so parametri, ki so odvisni od molekularne strukture materiala, praviloma bolj napovedljivi. Vsebnost vlage in delež pepela sta neposredno povezana s kemijsko sestavo biomase. V primeru teh dveh parametrov tudi v naši raziskavi dosežene vrednosti SEP potrjujejo, da je merilna negotovost v okviru, ki je sprejemljiv za industrijski nadzor kakovosti. Nasprotno pa sta mehanska obstojnost in gostota nasutja predvsem strukturna parametra, ki nista neposredno odvisna od kemijske sestave materiala, temveč predvsem od fizikalne strukture in procesnih (tehnoloških) pogojev, kot so tlak in temperatura med procesom peletiranja, geometrije peletov, stopnje zlepljenosti delcev ter načina nasutja in ravnanja s peleti med transportom in skladiščenjem. Ker NIR metoda temelji na interakciji bližnje infrardeče svetlobe s kemijsko sestavo materiala in ne neposredno z mehansko strukturo, je omejena napovedna sposobnost za tovrstne parametre pričakovana. Čeprav nekatere raziskave kažejo, da se NIR spektroskopija v kombinaciji z metodami strojnega učenja lahko uporablja za napoved gostote ali mehanske trdnosti peletov, so takšni modeli običajno manj robustni in močno odvisni od kalibracijskih podatkov (Pitak et al., 2022). Z vidika industrijske prakse je zato NIR spektroskopija primerna predvsem za hitro in nedestruktivno napoved kemijsko pogojenih parametrov (vsebnost vlage in delež pepela), medtem ko standardne laboratorijske metode ostajajo nujne za preverjanje mehanskih in strukturnih lastnosti.

Pri interpretaciji rezultatov je treba upoštevati, da tudi referenčne laboratorijske metode po SIST EN ISO standardih vsebujejo lastno merilno negotovost. Vsaka analitska metoda ima določeno ponovljivost (ponovljene meritve istega vzorca) in reproducibilnost (različni operaterji, dnevi, laboratoriji), ki prispevata k skupni negotovosti rezultata (SIST ISO 5725-1:2024). Standardna napaka napovedi (SEP) tako ne predstavlja izključno napake

NIR metode, temveč vključuje kombiniran vpliv negotovosti obeh metod, laboratorijske referenčne in napovedne. V primerih, kjer je SEP primerljiv z znano ponovljivostjo referenčne metode, razlike med metodama delno odražajo tudi naravno variabilnost laboratorijske analize. Zato je treba napovedno sposobnost NIR modelov presojati v kontekstu merilne negotovosti referenčne metode in ne zgolj kot odstopanje od absolutne referenčne vrednosti. Celotna opazovana napaka med laboratorijskimi in NIR meritvami je rezultat kombinirane negotovosti obeh metod, ki se lahko konceptualno izrazi kot vsota varianc referenčne metode in napovednega modela (Næs et al., 2002).

Za nadaljnje izboljšanje napovedne sposobnosti NIR modelov bi bilo smiselno razširiti kalibracijski nabor z večjim številom vzorcev ter s tem povečati variabilnost obravnavanih parametrov. Širši razpon referenčnih vrednosti namreč pogosto prispeva k bolj robustnim in stabilnim kemometričnim modelom. Poleg tega bi bilo smiselno ovrednotiti vpliv priprave vzorcev na natančnost napovedi. Različni načini priprave, vključno z večkratnim ponovnim nasutjem vzorca, lahko vplivajo na optične lastnosti merjenega materiala in posledično na spektralne odzive. Sistematična preučitev teh dejavnikov bi lahko prispevala k izboljšanju ponovljivosti meritev in povečanju natančnosti NIR napovedi.

5 ZAKLJUČEK

5 CONCLUSIONS

NIR spektroskopija predstavlja hitro dopolnilno analitsko metodo standardnim laboratorijskim postopkom, saj omogoča analizo brez zahtevne priprave vzorca ter potencialno tudi neposredno (in-line) spremljanje kakovosti v proizvodnih procesih in je predvsem uporabna za določanje parametrov kot sta vsebnost vlage in pepela, ki sta neposredno povezana s kemijsko sestavo biomase. Uporaba NIR spektroskopije zato omogoča sproti zaznavanje odstopanj in optimizacijo procesnih parametrov, kar je v industrijski proizvodnji pomembna prednost v primerjavi s **časovno** zahtevnejšimi laboratorijskimi metodami, pri katerih posamezne analize, zlasti določanje vsebnosti pepela in vlage, trajajo več ur. Hkrati uporaba ene večnamenske NIR naprave predstavlja tudi organizacijsko in ekonomsko prednost, saj lahko nadomesti potrebo po več

ločenih instrumentih za izvajanje različnih analiz. Vendar pa je zanesljivost NIR napovedi močno odvisna od kakovosti kalibracijskih modelov, ki morajo vključevati zadostno variabilnost surovin in tehnoloških pogojev. V nasprotnem primeru lahko pride do sistematičnih odstopanj, zlasti pri parametrih, ki niso neposredno povezani s kemijsko sestavo materiala, kot sta mehanska obstojnost in gostota nasutja. Z vidika praktične uporabe je NIR zato najprimernejši kot orodje za hitro oceno nekaterih parametrov, medtem ko laboratorijske metode ostajajo ključne za ugotavljanje skladnosti s standardi in certificiranje. Na podlagi ugotovitev raziskave lahko zaključimo, da NIR metoda ne more nadomestiti laboratorijskih referenčnih metod za parametre kakovosti lesnih peletov, temveč predstavlja učinkovito dopolnilno orodje, primerno predvsem za hitro napoved kemijsko-fizikalnih lastnosti.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENT

Izvedba raziskave je potekala v Laboratoriju za lesno biomaso na Gozdarskem inštitutu Slovenije, v okviru Programske skupine P4-0107 Gozdna biologija, ekologija in tehnologija in Infrastrukturne skupine GIS I0-0012, ki ju financira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije. Zahvaljujemo se podjetju Labtim za možnost testiranja naprave Perten DA 7250.

6 POVZETEK

6 SUMMARY

Over the past decade, the importance of wood pellet quality control has increased, as the use of wood biomass has grown both in Europe and globally, primarily as a renewable energy source. The aim of this research was to assess the usefulness of near-infrared (NIR) spectroscopy as a rapid analysis method for determining key pellet quality parameters and to compare them with reference laboratory methods in accordance with SIST EN ISO standards. The main objective was to determine whether appropriately calibrated NIR models can meet measurement uncertainty requirements and thus serve as an effective complement to classical methods, particularly for rapid control in the wood industry.

Fourteen samples (with four subsamples each) of wood pellets of quality class A1 were analysed. The samples were homogenised, milled if necessary, and prepared in accordance with the standards. Each sample was analysed using both reference laboratory methods and an NIR spectrometer, considering four key parameters: moisture content, ash content, bulk density, and mechanical durability. The indicators used to statistically evaluate the agreement between the two methods were standard error of prediction (SEP), coefficient of determination (R^2), systematic deviation (bias), regression slope, and maximum absolute difference. Errors were expressed in absolute units of measurement, allowing a more realistic comparison and preventing distortion of results at low values.

The results show that the predictive ability of the NIR method varies depending on the parameter. It achieved the best results in determining moisture content ($R^2 = 0.847$; SEP = 0.41%) and ash content ($R^2 = 0.809$; SEP = 0.19%), where deviations were small and comparable to the uncertainty of laboratory methods. This confirms that NIR is highly suitable for the rapid assessment of chemically determined properties. For mechanical durability, the initial correlation was very low ($R^2 = 0.007$; SEP = 1.10%)., but after determining and eliminating the outlier, it improved ($R^2 = 0.619$; SEP = 0.86%), indicating moderate utility of the method with appropriate data processing. In contrast, the prediction of bulk density was poorer ($R^2 = 0.153$; SEP = 20.67kg/m³), confirming the limitations of NIR for parameters that are primarily physical or structural.

The success of the NIR method is directly related to its basic principle, the detection of vibrations of chemical bonds. Therefore, parameters related to physico-chemical composition (e.g. moisture and ash content) are predicted significantly better than mechanical or structural parameters. The latter depend largely on the technological conditions of production, the microstructure of the material, and the handling of pellets during transport and storage, which exceeds the information range of NIR spectroscopy. In addition, it should be considered that reference laboratory methods also have their own measurement uncertainty, meaning that the observed deviations are not exclusively a consequence of the NIR method, but a combination of the uncertainties of both approaches. An

important aspect of interpreting the results is also the influence of the data range on statistical indicators, as a wider range of values generally allows a more realistic assessment of the predictive ability of the models. To improve predictive models, it would therefore be reasonable to expand the set of samples, include greater variability of raw materials and production conditions, and further optimize sample preparation procedures, as these can significantly affect spectral responses and, consequently, the accuracy of the prediction. The inclusion of advanced chemometric approaches or machine learning methods could also contribute to improving the robustness of the models, especially for more demanding parameters.

The study confirms that NIR spectroscopy is a fast and non-destructive tool for assessing the quality of wood pellets, especially for parameters related to chemical composition. However, due to its limitations in predicting mechanical and structural properties, it cannot replace standard laboratory methods, but rather effectively complements them. In industrial practice, it is therefore most suitable for real-time quality control and decision support, while laboratory analyses remain essential for certification and verification of compliance with standards.

DOSTOPNOST RAZISKOVALNIH PODATKOV DATA AVAILABILITY

Vsi raziskovalni podatki uporabljeni v tem članku so navedeni v preglednicah 1 in 2.

All research data used in this paper are presented in the Tables 1 and 2.

VIRI

REFERENCES

- Ahmed, M. W., Singh, V., & Kamruzzaman, M. (2025). Near-infrared spectroscopy as a green analytical tool for sustainable biomass characterization for biofuels and bioproducts: An overview. *Bioresource Technology*, 433, 132722. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.132722>
- Bioenergy Europe (2025). Pellets statistical report 2025. Bioenergy Europe. URL <https://bioenergyeurope.org/wp-content/uploads/2026/02/Booklet-Single-Page-Website.pdf> (2.2.2026)
- Celovit nacionalni energetska in podnebni načrt Republike Slovenije (NEPN) (2020). Republika Slovenija. Ministrstvo za infrastrukturo.
- Direktiva (EU) 2018/2001 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 11. decembra 2018 o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov (prenovitev) (2018). Evropski parlament in Svet Evropske unije. Uradni list Evropske unije, L 328, 82–209.
- Direktiva (EU) 2023/2413 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 18. oktobra 2023 o spremembi Direktive (EU) 2018/2001, Uredbe (EU) 2018/1999 in Direktive 98/70/ES glede spodbujanja energije iz obnovljivih virov ter razveljavitvi Direktive Sveta (EU) 2015/652. Evropski parlament in Svet Evropske unije. Uradni list Evropske unije, L, 2023/2413.
- Evropska komisija (2019). Evropski zeleni dogovor. Sporočilo Komisije Evropskemu parlamentu, Evropskemu svetu, Svetu, Evropskemu ekonomsko-socialnemu odboru in Odboru regij (COM/2019/640 final).
- Feng, X., Yu, C., Shu, Z., Liu, X., Yan, W., Zheng, Q., Sheng, K., & He, Y. (2018). Rapid and non-destructive measurement of biofuel pellet quality indices based on two-dimensional near infrared spectroscopic imaging. *Fuel*, 228, 197–205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.04.149>
- Gillespie, G. D., Everard, C. D., & McDonnell, K. P. (2015). Prediction of biomass pellet quality indices using near infrared spectroscopy. *Energy*, 80, 582–588 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.014>
- Gillespie, G. D., Farrelly, D. J., Everard, C. D., & McDonnell, K. P. (2016). The use of near infrared hyperspectral imaging for the prediction of processing parameters associated with the pelleting of biomass feedstocks. *Fuel Processing Technology*, 152, 343–349. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.06.026>
- Lestander, T. A., Johnsson, B., & Grothage, M. (2009). NIR techniques create added values for the pellet and biofuel industry. *Bioresource Technology*, 100(4), 1589–1594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.08.001>
- Mancini, M., Mircoli, A., Potena, D., Diamantini, C., Duca, D., & Toscano, G. (2020). Prediction of pellet quality through machine learning techniques and near-infrared spectroscopy. *Computers & Industrial Engineering*, 147, 106566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106566>
- Mancini, M., Rinnan, Å., Pizzi, A., Mengarelli, C., Rossini, G., Duca, D., & Toscano, G. (2018). Near infrared spectroscopy for the discrimination between different residues of the wood processing industry in the pellet sector. *Fuel*, 217, 650–655. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.008>
- Mantanus, J., Ziémons, E., Rozet, E., Streel, B., Klinkenberg, R., Evrard, B., Rantanen, J., & Hubert, P. (2010). Building the quality into pellet manufacturing environment – Feasibility study and validation of an in-line quantitative near infrared (NIR) method. *Talanta*, 83, 2, 305–311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.09.009>
- Næs, T., Isaksson, T., Fearn, T., & Davies, T. (2002). A user-friendly guide to multivariate calibration and classification. NIR Publications.
- Pitak, L., Laloön, K., Wongpichet, S., Sirisomboon, P., & Posom, J. (2021). Machine learning-based prediction of selected parameters of commercial biomass pellets using line scan near in-

- frared-hyperspectral image. *Processes*, 9, 2, 316. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr9020316>
- Pitak, L., Saengprachatanarug, K., Laloan, K., & Posom, J. (2022). Predicting the true density of commercial biomass pellets using near-infrared hyperspectral imaging. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 266–275. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2022.11.004>
- Posom, J., Shrestha, A., Saechua, W., & Sirisomboon, P. (2016). Rapid non-destructive evaluation of moisture content and higher heating value of *Leucaena leucocephala* pellets using near infrared spectroscopy. *Energy*, 107, 464–472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.041>
- Scott, C., Desamsetty, T. M., & Rahmanian, N. (2025). Unlocking Power: Impact of physical and mechanical properties of biomass wood pellets on energy release and carbon emissions in power sector. *Waste and Biomass Valorization*, 16, 441–458. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-024-02669-z>
- Slovenski inštitut za standardizacijo (2021). SIST EN ISO 17225-1:2021. Trdna biogoriva – Specifikacije goriv in razredi – 1. del: Splošne zahteve.
- Slovenski inštitut za standardizacijo (2021). SIST EN ISO 17225-2:2021. Trdna biogoriva – Specifikacije goriv in razredi – 2. del: Razvrstitev lesnih peletov.
- Slovenski inštitut za standardizacijo (2023). SIST EN ISO 18122:2023 Trdna biogoriva – Določevanje vsebnosti pepela.
- Slovenski inštitut za standardizacijo (2024). SIST EN ISO 18134-2:2024 Trdna biogoriva – Določanje vlage – 2. del: Poenostavljena metoda.
- Slovenski inštitut za standardizacijo (2024). SIST ISO 5725-1:2024. Točnost (pravilnost in natančnost) merilnih metod in rezultatov – 1. del: Splošna načela in definicije.
- Slovenski inštitut za standardizacijo (2025). SIST EN ISO 17831-1:2025 Trdna biogoriva–Določanje mehanske odpornosti peletov in briketov–1. del: Peleti.
- Slovenski inštitut za standardizacijo (2025). SIST EN ISO 17828:2025 Trdna biogoriva–Določevanje prostorninske mase.
- Sundaram, J., Mani, S., Kandala, C. V. K., & Holser, R. A. (2015). Application of NIR reflectance spectroscopy on rapid determination of moisture content of wood pellets. *American Journal of Analytical Chemistry*, 6, 923–932. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajac.2015.612088>
- Ščap, Š., Dovečar, M., & Stare, D. (2025). Trg lesnih peletov v Sloveniji v letu 2024. *InfoGozd: skrbno z gozdom*, 6, 7, 4–10. DOI: <https://doi.org/10.20315/IG.2025.0032>
- Toscano, G., Maceratesi, V., Leoni, E., Stipa, P., Laudadio, E., & Sabbatini, S. (2022). FTIR spectroscopy for determination of the raw materials used in wood pellet production. *Fuel*, 313, 123017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.123017>
- Uredba (EU) 2021/1119 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 30. junija 2021 o vzpostavitvi okvira za doseganje podnebne nevtralnosti (Evropski podnebni zakon). (2021). Evropski parlament in Svet Evropske unije. Uradni list Evropske unije, L 243, 1–17.



STANJE IN PRILOŽNOSTI V SLOVENSKI LESNOPREDELOVALNI INDUSTRIJI S PERSPEKTIVE PODJETIJ

THE CURRENT STATE AND OPPORTUNITIES IN THE SLOVENIAN WOOD INDUSTRY FROM THE PERSPECTIVE OF COMPANIES

Tjaša Redek^{1*}, Eva Erjavec¹

UDK 674: 338.312

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 26.4.2026

Sprejeto / Accepted: 2.6.2026

Izvilleček / Abstract

Izvilleček: Prispevek analizira stanje, ključne razvojne izzive in priložnosti slovenske lesnopredelovalne industrije z vidika podjetij. Osrednji namen raziskave je preučiti razlike med uspešnejšimi in manj uspešnimi podjetji, zlasti glede digitalizacije, vlaganj v neotipljivi kapital, razvojnih načrtov za leto 2026 ter percepcije ovir v poslovnem okolju. Analiza temelji na anketnih podatkih, zbranih februarja in marca 2026 med podjetji iz dejavnosti C16 in C31. Rezultati kažejo, da uspešnejša podjetja izkazujejo večjo agilnost, višjo stopnjo digitalizacije ter več vlagajo v programsko opremo, usposabljanje, blagovne znamke, dizajn ter raziskave in razvoj. Manj uspešna podjetja so bolj pesimistična glede prihodnjih rezultatov in investicij. Kot glavne ovire podjetja izpostavljajo stroške dela, cene surovin in energije, birokracijo ter pomanjkanje ustrezne delovne sile.

Ključne besede: lesnopredelovalna industrija, uspešnost podjetij, digitalizacija, neotipljivi kapital, agilnost podjetij, investicije, poslovno okolje, Slovenija

Abstract: This paper analyses the current situation, key development challenges, and opportunities in the Slovenian wood-processing industry from the perspective of firms. The main objective of the study is to examine the differences between more and less successful firms, particularly with regard to digitalization, investment in intangible capital, development plans for 2026, and perceptions of obstacles in the business environment. The analysis is based on survey data collected in February and March 2026 among firms operating in industries C16 and C31. The results show that more successful firms demonstrate greater agility, a higher level of digitalization, and invest more in software, training, brands, design, and research and development. Less successful firms are more pessimistic about future performance and investment. Firms identify labour costs, raw material and energy prices, bureaucracy, and the shortage of adequately qualified labour as the main obstacles to their operations.

Keywords: wood-processing industry, firm performance, digitalization, intangible capital, firm agility, investment, business environment, Slovenia

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Industriji C16 (proizvodnja lesa ter izdelkov iz lesa in plute, razen pohištva) in C31 (proizvodnja pohištva) po podatkih SURS (2025) skupaj ustvarjata nekaj več kot 1 % celotne dodane vrednosti v slovenskem gospodarstvu. Kljub relativno skromnemu skupnemu prispevku imata obe panogi pomembno vlogo pri regionalnem razvoju, ohranjanju delovnih mest na podeželju ter delovanju domačih vredno-

stnih verig. Lesna industrija je tesno povezana z gozdarstvom, gradbeništvo in storitvenimi dejavnostmi, kar ji daje pomembno multiplikativno vlogo v gospodarstvu. Njena strateška pomembnost je bila izrečno prepoznana tudi s strani Gospodarske zbornice Slovenije v okviru industrijskega programa Made in Slovenia 2035, kjer je lesna veriga opredeljena kot eno ključnih področij za prehod v trajnostno, nizkoogljično in inovacijsko usmerjeno gospodarstvo (GZS, 2025).

¹ Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta, Kardeljeva ploščad 17, 1000 Ljubljana, Slovenija

* e-pošta: tjasa.redek@ef.uni-lj.si

Kljub razpoložljivim naravnim virom in razvojnim priložnostim se slovenska lesna industrija sooča z vrsto izzivov, med katerimi izstopajo relativno nizka produktivnost, omejena dodana vrednost ter strukturne omejitve, povezane z razdrobljenostjo podjetij, majhno povprečno velikostjo in omejenimi investicijskimi zmogljivostmi (Redek et al., 2025). Dodatne omejitve predstavljajo tudi pomanjkanje ustrezno usposobljenega kadra, šibkejša menedžerske kompetence ter nepopolna integracija digitalnih tehnologij v poslovne procese. V takšnem okolju postaja razumevanje dejavnikov uspešnosti podjetij ključno za oblikovanje učinkovitih razvojnih strategij, ki bi omogočile prehod panoge v segmente z višjo dodano vrednostjo ter izboljšanje njene dolgoročne konkurenčnosti.

Osrednji cilj prispevka je predstaviti trenutno stanje slovenske lesnopredelovalne industrije ter analizirati razlike med uspešnejšimi in manj uspešnimi podjetji. Poseben poudarek je namenjen preučevanju vloge digitalizacije, vlaganj v neotipljivi kapital ter organizacijskih značilnosti podjetij pri oblikovanju poslovne uspešnosti. Prispevek je namenjen poglobljenemu razumevanju ključnih dejavnikov, ki vplivajo na uspešnost podjetij v panogi, ter analizi razlik v njihovem pomenu med podjetji z različnimi razvojnimi značilnostmi.

Metodološko raziskava temelji na kvantitativni analizi anketnih podatkov, zbranih med podjetji iz dejavnosti C16 in C31 v Sloveniji. Analiza vključuje opisne statistike za predstavitev osnovnih značilnosti vzorca ter metode večrazsežnostne analize, kot sta analiza glavnih komponent (PCA) in razvrščanje v skupine (clustering). To je omogočilo identifikacijo vzorcev v podatkih ter razlik med skupinami podjetij glede na njihovo uspešnost, investicijsko vedenje in razvojne značilnosti. Takšna kombinacija metod daje celovitejši vpogled v heterogenost panoge in boljše razumevanje ključnih dejavnikov uspešnosti.

Prispevek vsebuje več poglavij. Uvodu sledi teoretično izhodišče, ki obravnava notranje in zunanje dejavnike uspešnosti podjetij, s posebnim poudarkom na značilnostih lesne industrije. V nadaljevanju je predstavljena metodologija raziskave, vključno z opisom vzorca, podatkov in uporabljenih analitičnih metod. Četrto poglavje se osredotoča na rezultate empirične analize, ki zajemajo pregled stanja v slovenski lesni industriji, analizo uspešnosti podjetij ter primerjavo med uspešnejšimi in

manj uspešnimi podjetji. Sledi razprava, v kateri so rezultati interpretirani v širšem teoretičnem in praktičnem kontekstu ter povezani z implikacijami za podjetniško prakso in oblikovanje javnih politik, ter sklep.

2 TEORETIČNO OZADJE: DEJAVNIKI USPEŠNOSTI (SLOVENSKE LESNE) INDUSTRIJE IN PREGLED STANJA

2 THEORETICAL BACKGROUND: FACTORS INFLUENCING THE SUCCESS OF THE (SLOVENIAN WOOD) INDUSTRY AND AN OVERVIEW OF THE CURRENT SITUATION

Na uspešnost podjetij v lesni industriji vpliva širok nabor notranjih in zunanjih dejavnikov, ki določajo produktivnost, konkurenčnost ter razvojni potencial podjetij. Ti dejavniki zajemajo tako opredmetena sredstva, kot so stroji, proizvodna oprema in infrastruktura, kot tudi neotipljivi kapital, vključno z organizacijskimi, kadrovskimi in strateškimi značilnostmi podjetij. Sodobna literatura poudarja, da dolgoročna uspešnost podjetij izhaja predvsem iz komplementarne uporabe virov ter učinkovitega prilagajanja spremembam v okolju (Brynjolfsson et al., 2002; Corrado et al., 2005; Thum-Thysen et al., 2019). V kontekstu slovenske lesne industrije, ki jo opredeljujejo manjša podjetja, omejen domači trg in naraščajoče zahteve po trajnostni proizvodnji, je razumevanje teh dejavnikov še posebej pomembno.

2.1 NOTRANJI DEJAVNIKI USPEŠNOSTI

2.1 INTERNAL PERFORMANCE FACTORS

Velikost podjetja pomembno vpliva na njegovo uspešnost, saj določa razpoložljivost virov, dostop do financiranja in sposobnost izkoriščanja ekonomije obsega. Večja podjetja imajo praviloma boljši dostop do kapitala in lažje vlagajo v sodobno tehnologijo ter širitev proizvodnje (Ellis et al., 2011; Lane, 1991). Po drugi strani pa manjša podjetja, ki prevladujejo v slovenski lesni industriji, pogosto izkazujejo večjo prilagodljivost in hitrejše odzivanje na spremembe v povpraševanju, kar lahko predstavlja pomembno konkurenčno prednost. Fleksibilnost organizacije je pomemben dejavnik uspešnosti, saj omogoča hitro prilagajanje spremembam v tržnem okolju, tehnologiji in povpraševanju. Fleksibilna podjetja lahko učinkoviteje preusmerjajo vire,

prilagajajo proizvodnjo in uvajajo nove izdelke (EIB, 2019b; Parida et al., 2015). V lesni industriji je fleksibilnost ključna predvsem zaradi sezonskih nihanj povpraševanja in prilagajanja specifičnim zahtevam kupcev.

Človeški kapital predstavlja enega ključnih dejavnikov uspešnosti podjetij, saj neposredno vpliva na produktivnost, kakovost proizvodnje in inovativnost. Višja raven znanja, usposobljenosti in izkušenj zaposlenih omogoča učinkovitejšo uporabo tehnologij ter izboljšuje sposobnost reševanja kompleksnih problemov (Abramovitz & David, 2000; Durczak et al., 2022; Johannessen, 2018). V lesni industriji je pomembno tako ohranjanje tradicionalnih obrtnih znanj kot tudi razvoj novih tehničnih in digitalnih kompetenc, ki omogočajo prehod v bolj tehnološko intenzivno proizvodnjo. Tehnološka opremljenost kot ključna komponenta otipljivega kapitala neposredno vpliva na produktivnost in konkurenčnost podjetij. Investicije v sodobne stroje, avtomatizacijo in informacijsko-komunikacijsko tehnologijo omogočajo večjo natančnost, zmanjšanje odpadkov ter večjo fleksibilnost proizvodnje (Lobova et al., 2020; Sahlin & Angelis, 2019). V lesni industriji imajo pomembno vlogo tehnologije, kot so CNC obdelava, robotizirane proizvodne linije in digitalno podprto načrtovanje. Učinkovitost poslovnih procesov vpliva na stroškovno konkurenčnost in kakovost izdelkov. Optimizirani procesi zmanjšujejo izgube, izboljšujejo izrabo surovin in povečujejo produktivnost dela (Evangelista et al., 2014; Guo et al., 2023; Perano et al., 2023). V lesni industriji to vključuje učinkovito upravljanje surovine, logistike in proizvodnih tokov.

Finančna struktura določa sposobnost podjetja za financiranje tekočega poslovanja in razvojnih aktivnosti. Stabilna finančna struktura omogoča lažje izvajanje investicij v opremo, širitev kapacitet in izboljšanje tehnologije (European Investment Bank, 2011, 2016, 2018). Podjetja z omejenim dostopom do financiranja se pogosto soočajo z omejitvami pri modernizaciji proizvodnje. Strateška usmerjenost podjetja določa dolgoročne cilje in način njihovega doseganja. Podjetja, ki jasno opredelijo svojo konkurenčno strategijo, lažje usmerjajo vire in aktivnosti v ključna področja razvoja (Cassiman & Veugelers, 2006; Teece, 2010). V lesni industriji strategije pogosto vključujejo prehod na izdelke z

višjo dodano vrednostjo, trajnostno proizvodnjo in internacionalizacijo.

2.2 ZUNANJI DEJAVNIKI USPEŠNOSTI

2.2 EXTERNAL PERFORMANCE FACTORS

Velikost trga pomembno vpliva na možnosti rasti podjetij in donosnost njihovih dejavnosti. V manjših gospodarstvih omejen domači trg zmanjšuje obseg povpraševanja, zato je za podjetja ključnega pomena vstop na tuje trge (Çetintaş & Barişik, 2009; Coxhead & Li, 2008; Ghosh, 2011). V lesni industriji je izvoz pogosto glavni vir prihodkov, kar povečuje odvisnost od mednarodnih gospodarskih razmer. Sektorska struktura gospodarstva vpliva na konkurenčne pogoje in tehnološki razvoj panoge. Lesna industrija se vse bolj povezuje z drugimi sektorji, kot so oblikovanje, gradbeništvo in storitve, kar spreminja njeno strukturo in povečuje kompleksnost poslovanja (Redek et al., 2025; Ščap & Triplat, 2023; Toppinen et al., 2007). Ta preplet dejavnosti odpira nove priložnosti, hkrati pa zahteva večjo prilagodljivost podjetij.

Stabilnost poslovnega okolja, ki vključuje ekonomsko in politično stabilnost, vpliva na predvidljivost poslovanja in zmanjšuje tveganja. Stabilno okolje spodbuja podjetja k dolgoročnemu načrtovanju in razvoju, medtem ko negotovost vodi v previdnejše odločitve (Ermolovskaya et al., 2018; Serdarević et al., 2016; World Bank, 2020; World Economic Forum, 2025). V lesni industriji so stabilne razmere pomembne za dolgoročne dobavne verige in investicije v opremo. Makroekonomske razmere, kot so gospodarska rast, inflacija in stabilnost valut, oblikujejo splošno poslovno okolje. V obdobjih gospodarske rasti podjetja pogostejše širijo dejavnost, medtem ko v času recesije zmanjšujejo stroške in odlagajo razvojne projekte (Aizenman et al., 1993; Bonciani & Oh, 2023; Brusco & Glass, 2023). Lesna industrija je zaradi povezanosti z gradbeništvom in izvozom še posebej občutljiva na gospodarske cikle. Regulativni okvir določa pravila poslovanja in lahko deluje kot spodbuda ali ovira za razvoj podjetij. Učinkovita regulacija lahko izboljša delovanje trga in spodbuja konkurenco, medtem ko prekomerna regulacija povečuje administrativne stroške (Fiorini & Hoekman, 2020; Navarro Zapata et al., 2023; Wang et al., 2019). V lesni industriji imajo pomembno vlogo tudi okoljski standardi in certifikati.

Preglednica 1. Sinteza dejavnikov uspešnosti.

Table 1. Overview of performance determinants.

Notranji dejavniki / Internal factors	Zunanji dejavniki / External factors
Velikost podjetja / Company size	Velikost trga / Market size
Fleksibilnost / Flexibility	Sektorska struktura / Sectoral structure
Človeški kapital / Human capital	Stabilnost okolja / Environmental stability
Tehnološka opremljenost / Technological equipment	Makroekonomske razmere / Macroeconomic conditions
Poslovni procesi / Business processes	Regulativni okvir / Regulatory framework
Finančna struktura / Financial structure	
Strateška usmerjenost / Strategic orientation	

Uspešnost slovenske lesne industrije je odvisna od uravnoteženega upravljanja notranjih virov in prilagajanja zunanjim razmeram (preglednica 1). Ključno vlogo pri tem ima sposobnost podjetij, da učinkovito izkoriščajo razpoložljive proizvodne kapacitete, tehnološko opremo in človeške vire ter jih usklajujejo z dolgoročnimi razvojnimi cilji. Podjetja, ki uspešno povezujejo tehnološko posodobitev z razvojem kompetenc zaposlenih in izboljšanjem organizacijskih procesov, dosegajo višjo produktivnost in večjo dodano vrednost.

3 ANALIZA RAZLIK MED USPEŠNIMI IN MANJ USPEŠNIMI PODJETJI V LESNI DEJAVNOSTI

3 ANALYSIS OF DIFFERENCES BETWEEN SUCCESSFUL AND LESS SUCCESSFUL COMPANIES IN THE WOOD SECTOR

3.1 METODOLOGIJA IN OPIS VZORCA

3.1 METHODOLOGY AND SAMPLE DESCRIPTION

Glavni cilj analize je preučiti razlike med bolj in manj uspešnimi podjetji v lesni dejavnosti v Sloveniji, predvsem na področju internacionalizacije, digitalizacije, vlaganja v neotipljivi kapital, pa tudi načrtov za prihodnost (2026) ter glede percepcije pomena ovir, ki izhajajo iz poslovnega okolja.

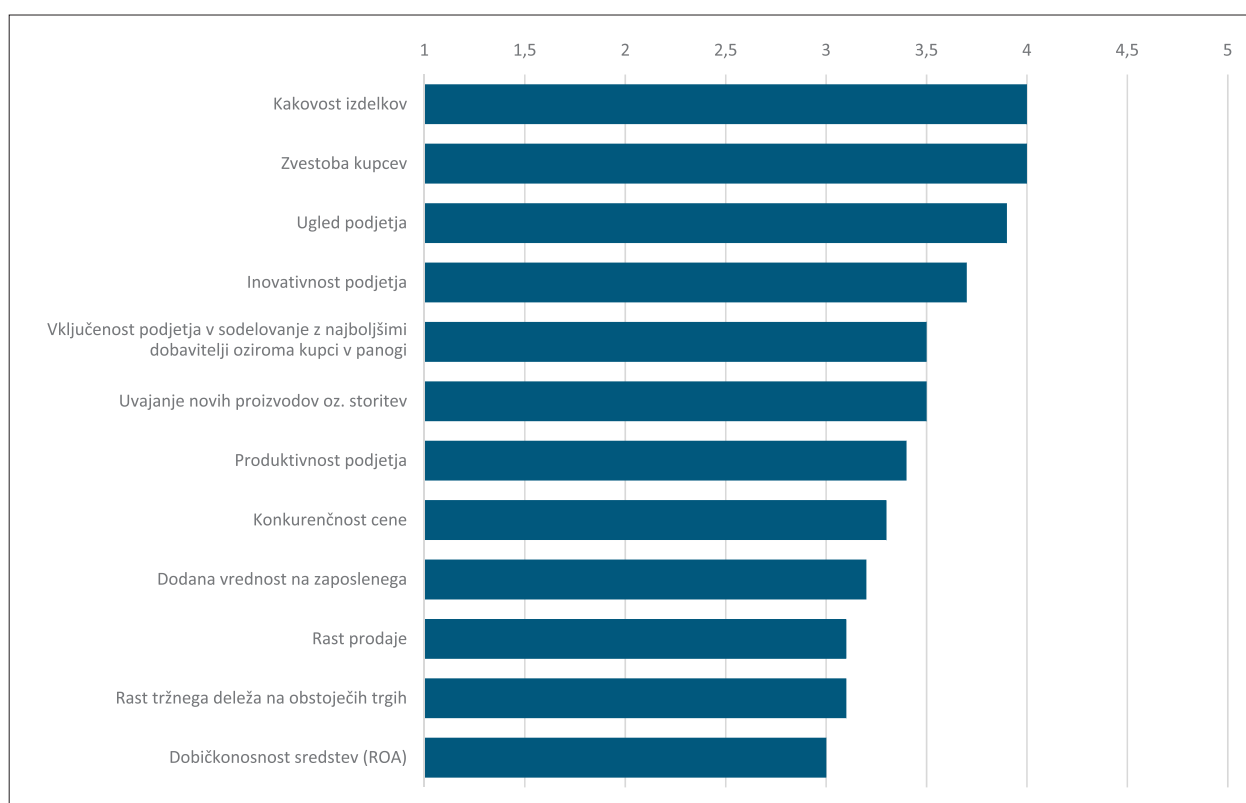
Analiza temelji na anketnih podatkih, ki so bili zbrani februarja in marca 2026. Vprašalnik je vseboval skupaj 19 vprašanj, večina vprašanj pa je imela več podvprašanj, kar je skupaj omogočalo analizo 142 spremenljivk. Vprašanja smo pripravili na podlagi več virov (Čater et al., 2019; Bavdaž & Redek, 2019; Caloghirou et al., 2022). Vprašalnik je po vsebinskih sklopih zajemal splošne podatke o podjetju (velikost, ciljne trge, panogo), uspešnost podjetja,

načrte za 2026 v primerjavi z letom prej, digitalizacijo, inovativnost, vlaganja v neotipljivi kapital ter percepcije ovir v poslovnem okolju. Vprašalnik je bil poslan 390 podjetjem v sektorjih C16 in C31 z vsaj 5 zaposlenimi. Odgovorilo je 97 podjetij, od tega je bilo 66 v celoti izpolnjenih.

V vzorcu so bila zajeta podjetja iz lesnopredelovalnih dejavnosti (C16 in C31). 35 odstotkov je bilo mikro podjetij z največ 9 zaposlenimi, 45 odstotkov malih podjetij z 10 do 49 zaposlenimi, ostala pa so bila srednja, ki so zaposlovala med 50 in 249 zaposlenih. Velikih podjetij v vzorcu ni bilo (nobeno od šestih velikih podjetij, ki so po podatkih iz 2024 v teh panogah, na vprašalnik ni odgovorilo). 29 odstotkov podjetij je ustvarilo med 30 in 45 tisoč evri dodane vrednosti na zaposlenega, petina med 45 in 60 tisoč evri na zaposlenega, šestina pa nad 60 tisoč evri na zaposlenega. Ostali (slaba tretjina) so ustvarili manj kot 30 tisoč evrov dodane vrednosti na zaposlenega.

Podjetja se v povprečju glede uspešnosti (na lestvici 1–5, 1=bistveno manj, 5=bistveno bolj uspešni) ocenjujejo relativno dobro. Podjetja svojo uspešnost v povprečju ocenjujejo razmeroma visoko, saj se večina ocen giblje med 3 in 4 na petstopenjski lestvici (slika 1). To nakazuje, da podjetja svojo konkurenčno pozicijo dojemajo kot stabilno in nadpovprečno, čeprav ne izrazito superiorno.

Najvišje ocenjena dejavnika sta kakovost izdelkov in zvestoba kupcev, ki dosegata najvišje povprečne vrednosti (okoli 4). To kaže, da podjetja svojo konkurenčno prednost prepoznavajo predvsem v kakovosti ponudbe ter dolgoročnih odnosih s kupci. Sledijo ugled podjetja, inovativnost podjetja ter vključenost v sodelovanje z najboljšimi dobavitelji



Slika 1. Samoocena uspešnosti podjetij v primerjavi s konkurenti.

Figure 1. Self-valuation of firm performance.

oziroma kupci v panogi, kar nakazuje pomen sodelovanja in inovacijskih aktivnosti za uspešnost.

Kazalniki, povezani z operativno učinkovitostjo, kot so uvajanje novih proizvodov ali storitev, produktivnost podjetja in konkurenčnost cen, dosegajo nekoliko nižje, vendar še vedno visoke ocene. To kaže na določene omejitve pri izboljševanju učinkovitosti in cenovne konkurenčnosti. Anketiranci so poročali, da se »ob uvajanju novih proizvodov produktivnost občutno zmanjša.«

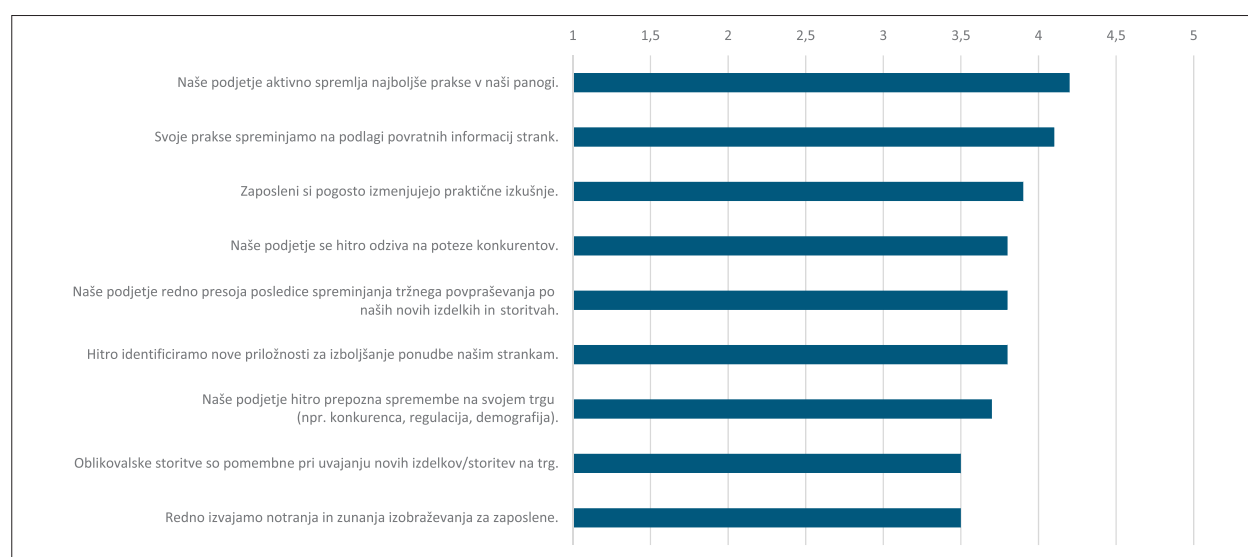
Med nižje ocenjenimi dejavniki so tudi dodana vrednost na zaposlenega, rast prodaje in rast tržnega deleža na obstoječih trgih, kar lahko odraža izzive pri širitvi poslovanja in povečevanju ekonomske uspešnosti. Najnižjo oceno dosega dobičkonosnost sredstev (ROA), kar nakazuje, da podjetja kljub relativno dobrim operativnim in tržnim kazalnikom zaznavajo omejitve pri doseganju donosnosti sredstev.

Kot najpomembnejše dejavnike uspešnosti so podjetja izpostavila predvsem operativne in tržno usmerjene vidike, pri čemer se kot ključni dejavnik pojavlja zniževanje proizvodnih stroškov. To odraža

močan pritisk na stroškovno učinkovitost v panogi, ki je izpostavljena mednarodni konkurenci in cenovni občutljivosti kupcev. Na drugem mestu je povečevanje produktivnosti dela, kar kaže na pomen učinkovite rabe delovne sile in optimizacije proizvodnih procesov.

Med pomembnejšimi dejavniki podjetja navajajo tudi hiter razvoj novih izdelkov ali storitev, kar poudarja potrebo po inovativnosti in prilagajanju tržnim trendom. Sledi zagotavljanje nižjih cen, ki dodatno potrjuje pomembnost cenovne konkurenčnosti kot strategije za ohranjanje ali povečanje tržnega deleža. Na petem mestu pa podjetja izpostavljajo razvoj strankam prilagojenih rešitev, kar nakazuje tudi na element diferenciacije in usmerjenosti k specifičnim potrebam kupcev. Skupaj ti dejavniki kažejo, da podjetja v lesni industriji kombinirajo strategije stroškovne učinkovitosti in prilagodljivosti trgu kot ključni osnovi za doseganje uspešnosti.

Rezultati kažejo, da so podjetja v povprečju relativno agilna (slika 2), strinjanje s trditvami na lestvici 1–5). To nakazuje, da podjetja razmeroma



Slika 2. Agilnost (povprečno strinjanje s trditvami, ki opisujejo agilnost podjetij).

Figure 2. Firm agility (average agreement).

dobro zaznavajo spremembe v okolju in se nanje tudi odzivajo, vendar še obstaja prostor za izboljšave, zlasti na področju sistematičnega razvoja organizacijskih kompetenc. Najvišje ocenjeni trditvi sta aktivno spremljanje najboljših praks v panogi ter prilagajanje praks na podlagi povratnih informacij strank, kar kaže na pomembno vlogo učenja iz okolja in tržne usmerjenosti. Relativno visoko je ocenjena tudi izmenjava praktičnih izkušenj med zaposlenimi, kar kaže na prisotnost notranjega prenosa znanja.

Podjetja se prav tako razmeroma učinkovito odzivajo na zunanje spremembe, kar potrjujejo visoke ocene pri trditvah o hitrem odzivanju na poteze konkurentov, prepoznavanju sprememb na trgu ter identifikaciji novih priložnosti za izboljšanje ponudbe. To nakazuje, da podjetja razvijajo določeno stopnjo tržne in operativne fleksibilnosti.

Nekoliko nižje, vendar še vedno pozitivne ocene, so zaznane pri dejavnikih, povezanih z bolj strukturiranim razvojem sposobnosti, kot so vloga oblikovalskih storitev pri uvajanju novih izdelkov ter redno izvajanje notranjih in zunanjih izobraževanj za zaposlene. Poleg tega anketiranci poudarjajo neskladje med izobraževalnim sistemom in potrebami industrije, zlasti na področju tehničnih in poklicnih znanj. To kaže na relativno šibkejšo institucionalizacijo učenja in razvoja kadrov, kar lahko dolgoročno omejuje sposobnost podjetij za trajno izboljševanje agilnosti. Ti izzivi se odražajo tudi v

kvalitativnih rezultatih ankete, kjer anketiranci izpostavljajo težave, kot so »počasno prilagajanje tržnim razmeram.«

Slika 3 prikazuje pomen vlaganj v t. i. mehke dejavnike rasti produktivnosti v slovenskih lesno-predelovalnih podjetjih (lestvica 1–5, zelo malo pomembne-zelo močno pomembne). Rezultati kažejo, da podjetja te dejavnike v povprečju ocenjujejo kot relativno pomembne, saj se večina ocen giblje med 3 in 4 na petstopenjski lestvici. To nakazuje zavedanje podjetij o pomenu organizacijskih vidikov razvoja in znanja v podjetjih, vendar hkrati tudi določeno zadržanost pri njihovem sistematičnem razvijanju. Najvišje je ocenjena pomembnost organizacijskih izboljšav in izboljšav poslovnih procesov, kar kaže na to, da podjetja prepoznavajo optimizacijo notranjega delovanja kot ključen dejavnik uspešnosti. Sledi usposabljanje in izobraževanje zaposlenih, kar potrjuje pomen razvoja človeškega kapitala. Relativno visoko podjetja ocenjujejo tudi krepitev blagovnih znamk in ugleda podjetja, kar nakazuje večjo usmerjenost k trgu in diferenciaciji.

Nekoliko nižje so ocenjene investicije v podatkovne baze in programske opreme, kar lahko kaže na še ne povsem izkoriščen potencial digitalizacije. Podobno velja za dizajn ter raziskave in razvoj, ki sicer ostajajo pomembni, vendar niso med najvišjimi prioritetami. Najnižjo oceno dosegajo nakupi patentov in licenc, kar nakazuje relativno nizko stop-

njo formaliziranega prenosa znanja in tehnologij iz zunanjega okolja.

Rezultati so skladni tudi s kvalitativnimi ugotovitvami ankete, kjer anketiranci opozarjajo na omejitve na področju upravljanja in organizacijskih kompetenc: »Veliko podjetij je zrastle iz garaže, lastniki imajo zelo osnovno znanje o vodenju podjetij, ekonomiki in trženju.« To dodatno potrjuje, da so izzivi na področju mehkih dejavnikov rasti povezani ne le z investicijami, temveč tudi z ravno menedžerskih in organizacijskih sposobnosti.

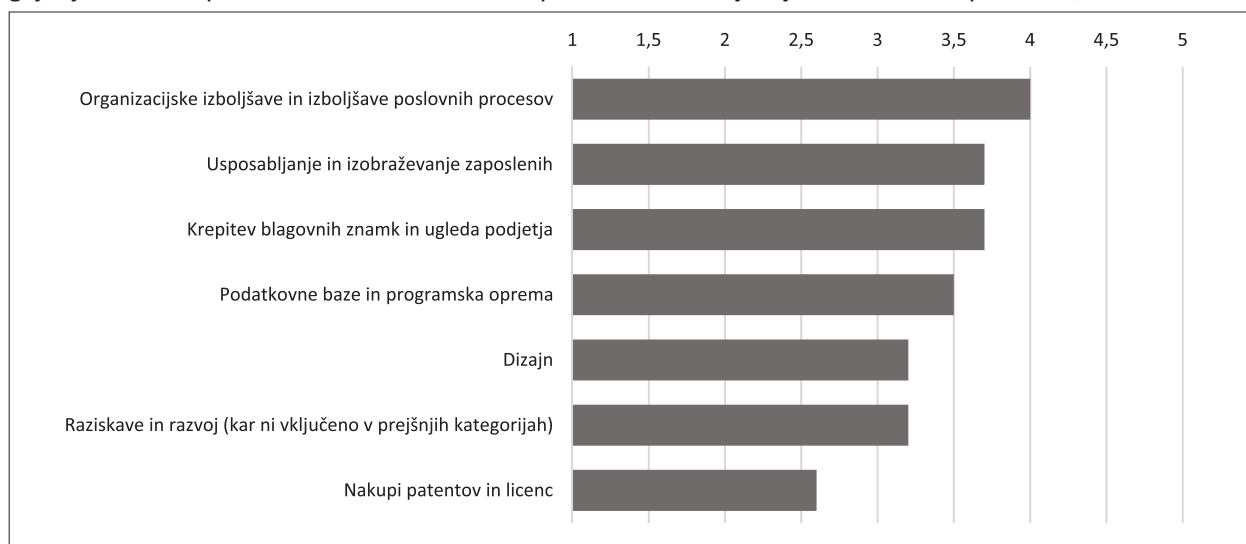
Skladni s prepoznavanjem pomena oziroma pomembnosti posameznih dejavnikov so tudi rezultati glede investicij v posamezne dejavnike. Ti jasno kažejo, da podjetja največ vlagajo v razvoj novih ali izboljšanih proizvodov ter proizvodnih procesov, kjer delež podjetij dosega približno 70–75 %. Visok je tudi delež vlaganj v storitvene inovacije, medtem ko so bistveno nižje zastopane organizacijske in predvsem marketinške inovacije, kjer deleži ostajajo okoli 40–50 %. Takšna struktura kaže na izrazito usmerjenost podjetij v tehnične in proizvodne vidike inoviranja, medtem ko so mehkejši, organizacijski in tržno usmerjeni vidiki razvoja zapostavljeni. To potrjujejo tudi kvalitativni rezultati ankete, kjer podjetja izpostavljajo notranje omejitve, kot so pomanjkanje vodstvenih in trženjskih znanj, šibka prepoznavnost blagovnih znamk ter počasno prilagajanje tržnim spremembam. Anketiranci opozar-

jajo tudi na organizacijske težave, kot so »toksična kultura in slaba komunikacija«.

Relativno nizka vlaganja v organizacijske in marketinške inovacije kažejo na podinvestiranost v ključne mehke dejavnike rasti, ki so pomembni za prehod v segmente z višjo dodano vrednostjo. Omejene vodstvene kompetence lahko dodatno zavirajo sposobnost podjetij za oblikovanje in izvajanje dolgoročnih strategij, optimizacijo procesov ter učinkovito uvajanje novih tehnologij.

Digitalna transformacija v slovenski lesni industriji predstavlja hkrati pomembno priložnost in izziv. Rezultati ankete na Sliki 4 kažejo, da je le manjši delež podjetij mogoče uvrstiti med visoko digitalizirana oziroma t. i. »digitalne prvake« (slika 4). Po drugi strani pa pomemben delež podjetij ostaja na začetnih ali vmesnih stopnjah digitalizacije. Kot prikazuje slika, je približno 14 % podjetij še vedno nedigitaliziranih, medtem ko jih več kot tretjina deluje na osnovni ravni uvajanja digitalnih rešitev. Največji delež podjetij (okoli 35–40 %) je delno digitaliziran, kar pomeni, da so posamezni procesi digitalno podprti, vendar še niso povezani v celovit digitalni sistem. Le približno četrтина podjetij dosega naprednejšo raven digitalizacije, medtem ko je delež digitalnih prvakov zelo majhen (okoli 3 %).

Pričakovani učinki digitalizacije so predvsem kratkoročni in operativni, kot so zniževanje stroškov in izboljšanje učinkovitosti procesov, medtem ko so



Slika 3. Vlaganje v mehke dejavnike rasti: Kako pomembne so za uspešnost vašega podjetja investicije v naslednje mehke dejavnike rasti produktivnosti?

Figure 3. Investing in soft growth factors: How important to your company's success are investments in the following soft factors for productivity growth?

dolgoročni strateški učinki, kot so razvoj novih poslovnih modelov ali trajna konkurenčna prednost, manj poudarjeni. Kljub temu podatki kažejo na pomembne razlike v uspešnosti med podjetji: bolj digitalno razvita podjetja dosegajo višjo rast prodaje, večji tržni delež, večjo inovativnost in višjo produktivnost, kar nakazuje na velik neizkoriščen potencial digitalizacije v panogi.

Razkorak med dejanskimi in potencialnimi koristmi digitalizacije kaže na omejitve v digitalni zrelosti in strateški usmerjenosti podjetij. Čeprav so številna podjetja začela z digitalno transformacijo, je manj takih, ki so digitalizacijo uspešno integrirala v svoje temeljne poslovne modele ali strategije ustvarjanja vrednosti. Posledično se digitalne tehnologije pogosto uporabljajo predvsem za optimizacijo obstoječih procesov, ne pa za njihovo temeljito preobrazbo.

Neenakomerna stopnja digitalne preobrazbe odraža razlike v zmogljivostih podjetij, razpoložljivih virih in dostopu do znanja. Manjša podjetja, ki prevladujejo v panogi, se pogosto soočajo s finančnimi omejitvami, pomanjkanjem specializiranih znanj in nižjo absorpcijsko sposobnostjo, kar otežuje naprednejšo digitalno integracijo. To prispeva

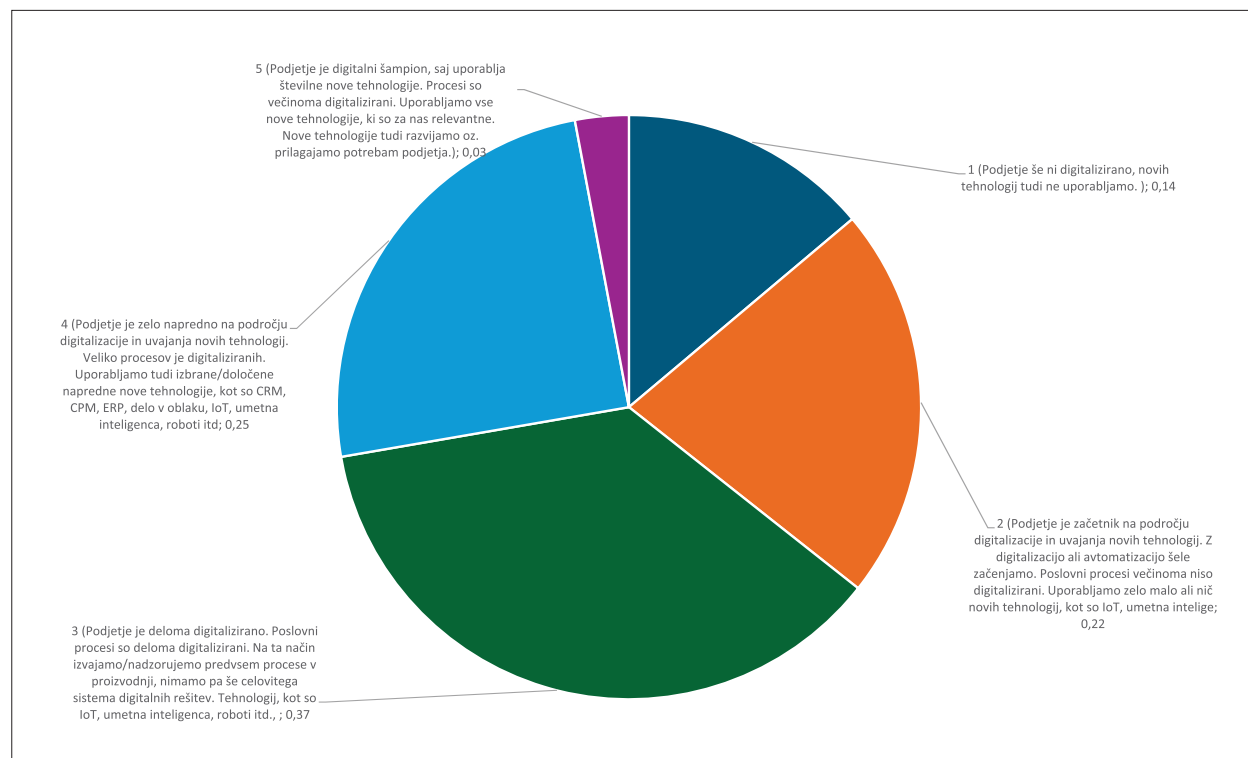
k vse večjemu razkoraku med digitalno naprednimi podjetji in tistimi, ki zaostajajo.

Pomembno je tudi, da digitalizacija deluje komplementarno z drugimi oblikami neotipljivega kapitala, kot so organizacijske prakse, znanje zaposlenih in vodstvene kompetence. Podjetja, ki so bolj digitalno razvita, praviloma dosegajo boljše rezultate na področju inovacij in širjenja na trgih. Vendar pa brez vzporednih vlaganj v človeški kapital in organizacijske spremembe celotni potencial digitalizacije ostaja neizkoriščen. To potrjujejo ugotovitve literature, da same tehnološke investicije brez ustreznih organizacijskih sprememb ne vodijo nujno do višje produktivnosti (Brynjolfsson & Hitt, 2000).

3.2 ANALIZA RAZLIK MED USPEŠNEJŠIMI IN MANJ USPEŠNIMI PODJETJI NA PODROČJU INVESTICIJ IN OBNAŠANJU PODJETJA

3.2 ANALYSIS OF DIFFERENCES BETWEEN MORE SUCCESSFUL AND LESS SUCCESSFUL COMPANIES IN THE AREAS OF INVESTMENT AND CORPORATE BEHAVIOUR

S pomočjo metode razvrščanja v skupine (angl. Clustering) smo podjetja razdelili v dve skupini: bolj in manj uspešna.



Slika 4. Stopnja digitalizacije slovenskih podjetij.

Figure 4. Digitalization.

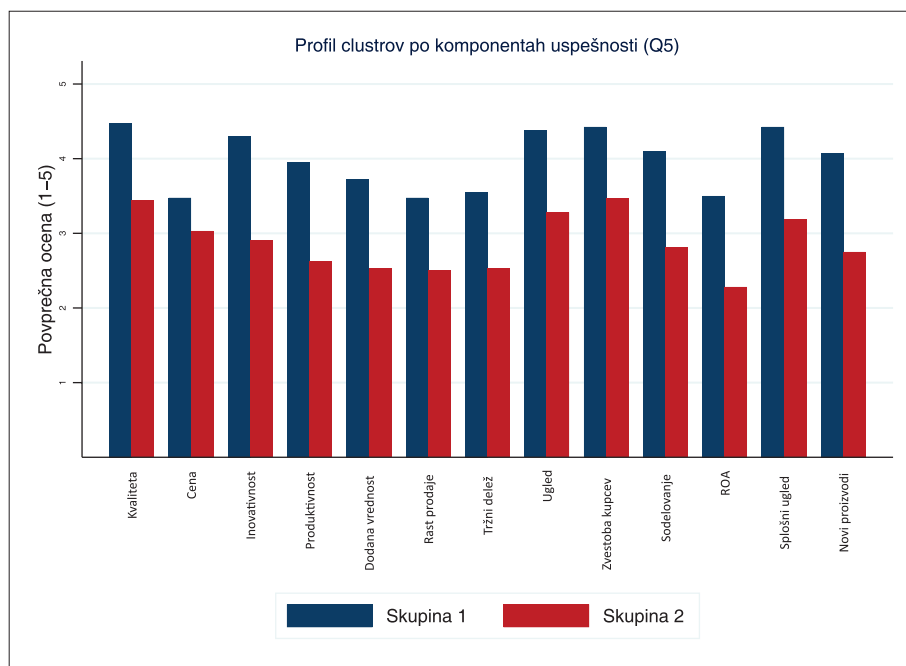
Pri izbiri metode razvrščanja smo se odločili za omenjeno kombinacijo PCA in K-means clusteringa, saj se je v primerjavi z ostalimi metodami (samo K-means, Ward, PAM (K-medoidov)). Calinski-Harabasz indeks je pri PCA + K-means znašal 68,57 v primerjavi z 41,53 pri navadnem K-means, kar kaže na bolj kompaktne in jasne ločene skupine. Visoka koreliranost spremenljivk Q5 (Cronbach $\alpha = 0,934$) pri razvrščanju na vseh 13 dimenzijah vnaša odvečnost informacij, ki jo PCA odpravlja s strnitvijo v tri neodvisne komponente (75,1 % pojasnjene variance). Hkrati se pri vzorcu 72 enot razmerje enot na dimenzijo izboljša s približno 5,5 na 24, kar poveča stabilnost rešitve. Ujemanje z ostalimi metodami (90–93 %) potrjuje robustnost rešitve, ki pripelje do dveh skupin.

Podjetja smo razdelili na podlagi vprašanja, v katerem smo podjetja prosili, da ocenijo svojo primerjalno uspešnost s konkurenti po 13 dimenzijah, in sicer glede kvalitete, cene, inovativnosti, produktivnosti, dodane vrednosti, rasti prodaje, tržnega deleža, ugleda med kupci, zvestobe kupcev, sodelovanja, dobičkonosnosti sredstev (ROA), splošnega ugleda podjetja ter uvajanja novih proizvodov. S pomočjo PCA smo najprej oblikovali 3 dimenzije, nato pa na podlagi teh razdelili podjetja v dve skupini: boljšo in slabšo.

V skupini 1, ki se je bolje ocenila, je bilo 40 podjetij, pri čemer je bila petina srednjih, polovi-

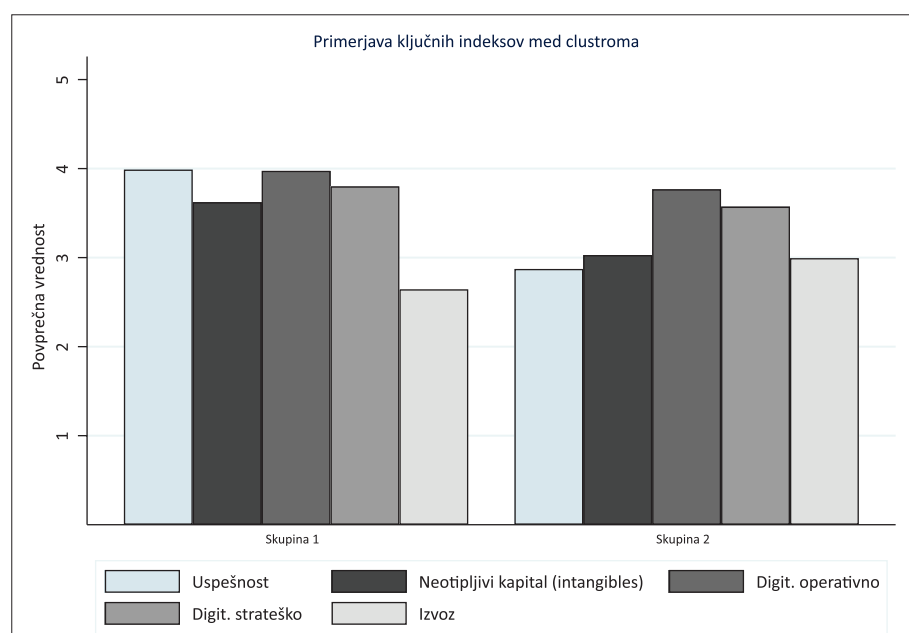
ca pa malih podjetij. V slabši skupini, ki je zajemala 32 podjetij, pa je bilo 44 % mikro podjetij, tretjina malih, ostala so bila srednja. Podjetja smo vprašali tudi, kakšno dodano vrednost na zaposlenega so ustvarili 2025. V slabši skupini sta dve tretjini podjetij poročali, da je bila ustvarjena dodana vrednost manj kot 45 tisoč evrov na zaposlenega, v boljši skupini je manj kot 45 tisoč evrov na zaposlenega ustvarila slaba polovica podjetij. Slika 5 prikazuje samooceno podjetij v primerjavi s konkurenti na Likertovi lestvici (1=bistveno manj, 3=enako 5=bistveno bolj uspešni). Ta samoocena je bila temelj razvrščanja v skupine. Vidimo lahko, da so razlike precejšnje v vseh dimenzijah in so tudi pri vseh dimenzijah visoko statistično značilne s stopnjo 0.000 (razen konkurenčnost cene, kjer je značilnost razlik pri 0.032).

Slika 6 povzema razlike med skupinama, ki jih bomo v nadaljevanju bolj natančno prikazali. Vsaka dimenzija je izračunana kot povprečje posamezne skupine vprašanj na 5-stopenjski Likertovi lestvici: Uspešnost je povprečje že omenjenih 13 samoocen poslovanja; Intangibles (neotipljivi kapital) je povprečje 7 postavk o pomenu neotipljivega kapitala za uspešnost podjetij (podatkovne baze, patenti, organizacijske izboljšave, usposabljanje, blagovne znamke, dizajn, R&D); spremenljivka "Digit. operativno" je povprečje 7 ocen kratkoročnih, operativnih koristi digitalizacije (znižanje stroškov, kakovost,



Slika 5. Primerjalna ocena uspešnosti podjetij v obeh skupinah (skupina 1 predstavlja bolj uspešna podjetja).

Figure 5. Comparative assessment of the performance of companies in both groups (group 1 represents better companies).



Slika 6. Primerjalna ocena uspešnosti po glavnih komponentah primerjave podjetij v obeh skupinah.
Figure 6. Comparative assessment of performance by key components of the comparison of companies in both groups.

sledljivost, zaloge, administracija, fleksibilnost, odzivnost); spremenljivka "Digit. strateško" je povprečje 6 ocen dolgoročnih, strateških učinkov tehnologije (novi poslovni modeli, rešitve za kupce, težko posnemljive prednosti, dodana vrednost); Izvoz je povprečje treh postavk o pomenu posameznih izvoznih trgov oz. izvozni usmerjenosti (trgi Zahodnega Balkana, EU, druge države).

Rezultati kažejo, da je skupina 1 (uspešnejša) dosegala višje vrednosti pri vseh indeksih razen izvoza (slika 6). Največja razlika je pri samooceni uspešnosti, sledi neotipljivi kapital, kjer uspešnejša podjetja znatno bolj vlagajo v znanje, blagovne znamke in razvoj. Pri digitalizaciji so razlike manjše, saj obe skupini operativne koristi ocenjujeta relativno visoko, a strateški učinki kažejo večji razkorak. Izvozna usmerjenost je edini indeks, kjer se skupini praktično ne razlikujeta, kar kaže, da izvozni fokus sam po sebi ne loči uspešnejših od manj uspešnih podjetij. V nadaljevanju bomo te razlike natančneje prikazali po posameznih dimenzijah.

Teorija in empirični podatki jasno kažejo, da je znanje oziroma mehki dejavniki rasti, ki obsegajo digitalizirane informacije, inovacijski kapital, kompetence, tiste, ki lahko prispevajo celo do 1/3 vse rasti produktivnosti (Corrado et al., 2019, 2022; Piekkola et al., 2025). Zaradi hitrih sprememb na trgu pa je zelo pomembna tudi agilnost podjetij (Audretsch & Belitski, 2021; Pereira et al., 2020; Redek et al., 2022). Podjetja smo zato vprašali, kako pomembne

so za uspešnost njihovega poslovanja investicije v dejavnike neotipljivega kapitala in kako se odzivajo na trg (preglednica 2). Uspešnost so podjetja ocenjevala po pomenu (1=sploh ni pomembno, 5=zelo je pomembno), ocenila pa so tudi strinjanje s trditvami o obnašanju (1=sploh se ne strinjam, 5=popolnoma se strinjam).

Uspešnejša podjetja se od manj uspešnih ločijo tako na področju agilnosti kot tudi naložb v neotipljivi kapital. Pri agilnosti poslovanja se skupini značilno razlikujeta pri vseh devetih postavkah. Uspešnejša podjetja bolj aktivno spremljajo najboljše prakse v panogi, hitreje prepoznava priložnosti na trgu in se hitreje odzivajo na poteze konkurentov. Prav tako pogosteje spodbujajo izmenjavo praktičnih izkušenj med zaposlenimi in vlagajo v izobraževanje.

Med investicijami v neotipljivi kapital (angl. intangibles) izstopa, da se skupini ne razlikujeta pri organizacijskih izboljšavah poslovnih procesov in pri nakupih patentov. Ti dve dimenziji sta očitno enako pomembni ne glede na uspešnost podjetja. Razlike se pojavljajo predvsem pri mehkejših, a strateško ključnih naložbah: programski opre, usposabljanju kadrov in že omenjeni krepitvi znamk, dizajna in R&D. Uspešnejša podjetja torej bistveno bolj prispevajo v gradnjo znanja, ugleda in razvojnih zmogljivosti. Neobstoj razlik pa bi lahko pojasnili predvsem z vidika pomena organizacijske učinkovitosti za zniževanje stroškov in s tem konku-

Preglednica 2. Ocena pomena investicij v posamezne dimenzije neotipljivega kapitala za poslovno uspešnost in strinjanje s trditvami o obnašanju podjetja.

Table 2. Assessment of the importance of investments in individual dimensions of intangible capital for business performance and agreement with statements regarding corporate behaviour.

Opis / Description	Povprečje Sk. 1 / Average Group 1	Povprečje Sk. 2 / Average Group 2	Razlika / Difference	p (Mann-Whitney)	Značilnost / Significance
Agilnost podjetij / Firm agility					
Aktivno spremljanje najboljših praks v panogi / Active monitoring of best industry practices	4.46	3.78	0.68	0.000	***
Hitro odzivanje na poteze konkurentov / Rapid response to competitors' actions	4.06	3.44	0.62	0.001	***
Spreminjanje praks na podlagi povratnih informacij strank / Adjusting practices based on customer feedback	4.26	3.81	0.45	0.015	*
Redno presojanje posledic spreminjanja tržnega povpraševanja / Regular evaluation of changes in market demand	4.00	3.58	0.42	0.035	*
Hitro prepoznavanje sprememb na trgu / Rapid identification of market changes	3.97	3.35	0.63	0.002	**
Hitra identifikacija novih priložnosti / Rapid identification of new opportunities	4.12	3.46	0.66	0.001	***
Pomembnost oblikovalskih storitev / Importance of design services	3.86	3.00	0.86	0.003	**
Redna notranja in zunanja izobraževanja / Regular internal and external training	3.69	3.15	0.53	0.029	*
Izmenjava praktičnih izkušenj med zaposlenimi / Sharing practical experience among employees	4.17	3.46	0.71	0.003	**
Investicije v neotipljivi kapital / Investments in intangible capital					
Podatkovne baze in programska oprema / Databases and software	3.76	3.19	0.58	0.016	*
Nakupi patentov in licenc / Purchases of patents and licenses	2.76	2.46	0.30	0.325	
Organizacijske izboljšave in izboljšave poslovnih procesov / Organizational and business process improvements	4.03	3.77	0.26	0.323	
Usposabljanje in izobraževanje zaposlenih / Employee training and education	3.85	3.35	0.51	0.023	*
Krepitev blagovnih znamk in ugleda podjetja / Strengthening brands and company reputation	4.06	3.04	1.02	0.000	***
Dizajn / Design	3.47	2.70	0.77	0.012	*
Raziskave in razvoj / Research and development	3.41	2.70	0.71	0.023	*

renčnost cene. Obe skupini sta namreč kot zelo pomembne dejavnike navedla v vprašanju, kjer smo jih spraševali o strateških prioritetah, zniževanje

proizvodnih stroškov, povečevanje produktivnosti in konkurenčnost cene.

Preglednica 3. Razlike v povprečnem strinjanju o učinkih digitalizacije (Označite strinjanje s trditvami: Digitalizacija in nove tehnologije omogočajo..., Likert 1–5).

Table 3. Differences in average agreement regarding the effects of digitalization (Indicate your level of agreement with the statements: „Digitalization and new technologies enable...“, using a Likert scale ranging from 1–5).

Opis / Description	Povprečje Sk. 1 / Average Group 1	Povprečje Sk. 2 / Average Group 2	Razlika / Difference	p (Mann-Whitney)	Značilnost / Significance
Kratkoročne, operativne / Short-term, operational					
Znižanje stroškov zaradi medsebojnega povezo- vanja / Cost reduction due to integration	3.94	3.52	0.42	0.028	*
Povečanje kakovosti / Quality improvement	3.91	3.56	0.36	0.106	
Povečanje sledljivosti / Increased traceability	4.50	4.15	0.35	0.005	**
Znižanje zalog izdelkov / Reduction of inventory levels	3.79	3.52	0.27	0.263	
Zmanjšanje dokumentacije in administracije / Reduction of documentation and administration	4.00	3.96	0.04	0.671	
Povečanje fleksibilnosti v proizvodnji / Increased production flexibility	3.71	3.78	-0.07	0.748	
Hitrejše odzivanje in boljše reakcijske sposob- nosti / Faster response and improved responsi- veness	3.97	3.89	0.08	0.776	
Dolgoročne, strateške / Long-term, strategic					
Ustvarjanje novih poslovnih modelov / Creation of new business models	3.73	3.65	0.07	0.668	
Ustvarjanje najboljših rešitev za kupce / Crea- tion of best solutions for customers	3.88	3.62	0.26	0.153	
Generiranje rešitev, ki jih je težko posnemati / Generating solutions that are difficult to imitate	3.55	3.48	0.07	0.720	
Ustvarjanje večje vrednosti v primerjavi s konvencionalnimi načini / Creating greater value compared to conventional methods	3.94	3.58	0.36	0.080	
Večja dodana vrednost na zaposlenega / Higher value added per employee	3.94	3.62	0.32	0.095	
Koristi presegajo stroške na dolgi rok / Benefits exceed costs in the long run	3.78	3.48	0.30	0.158	
Stopnja digitalizacije podjetja / Level of firm digitalization	3.24	2.26	0.98	0.000	***

Digitalizacija lahko v skladu z literaturo pomembno vpliva na uspešnost podjetij. Raziskava pokaže, da med bolj in manj uspešno skupino sicer so razlike, večina pa vseeno ni značilna (preglednica 3, podjetja so ocenjevala strinjanje s trditvami na Likertovi lestvici 1=sploh se ne strinjam, 5=povsem se strinjam). Skupini se med seboj najizraziteje raz-

likujeta v dejanski stopnji digitalizacije podjetja. V boljši skupini (Q14: 3,24 vs. 2,26; $p < 0,001$), so podjetja v povprečju uspešnejša za skoraj eno stopnjo v digitalnem razvoju, pri čemer je v anketi vrednost 2 označevala začetnike, 3 deloma digitalizirane, 4 pa podjetja, ki so napredna v digitalizaciji (vrednost 1 je označevala podjetja, ki niso digitalizirana, 5 pa

podjetja, ki so t.i. digitalni šampioni in so uporabniki in/ali razvijalci novih tehnologij). Podjetja smo vprašali tudi o pričakovanih koristih od digitalizacije (strinjanje na lestvici 1 do 5, preglednica 1) v skladu z vprašalnikom o Industriji 4.0 (Čater et al., 2019). Pri ocenah kratkoročnih, operativnih koristi digitalizacije (Q15) so razlike občutno manjše in večinoma statistično neznailne — obe skupini precej visoko ocenjujeta povečanje sledljivosti (4,50 oz. 4,15; $p < 0,01$), zmanjšanje administracije (okoli 4,0) ter hitrejše odzivanje (okoli 3,9), pri čemer se značilno razlikujeta le pri znižanju stroškov zaradi medsebojnega povezovanja (3,94 vs. 3,52; $p < 0,05$) in sledljivosti. Podobno se pri strateških učinkih Industrije 4.0 (Q16) skupini ne razlikujeta statistično značilno pri nobeni od šestih postavk, čeprav uspešnejša podjetja nekoliko višje ocenjujejo ustvarjanje večje vrednosti v primerjavi s konvencionalnimi načini (3,94 vs. 3,58; $p = 0,080$) in večjo dodano vrednost na zaposlenega (3,94 vs. 3,62; $p = 0,095$). Čeprav se skupini bistveno razlikujeta v tem, koliko sta dejansko digitalizirani, pa obe podobno ocenjujeta potencialne koristi digitalizacije. Razlika torej ni v zavedanju o pomenu digitalizacije, ampak v njeni dejanski implementaciji, kar je lahko posledica več dejavnikov: od velikosti podjetja (in potencialne ekonomike), stroškov, možnosti uporabe posameznih tehnologij, itd.

Analiza torej kaže, da se uspešnejša in manj uspešna podjetja razlikujejo predvsem po širini razvojnih zmogljivosti in načinu delovanja. Uspešnejša podjetja, torej tista, ki sistematično višje

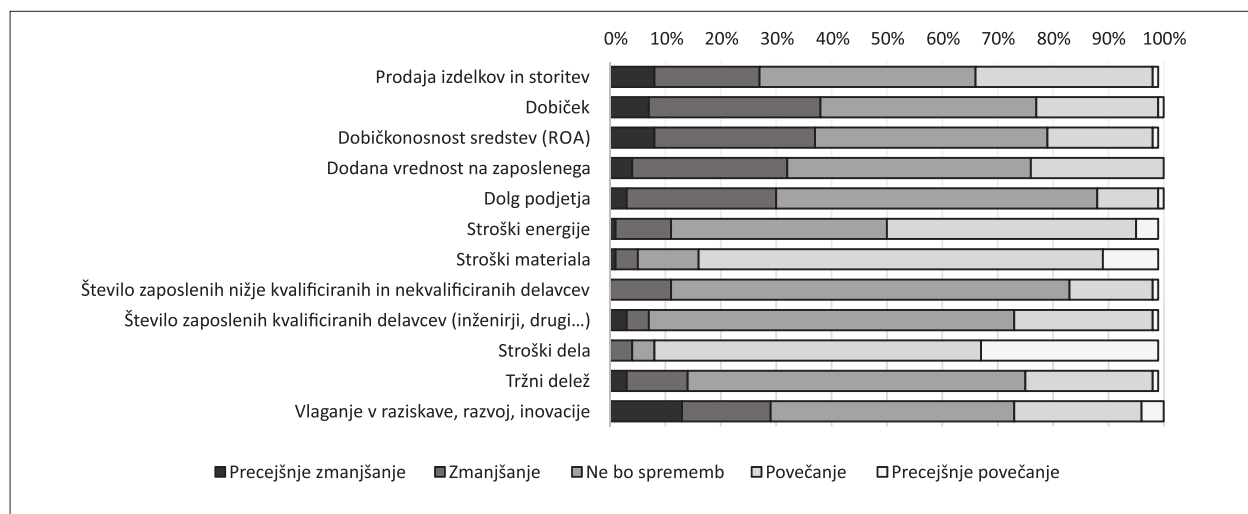
ocenjujejo svojo uspešnost na vseh 13 dimenzijah, izkazujejo večjo agilnost, hitrejše zaznavanje in izkoriščanje tržnih priložnosti, več vlaganj v ključne elemente neotipljivega kapitala, kot so programska oprema, usposabljanje, blagovne znamke, dizajn ter raziskave in razvoj, ter tudi višjo dejansko stopnjo digitalizacije.

3.3 NAPOVED POSLOVANJA ZA 2026

3.3 FORECAST FOR 2026

Napoved poslovanja za leto 2026 kaže razmeroma previden, tudi deloma, čeprav ne povsem, pesimističen pogled podjetij. Pri večini ključnih poslovnih kazalnikov prevladuje pričakovanje, da večjih sprememb ne bo, kar je posebej izrazito pri tržnem deležu, dolgu podjetja ter številu zaposlenih. Kljub temu je pri prihodkih slika nekoliko boljša kot pri dobičkonosnosti: pri prodaji izdelkov in storitev je opaziti več zmernega optimizma, medtem ko so podjetja pri dobičku, donosnosti sredstev (ROA) in dodani vrednosti na zaposlenega precej bolj zadržana. Najbolj izrazito negativna pričakovanja se nanašajo na stroškovno stran poslovanja, saj podjetja skoraj soglasno pričakujejo rast stroškov dela, zelo visoka pa so tudi pričakovanja o rasti stroškov materiala in energije. To pomeni, da podjetja v leto 2026 vstopajo z zmerno stabilnimi pričakovanji glede obsega poslovanja, vendar z občutno skrbjo zaradi pritiskov na stroške in posledično na dobičkonosnost.

Razlike so tudi v napovedi med obema skupinama, bolj in manj uspešno (slika 7). Manj uspešna podjetja so v nekaj dimenzijah statistično značilno



Slika 7. Napoved 2026 v primerjavi z 2025: napovedana sprememba obsega leta 2026 glede na leto 2025.

Figure 7. Forecast for 2026 compared to 2025: projected change in volume in 2026 relative to 2025.

Preglednica 4. Razlike v napovedih po skupinah (Likertova lestvica, 1=bistveno manj, 5=bistveno več).
Table 4. Differences in forecasts (Likert scale, 1 = significantly less, 5 = significantly more).

Opis / Description	Povprečje Sk. 1 / Average Group 1	Povprečje Sk. 2 / Average Group 2	Razlika / Difference	p (Mann-Whitney)	Značilnost / Significance
Prodaja izdelkov in storitev / Sales of products and services	3.29	2.63	0.66	0.005	**
Dobiček / Profit	3.08	2.43	0.65	0.005	**
Dobičkonosnost sredstev (ROA) / Return on assets (ROA)	3.05	2.37	0.69	0.002	**
Dodana vrednost na zaposlenega / Value added per employee	3.00	2.67	0.33	0.098	
Dolg podjetja / Firm debt	2.68	2.97	-0.28	0.140	
Stroški energije / Energy costs	3.50	3.27	0.23	0.474	
Stroški materiala / Material costs	3.95	3.77	0.18	0.498	
Stroški dela / Labour costs	4.39	4.03	0.36	0.046	*
Število zaposlenih nižje kvalificiranih in nekvalificiranih delavcev / Number of low-skilled and unskilled employees	3.16	2.97	0.19	0.190	
Število zaposlenih kvalificiranih delavcev (inženirji, drugi strokovnjaki) / Number of skilled employees (engineers, other professionals)	3.34	3.00	0.34	0.056	
Stroški dela / Labour costs	4.34	4.03	0.31	0.160	
Tržni delež / Market share	3.34	2.77	0.58	0.000	***
Vlaganje v raziskave, razvoj, inovacije / Investment in research, development, and innovation	3.24	2.50	0.74	0.006	**
Nove stroji in oprema / New machinery and equipment	3.05	2.72	0.33	0.131	
IKT oprema (digitalizacija) / ICT equipment (digitalization)	3.34	2.55	0.79	0.001	**
Nove stavbe (proizvodne hale, skladišča, drugo) / New buildings (production halls, warehouses, other)	3.13	2.55	0.58	0.016	*
Podatkovne baze in programska oprema / Databases and software	3.29	2.72	0.57	0.007	**
Nakupi patentov in licenc / Purchases of patents and licenses	2.89	2.69	0.21	0.189	
Organizacijske izboljšave in izboljšave poslovnih procesov / Organizational and business process improvements	3.55	3.10	0.45	0.084	
Usposabljanje in izobraževanje zaposlenih / Employee training and education	3.43	2.90	0.54	0.019	*
Krepitev blagovnih znamk in ugleda podjetja / Strengthening brands and company reputation	3.50	2.86	0.64	0.001	**
Dizajn / Design	3.42	2.72	0.70	0.000	***
Raziskave in razvoj / Research and development	3.18	2.72	0.46	0.055	

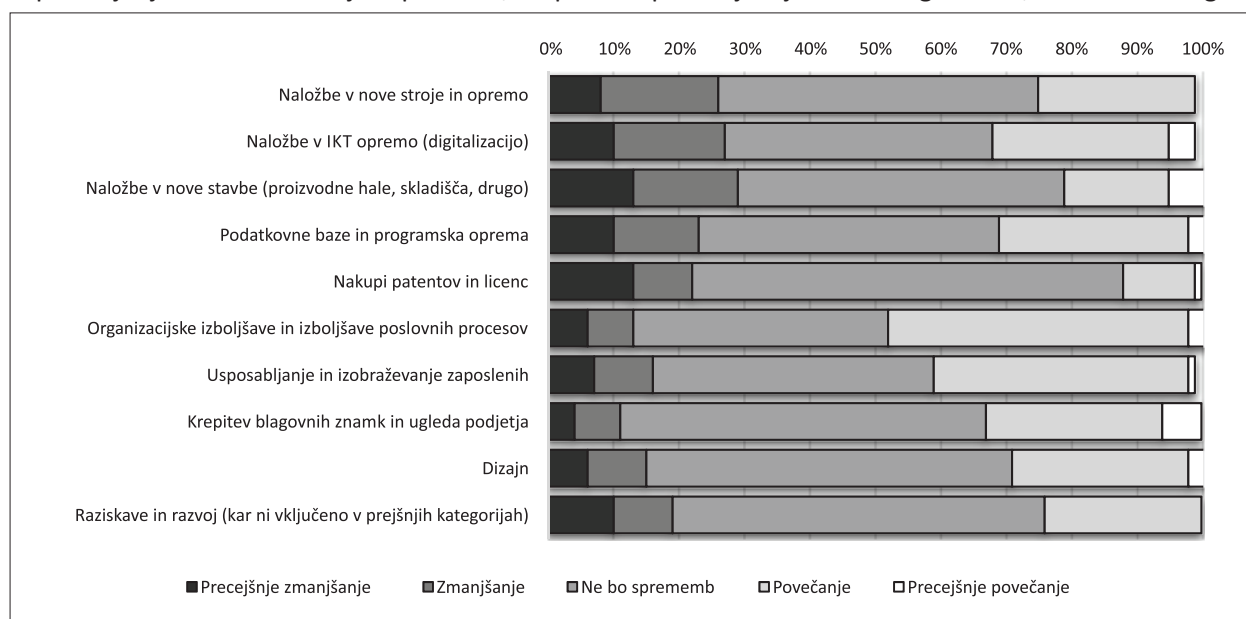
bolj pesimistična. Značilno slabše napovedi imajo pri prodaji izdelkov in storitev, dobičku in dobičkonosnosti sredstev (ROA). Pomembna razlika se pokaže tudi pri tržnem deležu, kjer je med uspešnejšimi podjetji večji delež tistih, ki pričakujejo izboljšanje svojega položaja na trgu, ter pri vlaganjih v raziskave, razvoj in inovacije, kjer manj uspešna podjetja ponovno izkazujejo bolj previdna oziroma bolj pesimistična pričakovanja. Med stroškovnimi postavkami je statistično značilna razlika le pri stroških dela: uspešnejša podjetja v povprečju pričakujejo še izrazitejšo rast teh stroškov, kar je lahko povezano tudi z večjo razvojno in kadrovske aktivnostjo (preglednica 4).

Pri investicijah so podjetja glede svojih napovedi za 2026 precej zadržana, večinoma prevladuje odgovor »ne bo sprememb«. Pri vlaganjih v raziskave, razvoj in inovacije prevladuje pričakovanje nespremenjene ravni, ostali odgovori pa so razmeroma enakomerno razporejeni med tiste, ki napovedujejo zmanjšanje, in tiste, ki pričakujejo povečanje. Hkrati pa so podjetja izrazila namero vlaganja v organizacijske izboljšave, usposabljanje.

Če pogledamo še razlike glede na skupino (bolj in manj uspešno), podatki kažejo, da imajo manj uspešna podjetja bolj pesimistične napovedi pri vlaganjih v IKT opremo (digitalizacijo), nove stavbe, podatkovne baze in programsko opremo, usposabljanje in izobraževanje zaposlenih, krepitev

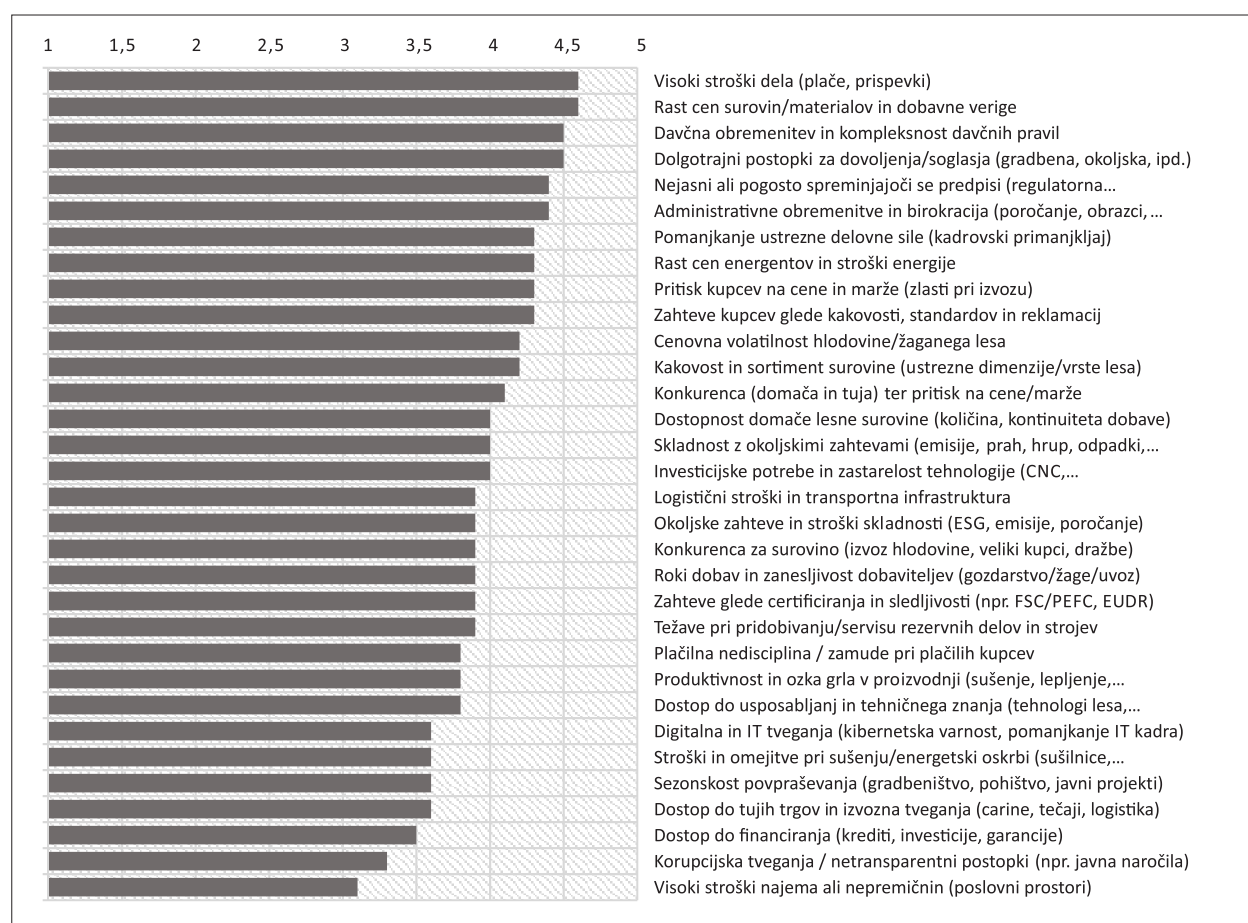
blagovnih znamk in ugleda podjetja ter dizajn (slika 8). To pomeni, da so bolj pesimistična predvsem pri tistih investicijah, ki so povezane z modernizacijo, digitalnim preходом, razvojem kadrov in gradnjo tržnih ter inovacijskih prednosti. Pri nekaterih drugih postavkah, na primer pri nakupih patentov in licenc, novih strojih in opremi ali organizacijskih izboljšavah, razlike med skupinama niso statistično značilne. Skupni vzorec je torej jasan: manj uspešna podjetja niso bolj pesimistična le glede prihodnjih poslovnih rezultatov, temveč tudi glede razvojnih in investicijskih aktivnosti, kar lahko dolgoročno dodatno povečuje razkorak med obema skupinama.

Podjetja smo vprašali tudi, kako pomembne se jim zdijo posamezne ovire pri poslovanju (slika 9, ocena pomena ovire na lestvici 1–5, 1= sploh ni pomembna ovira, 5=zelo pomembna ovira). Podjetja kot najpomembnejše ovire za poslovanje in konkurenčnost zaznavajo predvsem stroškovne pritiske, davčno-regulatorno okolje, administrativne postopke in kadrovske omejitve. Kot najbolj pomembne ovire so podjetja navedla visoke stroške dela ter rast cen surovin in materialov, takoj za tem pa davčno obremenitev in kompleksnost davčnih pravil, dolgotrajne postopke za dovoljenja in soglasja, nejasne oziroma pogosto spreminjajoče se predpise ter administrativne obremenitve in birokracijo. Kot zelo pomembne ovire so ocenjeni tudi pomanjkanje ustreznega kadra, rast cen energen-



Slika 8. Napoved 2026 v primerjavi z 2025: napovedana sprememba obsega leta 2026 glede na leto 2025.

Figure 8. Forecast for 2026 compared to 2025: projected change in volume in 2026 relative to 2025.



Slika 9. Pomen posameznih ovir z vidika poslovanja.

Figure 9. Importance of individual barriers from a business perspective.

tov ter pritisk kupcev na cene in marže, kar potrjuje, da podjetja največje ovire vidijo v kombinaciji stroškovnega pritiska, regulatorne negotovosti in omejenega dostopa do ustreznih kadrov. Zanimivo je, da med skupinama ni bilo statistično značilnih razlik v ocenah pomena posameznih ovir. Edina razlika, ki je statistično značilna, je percepcija pomena rasti cen surovin/materialov in dobavne verige, ki jo slabša skupina vidi kot močnejšo oviro, čeprav je v obeh skupinah ocenjena zelo visoko (4.42 v skupini 1 in 4.74 v skupini 2).

Podjetja smo zaprosili za informacijo, kaj najbolj negativno vpliva na njihovo poslovanje, tudi v odprtem vprašanju (preglednica 5). Ta so povzeta v nekaj vsebinskih sklopov. Podjetja ne izpostavljajo le posameznih stroškovnih postavk, temveč predvsem širši splet institucionalnih, kadrovskih in strukturnih omejitev. Iz odgovorov se kot najizrazi-

tejši sklop težav kaže nestabilno regulativno okolje, povezano s pogostimi spremembami zakonodaje, rastjo birokracije, dolgimi upravnimi postopki ter težavnim dolgoročnim načrtovanjem poslovanja. Izpostavljeni so tudi visoki stroški dela in davčna obremenitev, ki podjetjem zmanjšujejo stroškovno konkurenčnost in dodatno otežujejo prilagajanje tržnim razmeram. Pomemben del odprtih odgovorov se nanaša tudi na pomanjkanje ustrezne delovne sile, pri čemer podjetja poleg pomanjkanja kvalificiranih kadrov opozarjajo še na nizko zavzetost zaposlenih, bolniške odsotnosti in neskladje med izobraževalnim sistemom ter potrebami gospodarstva. Poleg institucionalnih in kadrovskih omejitev podjetja pogosto izpostavljajo tudi stroške surovin, energije in močno cenovno konkurenco, ki zmanjšujejo marže in povečujejo negotovost poslovanja. Zadnji sklop predstavljajo strukturne slabosti

Preglednica 5. Opazovani izzivi v poslovnem okolju, ki so jih podjetja opisala.

Table 5. Challenges in the business environment identified by companies.

Področje / Area	Opazovani izzivi / Observed challenges	Citat iz ankete / Survey quote
Nestabilno regulativno okolje, davki in birokracija / Unstable regulatory environment, taxes and bureaucracy	pogoste spremembe zakonodaje; visoki davki in prispevki na delo; rast birokracije; počasni upravni postopki; težko dolgoročno načrtovanje poslovanja / Frequent changes in legislation; high taxes and labour contributions; increasing bureaucracy; slow administrative procedures; difficult long-term business planning	“Trenutno nestabilno politično/ekonomsko okolje. Nemogoče je stroške planirati več kot 2 meseca naprej!” / “Currently unstable political and economic environment. It is impossible to plan costs more than two months ahead!”
Visoki stroški dela in davčna obremenitev / High labour costs and tax burden	visoki prispevki na zaposlene; rast stroškov dela; visoka obdavčitev plač; zmanjšana konkurenčnost podjetij / High employee contributions; rising labour costs; high taxation of wages; reduced firm competitiveness	“(…) posegi v stroške dela, ki niso bili načrtovani in ki jih zaradi konkurence ne moremo prenesti v izdelke.” / “[...] interventions in labour costs that were not planned and cannot be passed on to products due to competition.”
Pomanjkanje ustrezne delovne sile in nizka zavzetost zaposlenih / Lack of adequate workforce and low employee engagement	pomanjkanje kvalificiranih kadrov; nizka zavzetost zaposlenih; visoka bolniška odsotnost; neskladje med izobraževanjem in potrebami gospodarstva / Shortage of qualified workforce; low employee engagement; high sick leave; mismatch between education and labour market needs	“Pomanjkanje ustrezne delovne sile. Zahtevni razpisi, zaposleni se ne znajo prijaviti nanje.” / “Lack of adequate workforce. Complex job postings, employees do not know how to apply.”
Stroški surovin, energije in globalna cenovna konkurenca / Costs of raw materials, energy and global price competition	nestabilne cene surovin; visoki stroški energije; dumping cene na globalnem trgu; nizka marža zaradi konkurence / Unstable raw material prices; high energy costs; dumping prices on global markets; low margins due to competition	“Najbolj negativen vpliv na poslovanje imajo nestabilne cene surovin in močna cenovna konkurenca na trgu.” / “The most negative impact on business comes from unstable raw material prices and strong price competition in the market.”
Strukturne slabosti gospodarstva (produktivnost, znanje, dodana vrednost) / Structural weaknesses of the economy (productivity, knowledge, value added)	pomanjkanje managerskih in trženjskih znanj; nizka dodana vrednost proizvodnje; slabša prepoznavnost slovenskih blagovnih znamk; počasno prilagajanje trgov / Lack of managerial and marketing knowledge; low value added in production; weaker recognition of Slovenian brands; slow adaptation to markets	“Strupena kultura in slaba komunikacija, počasno prilagajanje tržnim razmeram.” / “Toxic culture and poor communication, slow adaptation to market conditions.” “Productivity drops significantly when introducing new products.”

gospodarstva, kot so pomanjkanje managerskih in trženjskih znanj, nizka dodana vrednost proizvodnje, šibkejša prepoznavnost blagovnih znamk in počasno prilagajanje tržnim spremembam.

Podjetja smo prosili tudi za predloge sprememb v poslovnem okolju. Te smo razvrstili v nekaj vsebinskih sklopov, povzema jih preglednica 6. Podjetja kot pomembne navajajo ukrepe, ki bi neposredno razbremenili stroške poslovanja in povečali predvidljivost poslovnega okolja. V ospredju je predvsem davčna razbremenitev dela. Zelo jasno se pojavlja tudi zahteva po manj birokracije in bolj stabilni zakonodaji, kar vključuje tudi manj administra-

tivnih obveznosti, bolj logične in predvidljive predpise ter hitrejša upravna postopke. Del predlogov se nanaša na podporo investicijam, tehnologiji in razvojni usmeritvi gospodarstva. Podjetja poudarjajo potrebo po subvencijah za tehnologijo in digitalizacijo, boljšem dostopu do evropskih sredstev ter splošnem spodbujanju inovacij in produktivnosti. Poleg tega iz odgovorov izstopa tudi širši razvojni pogled, saj podjetja opozarjajo, da bi morala država bolj jasno podpreti perspektivne panoge, posebej lesno industrijo, ter spodbujati večjo domačo predelavo surovin, razvoj izdelkov z višjo dodano vrednostjo in večjo prepoznavnost slovenskih izdelkov.

Preglednica 6. Predlogi ukrepov podjetij.

Table 6. Corporate suggestions.

Področje / Area	Predlagani ukrepi / Proposed measures	Citat iz ankete / Survey quote
Davčna razbremenitev dela / Reduction of labour tax burden	znižanje davkov in prispevkov na plače; razvojna kapica; razbremenitev bruto plače; nižji stroški dela za večjo konkurenčnost / Reduction of taxes and social contributions on wages; introduction of a development cap; reduction of gross wage burden; lower labour costs for higher competitiveness	“Razbremenitev bruto plače, da delavec prejme neto več za isti ali manjši bruto.” / “Reduction of gross wage burden so that employees receive higher net pay for the same or lower gross wage.”
Manj birokracije in stabilna zakonodaja / Less bureaucracy and more stable legislation	debirokratizacija postopkov; manj administrativnega poročanja; stabilno regulativno okolje; hitrejši postopki (npr. gradbena dovoljenja) / Reduction of bureaucracy; less administrative reporting; stable regulatory environment; faster procedures (e.g. construction permits)	“Stabilno zakonodajno okolje; logični predpisi in zakoni.” / “Stable legislative environment; logical regulations and laws.”
Podpora investicijam in tehnologiji / Support for investments and technology	subvencije za tehnologijo in digitalizacijo; lažji dostop do EU sredstev; spodbujanje inovacij; povečanje produktivnosti / Subsidies for technology and digitalization; easier access to EU funds; promotion of innovation; increase in productivity	“Če nas že država tako obdavčuje, naj pomaga s konkretnimi subvencijami za novo tehnologijo.” / “If the state taxes us so heavily, it should support us with concrete subsidies for new technology.”
Industrijska strategija in razvoj panog / Industrial strategy and sector development	podpora lesni industriji; večja predelava surovin doma; razvoj izdelkov z visoko dodano vrednostjo; promocija slovenskih izdelkov / Support for the wood industry; more domestic processing of raw materials; development of high value-added products; promotion of Slovenian products	“Država lesne branže ni prepoznala kot ene ključnih strateških panog.” / “The state has not recognized the wood industry as one of the key strategic sectors.”

4 DISKUSIJA IN SKLEP

4 DISCUSSION AND CONCLUSION

Izsledki raziskave kažejo, da uspešnost podjetij v slovenski lesnopredelovalni industriji izhaja iz kombinacije notranjih zmogljivosti in zunanjih pogojev poslovanja, pri čemer imajo ključno vlogo predvsem organizacijske in razvojne sposobnosti podjetij. Anketa je pokazala, da se uspešnejša podjetja od manj uspešnih sistematično razlikujejo po višji stopnji agilnosti, večji intenzivnosti vlaganj v mehke dejavnike (npr. znanje, blagovne znamke, dizajn in raziskave in razvoj) ter višji dejanski stopnji digitalizacije. Hkrati analiza potrjuje, da podjetja v panogi še vedno primarno delujejo na strategijah stroškovne konkurenčnosti, kar se odraža v zniževanju stroškov in povečevanju produktivnosti. Kljub relativno dobrim samoocenam uspešnosti pa rezultati razkrivajo omejitve pri doseganju višje dodane vrednosti, dobičkonosnosti in dolgoročne konkurenčnosti, kar kaže na neizkoriščen potencial za prehod v segmente z višjo dodano vrednostjo. Ključni prispevek raziskave je v identifikaciji razkoraka med zavedanjem pomena razvojnih dejavnikov in njihovo dejansko implementacijo, kar predstavlja

osrednjo oviro za prehod panoge v višje segmente dodane vrednosti.

Panoga je močno izpostavljena zunanjim tveganjem, kot so makroekonomska nihanja, pomanjkanje delovne sile in rast stroškov, kar povečuje njeno ranljivost. Strukturne omejitve, povezane s kadrovskimi primanjkljaji, šibkimi menedžerskimi kompetencami ter relativno nizko stopnjo organizacijskih in marketinških inovacij, predstavljajo pomembno oviro za nadaljnji razvoj. Hkrati se kaže razkorak med zavedanjem pomena določenih dejavnikov (npr. digitalizacije ali razvoja človeškega kapitala) in njihovo dejansko implementacijo v praksi.

Glede na ugotovljene vrzeli na področju vodstvenih, organizacijskih in trženjskih zmogljivosti bi se prihodnje raziskave lahko osredotočile na prispevek neotipljivega kapitala k produktivnosti in uspešnosti podjetij v lesni industriji. Mikroekonomske analize, ki bi razlikovale med različnimi tipi podjetij (npr. MSP in večjimi izvozniki), bi lahko razkrile specifične omejitve, povezane z velikostjo podjetij in njihovo izvozno usmerjenostjo.

Pri interpretaciji rezultatov je treba upoštevati tudi omejitve raziskave. Najpomembnejša omejitev

izhaja iz velikosti in strukture vzorca, saj v analizi prevladujejo mikro in mala podjetja, medtem ko velika podjetja niso vključena, kar omejuje možnost posploševanja ugotovitev na celotno panogo. Poleg tega podatki temeljijo na samoocenah podjetij, kar lahko vključuje subjektivnost in pristranskost pri ocenjevanju uspešnosti, investicij in zaznanih izzivov. Omejitev predstavlja tudi presečni značaj podatkov, ki ne omogoča analize dinamičnih sprememb skozi čas ali vzročno-posledičnih povezav med posameznimi dejavniki. V nadaljnje raziskave bi lahko vključili tudi podatke o trgu dela, z namenom analize neskladij v znanjih ter njihovega vpliva na inovacijsko sposobnost in rast produktivnosti. Prevladovanje stroškovne konkurenčnosti kaže tudi na potrebo po proučitvi položaja panoge v globalnih vrednostnih verigah ter priložnosti za prehod v dejavnosti z višjo dodano vrednostjo.

Pomemben del ugotovitev raziskave se nanaša tudi na implikacije za podjetniško prakso in oblikovanje javnih politik. Na ravni podjetij rezultati kažejo na nujnost krepitev menedžerskih in organizacijskih kompetenc, saj prav te predstavljajo enega ključnih izzivov za učinkovito izkoriščanje tehnoloških in razvojnih priložnosti. Podjetja bi morala več pozornosti nameniti sistematičnemu razvoju človeškega kapitala, izboljšanju notranjih procesov, krepitev blagovnih znamk ter bolj strateškemu pristopu k digitalizaciji, ki presega zgolj operativno optimizacijo. Prav tako je pomembno, da podjetja postopno prehajajo iz pretežno stroškovne konkurenčnosti k strategijam diferenciacije, temelječim na kakovosti, dizajnu, inovativnosti in prilagojenih rešitvah za kupce.

Na ravni javnih politik rezultati poudarjajo potrebo po oblikovanju stabilnega, predvidljivega in razvojno naravnane poslovnega okolja. Ključni ukrepi vključujejo razbremenitev stroškov dela, zmanjšanje administrativnih ovir ter poenostavitev regulativnih postopkov, kar bi podjetjem omogočilo bolj učinkovito poslovanje in dolgoročno načrtovanje. Hkrati je pomembna okrepljena podpora investicijam v digitalizacijo, raziskave in razvoj ter razvoj kadrov, zlasti preko dostopa do finančnih spodbud in evropskih sredstev. Poseben poudarek bi moral biti namenjen tudi povezovanju izobraževalnega sistema s potrebami industrije ter spodbujanju razvoja tehničnih in poklicnih znanj. Celovito gledano rezultati kažejo, da je za dolgoročno konkurenčnost

slovenske lesne industrije ključno usklajeno delovanje podjetij in države, pri čemer mora politika ustvarjati pogoje za prehod v bolj inovativno, trajnostno in visoko dodano vrednost usmerjeno panogo.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

The paper analyses the current state, challenges, and development opportunities of the Slovenian wood-processing industry from the perspective of firms. Although industries C16 and C31 account for a relatively small direct share of value added in the economy, they play an important role in regional development, employment, and the functioning of domestic value chains. Despite the availability of natural resources, the sector faces several structural constraints, such as low productivity, limited value added, fragmentation of firms, and limited investment capacity.

The main objective of the study is to analyse differences between more and less successful firms, particularly in terms of digitalization, investment in intangible capital, organizational characteristics, and the perception of barriers in the business environment. The analysis is based on survey data collected from Slovenian firms in early 2026. The study applies descriptive statistics, principal component analysis, and clustering methods, which allow for a better understanding of the heterogeneity of the sector.

The theoretical framework highlights the importance of both internal and external determinants of firm performance. Internal factors include firm size, flexibility, human capital, technological equipment, business processes, financial structure, and strategic orientation. External factors include market size, sectoral structure, macroeconomic conditions, and the regulatory environment. Firm performance is therefore the result of a combination of the effective management of internal resources and adaptation to external conditions.

The empirical results show that firms assess their performance relatively highly on average, with key strengths identified in product quality, customer loyalty, and firm reputation. On the other hand, indicators related to value added, growth,

and profitability are rated lower, indicating limitations in long-term competitiveness.

Firm agility is also identified as an important determinant of performance. The results indicate that firms are relatively capable of recognizing market changes and responding to them, but there is still room for improvement, particularly in the systematic development of knowledge and organizational capabilities. Firms also recognize the importance of investment in intangible capital, although such investments are often limited. The greatest emphasis is placed on process improvements and employee training, while less attention is given to brand development, design, and research and development.

Digitalization represents an important opportunity to enhance competitiveness, but it remains relatively undeveloped in the sector. Only a small share of firms can be classified as highly digitalized, while most remain at basic or intermediate stages. Although firms recognize the benefits of digitalization, particularly at the operational level, they make less use of its strategic potential.

The analysis of differences between firms shows that more successful firms differ primarily in their higher agility, greater investment in intangible capital, and higher level of digitalization. These firms also monitor market changes more actively, identify opportunities more quickly, and invest more in human capital, branding, and innovation. Less successful firms, in contrast, exhibit a more cautious approach to investment and development, which may further widen the gap between the two groups in the long run.

Forecasts for 2026 indicate moderate optimism regarding business activity, but also considerable uncertainty due to rising costs, particularly labour, materials, and energy costs. Less successful firms are more pessimistic in their expectations, especially regarding sales, profitability, and investment. Firms identify high labour costs, tax burdens, bureaucracy, regulatory instability, and the shortage of adequately skilled labour as the main barriers to business operations. The high prices of raw materials and energy, as well as strong price competition in global markets, also play an important role. In addition, firms point to structural weaknesses such as a lack of managerial and marketing skills and low value added in production.

As key measures to improve the business environment, firms primarily propose reducing labour tax burdens, lowering bureaucracy, ensuring more stable regulation, and providing stronger support for investment and digitalization. They also emphasize the need for a more active industrial policy that would support sector development and facilitate the transition toward higher value-added activities.

The competitiveness of the Slovenian wood-processing industry depends primarily on firms' ability to develop intangible capital, implement digital transformation, and strengthen organizational and managerial capabilities. For the long-term development of the sector, it is also crucial to establish a stable and supportive business environment and ensure effective cooperation between firms and the state.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENT

Tekst je nastal v okviru naslednjih projektov: (1) Advanced Climate-Resilient Solutions for Sustainable Bio-Economy and Socio-economic Development SN-ZRD/22-27/0510 (ARISE), ki ga financira Univerza v Ljubljani, ter (2) P5-0128 (Izzivi vključujočega in trajnostnega razvoja v prevladujoči paradigmi ekonomskih in poslovnih znanosti), ki ga financira ARIS.

DOSTOPNOST RAZISKOVALNIH PODATKOV

DATA AVAILABILITY

Raziskovalni podatki, obravnavani v prispevku, bodo na voljo v odprtem dostopu ob zaključku projekta ARISE na repozitoriju RUL.

Supplemental material and raw data will be available at the end of the ARISE project at RUL Repository.

VIRI

REFERENCES

- Abramovitz, M., & David, P. (2000). American macroeconomic growth in the era of knowledge-based progress: The Long-Run Perspective. In: Engerman SL, Gallman RE, eds. *The Cambridge Economic History of the United States*. Cambridge, Cambridge University Press, 1–92. DOI: <https://doi.org/10.1017/CHOL9780521553087.002>

- Aizenman, J., Marion, N. P., & Marion, N. P. (1993). Macroeconomic uncertainty and private investment. *Economics Letters*, 41(2), 207–210. DOI: [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(93\)90198-L](https://doi.org/10.1016/0165-1765(93)90198-L)
- Audretsch, D. B., & Belitski, M. (2021). Knowledge complexity and firm performance: Evidence from the European SMEs. *Journal of Knowledge Management*, 25 (4), 693–713. DOI: <https://doi.org/10.1108/JKM-03-2020-0178>
- Bavdaž, M., & Redek, T. (2019). Measuring the Intangibles Using Survey Data. Ljubljana, Ekonomska fakulteta. URL: [https://globalinto.eu/measuring-the-intangibles-using-survey-data-d1-3/\(10.3.2026\)](https://globalinto.eu/measuring-the-intangibles-using-survey-data-d1-3/(10.3.2026))
- Bonciani, D., & Oh, J. (2023). Uncertainty shocks, innovation, and productivity. *The B. E. Journal of Macroeconomics*, 23(1), 279–335. DOI: <https://doi.org/10.1515/bejm-2021-0074>
- Brusco, G., & Glass, B. (2023). Risky business: Policy uncertainty and investment. *International Tax and Public Finance*, 30(5), 1331–1345. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10797-022-09757-7>
- Brynjolfsson, E., Hitt, L. M., & Yang, S. (2002). Intangible assets: Computers and organizational capital. *Brookings Papers on Economic Activity*, (1), 137–198.
- Caloghirou, Y., Protogerou, A., & Panagiotopoulos, P. (2022). Final report describing the survey results and methodology. National Technical University of Athens. URL: https://globalinto.eu/wp-content/uploads/2022/02/D4.4_Globalinto-Survey-Report_Final.pdf (10.3.2026)
- Cassiman, B., & Veugelers, R. (2006). In search of complementarity in innovation strategy: Internal R & D and external knowledge acquisition. *Management Science*, 52(1), 68–82. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.1050.0470>
- Čater, B., Čater, T., Černe, M., Koman, M., & Redek, T. (2019). *Industrija 4.0 v Sloveniji*. Ljubljana, Ekonomska fakulteta.
- Çetintaş, H., & Barişik, S. (2009). Export, import and economic growth: The case of transition economies. *Transition Studies Review*, 15(4), 636–649. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11300-008-0043-0>
- Corrado, C., Haskel, J., Iommi, M., & Jona-Lasinio, C. (2019). Intangible capital, innovation, and productivity à la Jorgenson evidence from Europe and the United States. In: Fraumeni B.M. ed. *Measuring Economic Growth and Productivity: Foundations, KLEMS Production Models, and Extensions*. Academic press/Elsevier, 363–385. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817596-5.00016-0>
- Corrado, C., Haskel, J., Jona-Lasinio, C., & Iommi, M. (2022). Intangible capital and modern economies. *Journal of Economic Perspectives*, 36(3), 3–28. DOI: <https://doi.org/10.1257/jep.36.3.3>
- Corrado, C., Hulten, C., & Sichel, D. (2005). *Measuring Capital and Technology: An Expanded Framework* (pp. 11–46) [NBER Chapters]. National Bureau of Economic Research, Inc. URL: <https://econpapers.repec.org/bookchap/nbrnberch/0202.htm> (10.3.2026)
- Coxhead, I., & Li, M. (2008). Prospects for skills-based export growth in a labour-abundant, resource-rich developing economy. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 44(2), 209–238. DOI: <https://doi.org/10.1080/00074910802168998>
- Durczak, K., Gnusowski, M., & Lawrynowicz, M. (2022). Obstacles to digital innovation in KIBS—The case of law firms in Poland. *Foresight and STI Governance*, 16(1), 54–67. DOI: <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2022.1.54.67>
- Ellis, K., Reus, T., Lamont, B., & Ranft, A. (2011). Transfer effects in large acquisitions: how size-specific experience matters. *The Academy of Management Journal*, 54, 1261–1276. DOI: <https://doi.org/10.5465/amj.2009.0122>
- Ermolovskaya, O. Y., Telegina, Z. A., & Golovetsky, N. Y. (2018). Economic incentives of creation of high-productive jobs as a basis for providing globally-oriented development of the economy of modern Russia. *Quality—Access to Success*, 19(S2), 43–47.
- European Investment Bank (2011). *Productivity and growth in Europe: ICT and the e-economy (2011/2-16; EIB Working Papers)*. URL: https://www.eib.org/attachments/efs/eibpapers/eibpapers_2011_v16_n02_en.pdf (10.3.2026)
- European Investment Bank (2016). *Breaking Down Investment Barriers at Ground Level*. European Investment Bank. DOI: <https://doi.org/10.2867/111898>
- European Investment Bank (2018). *EIBIS 2018—EU overview*. European Investment Bank. DOI: <https://doi.org/10.2867/011876>
- Evangelista, R., Guerrieri, P., & Meliciani, V. (2014). The economic impact of digital technologies in Europe. *Economics of Innovation and New Technology*, 23(8), 802–824. DOI: <https://doi.org/10.1080/10438599.2014.918438>
- Fiorini, M., & Hoekman, B. (2020). EU services trade liberalization and economic regulation: Complements or substitutes? *Review of International Organizations*, 15(1), 247–270. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11558-018-9333-4>
- Ghosh, J. (2011). The challenge of ensuring full employment in the twenty-first century. *Indian Journal of Labour Economics*, 54(1), 51–68.
- Guo, X., Li, M., Wang, Y., & Mardani, A. (2023). Does digital transformation improve the firm's performance? From the perspective of digitalization paradox and managerial myopia. *Journal of Business Research*, 163, 113868. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113868>
- Gospodarska zbornica Slovenije (2025). *Made in Slovenia 2035*. Gospodarska zbornica Slovenije. URL: https://www.gzs.si/Portals/SN-Staliska-In-Komentarji/Vsebine/2025/211025GZS_MadeInSlovenia2035_FINAL_DIGITAL.pdf?utm_source=chatgpt.com (10.3.2026)
- Johannessen, J. A. (2018). *Automation, Innovation and Economic Crisis: Surviving the Fourth Industrial Revolution*. Abingdon, New York, Routledge.
- Lane, S. J. (1991). The determinants of investment in new technology. *American Economic Review*, 81(2), 262–265.
- Lobova, S. V., Alekseev, A. N., Litvinova, T. N., & Sadovnikova, N. A. (2020). Labor division and advantages and limits of participation in creation of intangible assets in industry 4.0: Humans versus machines. *Journal of Intellectual Capital*, 21(4), 623–638. DOI: <https://doi.org/10.1108/JIC-11-2019-0277>

- Navarro Zapata, A., Arrazola, M., & de Hevia, J. (2023). Determinants of high-tech exports: New evidence from OECD countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 15, 1103–1117. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01116-z>
- Parida, V., Sjödin, D. R., Lenka, S., & Wincent, J. (2015). Developing global service innovation capabilities: How global manufacturers address the challenges of market heterogeneity. *Research-Technology Management*, 58(5), 35–44. DOI: <https://doi.org/10.5437/08956308X5805336>
- Perano, M., Cammarano, A., Varriale, V., Del Regno, C., Michelino, F., & Caputo, M. (2023). Embracing supply chain digitalization and unphysicalization to enhance supply chain performance: A conceptual framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 53(5/6), 628–659. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-06-2022-0201>
- Pereira, V., Budhwar, P., Temouri, Y., Malik, A., & Tarba, S. (2020). Investigating investments in agility strategies in overcoming the global financial crisis—The case of Indian IT/BPO offshoring firms. *Journal of International Management*, 27, 100738. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.intman.2020.100738>
- Piekkola, H., Bloch, C., Rybalka, M., & Redek, T. (2025). Intangibles from intangible capital work: Their valuation and technological change. *Review of Income and Wealth*, 71(2), e70017. DOI: <https://doi.org/10.1111/roiw.70017>
- Redek, T., Čater, T., Čater, B., Černe, M., & Koman, M. (2022). Firm agility and digitalisation less helpful than expected during the covid-19 pandemic, but valuable in the longer run. *E&M Economics and Management*, 25(3), 69–87. URL: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/166030> (10.3.2026)
- Redek, T., Oblak, L., & Humar, M. (2025). Analiza uspešnosti lesne industrije v Sloveniji in dejavnikov, ki nanjo vplivajo. *Les/Wood*, 74(1), 41–64. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2025.v74n01a04>
- Sahlin, J., & Angelis, J. (2019). Performance management systems: Reviewing the rise of dynamics and digitalization. *Cogent Business & Management*, 6(1). DOI: <https://doi.org/10.1080/23311975.2019.1642293>
- Ščap, Š., & Triplat, M. (2023). Raba lesa, tržne količine in projekcije potencialov okroglega lesa listavcev v Sloveniji. *Les/Wood*, 72(1), 5–20. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2023.v72n01a02>
- Serdarević, N., Muratović-Dedić, A., & Karić, I. (2016). Doing business with the state and firms' growth. Grasping invisible relational capital. *Scientific Annals of Economics and Business*, 63(3), 415–428. DOI: <https://doi.org/10.1515/saeb-2016-0131>
- Statistični urad Republike Slovenije (2025). SI-STAT podatkovni portal. URL: <http://pxweb.stat.si/pxweb/Database/Ekonomsko/Ekonomsko.asp> (10.3.2026)
- Teece, D. J. (2010). Technological innovation and the theory of the firm: The role of enterprise-level knowledge, complementarities, and (dynamic) capabilities. In: Hall B.H., Rosenberg N. eds. *Handbook of the Economics of Innovation*. North Holland 1(1 C), 679–730. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)01016-6](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)01016-6)
- Thum-Thysen, A., Voigt, P., Bilbao-Orsorio, B., Maier, C., & Ognyanova, D. (2019). Investment dynamics in Europe: Distinct drivers and barriers for investing in intangible versus tangible assets? *Structural Change and Economic Dynamics*, 51, 77–88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.06.010>
- Toppinen, A., Toivonen, R., Mutanen, A., Goltsev, V., & Tatti, N. (2007). Sources of competitive advantage in woodworking firms of Northwest Russia. *International Journal of Emerging Markets*, 2(4), 383–394. DOI: <https://doi.org/10.1108/17468800710824527>
- Wang, H., Liu, Y., Xiong, W., & Song, J. (2019). The moderating role of governance environment on the relationship between risk allocation and private investment in PPP markets: Evidence from developing countries. *International Journal of Project Management*, 37(1), 117–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.10.008>
- World Bank (2020). Doing Business [Text/HTML]. World Bank. URL: <https://www.doingbusiness.org/en/doingbusiness> (10.3.2026)
- World Economic Forum (2025). The global risks report 2025. WEF. URL: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2025.pdf (10.3.2026)



OBDELAVA POVRŠIN LESA Z DCSBD PLAZMO PRED NANOSOM PREMAZOV

DCSBD PLASMA TREATMENT OF WOOD SURFACES BEFORE COATING APPLICATION

Neja Bizjak Štrus^{1*}, Zlata Kelar Tučeková², Dávid Brodňanský³, Sebastian Dahle¹

UDK članka: 630*829.1:52-726

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 16.2.2026

Sprejeto / Accepted: 11.6.2026

Izvleček / Abstract

Izvleček: Ustrezna zaščita lesa je ključna za podaljšanje njegove življenjske dobe, še posebej, kadar je uporabljen v izdelkih z visoko dodano vrednostjo, kot so jadrnice in druga plovila. Pred nanosom je priporočljivo, da se tak les očisti, običajno s pomočjo naravnih ali sintetičnih topil. Ena od alternativnih metod odstranjevanja nečistoč je uporaba netermične plazme, kot npr. plazma difuzne koplanarne površinske barijerne razelektritve (DCSBD). Za preverjanje njene učinkovitosti smo pred nanosom dveh vrst premazov za čolne očistili kose lesa navadne bukve, navadne smreke in beljave rdečega bora s pomočjo plazme, terpentina in topila na osnovi nafte. Vzorce smo nato izpostavili naravnim pogojem za eno leto, na vsake tri mesece smo merili barvo in sijaj, da bi ocenili lastnosti premaza in vpliv načina čiščenja površine na obstojnost testiranih premazov. Rezultati so pokazali, da metoda čiščenja pred nanosom premaza ni vplivala na obstojnost ali vizualne lastnosti končnega premaza. DCSBD plazma bi torej lahko služila kot okolju prijazna alternativa za predhodno obdelavo lesa.

Ključne besede: DCSBD plazma, premazi za les, čiščenje površin, naravno staranje

Abstract: Proper protection is crucial for extending the lifespan of wood, especially in demanding applications such as boat building. It is advisable to clean the surface of wood before applying a coating, typically using either natural or synthetic solvents. One alternative for removing impurities from wood surfaces is the use of nonthermal plasma, such as with the diffuse coplanar surface barrier discharge (DCSBD) method. To test the effectiveness of this approach, boards made from European beech, Scots pine sapwood, and Norway spruce were cleaned with plasma, turpentine and a petroleum-based solvent before applying two types of boat coatings. The samples were then exposed to natural conditions for one year. During this time, colour and gloss were measured every three months to assess the coating properties and the impact of the surface cleaning method on the durability of the tested coatings. The results indicated that the surface cleaning method used before coating did not impact the durability or visual properties of the selected coating. DCSBD plasma could therefore be used as an environmentally friendly alternative to wood pretreatment.

Keywords: DCSBD plasma, wood coatings, cleaning of surfaces, natural weathering

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Les se pogosto uporablja v zunanjih okoljih, kjer je lahko v neposrednem stiku z vodo ali tlemi. V takih pogojih je izpostavljen različnim neugodnim biotskim in abiotskim dejavnikom, ki lahko sčasoma vplivajo na njegovo funkcionalnost ter estetski

videz (Brischke et al., 2017). Je vsestranski material, ki se uporablja na številnih področjih, med drugim tudi pri gradnji plovil. Posebno mesto ima pri izdelavi plovil z visoko dodano vrednostjo, kot so jahte, kjer se od konstrukcije pričakuje robustnost in dolga življenjska doba. Zaradi visoke investicije uporabniki zahtevajo kakovostno izvedbo, ki zagotavlja

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

² Masaryk University, Faculty of Science, Department of Plasma Physics and Technology, CEPLANT—R&D Centre for Plasma and Nanotechnology Surface Modifications, Kotlářská 267/2, 602 00 Brno, Czech Republic

* e-pošta: neja.bizjak.strus@bf.uni-lj.si

trajnost in zanesljivost v zahtevnih pogojih. Pri tem je zelo pomemben videz plovila kot tudi ohranjanje ekodizajna skozi svojo življenjsko dobo. Lesena plovila imajo tudi nižjo maso v primerjavi s kovinskimi materiali in kompoziti, ki se uporabljajo za gradnjo plovil, kar pripomore k manjši porabi goriva in s tem znižuje negativni vpliv na okolje. Dolga leta so plovila gradili izključno iz lesa iz lokalnega okolja, danes pa se les za izdelavo v jahtah in podobnih plovilih uporablja veliko manj. Glavna težava je težje oblikovanje lesa in prilagajanje različnim zahtevnejšim oblikam (Pommier et al., 2016). Za palube so pogosto uporabljali tropske listavce zaradi njihove odpornosti proti razkroju, medtem ko so bili listavci kot je hrast, manj priljubljeni (Hillman, 1956). Uporaba tropskih lesnih vrst močno vpliva na krčenje gozdov, kar ima negativen vpliv na okolje in podnebne spremembe (Leon et al., 2022). Danes se znova vračajo k lokalnim lesnim vrstam za izdelavo plovil, saj te zagotavljajo trajnost (Pommier et al., 2016). Da bi zaščitili les, ki je pogosto izpostavljen zunanjim dejavnikom, je pomembno, da ga zaščitimo s premazi z odličnimi lastnostmi (Khademibami & Bobadilha, 2022).

Zaščita lesa temelji na dveh glavnih pristopih, kemični zaščiti in modifikaciji lesa. Kemična zaščita je učinkovita, vendar pogosto toksična, zato je podvržena regulativnim omejitvam, še posebej ko gre za izdelke, ki so v stiku s tlemi in vodo. Tehnologije modifikacije lesa se globalno širijo, vendar se uvajajo postopno, predvsem zaradi visokih stroškov, omejenih uporabniških izkušenj in skepticizma potrošnikov. Dodatno zaščito ustvarimo tudi s premazi, katerih glavni namen je zagotavljanje odpornosti proti vremenskim vplivom (Khademibami & Bobadilha, 2022). Učinkovitost površinske obdelave pri zaščiti lesa je v veliki meri odvisna od njene prekrivnosti in sposobnosti adhezije na leseno površino. Visokokakovostni premazi morajo odbijati vodo, ne da bi jo zadrževali v lesu, saj bi s tem omogočili pogoje za razvoj mikroorganizmov (Pandit et al., 2020). Na obstojnost premazov lahko vplivamo tudi s predobdelavo površine lesa. Za lokalno rastoče lesne vrste je površinska zaščita s primernim premaznim sistemom ključnega pomena za uporabo v tako zahtevnih aplikacijah, kot so npr. palube (Humar et al., 2019). Za te aplikacije se pogosto uporablja premaze na osnovi epoksi ali akrilnih polimerov (Bulian & Graystone, 2009).

Ključni korak za zagotavljanje visoke trajnosti in učinkovitosti premazov je ustrezna priprava lesene površine v skladu z navodili proizvajalcev, saj s tem preprečimo zgodnje odstopanje in druge poškodbe premaza (Weldon, 2009). Več proizvajalcev premazov za ladijske palube zahteva »razmaščevanje«, tj. čiščenje površine z alkoholnimi ali nitro topili (topila na osnovi nafte) – običajno je to predpisano za lesne vrste z visoko vsebnostjo smole (Allen, 2006), nekateri proizvajalci pa priporočajo razmaščevanje oz. čiščenje za vse površine, ne glede na vrsto lesa.

Kot možna alternativa za čiščenje je netermična plazma, predvsem plazma, ki deluje pri atmosferskem tlaku in uporablja zrak kot delovni plin (Klingner et al., 2013). Plazemska obdelava lesa je učinkovita pri čiščenju površine, saj z jedkanjem odstrani nečistoče, kar pripomore k boljši adheziji kot tudi enakomerno nanesenemu premazu (Tu et al., 2023; Žigon et al., 2018). Ena od vrst netermične plazme je difuzna koplanarna površinska barierna razelektritev (DCSBD plazma), ki je primerna predvsem za predobdelavo ravnih površin in ni odvisna od debeline obdelovanca. Z DCSBD plazmo lahko ustvarimo tanko plast makroskopsko enakomerne plazme z visoko gostoto, kar omogoča homogeno obdelavo lesa pri atmosferskem tlaku (Černák et al., 2009). Prav tako je bila ta plazma uspešno uporabljena za predobdelavo lesa različnih vrst, kot so dob (*Quercus robur*), navadna smreka (*Picea abies*), navadna bukev (*Fagus sylvatica*) in veliki jesen (*Fraxinus excelsior*) (Lux et al., 2013; Odrášková et al., 2008).

Z našo raziskavo bi radi razširili ugotovitve dveh predhodnih študij, kjer smo analizirali vpliv čiščenja podlage z različnimi sredstvi na učinkovitost epoksidnih in alkidnih premazov ob umetnem staranju ter ocenili stroškovne in okoljske posledice njihove uporabe (Bizjak Štrus et al., 2025; Bizjak Štrus et al., 2026). Nekateri proizvajalci premazov predpisujejo čiščenje z razredčilom ne glede na vrsto podlage, medtem ko ga drugi priporočajo predvsem pri lakiranju eksotičnih vrst lesa z večjo vsebnostjo smol. V raziskavi smo preučili učinek čiščenja pred nanosom premaza pri treh lokalnih vrstah lesa ter ocenili vpliv tega postopka na obstojnost premaza po enoletni zunanji izpostavitvi vzorcev.

2 MATERIALI IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 ČIŠČENJE POVRŠIN LESA

2.1 CLEANING WOOD SURFACES

Za eksperiment smo pripravili vzorce lesa navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.), navadne smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) in beljave rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.). Vzorci so bili dimenzij 370×80×20 mm³ z radialno orientacijo vlaken. Površina vzorcev je bila skobljana, vzorci pa kondicionirani na sobne pogoje (20 °C, 65 % relativne zračne vlage). Vlažnost vzorcev je bila med 10 in 12 %. Vzorce smo očistili z DCSBD plazmo, terpentinom (Terpentinovo olje, Chemcolor Sevnica d.o.o., Blanca, Slovenia), ali pa komercialno dostopnim topilom na osnovi nafte (AMAL 1030 razredčilo, AMAL d.o.o., Ljubljana, Slovenia) (AMAL1030). Terpentin in AMAL 1030 smo na površino nanесли s pomočjo papirnatih brisačk. Pogoje DCSBD plazme smo optimizirali glede na izmerjen stični kot vode z namenom izboljšanja njene učinkovitosti. Pri tem smo prilagodili čas obdelave s plazmo ter razdaljo elektrode od površine vzorca. Po optimizaciji so bili vzorci obdelani 10 s pri vhodni moči 400 W in razdalji 0,5 mm od DCSBD plazemske enote, kar omogoča delovanje plazme na celotni površini ne glede na manjše deformacije vzorcev (npr. ukrivljanje), hkrati pa upošteva tudi že objavljene podatke (Talviste et al., 2019).

2.2 DCSBD PLAZMA

2.2 DCSBD PLASMA

Sistem DCSBD plazma je sestavljen iz vzporednih srebrovih elektrod, vgrajenih v keramiko aluminijevega oksida z uporabo večslojnih laminacijskih tehnik, ki je podrobno opisana v članku (Černák et al., 2009). Uporabili smo tovrstno elektrodo, ki je po konstrukciji in velikosti podobna komercialnemu sistemu RPS250+ (Roplass s.r.o., Češka republika). Drugače kot pri komercialnem sistemu smo napravo uporabili z napajalnikom (Bizjak Štrus et al., 2026), ki zagotavlja visokofrekvenčno visoko napetost s približno 15 kHz, pri čemer najvišja napetost dosega 10–20 kV. Takšna konfiguracija omogoča makroskopsko homogeno plazmo v zraku pri atmosferskem tlaku. Nastala plast plazme ima ocenjeno efektivno debelino približno 0,3 mm, ki je odvisna od pogojev generiranja kot sta sestava plina ali vhodna moč (Šimor et al., 2002). V naših poskusih smo zaradi možne neenakomerne površi-

ne lesa uporabili razdaljo 0,5 mm med leseno površino in keramično površino. Učinek plazme pri tej razdalji je bil predhodno preizkušen in ocenjen kot zadovoljiv. Izguba mase, določena s tehtanjem pred čiščenjem in po njem, je znašala 0,2 % ali manj na vzorec, kar smo ocenili kot zanemarljivo.

2.3 STIČNI KOT VODE (WCA)

2.3 WATER CONTACT ANGLE (WCA)

Za merjenje stičnega kota vode (WCA) na očiščenih površinah smo uporabili optični goniometer (Surface Energy Evaluation System, Advex Instruments, Czech Republic), WCA pa je bil nato izračunan z Young-Laplace analizo z uporabo programske opreme (Mantanis & Young, 1997). WCA smo izmerili na manjših kosih lesa. Skupno smo analizirali do 13 kapljic na posamezen parameter, vsako kapljico smo merili 63 s (1,9 zajemov slik na sekundo). Merjenje WCA smo izvedli takoj po uporabljeni metodi čiščenja. Rezultati WCA so na voljo v članku, kjer so izvedli podoben eksperiment na manjših vzorcih, ki so jih nato umetno starali 240 ur (Bizjak Štrus et al., 2026).

2.4 PREMAZI ZA LES

2.4 WOOD COATINGS

Po čiščenju lesa smo ga premazali z dvema vrstama premazov. Vzorce, ki smo jih očistili z AMAL 1030, in eno tretjino plazemsko očiščenih vzorcev smo v dveh slojih premazali s premazom na alkidni osnovi (Lak za čolne, AMAL d.o.o., Ljubljana, Slovenia) (AMAL). Polovico vzorcev, ki smo jih očistili s terpentinom, in tretjino plazemsko obdelanih vzorcev smo premazali s temeljnim premazom na osnovi epoksidne smole (Curing agent 95360 and light primer 45559, HEMPEL d.o.o., Umag, 134 Croatia) ter z dvema plastema premaza proti obraščanju (Hard Racing white 76300, HEMPEL d.o.o., Umag, 135 Croatia) (HR). Preostanek vzorcev smo premazali le z dvema plastema HR premaza (brez temeljnega premaza). Premaze smo nanесли na površino lesa po navodilih proizvajalca.

2.5 NARAVNO STARANJE

2.5 NATURAL WEATHERING

Vzorce smo za 12 mesecev izpostavili naravnim pogojem, kot to opisuje ISO 2810 (2020). Pred izpostavitvijo smo konce vzorcev zatesnili s silikonom, da bi jih dodatno zaščitili. Vzorce smo nato vstavili

v poševno stojalo in jih pritrdili. Med vzorci je bilo 2-3 cm razmika. Na vsake tri mesece smo eksperiment prekinili, da smo izmerili spremembe v barvi in sijaju. Eksperiment je potekal med 10. julijem 2024 in 14. julijem 2025. Meteorološki podatki (temperatura zraka in količina padavin) za obdobje izpostavitve so dostopni na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (2025), merilna postaja Ljubljana Bežigrad.

2.6 BARVA IN SIJAJ

2.6 COLOUR AND GLOSS

Barvo in sijaj smo izmerili z merilnikom barve SP62 D65 spectrophotometer (X-Rite, Grand Rapids, MA, USA) in merilnikom sijaja (X-Rite AcuGloss TRI Gloss Meter) pred začetkom eksperimenta ter po 3, 6, 9 in 12 mesecih od začetka zunanje izpostavitve. Sijaj smo izmerili po standardu (ISO 2813:2014) z merilnikom sijaja. Meritev je bila izvedena pod kotom 60° vpadne svetlobe, vzporedno z vlakni lesa v vzdolžni smeri.

Barvo smo izmerili po standardih (CIE 15:2018; ISO/CIE 11664-4) s spektrofotometrom s standardno osvetlitvijo D65. Pridobljene meritve so izražene v CIELAB barvnem prostoru (parametri L^* , a^* in b^* , njihove spremembe ter celokupna sprememba barve ΔE^*). Spremembo barve smo izračunali po CIEDE2000 formuli (Sharma et al., 2005) z uporabo enačbe 1.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

Parameter L^* se giblje od 0 do 100, kjer 0 predstavlja črnino, 100 pa največjo svetlost, izračunano iz relativne svetlosti vzorčne barve na podlagi tristimulusnih vrednosti. Parametra a^* (od -300 do 220) in b^* (od -200 do 160) označujeta barvni smeri rdeča-zelena in rumena-modra, pri čemer pozitivne vrednosti pomenijo rdečino oziroma rumenost, negativne pa zelenost oziroma modrinost; oba sta prav tako izračunana iz tristimulusnih vrednosti. Skupno barvno spremembo je mogoče določiti z enačbo 1, ki upošteva spremembe vseh barvnih parametrov.

Meritve barve in sijaja smo izvedli na sredini in na nasprotnih robovih vzorca (tri meritve na vzorec), pri čemer smo se izognili naravnim razbarvanjem ali grčam, en referenčni vzorec za vsak sistem pa je bil shranjen v temi za kontrolo.

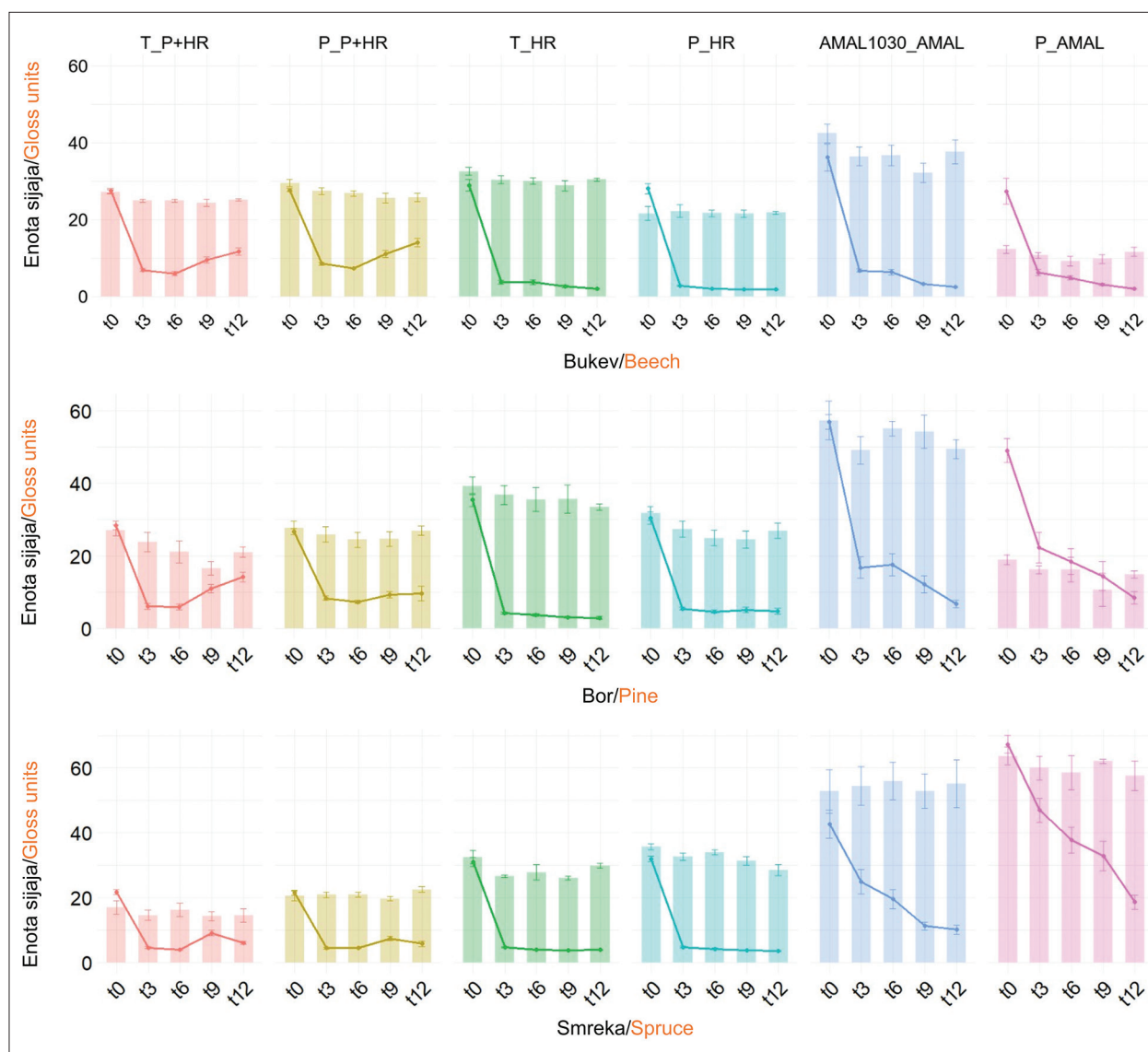
3 REZULTATI IN DISKUSIJA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 SIJAJ

3.1 GLOSS

Pri vseh vzorcih, ne glede na uporabljeno lesno vrsto, metodo čiščenja ali premaz, smo opazili največji upad sijaja po prvih treh mesecih zunanje izpostavitve. Prav tako je pri vseh vzorcih končni sijaj nižji kot začetni, kar se sklada z našimi pričakovanji. Vzorci so v enem letu zunanje izpostavitve izkusili vse štiri letne čase ter številne spremembe temperature in vlage, kar je vplivalo na njihov sijaj. Pri smreki in boru imajo najvišji začetni sijaj vzorci, ki so premazani z alkidnim brezbarvnim premazom AMAL, česar pa pri bukvi ne opazimo, saj imajo vsi vzorci približno enak začetni sijaj. Sijaj večine vzorcev po treh mesecih pade pod 10 GU, zaradi česar smo težko primerjali vzorce, saj so meritve pod to mejo manj zanesljive. Kot priporoča literatura (Sönmez, 2020), smo sijaj ponovno izmerili pri 85°, vendar so tudi te meritve dale vrednosti sijaja pod 10 GU. Pri vzorcih, ki so premazani s temeljnim premazom in premazom proti obraščanju, lahko opazimo dvig sijaja po več mesecih izpostavitve. To pripisujemo spiranju premaza proti obraščanju, ki razkrije še ohranjen premaz temeljnega premaza. Ker ta še ni bil izpostavljen zunanjim vremenskim dejavnikom, ima ohranjen prvotni sijaj. Sijaj pri vzorcih, kjer smo uporabili premaz proti obraščanju, je odvisen le od samega premaza, saj je popolnoma prekriven. Alkidni AMAL premaz pa je prozoren, zato k sijaju pripomore tudi lastnost prekritega lesa. Pred začetkom naravnega staranja med vzorci, očiščenimi s plazmo ali katerim koli od testiranih sredstev, pri nobeni od treh lesnih vrst nismo zaznali statistično značilnih razlik v sijaju, z izjemo smreke. Tu so imeli vzorci, očiščeni s plazmo in premazani z alkidnim premazom, statistično značilno višji sijaj (t-test, $p < 0,05$) v primerjavi z vzorci, očiščenimi s topilom na osnovi nafte (AMAL 1030). Enak vzorec rezultatov smo opazili tudi po enoletni zunanji izpostavitvi, dodatno pa se je statistično značilna razlika pojavila še pri bukovih vzorcih, premazanih z alkidnim premazom, kjer so imeli vzorci, očiščeni s plazmo, statistično značilno nižji sijaj. Rezultati sijaja so predstavljeni na sliki 1.



Slika 1. Povprečni sijaj vzorcev skozi enoletno obdobje zunanje izpostavitve s standardno napako. Sijaj je predstavljen v petih časovnih enotah (1 časovna enota je 3 mesece) tekom zunanje izpostavitve, kot tudi temna kontrola za vsako metodo (stolpci predstavljajo temno kontrolo, črte pa vzorce, ki so bili naravno starani). T/P/AMAL1030 – očiščeno s terpentinom/plazmo ali topilom na osnovi nafte. P+HR – temeljni premaz s premazom proti obraščanju, HR – brez temeljnega premaza, samo premaz proti obraščanju in AMAL – alkidni prozorni premaz. t0 – pred naravnim staranjem, t03 – po 3 mesecih, t06 – po 6 mesecih, t09 – po 9 mesecih in t12 po enem letu zunanje izpostavitve.

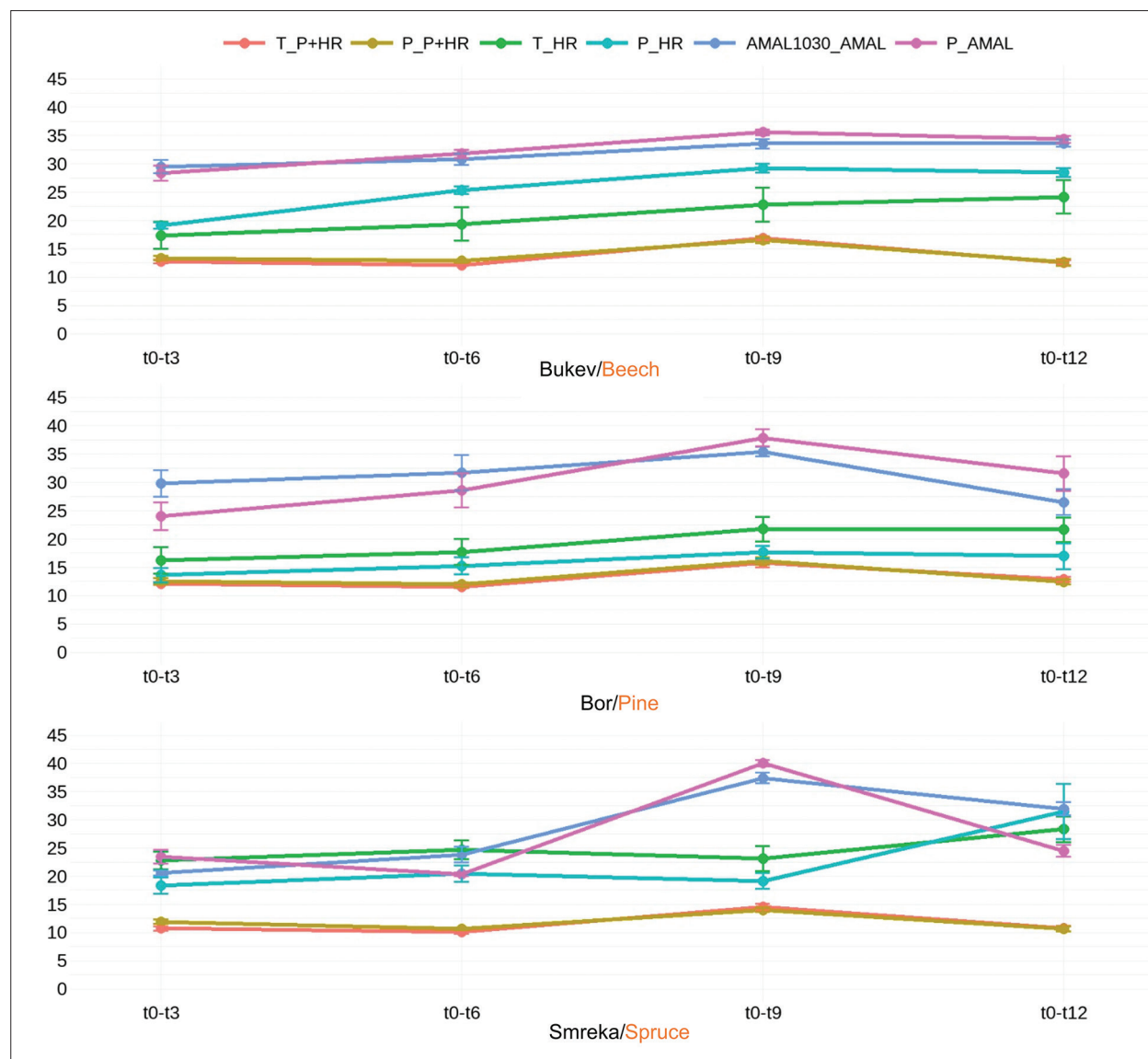
Figure 1. Average gloss at five measurement points during natural weathering of the samples (with standard error), as well as a dark reference for each method (bars represent dark reference, and lines represent naturally weathered samples). T/P/AMAL1030 – cleaned with turpentine/plasma or petroleum-based solvent. P+HR – primer with hard racing, HR – no primer, just hard racing and AMAL – alkyd-based clear varnish. t0 – before natural weathering, t03 – after 3 months, t06 – after 6 months, t09 – after 9 months and t12 – after one year of natural weathering.

3.2 SPREMEBA BARVE

3.2 COLOUR CHANGE

Barvne spremembe smo primerjali glede na začetno stanje pred zunanjo izpostavitvijo in so predstavljene na sliki 2. Podobno kot pri sijaju opazimo največjo spremembo barve po prvih treh

mesecih izpostavitve, predvsem na vzorcih, kjer smo uporabili alkidni brezbarvni premaz AMAL, najmanjše spremembe pa so pri vzorcih, kjer smo uporabili tako temeljni premaz kot tudi premaz proti obraščanju. Kjer temeljnega premaza nismo uporabili, je premaz proti obraščanju hitro začel



Slika 2. Sprememba barve v primerjavi z barvo pred začetkom naravnega staranja (s standardno napako). t0-t3 – po 3 mesecih, t0-t6 – po 6 mesecih, t0-t9 – po 9 mesecih in t0-t12 po enem letu zunanje izpostavitve. T/P/AMAL1030 – očiščeno s terpentinom/plazmo ali topilom na osnovi nafte. P+HR – temeljni premaz s premazom proti obraščanju, HR – brez temeljnega premaza, samo premaz proti obraščanju in AMAL – alkidni prozorni premaz.

Figure 2. Change in colour (ΔE^*) compared to the colour before natural weathering (with standard error). t0-t3 – after 3 months, t0-t6 – after 6 months, t0-t9 – after 9 months and t0-t12 – after 12 months of natural weathering. T/P/AMAL1030 – treated with turpentine/plasma or petroleum-based solvent. P+HR – primer with hard racing, HR – no primer, just hard racing and AMAL – alkyd-based clear varnish.

odstopati, kar je privedlo do izpostavitve lesa in posledično vplival na barvo. Vpliv na končno barvo je imel tudi temeljni premaz, saj so bili ti vzorci rahlo sivi, v primerjavi z vzorci brez temeljnega premaza, ki so bili bolj svetli. Pri vzorcih z alkidnim premazom pa je na barvo močno vplivala barva lesa, saj je ta premaz brezbarven.

Med izpostavitvijo so se vzorci, premazani s premazom, proti obraščanju, na nekaterih predelih obarvali rumeno. Vzorci, premazani z alkidnim premazom AMAL, so potemneli, prišlo je tudi do izrazitega odstopanja premaza že po treh mesecih izpostavitve. Ti vzorci so imeli na mestih, kjer je premaz odstopil, imeli izrazite sive cone, kjer so različni vremenski in biotski vplivi poškodovali les, saj ni bil več zaščiten s premazom.

3.3 POŠKODBE VZORCEV

3.3 SAMPLE DAMAGE

Odstopanje alkidnega premaza s smrekovih vzorcev je napredovalo hitreje kot pri vzorcih, ki so bili predhodno premazani s topilom na osnovi

nafte AMAL 1030 (slika 3). Pri enakem sistemu na bukvi in boru nismo opazili tega trenda. Ta sistem premaza nas je presenetil in razočaral, saj alkidni premaz AMAL velja za kakovostnega in je namenjen zahtevnejšim uporabam, kot so leseni deli plovil nad vodno linijo. Prav tako proizvajalec navaja, da je premaz odporen proti slani vodi in soncu.

Pri vzorcih brez temeljnega premaza smo opazili, da odstopanje krovnega premaza pri smreki in boru poteka približno enako hitro, ne glede na to, ali je bila površina očiščena s terpentinom ali plazmo. Pri bukovih vzorcih pa smo opazili, da je do hitrejšega in izrazitejšega odstopanja krovnega premaza prišlo pri vzorcih, kjer smo površino očistili s plazmo (slika 4). Rezultat je bil pričakovan, saj proizvajalec eksplicitno navaja uporabo krovnega premaza v kombinaciji s temeljnim premazom. S tem smo želeli preveriti, ali bi plazemska predobdelava potencialno lahko nadomestila uporabo temeljnega premaza, vendar smo ugotovili, da je ta nujen za obstojnost krovnega premaza.



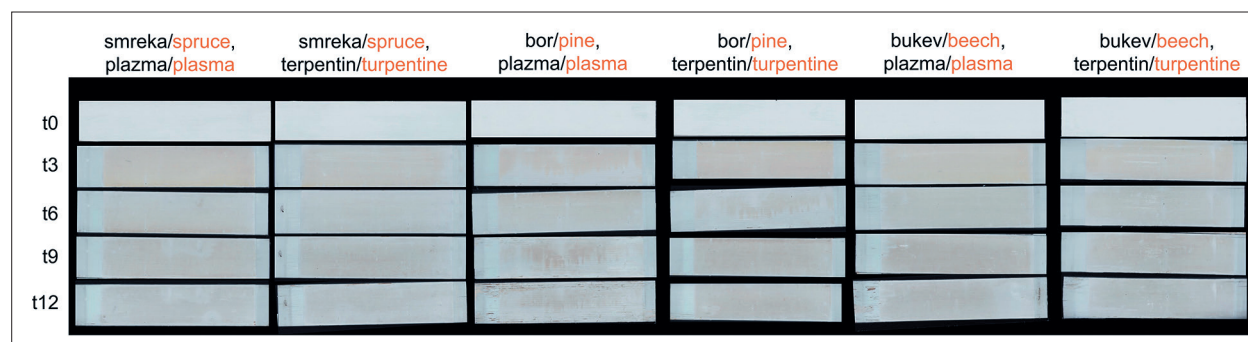
Slika 3. Sistem alkidnega prozornega premaza (AMAL) med enoletno zunanjo izpostavitvijo.

Figure 3. Alkyd clear coating (AMAL) system through one year of outdoor exposure.



Slika 4. Sistem premaza proti obraščanju (HR), brez temeljnega premaza, med enoletno zunanjo izpostavitvijo.

Figure 4. Antifouling (HR) coating system without primer, tested for one year of outdoor exposure.



Slika 5. Sistem premaza proti obraščanju (HR) s temeljnim premazom, med enoletno zunanjo izpostavitvijo.
Figure 5. Antifouling (HR) coating system, with primer, through one year of outdoor exposure.

Pri vzorcih, kjer smo uporabili temeljni premaz in premaz proti obraščanju, ni prišlo do nastanka velikih razpok premazane površine, z izjemo boro-vih vzorcev. Tu smo po šestih mesecih zunanje izpostavitve pri polovici vzorcev, očiščenih s plazmo, opazili nekoliko večje odstopanje premaza v primerjavi z vzorci, očiščenimi s terpentinom (slika 5).

Predvidevamo, da so poškodbe, odstopanje in pokanje premaznih sistemov posledica enostransko premazanih vzorcev. Spodnja stran in stranice vzorcev niso bile premazane, kar je omogočilo vdor vlage iz okolja skozi nepremazano površino. Zardi tega so ti deli vzorcev ostali neustrezno zaščiteni pred vremenskimi razmerami, biotskimi dejavniki in drugimi okoljskimi vplivi, kar je vodilo do slabše zaščite vzorcev, hitrejša degradacije in povečane dovzetnosti za poškodbe.

Z raziskavo smo potrdili, da je plazemska predobdelava pred nanosom premaza primerljiva predobdelavi s terpentinom ali sintetičnim topilom. Plazma tudi ne vpliva bistveno na spremembo barve in sijaja premaza, kar je pomembno pri izdelkih z visoko dodano vrednostjo.

4 ZAKLJUČEK

4 CONCLUSIONS

Preizkusili smo različne zaščitne premazne sisteme za les, namenjene zahtevnejšim aplikacijam, kot so palube jaht. Proizvajalci priporočajo, da se površina pred nanosom premaza očisti oziroma razmasti. Za ta namen se običajno uporabljajo naravna ali umetna topila, vendar pa je mogoče predobdelavo lesa dosledno izvesti tudi z netermičnimi plazemskimi postopki, ki delujejo pri atmosferskem tlaku in uporabljajo zrak kot delovni plin. S študijo

smo ovrednotili možnost nadomestitve tradicionalnih topil s plazemskim čiščenjem pri pripravi lesnih površin. Testirali smo dva premaza (premaz iz epoksidnih smol in alkidni premaz) na treh lesnih vrstah (bor, smreka in bukev) ter tri vrste čiščenja (DCSBD plazma, terpentin in topilo na osnovi nafte). Vzorce smo za eno leto izpostavili naravnim razmeram, na vsake tri mesece smo izmerili spremembo barve in sijaja. Pred naravnim staranjem, med vzorci, očiščenimi s plazmo ali testiranimi sredstvi, pri nobeni izmed treh lesnih vrst ni bilo razlik v sijaju, največje razlike so se pojavile po treh mesecih staranja. Izjema je bila smreka, kjer so vzorci, premazani z alkidnim premazom in očiščeni s plazmo, imeli višji sijaj v primerjavi z vzorci, očiščenimi s topilom na osnovi nafte. Po enoletni zunanji izpostavitvi se je enak trend pri smreki ohranil, dodatno pa se je razlika pojavila še pri bukvi, kjer so imeli z alkidnim premazom premazani vzorci, očiščeni s plazmo, nižji sijaj. Po prvih treh mesecih izpostavitve smo največje barvne spremembe zaznali predvsem pri vzorcih z alkidnim brezbarvnim premazom AMAL, medtem ko so bile spremembe najmanj izrazite pri vzorcih, kjer je premaz vključeval tako temeljni premaz kot tudi premaz proti obraščanju. V primerih, kjer temeljni premaz ni bil uporabljen, je prišlo do hitrega odstopanja premaza proti obraščanju, kar je povzročilo razkritje lesa in posledično izrazitejša spremembe barve. Odstopanje alkidnega premaza s smrekovih vzorcev je napredovalo hitreje pri vzorcih, ki so bili premazani s topilom na osnovi nafte. Pri vzorcih, kjer nismo uporabili temeljnega premaza, je premaz proti obraščanju izrazilo popokal in odstopil že po treh mesecih. Pri vzorcih, kjer smo uporabili temeljni premaz in premaz proti obraščanju, nismo opazili znatnega odstopanja, le pokanje

premaza. Ugotovili smo, da je plazemska predobdelava primerna za čiščenje površine pred nanosom premaza, pri tem pa ne vpliva bistveno na vizualne lastnosti premaza.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

The use of wood is increasing across sectors, and most wood species require protection against weathering, especially in demanding applications such as decking and applications with water contact. While tropical hardwoods were traditionally used for such purposes, their environmental impact has shifted focus toward locally grown species, which require high-performance coatings to ensure durability. Surface preparation is crucial for coating performance, and conventional methods include planning and solvent-based degreasing or cleaning prior to wood coating. Non-thermal plasma (NTP) offers an environmentally friendly alternative for surface activation and cleaning, improving adhesion by modifying wood chemistry and morphology without the use of solvents. Among NTP technologies, DCSBD plasma is particularly promising for scalable wood treatment, and this study investigated it as a replacement for solvent cleaning prior to the application of epoxy- and alkyd-based coatings on locally grown wood species. We tested three protective coating systems for wood intended for demanding applications, such as yacht decks. Manufacturers recommend cleaning the surface before applying the coating. Typically, natural or synthetic solvents are used for this purpose; however, wood pre-treatment can also be effectively realized using non-thermal plasma processes that operate at atmospheric pressure and utilize air as the working gas. In this study, we evaluated the possibility of replacing traditional solvents with plasma cleaning in the preparation of wood surfaces. We tested two types of coatings (epoxy resin and alkyd-based coating) on three wood species, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sapwood, Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), and European beech (*Fagus sylvatica* L.) and compared three cleaning methods: DCSBD plasma, turpentine, and a petroleum-based solvent. The samples were exposed to natural conditions for one year, with colour and gloss changes measured every three months. Before natural

weathering, there were generally no differences in gloss among the samples treated with plasma or the tested cleaning agents across the three wood types. The most significant differences appeared after three months of weathering. An exception was spruce, where the alkyd-coated samples cleaned with plasma exhibited higher gloss than those cleaned with a petroleum-based solvent. After one year of outdoor exposure, this trend persisted for spruce, and an additional difference emerged in beech, where alkyd-coated samples cleaned with plasma showed lower gloss. After the first three months, the most significant colour changes were observed in systems using the alkyd clear coat, while the least changes occurred in systems that included both a primer and an epoxy anti-fouling coating. When a primer was not used, the anti-fouling coating peeled away quickly, exposing the wood and resulting in more pronounced colour changes. The peeling of the alkyd coating from the spruce samples progressed faster than on those coated with the petroleum-based solvent. The system without a primer showed notable blistering and peeling after just three months. Conversely, in the system with both a primer and an anti-fouling coating, no significant peeling was observed; only coating cracking was observed. We have concluded that plasma pretreatment is effective for the cleaning of surfaces prior to coating application, and does not significantly affect the coating's visual properties.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENT

Raziskavo je finančno podprla Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru raziskovalnega programa Les in lignocelulozni kompoziti (P4-0015) ter projekta Plazemska obdelava poroznih heterogenih substratov na biološki osnovi (N4-0267). Raziskavo sta sofinancirala tudi Češka znanstvena fundacija (GAČR) v okviru projekta GF25-20010L ter Ministrstvo za izobraževanje, mladino in šport Češke republike (MEYS ČR) v okviru projekta LM2023039. Plazemsko obdelavo vzorcev sta opravila sodelavca z Masarykove univerze v Brnu, Michal Pazderka in Jakub Kelar, za kar se jima lepo zahvaljujemo.

DOSTOPNOST RAZISKOVALNIH PODATKOV DATA AVAILABILITY

Skladno z načeli odprte znanosti so raziskovalni podatki na voljo na odprto dostopnem repozitoriju Zenodo na povezavi <https://doi.org/10.5281/zenodo.18494992> in naj bodo citirani kot Dahle (2026).

In accordance with the principles of open science, the research data are available on the open-access repository Zenodo at <https://doi.org/10.5281/zenodo.18494992> and should be cited as Dahle (2026).

VIRI

REFERENCES

- Allen, M. (2006). The complete guide to wood finishes: How to apply and restore lacquers, polishes, stains and varnishes. New York: Simon and Schuster.
- Agencija Republike Slovenije za okolje (2025). Meteorološki podatki za postajo Ljubljana Bežigrad. URL: <https://meteo.arso.gov.si> (27.1.2026)
- Bizjak Štrus, N., Remic, K., Kitek Kuzman, M., Oblak, L., & Dahle, S. (2025). Laboratory-scale life cycle assessment and cost analysis of beechwood degreasing methods. *Wood Material Science & Engineering*, 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480272.2025.2510561>
- Bizjak Štrus, N., Tučeková, Z. K., Brodňanský, D., Kellar, J., & Dahle, S. (2026). DCSBD plasma treatment as an alternative to commercial surface degreasing agents before applying wood coatings. *Cellulose* 33(6), 3587–3600. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-026-07041-z>
- Brischke, C., Meyer-Veltrup, L., & Bornemann, T. (2017). Moisture performance and durability of wooden façades and decking during six years of outdoor exposure. *Journal of Building Engineering*, 13, 207–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.08.004>
- Bulian, F., & Graystone, J. (2009). *Wood Coatings: Theory and Practice*. Elsevier, Amsterdam. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52840-7.X0001-X>
- Commission Internationale de l'Éclairage (2018). *Colorimetry* (CIE Standard No. 15:2018).
- Černák, M., Černáková, L., Hudec, I., Kováčik, D., & Zahoranová, A. (2009). Diffuse coplanar surface barrier discharge and its applications for in-line processing of low-added-value materials. *The European Physical Journal Applied Physics*, 47(2), 22806. DOI: <https://doi.org/10.1051/epjap/2009131>
- Dahle, S. (2026). Dcsbd plasma treatment as an alternative to commercial surface degreasing agents before applying coatings to wood [Data set]. Zenodo. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18494992>
- Hillman, H. F. (1956). Woods for small boat construction. *International Shipbuilding Progress*, 3(26), 551–559. DOI: <https://doi.org/10.3233/ISP-1956-32605>
- Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B., & Brischke, C. (2019). The performance of wood decking after five years of exposure: verification of the combined effect of wetting ability and durability. *Forests*, 10(10), 903. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10100903>
- ISO (2014). *Paints and varnishes—Determination of gloss value at 20°, 60° and 85°* (ISO 2813:2014).
- ISO/CIE (2019). *Colorimetry—Part 4: CIE 1976 Lab colour space** (ISO/CIE 11664-4:2019).
- ISO (2020). *Paints and varnishes—Natural weathering of coatings—Exposure and assessment* (ISO 2810:2020).
- Khademibami, L., & Bobadilha, G. S. (2022). Recent developments studies on wood protection research in academia: a review. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, 793177. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.793177>
- Klingner, S., Voigts, F., Viöl, W., & Maus-Friedrichs, W. (2013). Analysis of plasma degreased aluminium foil with XPS. *Surface Engineering*, 29(5), 396–401. DOI: <https://doi.org/10.1179/1743294413Y.0000000129>
- Leon, M., Cornejo, G., Calderón, M., González-Carrión, E., & Florez, H. (2022). Effect of deforestation on climate change: a co-integration and causality approach with time series. *Sustainability*, 14(18), 11303. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141811303>
- Lux, C., Szalay, Z., Beikircher, W., Kováčik, D., & Pulker, H. K. (2013). Investigation of the plasma effects on wood after activation by diffuse coplanar surface barrier discharge. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71(5), 539–549. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0706-3>
- Mantanis, G. I., & Young, R. A. (1997). Wetting of wood. *Wood Science and Technology*, 31(5), 339–353. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01159153>
- Odrášková, M., Ráhel', J., Zahoranová, A., Tiňo, R., & Černák, M. (2008). Plasma activation of wood surface by diffuse coplanar surface barrier discharge. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 28(2), 203–211. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11090-007-9117-8>
- Pandit, S. K., Tudu, B. K., Mishra, I. M., & Kumar, A. (2020). Development of stain resistant, superhydrophobic and self-cleaning coating on wood surface. *Progress in Organic Coatings*, 139, 105453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.105453>
- Pommier, R., Grimaud, G., Prinçaud, M., Perry, N., & Sonnemann, G. (2016). Comparative environmental life cycle assessment of materials in wooden boat ecodesign. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(2), 265–275. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-015-1009-1>
- Sharma, G., Wu, W., & Dalal, E. N. (2005). The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. *Color Research & Application*, 30(1), 21–30. DOI: <https://doi.org/10.1002/col.20070>
- Šimor, M., Ráhel', J., Vojtek, P., Černák, M., & Brablec, A. (2002). Atmospheric-pressure diffuse coplanar surface discharge for sur-

- face treatments. *Applied Physics Letters*, 81(15), 2716–2718.
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1513185>
- Sönmez, S. (2020). Gloss of Paper. In: Kiran, B., & Balpetek, B. (ED), *Current Researches in Engineering Sciences* (77–89). İzmir: Duvar Publishing.
- Talviste, R., Galmiz, O., Stupavská, M., Tučková, Z., Kaarna, K., & Kováčik, D. (2019). Effect of DCSBD plasma treatment on surface properties of thermally modified wood. *Surfaces and Interfaces*, 16, 8–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2019.04.005>
- Tu, Y., Liang, J., Yu, L., Wu, Z., Xi, X., Zhang, B., Tian, M., Li, D., & Xiao, G. (2023). Effects of plasma treatment on the surface characteristics and bonding performance of pinus massoniana wood. *Forests*, 14(7), 1346. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14071346>
- Weldon, D. G. (2009). *Failure analysis of paints and coatings*. John Wiley & Sons.
- Žigon, J., Petrič, M., & Dahle, S. (2018). Dielectric barrier discharge (DBD) plasma pretreatment of lignocellulosic materials in air at atmospheric pressure for their improved wettability: A literature review. *Holzforschung*, 72(11), 979–991. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2017-0207>

DR. JOŽICA GRIČAR – PREJEMNICA ZOISOVEGA PRIZNANJA ZA POMEMBNE DOSEŽKE NA PODROČJU BIOLOGIJE DREVES

DR JOŽICA GRIČAR RECEIVED THE ZOIS AWARD FOR IMPORTANT ACHIEVEMENTS IN THE FIELD OF TREE BIOLOGY

Katarina Čufar^{1*}, Peter Prislan²

Izvleček / Abstract

Izvleček: Dr. Jožica Gričar je v novembru 2025 prejela Zoisovo priznanje za pomembne dosežke na področju biologije dreves, ki predstavlja prestižno državno nagrado Republike Slovenije. Predstavljamo delo in dosežke dr. Jožice Gričar, znanstvene svetnice na Gozdarskem inštitutu Slovenije, ki je z raziskavami lesa in floema pomembno prispevala h globalnemu razumevanju vpliva stresa na fiziološke procese v drevesih in njihovo debelinsko rast. Njene raziskave, izvedene v okviru intenzivnega mednarodnega sodelovanja, so pomembno prispevale k razumevanju odzivov dreves na spremenjene okoljske razmere. Ti odzivi se kažejo v prilagoditvah razvoja tkiv (lesa in floema) ter organov (listov, debla in korenin), kar se odraža v njihovi anatomski zgradbi. V času podnebnih sprememb in vse pogostejših izrednih vremenskih dogodkov so njene ugotovitve, objavljene v vodilnih znanstvenih revijah ter predstavljene širši javnosti doma in v tujini, dragocene tudi za izbiro najbolj primernih drevesnih vrst ali provenienc za obnovo prizadetih ekosistemov.

Ključne besede: državno priznanje, biologija dreves, debelinska rast, les, floem, kambij, fenologija, podnebne spremembe

Abstract: In November 2025, Dr Jožica Gričar received the Zois Award for her outstanding achievements in tree biology, the prestigious state award of the Republic of Slovenia. This article presents the scientific work and accomplishments of Dr Gričar, a scientific advisor at the Slovenian Forestry Institute. Specializing in wood and phloem research, she has made a substantial contribution to the global understanding of how stress influences the physiological processes in trees and their diameter growth. Through extensive international collaboration, her research has advanced knowledge of tree responses to changing environmental conditions, particularly through adaptive modifications in the development of tissues (wood and phloem) and organs (leaves, stems and roots), as reflected in their structure. In the context of climate change and increasingly frequent extreme weather events, her team's findings published in leading scientific journals and presented to national and international audiences provide valuable guidance for selecting appropriate tree species and provenances for the restoration of disturbed and degraded ecosystems.

Keywords: national award, tree biology, diameter growth, wood, phloem, cambium, phenology, climate change

1 UVOD

1 INTRODUCTION

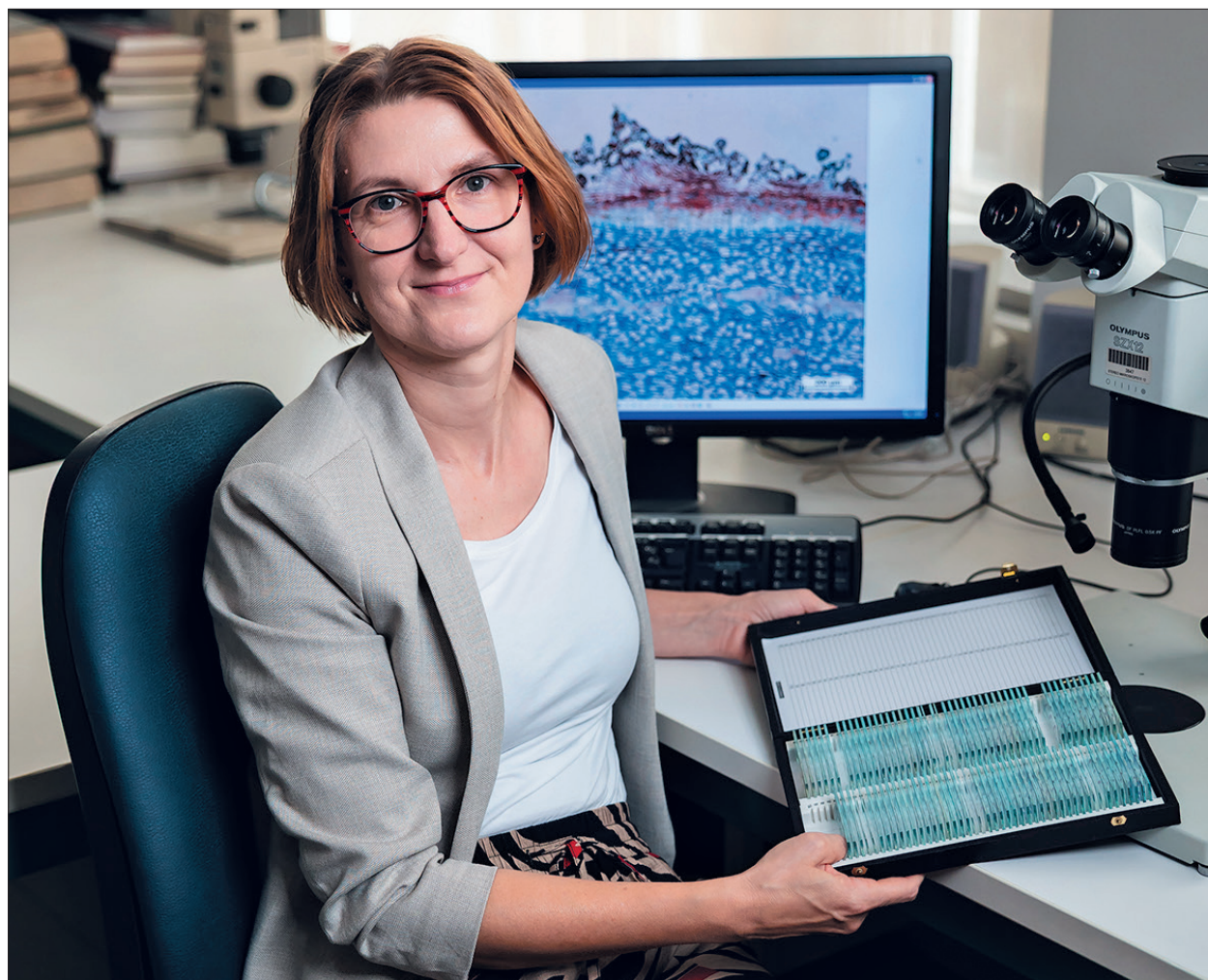
Dr. Jožica Gričar je v novembru 2025 prejela Zoisovo priznanje za pomembne dosežke na področju biologije dreves. Ob tem izjemnem državnem priznanju Republike Slovenije podrobneje predstavljamo njeno vsestransko delo in dosežke.

Dr. Jožica Gričar (slika 1, 2) kot znanstvena svetnica deluje na Gozdarskem inštitutu Slovenije (GIS). Trenutno vodi Laboratorij za lesno anatomijsko v Oddelku za gozdno fiziologijo in genetiko, ki ga vodi akademikinja prof. dr. Hojka Kraigher. Od leta 2022 dalje vodi interdisciplinarno programsko skupino P4-0430 Gozdno-lesna veriga in podnebne spremembe: prehod v krožno biogospodarstvo ter sodeluje v različnih nacionalnih in mednarodnih projektih. Njeno raziskovalno delo, vpeto v mednarodno okolje, je usmerjeno v proučevanje biologije in anatomije drevesnih tkiv v povezavi s fiziologijo dreves, interakcijami med podnebjem in rastjo ter

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

² Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

* e-pošta: katarina.cufar@bf.uni-lj.si



Slika 1. Dr. Jožica Gričar v mikroskopirnici Gozdarskega inštituta Slovenije (Foto: Matjaž Tavčar).

Figure 1. Dr Jožica Gričar in the microscopy room of the Slovenian Forestry Institute (photo: Matjaž Tavčar).

zgradbo, lastnostmi in kakovostjo lesa. Glavni namen raziskav je poglobiti razumevanje zgradbe, razvoja in prilagoditvenih odzivov drevesnih tkiv v spreminjajočih okoljskih razmerah ter prispevati k trajnostni in optimalni rabi lesa. Njeno delo obsega (a) poglobljene raziskave razvoja in strukture drevesnih tkiv (lesa, kambija, skorje ipd.) pri različnih drevesnih vrstah, (b) identifikacijo lesa in skorje, ter (c) sistematično zbiranje, nadgrajevanje in prenos znanja s področja anatomije lesa v raziskovalno in strokovno prakso. Pri svojem delu kot enega izmed ključnih pristopov uporablja povezovanje najsodobnejših spoznanj in raziskovalnih tehnik. Pomemben dosežek laboratorija je ksiloteka, ki je osnova za opise makroskopskih in mikroskopskih značilnosti lesa različnih gospodarsko bolj ali manj pomembnih lesnatih rastlin, ki rastejo v Sloveniji, in jih od

leta 2021 v soavtorstvu s Petrom Prislanom redno objavlja v reviji Gozdarski vestnik (npr. Gričar & Prislan, 2021, 2024). V njeno raziskovalno skupino so vključene študentke in študenti različnih smeri in stopenj študijev ter raziskovalke in raziskovalci iz različnih raziskovalnih ustanov doma in v tujini, kot npr. iz Argentine (Faculty of Agronomy – University of Buenos Aires), Indije (Arya Vidyapeeth College, Guwahati, Assam ter Diphu Government College, Karbi Anglong, Assam, India), Belgije (PLECO, University of Antwerp), Češke (Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University, Brno), Hrvaške (Faculty of Forestry, University of Zagreb), Italije (CNR ISAFOM), Nemčije (TUM) in Portugalske (Forest Biotech Lab IBET/ITQB).

Z raziskavami s poudarkom na proučevanju kambija, lesa in skorje različnih drevesnih vrst v



Slika 2. Jožica Gričar, prejemnica Zoisovega priznanja v letu 2025, z ekipo Gozdarskega inštituta Slovenije (od desne proti levi dr. Jožica Gričar, akad. prof. dr. Hojka Kraigher, dr. Luka Kranjc, dr. Peter Prislan) (Foto: Polona Hafner).

Figure 2. Jožica Gričar, who received the Zois Award in 2025, with the team from the Forestry Institute of Slovenia (from right to left: Dr Jožica Gričar, Acad. Prof. Dr Hojka Kraigher, Dr Luka Kranjc, Dr Peter Prislan) (photo: Polona Hafner).

različnih fitogeografskih okoljih in podnebnih razmerah je pomembno prispevala h globalnemu razumevanju vpliva stresa na fiziološke procese v drevesih in njihovo rast. Ugotovili so, da se drevesa na spremenjene razmere odzivajo s prilagajanjem fenologije svojih tkiv in organov, kar se odraža v njihovi strukturi. V času podnebnih sprememb in vse pogostejših ekstremnih vremenskih dogodkov so ugotovitve raziskav še posebej dragocene, saj pomagajo pri izbiri najbolj primernih drevesnih vrst ali provenienc za različna okolja.

2 DELO IN DOSEŽKI

2 ACTIVITIES AND ACHIEVEMENTS

Jožica Gričar se je v raziskovalno delo na področju biologije lesa vključila že v okviru univerzite-



Slika 3. Skupinska slika po zagovoru doktorata dr. Jožice Gričar na Oddelku za lesarstvo BF UL v maju 2006 (od desne proti levi somentor prof. dr. Primož Oven, dr. Jožica Gričar, mentorica prof. dr. Katarina Čufar in člani komisije prof. dr. Jasna Štrus, prof. dr. Dieter Eckstein, prof. dr. Marina Dermastia) (Foto: Katarina Čufar, osebni arhiv).

Figure 3. Group photo of Dr Jožica Gričar after the defence of her doctoral thesis at the Department of Wood Science and Technology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, in May 2006 (from right to left: co-supervisor Prof. Dr Primož Oven, Dr Jožica Gričar, supervisor Prof. Dr Katarina Čufar, and the committee: Prof. Dr Jasna Štrus, Prof. Dr Dieter Eckstein, Prof. Marina Dr Dermastia) (photo: Katarina Čufar, personal archive).

tnega študija na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (OL BF UL), kjer je bila odlična študentka in Zoisova štipendistka. V okviru diplomskega dela se je posvetila proučevanju tkiv dreves bele jelke (*Abies alba*), spremenjenih zaradi umiranja dreves. Pri tem je sodelovala tudi z Oddelkom za biologijo BF UL, kjer je pod vodstvom prof. dr. Jasne Štrus in njene skupine spoznala tehnike priprave tkiv in preparatov za transmisijsko elektronsko mikroskopijo. V okviru takrat dokaj novega programa ERASMUS se je ob koncu študija odpravila na izmenjavo na Univerzo Hamburg, kjer so jo pri delu vodili dr. Claudia Grünwald, ki je bila somentorica pri njeni diplomski nalogi ter dr. Uwe Schmitt in prof. dr. Dieter Eckstein. Recenzent pri diplomski nalogi je bil prof. dr. Primož Oven, zagovor diplomskega dela (Gričar, 2001) je z odliko opravila na OL BF pred mednarodno komisijo in zanj prejela fakultetno Prešernovo nagrado BF. Rezultate diplomskega dela je predstavila na mednarodni konferenci in z objavo v vodilni reviji na področju anatomije lesa

IAWA Journal (Schmitt et al., 2003). Po diplomi je postala mlada raziskovalka in doktorska študentka na OL BF pod mentorstvom prof. dr. Katarine Čufar in somentorstvom prof. dr. Primoža Ovna. Pri raziskovalnem delu je bila vključena tudi v mednarodni projekt PINE (V. FP, EVK2-CT-2002-00136). Še naprej je sodelovala z Univerzo v Hamburgu ter dodatno razširila in poglobila mednarodno sodelovanje. Kot doktorandka je objavila prebojne raziskave o delovanju kambija v odraslih drevesih iglavcev ter o procesih nastajanja lesa in floema v deblih iglavcev, vključno z eksperimentalnimi študijami nadzorovanega ogrevanja in hlajenja debel odraslih smrek (*Picea abies*) (npr. Gričar et al., 2005a, 2005b). Doktorško delo (Gričar, 2006) je uspešno zagovarjala pred mednarodno in interdisciplinarno komisijo (slika 3).

Konec leta 2006 se je zaposlila na Gozdarskem inštitutu v raziskovalni skupini prof. dr. Toma Levaniča. Pridobila je podoktorski projekt (ARIS Z4-9662) in razširila področje delovanja ter sodelovanja z domačimi in mednarodnimi raziskovalnimi skupinami. Nadaljevala je tudi s pionirskim delom na področju raziskav kambija ter nastajanja lesa in floema pri iglavcih (npr. Gričar & Čufar, 2008), ki zahtevajo obsežno terensko (slika 4) in laboratorijsko delo (slika 2). Pri tem se je izkazalo, da destruktivne metode vzorčenja tkiv iz živih dreves niso omogočale stalnega spremljanja delovanja kambija in nastajanja tkiv, izboljšati pa je bilo treba tudi metode priprave preparatov. V letih, ki so sledila, je skupaj z dr. Annie Deslauriers in dr. Sergiom Rossijem izpopolnjevala metodo odvzema mikro-izvrtkov ter pripravo poltankih rezin po vklapljanju drevesnih tkiv v parafin. Jožica Gričar je opravila pionirsko delo pri standardiziranju metode in prenašanju znanja v zainteresirane laboratorije po vsem svetu.

Hkrati je bilo potrebno raziskave razširiti na proučevanje nastajanja lesa in floema pri listavcih, kjer je bilo pomembno delo opravljeno v okviru doktorske disertacije Petra Prislana (somentorica Jožica Gričar, mentorica Katarina Čufar). Opravljene so bile temeljne analize ksilogeneze in floemogeneze pri bukvi (*Fagus sylvatica*) (Prislan et al., 2009) ter povezave nastajanja lesa, dendrokronologije in listne fenologije bukve (Čufar et al., 2008). Metode vzorčenja mikro izvrtkov so omogočile dolgoletno spremljanje nastajanja lesa in floema pri modelnih drevesnih vrstah, kot so navadna smreka (Gričar et al., 2014, 2016) in bukev (Prislan et al., 2013b,

2019) za območja z zmerno celinskim in hladnim podnebjem ter alepski bor (*Pinus halepensis*) za Sredozemlje (De Luis et al., 2007, 2011) in puhasti hrast (*Quercus pubescens*) za sub-Sredozemlje (Gričar et al., 2022, 2026). Izboljšava in nadgradnja metodologije je med drugim omogočila tudi spremljanje faz delovanja in mirovanja kambija na osnovi ultra-strukturnih sprememb v celicah kambija (Prislan et al., 2013a, 2016). Standardizacija metod in intenzivno mednarodno sodelovanje je omogočilo izmenjavo in združevanje podatkov za naslavljanje ključnih vprašanj odziva dreves na okoljske spremembe v Evropi (npr. Cuny et al., 2015) in na nivoju severne poloble (npr. Rossi et al., 2008, 2013; Huang et al., 2020; Silvestro et al., 2024; Li et al., 2025). Intenzivno mednarodno sodelovanje proučevanja odzivov dreves na ekstremne dogodke je potekalo tudi v okviru COST akcije FP1106 STREeSS in drugih projektov. Poleg proučevanja nastajanja lesa in floema ter strukturnih ogljikovih hidratov celičnih sten se je vključila tudi v raziskave dinamike nestrukturnih ogljikovih hidratov, kot so sladkorji in škrob v rastlinskih celicah (Gričar et al., 2018a). Imela je pomembno vlogo pri raziskovanju podzemnih delov dreves, drobnih korenin (Mrak & Gričar, 2016; Mrak et al., 2019) in debelejših korenin, kjer v velikih koreninah pozimi kljub nizkim temperaturam niso zaznali prekinitve nastajanja lesa (Marchand et al., 2025).

Jožica Gričar je že na začetku znanstvene poti prepoznala izjemen potencial raziskav floema, ker



Slika 4. Delo na terenu (Foto: Lena Marion).

Figure 4. Field work (photo: Lena Marion).



Slika 5. Skupinska slika s študenti, sodelavkami in sodelavci ter komisijo po nastopnem predavanju za izvolitev v naziv docentka na Oddelku za lesarstvo BF UL leta 2009 (Foto: Katarina Čufar, osebni arhiv).

Figure 5. Group photo with students, colleagues, and the committee after the inaugural lecture for the assistant professor title at the Department of Wood Science and Technology BF UL in 2009 (photo: Katarina Čufar, personal archive).

je njegovo nastajanje in delovanje ključno za preživetje dreves. Od pionirskih začetkov v okviru diplomskega dela Luke Kržeta, kjer je bila somentorica (Krže et al., 2007; Gričar et al., 2009), so bile raziskave floema razširjene na večje število drevesnih vrst, med njimi tudi sredozemske (Gričar et al., 2016, 2026). Nedavno je vodila obsežno študijo o časovni in prostorski variabilnosti zgradbe floema, za kar so bila raziskana tkiva iz 8-letnega eksperimenta nastajanja floema pri navadni smreki in navadni bukvi z dveh kontrastnih okolij (Gričar et al., 2024). V komentarju v prestižni reviji *Journal of Experimental Botany* je floem izpostavila kot manjkajoči člen pri razumevanju usklajevanja primarne in sekundarne rasti ter odziva dreves na spreminjajoče se okoljske razmere (Gričar, 2024).

Jožica Gričar je bila vodja (ID:WOOD – SE-E/D/0227/1.2/X) ali je kot projektna partnerica sodelovala v številnih evropskih (npr. FORESDA – DTP1-383-1.1, ROSEWOOD – Horizon 2020-SC5-2016-2017, ROSEWOOD 4.0 – H2020-RUR-2018-2020, WOOLF – EU kohezijska sredstva, REWINNUSE – Norveški finančni mehanizem in Finančni mehanizem EGP) in nacionalnih projektih (npr. J4-4541, J4-9297, J4-7203, L7-2393, V4-0496 in Z4-9662). Obenem sodeluje v številnih nacionalnih in mednarodnih projektih. S projekti je pridobila

dragocene izkušnje za vodenje projektov in s temami, povezanimi z gozdno-lesnimi vrednostnimi verigami (SICRIS, 2026).

Po doktoratu je opravila več enomesečnih obiskov tujih raziskovalnih inštitucij, in sicer na Poljskem (Nicolaus Copernicus University, Torun), Finskem (University Helsinki, Helsinki), v Italiji (National Research Council – Institute of Agroenvironmental and Forest Biology, Monterotondo) in Belgiji (University of Antwerp, Antwerp) z namenom krepitev in širitve mednarodnega sodelovanja ter pridobivanja novih znanj.

Organizirala je več mednarodnih sestankov v Sloveniji, kot so: Delavnica "Monitoring seasonal dynamics of wood formation", Otočec, Slovenija (2009), Konferenca TRACE (Tree-rings in Archaeology, Climatology, Ecology) Otočec, Slovenija (2009) in Srečanje članov COST Akcije FPS1106 STReSS, Kranjska Gora, Slovenija (2015). Bila je tudi gostujoča so-urednica posebne številke revije *Dendrochronologia*.

Je članica vodilnih mednarodnih društev: IAWA–International Association of Wood Anatomy in ATR–Association of Tree Ring Research. Je članica evropske organizacije COST (European Cooperation in Science and Technology) in slovenske SRIP Pame-

tne stavbe in dom z lesno verigo (Strategija pametne specializacije).

Jožica Gričar je že kot doktorska študentka delovala kot priljubljena asistentka s področja znanosti o lesu v okviru Katedre za tehnologijo lesa OL BF UL pri vajah iz Anatomije lesa na univerzitetnem in visokošolskem strokovnem študiju lesarstva. Od leta 2009 do 2020 je pri pedagoškem delu sodelovala kot docentka (slika 5). Bila je somentorica pri 8 diplomskih in 2 bolonjskih magistrskih delih na različnih programih študija lesarstva OL BF ter recenzentka pri 4 diplomskih delih in 2 doktorskih disertacijah. V letih 2011 do 2022 je sodelovala kot predavateljica na Interdisciplinarnem doktorskem študiju Bioznanosti pri predmetu Les, skorja in klima. Bila je somentorica mlademu raziskovalcu Petru Prislanu, doktorandki Nelli Waszak (Univerza v Torunu, Poljska) in mentorica mladi raziskovalki na GIS Martini Lavrič, ki je doktorirala na področju Bioznanosti–biologija.

Že leta 2005 je na prošnjo Šolskega centra Ljubljana (ŠCL) Srednje lesarske šole začela sodelovati tudi kot učiteljica maturitetnega predmeta Materiali – lesarski modul na Strokovni gimnaziji. Bila je tudi vodja aktivna strokovnih predmetov tehniške gimnazije za šolsko leto 2007/08. V letih 2006 do 2008 je



Slika 6. Skupinska slika s soavtorji številnih skupnih objav (od leve proti desni doktorji Hanuš Vavrčik, Martin de Luis, Jožica Gričar, Peter Prislan, Katarina Čufar, Vladimír Gryc) na konferenci v Neaplju 2013 (Foto: Katarina Čufar, osebni arhiv).

Figure 6. Group photo with co-authors of numerous joint publications (from left to right: doctors Hanuš Vavrčik, Martin de Luis, Jožica Gričar, Peter Prislan, Katarina Čufar and Vladimír Gryc) at the conference in Naples in 2013 (photo: Katarina Čufar, personal archive).

pripravila e-gradiva za dijake ŠCL Srednje lesarske šole ter za dijake 3. in 4. letnika Strokovne gimnazije pri izbirnem predmetu Materiali – lesarski modul: Fizikalne lastnosti lesa ter Biološke lastnosti lesa. Od leta 2015 sodeluje na Visoki strokovni šoli, ŠCL, program Oblikovanje materialov pri predmetih: Tvoriva v lesarstvu in Pomožni materiali v lesarstvu.

Jožica Gričar je vključena v različne vodstvene ali druge funkcije. Bila je podpredsednica Upravnega odbora GIS (2010–2013), predsednica znanstvenega sveta GIS (2013–2016), podpredsednica Upravnega odbora GIS (2017–2021), od leta 2017 je članica biotehniških ved v stalnem strokovnem telesu Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS), za obdobje 2025–2027 pa je imenovana za članico Komisije za izbor izjemnih mentorjev in mentorice na UL.

Že kot doktorska študentka je Jožica Gričar objavila vrsto člankov v prestižnih mednarodnih znanstvenih revijah, hkrati pa je s številnimi objavami v slovenskem jeziku prispevala k širjenju znanja, razvoju strokovnega izrazoslovja in k popularizaciji znanosti v Sloveniji.

Do danes je tako nastal izjemen opus objavljenih del, ki je konec leta 2025 obsegal 121 izvirnih znanstvenih člankov v revijah s faktorjem vpliva (od tega 76 člankov v prvem kvartilu, 20 člankov, ocenjenih kot izjemni dosežki A'', pri 27 je bila prva avtorica, pri 11 kot vodilna avtorica in pri 20 kot druga avtorica. Njen h-indeks v zadnjih 10 letih je 36, število čistih citatov znanstvenih del v obdobju 2015–2025 je bil 4596 (od skupno 8382) in vsi omenjeni kazalniki naraščajo (SICRIS, 2026; Scopus, 2026). Objavila je 33 izvirnih ali preglednih znanstvenih člankov v nacionalnih revijah, 7 samostojnih sestavkov v monografski publikaciji in 2 znanstveni monografiji (SICRIS, 2026). Njena dela so večinoma javno dostopna na repozitorijih RUL in DIRROS (RUL, 2026; DIRROS, 2026). Imela je tudi 14 vabljenih predavanj na 7 tujih in 2 domačih raziskovalnih inštitucijah v obdobju 2005–2025. Pri objavljanju je sodelovala z nad 160 soavtoricami in soavtorji iz celega sveta, njeni najpogostejši soavtorji pa so Peter Prislan, Katarina Čufar in Martin de Luis, s katerimi ima 69, 57 in 32 skupnih objav s faktorjem vpliva (Scopus, 2026) (slika 6). Kot izkušena raziskovalka redno opravlja tudi delo recenzentke za več kot 30 mednarodnih znanstvenih revij, ki so večinoma zabeležene v njeni bibliografiji (SICRIS, 2026).

Ob svečani podelitvi Zoisovega priznanja v Cankarjevem domu (slika 7) je bila Jožica Gričar skupaj z drugimi nagrajenkami in nagrajenci vključena v več aktivnosti za promocijo znanosti, predstavljena pa je bila tudi v intervjuju za radio Slovenija (npr. Podobe znanja, 2025).

Med najpomembnejšimi priznanji, nagradami in dosežki moramo poleg Zoisovega priznanja omeniti še nagrado GIS, ki jo je leta 2017 prejela za znanstvenoraziskovalne dosežke. Jožica Gričar se od leta 2020 redno uvršča na seznam najboljših 2 % svetovnih znanstvenic in znanstvenikov Elsevier/Stanford (Ioannidis, 2025; World's Top 2% Scientists, 2025). Jožica Gričar je bila leta 2019 izvoljena za članico svetovne akademije za lesarstvo International Academy of Wood Science IAWS (IAWS Bulletin II, 2019; IAWS, 2026). Ta izvolitev s strani članov IAWS, ki so tudi sami vodilni strokovnjaki na področju v svetovnem merilu, je priznanje za njeno izjemno znanstveno odličnost in njen trajen doprinos k napredku znanosti o lesu v svetovnem merilu.

Jožica Gričar ima tudi izjemne osebne lastnosti in je pri sodelavkah in sodelavcih priljubljena

in spoštovana zaradi izjemnega znanja, delavnosti, učinkovitosti, zvestobe, zanesljivosti, vizije, inovativnosti, poguma in drugih vrlin. Prav te lastnosti so potrebne za doseganje izjemnih rezultatov, na osnovi katerih so ji podelili Zoisovo priznanje (slika 7). Ob prejemu priznanja se je zahvalila za številne čestitke in poudarila, da so dosežki nastali s sodelovanjem in podporo mednarodnega kroga izjemnih sodelavk in sodelavcev ter študentk in študentov.

Tudi pisca tega prispevka Jožici Gričar iskreno čestitava ter ji želiva osebne sreče, ter še dolgo uspešno sodelovanje in vsestranske uspehe.

3 POVZETEK

3 SUMMARY

In November 2025, Dr Jožica Gričar received the Zois Award for her outstanding scientific achievements in tree biology, the highest state award of the Republic of Slovenia. This article presents her work and contributions to forest and wood science.

Dr Jožica Gričar is a scientific advisor at the Slovenian Forestry Institute (GIS), where she heads the Laboratory for Wood Anatomy within the Department of Forest Physiology and Genetics lead by Acad. Prof. Dr. Hojka Kraigher (Figures 1, 2). She also leads the interdisciplinary research programme group Forest–Wood Chain and Climate Change: Transition to a Circular Bioeconomy (P4-0430), and participates in numerous national and international projects. Her research focuses on the biology and anatomy of tree tissues, interactions between climate and growth, and wood properties and quality (Figure 4). She integrates anatomical, physiological, and ecological approaches to improve wood and bark identification, understand the development and structure of tree tissues, and support the sustainable and optimal use of wood. The laboratory maintains an extensive xylotheque and actively disseminates anatomical knowledge, including a long-running series on important wood species in *Gozdarski vestnik* co-authored by Dr Peter Prislan (since 2021).

Dr Gričar's scientific career began during her studies at the Department of Wood Science and Technology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana (DWST, BF, UL), where she investigated tissues of silver fir (*Abies alba*) affected by dieback. She gained advanced expertise in transmission



Slika 7. Jožica Gričar na slavnosti podelitvi Zoisovega priznanja v Cankarjevem domu v Ljubljani novembra 2025 (Foto: Bobo–Žiga Živulovič).

Figure 7. Jožica Gričar at the Zois Award ceremony at Cankarjev dom in Ljubljana in November 2025 (photo: Bobo–Žiga Živulovič).

electron microscopy and broadened her international experience through an ERASMUS exchange at the University of Hamburg. She graduated with honours, received the Faculty Prešeren Award, and published her early work in the *IAWA Journal*. She completed her doctoral studies in 2006 under the mentorship of Prof. Katarina Čufar and co-mentorship of Prof. Dr Primož Oven (Figure 3), with internationally recognized research and publications on cambium activity and wood and phloem formation in silver fir and Norway spruce (*Picea abies*).

After joining GIS in 2006, she strengthened existing collaborations and established new ones. As a valued team worker, she further developed pioneering research on cambium dynamics, wood and phloem formation, and methodological advances, including the standardization of micro-core sampling techniques widely adopted by laboratories worldwide. Together with colleagues, she began studying deciduous trees, including European beech (*Fagus sylvatica*) as part of Peter Prislan's doctoral dissertation, where she was a co-supervisor. The research also linked wood formation, dendrochronology, and leaf phenology in beech. Micro-coring enabled long-term sampling to monitor wood and phloem formation in model tree species such as Norway spruce (Gričar et al., 2014, 2016) and beech (Prislan et al., 2013b, 2019) in areas with temperate, continental, and cold climates, and Aleppo pine (*Pinus halepensis*) in the Mediterranean (De Luis et al., 2007, 2011) and *Quercus pubescens* in the sub-Mediterranean (Gričar et al., 2022, 2026). Methodological improvements have enabled the monitoring of cambium activity and dormancy phases based on ultra-microscopic changes in cambium cells (Prislan et al., 2013a, 2016). Standardization of methods and intensive international collaboration have enabled the exchange and pooling of data to address key questions about tree responses to environmental change in Europe (e.g., Cuny et al., 2015) and across the northern hemisphere (e.g., Rossi et al., 2008, 2013; Huang et al., 2020; Silvestro et al., 2024; Li et al., 2025). Intensive international cooperation also took place within the framework of the COST Action FP1106 STREeSS and other projects. She also participated in research on the dynamics of non-structural carbohydrates (Gričar et al., 2018b), and played an important role in studying the underground parts of

trees, such as fine roots (Mrak & Gričar, 2016; Mrak et al., 2019) and thicker roots, where no interruption in wood formation was detected during winter despite low temperatures (Marchand et al., 2025).

Dr Gričar was among the first to recognize the importance of phloem research for understanding tree vitality and growth. From the pioneering beginnings (Krže et al., 2007; Gričar et al., 2009), this research has expanded to a greater number of tree species, including Mediterranean ones (Gričar et al., 2016, 2026). Recently, she led a study on the temporal and spatial variability of phloem tissues from an eight-year experiment on spruce and beech from two contrasting environments (Gričar et al., 2024). In a recent insight article, she highlighted phloem as a critical missing link in understanding tree diameter growth in a changing environment (Gričar, 2024).

She has served as coordinator or partner in numerous European and Slovenian projects, and has worked at several international research institutions to strengthen global cooperation. She is an active member of leading scientific organizations, including IAWA, ATR, COST, and national innovation platforms (SICRIS, 2026).

In parallel with her research, Dr Gričar has made substantial contributions to higher and secondary education. She has been a popular teacher of Wood Anatomy and other subjects in the graduate study programme of Wood Science and Technology at DWST BF UL (Figure 5) and in the Interdisciplinary Doctoral Study Programme in Bioscience at the University of Ljubljana. She has been teaching in the Materials Design programme at the Higher Vocational College of the Ljubljana School Centre (ŠCL).

Dr Gričar is also involved in the management and administration of GIS, the ARIS agency, and the Commission for the Selection of Exceptional Mentors at the University of Ljubljana through various roles.

She has published 121 original scientific articles, many in top-ranked journals, and has an h-index of 36 with over 8,300 citations (SICRIS, 2026; Scopus, 2026). She has published about 40 original or review articles in national journals and monographic publications, as well as two scientific monographs (SICRIS, 2026). Most of her works are publicly available in the RUL and DIRROS repositories (RUL, 2026; DIRROS, 2026). She is a frequent invited lecturer, a reviewer for numerous journals, an associate editor, and

has collaborated with more than 160 international co-authors (Figure 6) (SICRIS, 2026; Scopus, 2026).

She has received multiple distinctions, including the GIS Award for Scientific Research Achievements in 2017, and election as a Fellow of the International Academy of Wood Science (IAWS, 2026). This election by IAWS fellows, themselves leading experts in the field globally, recognizes her exceptional scientific excellence and lasting contribution to the advancement of wood science worldwide. Since 2020, she has consistently ranked among the Elsevier/Stanford top 2% of scientists worldwide.

Beyond her scientific excellence, Dr Jožica Gričar is highly respected for her integrity, dedication, and collegiality. Upon receiving the Zois Award, she thanked to her colleagues who have supported her and emphasized the importance of international collaboration and mentorship in achieving scientific excellence.

We warmly congratulate Dr Jožica Gričar and wish her continued success in her scientific and professional endeavours.

VIRI

REFERENCES

- Cuny, H. E., Rathgeber, C. B. K., Frank, D., Fonti, P., Mäkinen, H., Prislan, P., & Fournier, M. (2015). Woody biomass production lags stem-girth increase by over one month in coniferous forests. *Nature Plants*, 1(11), 15160. DOI: <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.160>
- Čufar, K., Prislan, P., de Luis, M., & Gričar, J. (2008). Tree-ring variation, wood formation and phenology of beech (*Fagus sylvatica*) from a representative site in Slovenia, SE Central Europe. *Trees—Structure and Function*, 22, 749–758. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0235-6>
- De Luis, M., Gričar, J., Čufar, K., & Raventós, J. (2007). Seasonal dynamics of wood formation in *Pinus halepensis* from dry and semi-arid ecosystems in Spain. *IAWA Journal*, 28(4), 389–404.
- De Luis, M., Novak, K., Raventós, J., Gričar, J., Prislan, P., & Čufar, K. (2011). Cambial activity, wood formation and sapling survival of *Pinus halepensis* exposed to different irrigation regimes. *Forest Ecology and Management*, 262(8), 1630–1638. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.013>
- DIRROS—avtor Jožica Gričar. URL: <https://dirros.openscience.si/> (23.1.2026)
- Gričar, J. (2001). Lignifikacija traheid zdravih in prizadetih jelk (*Abies alba*): diplomsko delo (univerzitetni študij) = Lignification of tracheids in healthy and declining silver fir (*Abies alba*). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Gričar, J. (2006). Vpliv temperature in padavin na ksilogenezo pri jelki (*Abies alba*) in smreki (*Picea abies*). Doktorska disertacija. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Gričar, J., Čufar, K., Oven, P., & Schmitt, U. (2005a). Differentiation of terminal latewood tracheids in silver fir trees during autumn. *Annals of Botany*, 95, 959–965.
- Gričar, J., Oven, P., & Čufar, K. (2005b). Sezonska dinamika ksilogeneze in floemogeneze pri navadni jelki (*Abies alba* Mill.). *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 78, 57–68.
- Gričar, J., Zupančič, M., Čufar, K., Koch, G., Schmitt, U., & Oven, P. (2006). Effect of local heating and cooling on cambial activity and cell differentiation in the stem of Norway Spruce (*Picea abies*). *Annals of Botany*, 97(6), 943–951. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcl050>
- Gričar, J., & Čufar, K. (2008). Seasonal dynamics of phloem and xylem formation in silver fir and Norway spruce as affected by drought. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55(4), 538–543.
- Gričar, J., Krže, L., & Čufar, K. (2009). Number of cells in xylem, phloem and dormant cambium in silver fir (*Abies alba*), in trees of different vitality. *IAWA Journal*, 30(2), 121–133.
- Gričar, J., Prislan, P., Gryc, V., Vavrčik, H., de Luis, M., & Čufar, K. (2014). Plastic and locally adapted phenology in cambial seasonality and production of xylem and phloem cells in *Picea abies* from temperate environments. *Tree Physiology*, 34, 869–881. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu026>
- Gričar, J., Prislan, P., De Luis, M., Novak, K., Longares, L. A., Martinez Del Castillo, E., & Čufar, K. (2016). Lack of annual periodicity in cambial production of phloem in trees from Mediterranean area. *IAWA Journal*, 37(2), 349–364.
- Gričar, J., Zavadlav, S., Jyske, T., Lavrič, M., Laakso, T., Hafner, P., Vodnik, D. (2018a). Effect of soil water availability on intra-annual xylem and phloem formation and non-structural carbohydrate pools in stem of *Quercus pubescens*. *Tree Physiology*, tpy-101-tpy101. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy101>
- Gričar, J., Zavadlav, S., Jyske, T., Lavrič, M., Laakso, T., Hafner, P., Vodnik, D. (2018b). Effect of soil water availability on intra-annual xylem and phloem formation and non-structural carbohydrate pools in stem of *Quercus pubescens*. *Tree Physiology*, 39(2), 222–233. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy101>
- Gričar, J., & Prislan, P. (2021). Makroskopske in mikroskopske značilnosti lesa: navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.). *Gozdarski vestnik*, 79(2), I–IV.
- Gričar, J., Jevšenak, J., Hafner, P., Prislan, P., Ferlan, M., Lavrič, M., Eler, K. (2022). Climatic regulation of leaf and cambial phenology in *Quercus pubescens*: Their interlinkage and impact on xylem and phloem conduits. *Science of The Total Environment*, 802, 149968. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149968>
- Gričar, J. (2024). Phloem: a missing link in understanding tree growth response in a changing environment. *Journal of Experimental Botany*, 75(22), 6898–6902. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erae410>
- Gričar, J., & Prislan, P. (2024). Makroskopske in mikroskopske značilnosti lesa: navadna bodika (*Ilex aquifolium* L.). *Gozdarski vestnik*, 82(10), I–IV.

- Gričar, J., Jevšenak, J., Giagli, K., Eler, K., Tsalagkas, D., Gryc, V., Prislan, P. (2024). Temporal and spatial variability of phloem structure in *Picea abies* and *Fagus sylvatica* and its link to climate. *Plant, Cell & Environment* 47(4), 1285–1299. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.14811>
- Gričar, J., Eler, K., Ogorevc, S., Chanda, D., Kro, S., Thapa, M., Prislan, P. (2026). Year-to-year variability in xylem and phloem traits of co-existing *Fraxinus ornus*, *Quercus pubescens* and *Ostrya carpinifolia*. *Tree Physiology*. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpag005>
- Huang, J.-G., Ma, Q., Rossi, S., Biondi, F., Deslauriers, A., Fonti, P., Ziacco, E. (2020). Photoperiod and temperature as dominant environmental drivers triggering secondary growth resumption in Northern Hemisphere conifers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(34), 20645. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2007058117>
- IAWS (2026). URL: <https://www.iaws-web.org> (23.1.2026)
- IAWS Bulletin (2019). URL: https://www.iaws-web.org/downloads/Bulletin-2019_II.pdf (23.1.2026)
- Ioannidis, J. P. A. (2025). August 2025 data-update for 'Updated science-wide author databases of standardized citation indicators', Elsevier Data Repository, Version 8, URL: <https://elsevier.digital-commonsdata.com/datasets/btchxktzyw/8> (23.1.2025), DOI: <https://doi.org/10.17632/btchxktzyw.8> (23.1.2026)
- Krže, L., Gričar, J., & Čufar, K. (2007). Razmerje med ksilemskim in floemskim prirastkom pri jelki (*Abies alba* Mill.). [Relation between xylem and phloem increment in Silver fir (*Abies alba* Mill.)]. *Zbornik gozdarstva in lesarstva: forest and wood science & technology*, 84, 3–10. URL: <https://dirros.openscience.si/lzpisGradiva.php?lang=slv&id=7686> (23.1.2025)
- Li, X., Silvestro, R., Liang, E., Mencuccini, M., Camarero, J. J., Rathgeber, C. B. K., Rossi, S. (2025). Warming increases the phenological mismatch between carbon sources and sinks in conifers. *Nature Climate Change*, 15(12), 1363–1370. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02474-z>
- Marchand, L. J., Gričar, J., Zuccarini, P., Dox, I., Mariën, B., Verlinden, M., Campioli, M. (2025). No winter halt in below-ground wood growth of four angiosperm deciduous tree species. *Nature Ecology & Evolution*, 9(3), 386–394. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02602-6>
- Mrak, T., & Gričar, J. (2016). Atlas of woody plant roots: morphology and anatomy with special emphasis on fine roots (P. Železnik Ed.). Ljubljana: Slovenian Forestry Institute, The Silva Slovenica Publishing Centre.
- Mrak, T., Štraus, I., Grebenc, T., Gričar, J., Hoshika, Y., Carriero, G., Kraigher, H. (2019). Different belowground responses to elevated ozone and soil water deficit in three European oak species (*Quercus ilex*, *Q. pubescens* and *Q. robur*). *Science of The Total Environment*, 651, 1310–1320. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.246>
- Podobe znanja (2025). Intervju Jožica Gričar: Ne samo les, tudi drevesna skorja nam lahko marsikaj pove o razmerah, v katerih je raslo drevo. Ljubljana: Radiotelevizija Slovenija javni zavod. URL: <https://ars.rtvsl.si/podcast/podobe-znanja/526/175153345> (23.1.2026)
- Prislan, P., Koch, G., Čufar, K., Gričar, J., & Schmitt, U. (2009). Topochemical investigations of cell walls in developing xylem of beech (*Fagus sylvatica* L.). *Holzforschung*, 63(4), 482–490. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf.2009.079>
- Prislan, P., Čufar, K., Koch, G., Schmitt, U., & Gričar, J. (2013a). Review of cellular and subcellular changes in the cambium. *IAWA Journal*, 34(4), 391–407. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-00000032>
- Prislan, P., Gričar, J., de Luis, M., Smith, K. T., & Čufar, K. (2013b). Phenological variation in xylem and phloem formation in *Fagus sylvatica* from two contrasting sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 180(2013), 142–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.06.001>
- Prislan, P., Gričar, J., de Luis, M., Novak, K., Martinez del Castillo, E., Schmitt, U., Čufar, K. (2016). Annual cambial rhythm in *Pinus halepensis* and *Pinus sylvestris* as indicator for climate adaptation. *Frontiers in Plant Science*, 7(1923). DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01923>
- Prislan, P., Gričar, J., Čufar, K., de Luis, M., Merela, M., & Rossi, S. (2019). Growing season and radial growth predicted for *Fagus sylvatica* under climate change. *Climatic Change*, 153, 181–197. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02374-0>
- Rossi, S., Anfodillo, T., Čufar, K., Cuny, H. E., Deslauriers, A., Fonti, P., Rathgeber, C. B. K. (2013). A meta-analysis of cambium phenology and growth: linear and non-linear patterns in conifers of the northern hemisphere. *Annals of Botany*, 112(9), 1911–1920. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mct243>
- Rossi, S., Deslauriers, A., Gričar, J., Seo, J. W., Rathgeber, C. W. G., Anfodillo, T., Jalkanen, R. (2008). Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates. *Global Ecology and Biogeography*, 17(6), 696–707. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00417.x>
- RUL- Repozitorij Univerze v Ljubljani, avtor Jožica Gričar. URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/> (23.1.2026)
- Schmitt, U., Grünwald, C., Gričar, J., Koch, G., & Čufar, K. (2003). Wall structure of terminal latewood tracheids of healthy and declining silver fir trees in the dinaric region, Slovenia. *IAWA Journal*, 24(1), 41–51. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000319>
- Scopus – URL: <https://www.scopus.com/> (23.1.2026)
- SICRIS – bibliografija Jožica Gričar. URL: <https://cris.cobiss.net/ecris/si/si/researcher/code/22609> (23.1.2026)
- Silvestro, R., Mencuccini, M., García-Valdés, R., Antonucci, S., Arzac, A., Biondi, F., Rossi, S. (2024). Partial asynchrony of coniferous forest carbon sources and sinks at the intra-annual time scale. *Nature Communications*, 15(1), 6169. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49494-5>
- World's Top 2% Scientists (2025). »Gričar, Jožica« <https://topresearcherslist.com/>; <https://topresearcherslist.com/Home/Profile/1124134> (23.10.2025)

IZR. PROF. DR. MAKS MERELA JE PREJEL PRIZNANJE BIOTEHNIŠKE FAKULTETE ZA IZJEMNE DOSEŽKE

ASSOCIATE PROF. DR MAKS MERELA RECEIVED THE AWARD OF THE BIOTECHNICAL FACULTY FOR EXCEPTIONAL ACHIEVEMENTS

Aleš Straže^{1*}

Izvilleček / Abstract

Izvilleček: Izr. prof. dr. Maks Merela je marca 2026 prejel priznanje Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (BF UL) posameznikom, ki s svojim delom pomembno prispevajo k razvoju fakultete in biotehniških ved. Kot prodekan in sodelavec Oddelka za lesarstvo BF UL je priznanje prejel zaradi izjemnih in dolgoročno pomembnih prispevkov k ugledu in razvoju Biotehniške fakultete, še posebej pri opravljanju vodstvenih in upravljaljskih nalog na ravni fakultete ter na področju pedagoškega, raziskovalnega in strokovnega dela.

Ključne besede: priznanje Biotehniške fakultete, vodenje, pedagoško delo, znanstveno delo

Abstract: In March 2026, Associate Professor Dr Maks Merela received the Award of the Biotechnical Faculty, University of Ljubljana (BF UL), presented to individuals whose work makes a significant contribution to the development of the faculty and the biotechnical sciences. As Vice Dean and a colleague in the Department of Wood Science and Technology, BF UL, he received the award for his exceptional and long-term contributions to the reputation and development of the Biotechnical Faculty, particularly for his leadership and management at the faculty level, as well as for his teaching, research and development activities.

Keywords: Biotechnical Faculty award, leadership, teaching, research

Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani (BF UL) je 13. marca 2026 v Zbornični dvorani UL poleg Jesenkovih nagrad slavnostno podelila tudi priznanja Biotehniške fakultete posameznikom in institucijam, ki s svojim delom pomembno prispevajo k razvoju fakultete in biotehniških ved. Priznanje BF je prejel izr. prof. dr. Maks Merela z Oddelka za lesarstvo BF UL (slika 1). Priznanje mu je bilo podeljeno zaradi njegovih izjemnih in dolgoročno pomembnih prispevkov k ugledu in razvoju Biotehniške fakultete, še posebej pri uspešnem opravljanju vodstvenih in upravljaljskih nalog na ravni fakultete ter na področju pedagoškega, raziskovalnega in strokovnega dela.

Dr. Maks Merela je izredni profesor za področje Znanost o lesu in lignoceluloznih kompozitih ter tehnologije v lesarstvu. Po osnovni šoli se je izobraževal na Srednji lesarski šoli v Ljubljani, ki jo je zaključil leta 1997. Po maturi se je vpisal na univerzitetni študij lesarstva na Oddelku za lesarstvo BF

UL, kjer je pod mentorstvom prof. dr. Primoža Ovna diplomiral leta 2002. Za diplomsko delo »Zgradba in radialna plinska permeabilnost reakcijskih con pri bukvi« je kot eden redkih diplomantov študija lesarstva prejel Univerzitetno Prešernovo nagrado.



Slika 1. Dekanja Biotehniške fakultete prof. dr. Marina Pintar in prejemnik priznanja Biotehniške fakultete izr. prof. dr. Maks Merela (Foto: Željko Stevanič).
Figure 1. The Dean of the Biotechnical Faculty, Prof. Dr Marina Pintar and the recipient of the Award of the Biotechnical Faculty Associate Prof. Dr Maks Merela (photo: Željko Stevanič).

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

* e-pošta: ales.straze@bf.uni-lj.si



Slika 2. Generalni sekretar MGTŠ dr. Mitja Blaganje, dekanja BF prof. dr. Marina Pintar in prodekan za področje lesarstva izr. prof. dr. Maks Merela med rezanjem traku ob odprtju prenovljenega poslopja Oddelka za lesarstvo, september 2025 (Foto: Matej Holcar).

Figure 2. Dr Mitja Blaganje, Secretary-General of the Ministry of the Economy, Tourism and Sport, Prof. Dr Marina Pintar, Dean of the Biotechnical Faculty, and Associate Prof. Dr Maks Merela, Vice-Dean for the field of wood science and technology, cutting the ribbon at the opening of the renovated building of the Department of Wood Science and Technology, September 2025 (photo: Matej Holcar).

Po diplomi se je v letu 2003 zaposlil v podjetju Lip Radomlje, kjer je opravil pripravništvo. Leta 2004 se je kot mladi raziskovalec iz gospodarstva vpisal na doktorski študij in pod mentorstvom prof. dr. Primoža Ovna zaključil doktorsko disertacijo z naslovom »Anatomske, histokemične in mikrokoljske spremembe v mehansko poškodovanem lesu bukve (*Fagus sylvatica*) in doba (*Quercus robur*)«, somentor pa je bil doc. dr. Igor Serša iz Inštituta Jožef Stefan. V času doktorskega študija je bil zaposlen v podjetju Lip Radomlje in v tem času tudi pripravil članke, ki so bili objavljeni v vodilnih mednarodnih znanstvenih revijah. Po zaključku doktorata se je leta 2008 zaposlil na Katedri za tehnologijo lesa OL BF, kjer je opravljal delo asistenta za področje Znanosti o lesu pri predmetih, ki jih je poučevala prof. dr. Katarina Čufar. Leta 2011 je postal docent, leta 2017 pa izredni profesor.

S svojim pedagoškim, raziskovalnim in razvojnim delom je veliko pripomogel k razvoju kated-

re ter širšega področja znanosti o lesu. Leta 2022 je postal vodja Katedre za tehnologijo lesa, bil na mednarodnem razpisu sprejet na mesto visokošolskega učitelja in postal prodekan Biotehniške fakultete za področje lesarstva.

V vlogi prodekana za področje lesarstva je uspešno vodil in koordiniral številne zahtevne investicijske, kadrovske in organizacijske projekte na Oddelku za lesarstvo. V obdobju 2023–2025 je imel ključno vlogo pri vodenju obsežnih investicij, vključno s prenovo stavbe B1 OL, sanacijo poškodovanih konstrukcijskih elementov, sanacijo posledic požara v mizarški delavnici ter nabavo nove pedagoške in raziskovalne opreme (slika 2). Skupna vrednost vodenih investicij presega milijon in pol evrov, s svojim delom in uspešno zaključenimi projekti prenove pa je pomembno prispeval k izboljšanju delovnih pogojev zaposlenih in študentov.

Poleg infrastrukturnih projektov je pomembno prispeval tudi k izboljšanju organizacijske kulture in delovanja Oddelka za lesarstvo, med drugim z racionalizacijo administrativnih postopkov, krepitevijo vloge študentov v organih oddelka ter z redno in transparentno komunikacijo z zaposlenimi, ki so mu vseskozi izkazovali veliko zaupanje.

Priznanje Biotehniške fakultete je prejel za svoje organizacijsko in vodstveno delo, pedagoško odličnost in razvoj študijskih programov, raziskovalno in strokovno delo ter za vsestranski prispevek k ugledu in razvoju Biotehniške fakultete.

Dr. Maks Merela se je v 18 letih predanega pedagoškega dela uveljavil kot izjemen pedagog in predavatelj, kar so potrjevale generacije študentov, ki jih je poučeval. V obdobju 2021–2025 je redno presegal predpisano pedagoško obremenitev (okoli 124 %) ter dosegal zelo visoke pedagoške ocene študentov (povprečna ocena 4,9 v sistemu razpona ocen 1–5, kjer je 5 najvišja ocena). V tem obdobju je kar dvakrat (za študijski leti 2022–2023 in 2023–2024) prejel pohvalo za najboljšega pedagoškega delavca OL BF, kar potrjuje njegovo pedagoško odličnost in visoko stopnjo zaupanja študentk in študentov.

Po zasedbi mesta visokošolski učitelj na Oddelku za lesarstvo je v letu 2023 prevzel nosilstvo in izvajanje predmetov s področja anatomije lesa na vseh treh stopnjah študija lesarstva (visokošolski in univerzitetni programi 1. stopnje, magistrski in doktorski študij). Kot predavatelj hkrati sodeluje



Slika 3. Dr. Maks Merela med predavanji v predavalnici in v laboratoriju (2025) (Foto: Daša Krapež).

Figure 3. Dr Maks Merela teaching and working in the laboratory (2025) (photo: Daša Krapež).

tudi na študijih 1. in 2. stopnje gozdarstva in obnovljivih gozdnih virov. Pri tem je vseskozi uspešno dopolnjeval in posodabljal učne vsebine, uvajal sodobne didaktične pristope ter skrbel za pravočasno in kakovostno pripravo učnih gradiv v fizični in elektronski obliki.

Pomemben del njegovega pedagoškega dela predstavljajo mentorstva študentom. V obdobju poročanja je sodeloval kot mentor ali somentor pri več zaključnih delih vseh stopenj študija, vključno z doktorati, magistrskimi in diplomskimi nalogami, ter s tem pomembno prispeval k izobraževanju mladih raziskovalk in raziskovalcev in strokovnjakov (slika 3).

Raziskovalno delo izr. prof. dr. Maksa Merele je obsežno, kontinuirano in mednarodno prepoznavno. Skupaj je objavil 87, od tega v obdobju od 2021 do 2025 več kot 30 izvirnih znanstvenih člankov, ki

so v veliki meri objavljeni v revijah s faktorjem vpliva, indeksiranih v mednarodnih bazah (SCI), ter številne prispevke na domačih in mednarodnih znanstvenih konferencah. Njegovi znanstveni dosežki so podprti tudi z visoko citiranostjo (nad 940 citatov), v sistemu SICRIS ima prek 650 zapisov (Sicris, 2026; Scopus, 2026; Orcid, 2026).

Dr. Maks Merela je aktivno sodeloval v nacionalnih in mednarodnih raziskovalnih projektih. Pri tem velja posebej izpostaviti njegovo delo koordinatorja obsežnega evropskega projekta ESSR APPLAUSE ter kot vodje in sodelavca v več raziskovalnih in razvojnih projektih (CRP, ARIS, KOCLES 4.0). Posebej velja izpostaviti njegovo vlogo pri pridobivanju in vodenju nakupa zahtevne raziskovalne opreme, kar je dolgoročno okrepilo raziskovalno infrastrukturo Oddelka za lesarstvo in Biotehniške fakultete (Sicris, 2026).



Slika 4. Fotograf Arne Hodalič, prof. dr. Andrej Gaspari in izr. prof. dr. Maks Merela med proučevanjem deblaka iz Blejskega jezera (2022) (Foto: ZaPA, 2022).

Figure 4. Photographer Arne Hodalič, Prof. Dr. Andrej Gaspari, and Associate Professor Dr Maks Merela examining a logboat recovered from Lake Bled (2022) (ZaPA, 2022).



Slika 5. Dr. Maks Merela—odvzem vzorcev za dendrokronološke analize priraščanja in starosti lesa (Foto: Maks Merela, osebni arhiv).

Figure 5. Dr Maks Merela collecting samples for dendrochronological analysis of wood formation and dating (photo: Maks Merela, personal archive).

Poleg znanstvenega dela je izjemno aktiven tudi na strokovnem področju. Izvedel je več deset strokovnih ekspertiz in poročil, pogosto v vlogi vodje in koordinatorja tržnih projektov (več kot sto), ter s tem pomembno prispeval k prenosu znanja v prakso, sodelovanju z industrijo, vodilnimi nacionalnimi muzeji in galerijami, Zavodom za varstvo kulturne dediščine RS in drugimi institucijami s področja kulturne dediščine (slika 4 in 5). Zavzeto deluje tudi na področju popularizacije znanosti. Eden zadnjih pomembnih tovrstnih projektov je soavtorstvo razstave v Slovenskem etnografskem muzeju »Prazgodovinska jelka iz Čadrga: Z raziskavami do znanja«

(Merela et al., 2026), ki je odličen primer, kako prenesti znanost iz laboratorija med ljudi.

Izr. prof. dr. Maks Merela s svojim delom izrazito prispeva k ugledu in prepoznavnosti Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Zelo aktiven je na področju promocije študija lesarstva, kjer je v sodelovanju z ministrstvi in agencijo SPIRIT vodil in koordiniral obsežne promocijske aktivnosti, v okviru katerih je bilo izvedenih več deset delavnic po vsej Sloveniji, v katere je bilo vključenih več sto dijakov in dijakinj srednjih šol.

Rezultati teh aktivnosti se odražajo v povečanem vpisu študentov na Oddelku za lesarstvo ter v večji prepoznavnosti poklica in študija lesarstva v



Slika 6. Dr. Maks Merela, skupinska slika z astronauti svetovnih vesoljskih agencij (projekt ESA Caves, 2019) (Foto: Maks Merela, osebni arhiv).

Figure 6. Dr Maks Merela in a group photograph with astronauts from leading international space agencies during the ESA CAVES project (2019) (photo: Maks Merela, personal archive).

slovenskem prostoru. Poleg tega redno sodeluje na domačih in mednarodnih strokovnih dogodkih, izvaja gostujoča predavanja v tujini (Erasmus+ mobilnosti) ter aktivno deluje v mednarodnih strokovnih in znanstvenih združenjih.

S svojim celostnim delovanjem na pedagoškem, raziskovalnem, organizacijskem in promocijskem področju dr. Maks Merela pomembno krepi ugled Biotehniške fakultete kot sodobne, odprte in mednarodno vpete akademske ustanove.

Maks Merela od svojega 18. leta deluje tudi v Jamarski reševalni službi (JRS) kot operativni jamarski reševalec (slika 6). Bil je vodja reševalnega centra JRS Ljubljana in vodja operative Jamarske reševalne službe ter je pomagal urediti status ekipe za širjenje ožin v primeru reševanja iz jam. Leta 2017 je vodil vzpostavitev mednarodne jamarske reševalne enote v sistemu Civilne zaščite EU, kjer je Slovenija kot prva država certificirala mednarodno enoto Cave Search and Rescue (CaveSAR), ki jo tudi vodi. Kot slovenski koordinator je 2019 vodil aktivnosti projekta ESA Caves z astronauti vseh svetovnih vesoljskih agencij. S svojim načinom dela je z ekipo JRS rešil že veliko življenj, za kar je dobil več priznanj, med njimi plaketo Civilne zaščite RS za življenjsko delo, posebne zasluge in izjemne uspehe pri zaščiti in reševanju ljudi, živali, premoženja, kulturne dediščine ter varovanju okolja ob naravnih in drugih nesrečah (Milan TR, 2022).

Glede na navedeno ni presenečenje, da je Maks Merela pri vseh, ki z njim sodelujejo, zelo spoštovan. Še posebej je cenjen zaradi svojih osebnostnih lastnosti, optimizma, iskrenosti, pripravljenosti na pomoč in sposobnosti mirnega ravnanja v stresnih in nevarnih razmerah.

Na podlagi njegovih dosežkov in uspehov je senat Biotehniške fakultete ugotovil, da izr. prof. dr. Maks Merela v celoti izpolnjuje pogoje za podelitev priznanja Biotehniške fakultete po 1. točki 12. člena Pravil o nagradah in priznanjih BF. Ugotovili so, da njegovo delo predstavlja pomemben in trajen prispevek k razvoju in krepitvi ugleda Biotehniške fakultete, zato je podelitev priznanja utemeljena in zaslužena.

Za zelo zaslužen priznanje izr. prof. dr. Maksu Mereli iskreno čestitamo tudi vsi sodelavci in sodelavke Oddelka za lesarstvo BF in mu želimo še veliko uspehov!

POVZETEK SUMMARY

On March 13, 2026, the Biotechnical Faculty of the University of Ljubljana (BF UL) presented, besides the Jesenko Awards, the Awards of the Biotechnical Faculty, which are conferred on individuals and institutions whose work makes a significant contribution to the development of the faculty and

the biotechnical sciences. The Award of the Biotechnical Faculty was presented to Assoc. Prof. Dr Maks Merela, of the Department of Wood Science and Technology (DWST), BF UL. He was awarded this recognition for his exceptional and lasting contributions to the reputation and development of the Biotechnical Faculty, particularly for his successful performance of leadership and administrative duties at the faculty level and in the areas of teaching, research, and professional work.

Dr Maks Merela is an associate professor in the field of Wood Science. After elementary school, he attended the Secondary School of Wood Technology in Ljubljana, graduating in 1997. He then enrolled in the university programme in wood science and technology at the DWST, BF UL. He graduated in 2002 under the mentorship of Prof. Dr Primož Oven, and received the prestigious University Prešeren Award for his thesis “Structure and Radial Gas Permeability of Reaction Zones in Beech”.

After graduation, he joined the woodworking company Lip Radomlje in 2003, where he completed his internship. In 2004, he joined the DWST, BF UL as a young researcher from the industry, enrolled in a doctoral programme, and, under the supervision of Prof. Dr Primož Oven, completed his doctoral dissertation entitled “Anatomical, Histochemical, and Microenvironmental Changes in Mechanically Injured Wood of Beech (*Fagus sylvatica*) and Pedunculate Oak (*Quercus robur*)”, with Assoc. Prof. Dr Igor Serša from the Jožef Stefan Institute serving as coadvisor. As part of his doctoral studies, he published articles in leading international scientific journals. After completing his doctorate, he joined the DWST, BF UL in 2008, where he served as a teaching assistant professor at the Chair of Wood Science lead by Prof. Dr Katarina Čufar. In 2011, he became an assistant professor, and in 2016, an associate professor.

Through his teaching, research, and development work, he has contributed greatly to the development of the DWST and the broader field of wood science. In 2022, he was selected through an international competition for the position of university professor at the DWST, BF UL in the field of Wood Science.

The Award of the Biotechnical Faculty was presented to him for his organizational and leadership work, pedagogical excellence and development

of study programmes, research and professional work, and for his comprehensive contribution to the reputation and development of the BF.

In terms of organizational and leadership work, Dr Merela has served as Vice Dean for Wood Science and Technology since 2022 (four year mandate), and from 2022 to 2024 he also headed the Chair of Wood Science. In his role as Vice Dean, he successfully led and coordinated numerous demanding investments, personnel, and organizational projects at the faculty. During the 2024–2025 period, he played a key role in managing extensive investments, including the renovation of the DWST B1 building, the restoration of damaged structural elements, the remediation of fire damage in the carpentry workshop, and the procurement of new teaching and research equipment. The total value of the managed investments exceeds one million euros, and through his work and successfully completed renovation projects, he has made a significant contribution to improving working conditions for employees and students.

Over the course of 18 years of dedicated teaching, Dr Merela has established himself as an exceptional educator and lecturer, as attested by the generations of students he has taught. During the 2021–2025 period, he consistently exceeded the prescribed teaching load and received very high teaching evaluations from students (an average rating of 4.9 on a scale of 1 to 5, where 5 is the highest rating). During this period, he was twice awarded (for the 2022–2023 and 2023–2024 academic years) as the best teacher of the year at the DWST, BF UL, confirming his pedagogical excellence and the high level of trust he enjoys among students.

After taking up the position of university teacher at the DWST, he has taught courses in the field of wood anatomy at all three levels of wood science and technology studies (firstcycle university and professional programmes, master’s, and doctoral studies). As a lecturer, he also participates in first and secondcycle studies in forestry and renewable forest resources. Throughout this time, he has continuously updated course content, introduced modern teaching approaches, and ensured the timely and highquality preparation of teaching materials in both physical and electronic formats.

An important part of his teaching involves mentoring students. He has served as a mentor or

comentor for numerous theses at all levels of study, including doctoral, master's, and bachelor's theses, thereby making a significant contribution to the education of young professionals and researchers.

Dr Merela's research work is extensive, continuous, and internationally recognized. In total, he has published 86 original scientific articles, more than 30 of which were published in the 2021–2025 period, largely in journals indexed in international databases with an impact factor (SCI), as well as numerous contributions to domestic and international scientific conferences. His scientific achievements are further reflected in a high citation count (over 940 citations) (SICRIS, 2026; Scopus, 2026).

Dr Merela has actively participated in national and international research projects. Of particular note is his role as coordinator of the extensive European project ESSR APPLAUSE, as well as his work as a leader and collaborator in several research and development projects (CRP, ARIS, KOCLES 4.0). Special mention should also be made of his role in securing and managing the procurement of modern research equipment, which has strengthened the research infrastructure of the DWST in the long term.

In addition to his research activities, he is also highly active in professional development work. He has conducted dozens of expert assessments and reports, often as a leader and coordinator of practice oriented projects, thereby making a significant contribution to knowledge transfer into practice and to cooperation with industry, leading national museums and galleries, the Institute for the Protection of Cultural Heritage of the Republic of Slovenia, and other institutions in the field of cultural heritage. He is also actively involved in the popularization of science.

Through his work, Dr Merela makes a significant contribution to the reputation and visibility of the Biotechnical Faculty at the University of Ljubljana. He is very active in promoting the study of wood science and technology and, in collaboration with ministries and the SPIRIT agency, has led and coordinated extensive promotional activities. These include dozens of workshops held throughout Slovenia, involving hundreds of secondary-school students.

The results of these activities are reflected in increased student enrolment in wood science and technology study programmes and in greater recognition of the profession in Slovenia and abroad.

In addition, he regularly participates in national and international professional events, delivers guest lectures abroad (Erasmus+ mobility), and is actively involved in international professional and scientific associations.

Dr Merela is held in high regard by his colleagues, collaborators and students. He is especially appreciated for his optimism, sincerity, readiness to assist others, and his ability to remain calm in unpleasant and stressful situations.

Through his comprehensive work in the fields of teaching, research, management, and promotion, Dr Merela significantly strengthens the reputation of the Biotechnical Faculty as a modern, open, and internationally integrated academic institution.

Based on the foregoing, the Senate of the BF has determined that Assoc. Prof. Dr Maks Merela fully meets the criteria for the Award of the Biotechnical Faculty pursuant to Point 1 of Article 12 of the BF Rules on Awards and Recognitions. The Senate concluded that his work represents a significant and lasting contribution to the development and enhancement of the faculty's reputation, and that the awarding of this recognition is therefore well founded and well deserved.

We sincerely congratulate Assoc. Prof. Dr Maks Merela on this well earned recognition and wish him continued success.

VIRI

REFERENCES

- Merela, M., Balzano, A., & Krapež, D. (2026). Prazgodovinska jelka iz Čadrga: z raziskavami do znanja: razstava, Slovenski etnografski muzej, 23. 4. 2026–16. 9. 2026, Ljubljana. URL: <https://www.etno-muzej.si/sl/razstave/prazgodovinska-jelka-iz-cadrga-z-raziskavami-do-znanja> (7. 5. 2026)
- Milan, TR. (2022). Maks Merela – intervju. Na prepihu, URL: <https://naprepihu.home.blog/2022/11/21/maks-merela/> (7.5.2026)
- Scopus – URL: <https://www.scopus.com/> (4.5.2026)
- SICRIS – bibliografija Maks Merela. URL: <https://cris.cobiss.net/ecris/si/sl/researcher/code/24676> (2. 5. 2026)
- ORCID – Maks Merela. URL: <https://orcid.org/0000-0001-7927-2049> (4. 5. 2026)
- ZaPA (2022). Raziskave novoodkritega srednjeveškega deblaka iz Blejskega jezera, 12. 2. 2022 do 13. 2. 2022. URL: <https://zapa.si/projects/raziskave-novoodkritega-srednjeveskega-deblaka-iz-blejskega-jezera/> (4.5.2026)

DR. NINA ŠKRK DOLAR, JESENKOVA NAGRAJENKA ZA NAJBOLJŠO DIPLOMANTKO DOKTORSKEGA ŠTUDIJA V LETU 2026

DR NINA ŠKRK DOLAR RECEIVED THE JESENKO AWARD FOR BEST DOCTORAL GRADUATE IN 2026

Katarina Čufar¹, Maks Merela^{1*}

Izvilleček / Abstract

Izvilleček: Jesenkove nagrade Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (BF UL) so najvišja priznanja za pedagoške, raziskovalne in strokovne dosežke ter za gospodarski in splošni družbeni napredek na področju biotehniških ved v Sloveniji. Med njimi je tudi Jesenkova nagrada za najboljšo diplomantko oz. diplomanta doktorskega študija. V letu 2026 je to prestižno nagrado prejela dr. Nina Škrk Dolar, ki je doktorski študij opravila kot mlada raziskovalka na Oddelku za lesarstvo BF UL.

Ključne besede: Jesenkova nagrada, najboljša diplomantka doktorskega študija, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

Abstract: The Jesenko Awards of the Biotechnical Faculty, University of Ljubljana (BF UL), are the highest awards for pedagogical, research and professional achievements, and for economic and general social progress in the biotechnical field in Slovenia. Among them is also the Jesenko Award for the best doctoral graduate. In 2026 it was awarded to Dr Nina Škrk Dolar, who completed her doctoral study within a young researcher program at the Department of Wood Science and Technology BF UL.

Keywords: Jesenko Award, best doctoral graduate, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana

Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani (BF UL) je 13. marca 2026 v Zbornični dvorani UL slavnostno podelila Jesenkove nagrade in priznanja, ki so najvišja priznanja za pedagoške, raziskovalne in strokovne dosežke na področju biotehniških ved v Sloveniji.

Jesenkovo nagrado za najboljšo diplomantko doktorskega študija v letu 2026 je prejela dr. Nina Škrk Dolar, za izjemne raziskovalne dosežke in znanstvene objave v vrhunskih mednarodnih revijah, ki so pripomogle, da njeno raziskovalno delo pomembno prispeva k razumevanju vplivov podnebnih sprememb na gozdne ekosisteme, drevesa in les (slika 1).

Dr. Nina Škrk Dolar je svojo raziskovalno pot začela že kot študentka na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF UL, kjer je zaključila prvo- in drugostopenjski (magistrski) študij. Slovella je kot odlična študentka, ki je izstopala po navdušenju in predanosti študiju. Med študijem je bila 2

leti prejemnica Pahernikove štipendije, ki jih podeljujejo najboljšim študentkam in študentom gozdarstva. Z odliko je opravila raziskovalno delo v okvi-



Slika 1. Dekanja Biotehniške fakultete prof. dr. Marina Pintar je dr. Nini Škrk Dolar podelila Jesenkovo nagrado za najboljšo diplomantko doktorskega študija v letu 2026 (Foto: Željko Stevanić).

Figure 1. The Dean of the Biotechnical Faculty, Prof. Dr Marina Pintar, presented the Jesenko Award for the best doctoral graduate in 2026 to Dr Nina Škrk Dolar (photo: Željko Stevanić).

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo; Jamnikarjeva ulica 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

* e-pošta: maks.merela@bf.uni-lj.si

ru prvostopenjske diplomske naloge, zaključene v letu 2015. Drugostopenjsko magistrsko nalogo je zagovarjala v letu 2018 in rezultate tudi objavila v izvirnem znanstvenem članku. Med študijem in po zagovoru magistrskega dela je sodelovala pri raziskovalnem delu na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive vire. Sodelovala je tudi pri Nacionalni gozdni inventuri. Septembra 2018 se je zaposlila kot raziskovalka na Gozdarskem inštitutu Slovenije, kjer je na Oddelku za gozdno tehniko in ekonomiko delovala na različnih projektih.

V letu 2019 je postala mlada raziskovalka na Oddelku za lesarstvo (OL BF UL) pod mentorstvom prof. dr. Katarine Čufar v okviru programa MR+ in se vpisala na doktorski študij Bioznanosti. Dr. Nina Škrk Dolar je v predvidenem roku z visokimi ocenami opravila vse izpite na doktorskem študiju. Njen študij in priprava doktorske disertacije sta potekala v zahtevnem obdobju pandemije COVID z velikimi omejitvami pri organizaciji terenskega dela in vključitvi v mednarodno skupnost raziskovalcev in raziskovalcev.

V okviru študija je pripravila doktorsko disertacijo z naslovom »Dendroekologija in les nava-

dne bukve (*Fagus sylvatica*) v kontekstu podnebnih sprememb« (Škrk Dolar, 2025). Mentorica pri doktorski disertaciji je bila prof. dr. Katarina Čufar, somentor pa izr. prof. dr. Maks Merela. Disertacijo, ki temelji na znanstvenih člankih in je napisana v angleščini, je zagovarjala 25. 3. 2025. Komisija za oceno in zagovor dela v sestavi izr. prof. dr. Aleš Straže (BF UL), izr. prof. dr. Tjaša Pogačar (BF UL) in prof. dr. Michael Grabner (BOKU Dunaj) je za doktorsko disertacijo predlagala najvišjo oceno »opravljeno z odliko – cum laude« (slika 2).

Med članki, ki sestavljajo disertacijo, so posebej pomembni trije, objavljeni v vrhunskih znanstvenih revijah prve četrtine, kjer je bila nagrajenka prva avtorica (Škrk et al., 2021a, 2022a; Škrk Dolar et al., 2023a). Posebej izstopa članek (Škrk et al., 2021a), objavljen v reviji *Earth System Science Data*, v katerem je predstavljen rezultat modeliranja podnebnih podatkov in objava podatkovne baze SLOCLIM. Baza predstavlja prvi visoko ločljiv dnevni podatkovni niz temperature in padavin za obdobje 1950–2018 za območje Slovenije (mreža 1 x 1 km). Ta predstavlja pomemben prispevek k razvoju raziskovalne infrastrukture in odpira nove možnosti



Slika 2. Nina Škrk Dolar (na sredini) z mentorico in somentorjem ter članico in članoma komisije za oceno in zagovor doktorskega dela (Foto: Katarina Čufar, osebni arhiv).

Figure 2. Nina Škrk Dolar (centre) after defending her doctoral dissertation in front of the Department of Wood Science and Technology, BF UL, together with her advisor, co-advisor, and the three members of the committee for the evaluation and defence of the doctoral dissertation (photo: Katarina Čufar, personal archive).



Slika 3. Dr. Nina Škrk Dolar, dr. Jernej Jevšenak in prof. dr. Katarina Čufar na ekskurziji v okviru konferen-ce TRACE 2022, Erlangen, Nemčija (Foto: Katarina Čufar, osebni arhiv).

Figure 3. Dr. Nina Škrk Dolar, Dr. Jernej Jevšenak and Prof. Dr. Katarina Čufar on a field trip as part of the TRACE 2022 conference, Erlangen, Germany (photo: Katarina Čufar, personal archive).

raziskav na področjih meteorologije, biometeorologije, ekologije, gozdarstva ter vseh strok, ki uporabljajo podnebne podatke. Podatki so objavljeni in prosto dostopni v bazi Zenodo (Škrk et al., 2020) in na spletni strani SLOCLIM <http://www.sloclim.eu> (Škrk et al., 2021b), kjer uporabniki lahko prosto dostopajo in prenašajo meteorološke podatke za izbrane točke v Sloveniji v letih 1950–2018.

Podatki SLOCLIM so bili nato uporabljeni za proučevanje ogroženosti navadne bukve (*Fagus sylvatica*) v razmerah klimatskih sprememb. Objavljen je bil članek (Škrk et al., 2022a), kjer so bili uporabljeni podatki iz popisov Zavoda za gozdove Slovenije o volumskem deležu bukve za sestoje v Sloveniji in pripadajoči klimatski podatki iz baze SLOCLIM, za vsak posamezni gozdni sestoj, za preverjanje hipoteze, v kolikšni meri na delež bukve vpliva podnebje. Rezultati so pokazali, kako in katere podnebne spremenljivke vplivajo na trenutno prevlado oz. delež bukve na posameznih ploskvah, kar je bilo prikazano na zemljevidih, ki temeljijo na rezultatih modeliranja in so javno dostopni v spletnem repozitoriju Zenodo (Škrk et al., 2022b). Ugotovitve so bile dopolnjene z raziskavo rasti bukve v območjih, ki so marginalna (robna) za njeno preživetje v razmerah napredujočih podnebnih sprememb (Škrk et al., 2023a). Tako je bilo ugotovljeno in prikazano, na katerih območjih v Sloveniji je rast bukve najbolj ogrožena zaradi podnebnih sprememb in kakšen

doprinos k ogroženosti predstavljajo maksimalne temperature.

Poleg naštetih treh glavnih objav so bile v disertacijo vključene še druge objave (Škrk Dolar, 2025; SICRIS, 2026). Po zagovoru doktorata je bila objavljena razširjena študija, ki je vključevala dendrokronološke podatke za bukev z rastišč po celotnem južnem robu areala razširjenosti bukve (Serrano-Notivol et al., 2025). Z inovativno uporabo dnevnih meteoroloških podatkov in modeliranjem so bila med drugim ugotovljena časovna okna, kdaj (v dnevih v letu) in v kolikšni meri imajo spomladanske padavine pozitiven in poletne maksimalne temperature negativen vpliv na rast bukve na robnih območjih njene razširjenosti na južnem delu areala.

Nina Škrk Dolar je bila kot mlada raziskovalka vpeta v delo Katedre za tehnologijo lesa na Oddelku za lesarstvo BF UL in sodelovanje s sodelavkami in sodelavci OL. Pri delu je imela priložnost sodelovati tudi z raziskovalkami Katedre za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora ter ekonomiko in razvoj podeželja na Oddelku za agronomijo BF UL, pri objavah z doc. dr. Zaliko Črepinšek in prof. dr. Lučko Kajfež Bogataj; izr. prof. dr. Tjaša Pogačar pa je prevzela recenzijo njene disertacije. Dr. Jernej Jevšenak iz Gozdarskega inštituta Slovenije ji je nesebično pomagal pri izvedbi in interpretaciji modeliranja. Kljub pandemiji je posebej intenzivno sodelovala z raziskovalkami in raziskovalci z Univerze Zaragoza v Španiji. Osebno in preko video sestankov so jo pri



Slika 4. Nina Škrk Dolar (druga z desne zadaj) na delovnem obisku na Univerzi Zaragoza v Španiji (Foto: Katarina Čufar, osebni arhiv).

Figure 4. Nina Škrk Dolar (second from the right in the back) on a working visit to the University of Zaragoza in Spain (photo: Katarina Čufar, personal archive).

delu podpirali prof. dr. Martin de Luis Arillaga, dr. Roberto Serrano Notivoli in dr. Edurne Martinez del Castillo (slika 4). Tako je nagrajenka lahko kljub zahtevnim razmeram pandemije razvila bogato interdisciplinarno in internacionalno sodelovanje. Sodelovala je tudi na znanstvenih konferencah in številnih drugih aktivnostih.

Dr. Nina Škrk Dolar se je po zaključenem doktoratu ponovno zaposlila na Gozdarskem inštitutu Slovenije, na Oddelku za gozdno tehniko in ekonomiko.

Nagrajenki dr. Nini Škrk Dolar iskreno čestitamo za prestižno Jesenkovo priznanje za najboljšo

doktorsko študentko. Verjamemo, da bo uspešno nadaljevala raziskovalno delo, da bo s pridom uporabljala poglobljeno znanje o lesu in drevesih ter da bo lahko pomembno prispevala k trajnostnemu upravljanju slovenskih gozdov.

Dr Nina Škrk Dolar received the Jesenko Award for best doctoral graduate in 2026

In March 2026, the Biotechnical Faculty of the University of Ljubljana (BF UL) held a ceremony to present the Jesenko Awards and Hon-

ours, which are the highest distinctions for teaching, research, and professional achievements in the field of biotechnology in Slovenia. The Jesenko Award for the Best Doctoral Graduate of 2026 was presented to Dr Nina Škrk Dolar for her exceptional research achievements and scientific publications in leading international journals, which have made a significant contribution to understanding the impacts of climate change on forest ecosystems, trees, and wood (Figure 1).

Dr Nina Škrk Dolar began her research career as a student at the Department of Forestry and Renewable Forest Resources at the Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, where she completed her bachelor's and master's studies. She was recognized as an outstanding student, distinguished by her enthusiasm and dedication. She was also a recipient of the Pahernik Scholarship, which is awarded to the most successful students. She excelled in her research work during her undergraduate thesis, completed in 2015, and her master's thesis, which she defended in 2018. During her studies and after defending her master's thesis, she participated in research work at the Department of Forestry and Renewable Forest Resources. She also contributed to the National Forest Inventory. In September 2018, she was employed as a researcher at the Slovenian Forestry Institute, where she worked on several projects at the Department of Forest Engineering and Economics.

In 2019, she became a junior researcher at the Department of Wood Science and Technology (DWST BF UL) under the mentorship of Prof. Dr Katarina Čufar, as part of the MR+ programme. She enrolled in the doctoral programme in Biosciences and completed all examinations with distinction. Her doctoral studies and the preparation of her dissertation took place during the challenging period of the COVID19 pandemic, which significantly restricted fieldwork and limited integration into the international research community.

As part of her studies, she prepared a doctoral dissertation entitled "Dendroecology and Wood of European beech (*Fagus sylvatica*) in the Context of Climate Change" (Škrk, 2025). Her dissertation was supervised by Prof. Dr Katarina Čufar, with Assoc. Prof. Dr Maks Merela as cosupervisor. The dissertation, based on peerreviewed scientific articles and written in English, was defended on 25 March,

2025. The evaluation and defence committee, consisting of Assoc. Prof. Dr Aleš Straže, Assoc. Prof. Dr Tjaša Pogačar (both BF UL), and Prof. Dr Michael Grabner (BOKU, Vienna), awarded the dissertation the highest distinction, "passed with distinction – cum laude" (Figure 2).

Among the articles comprising the dissertation, three papers published in leading international journals, in which the awardee was the first author, are particularly noteworthy (Škrk et al., 2021a, 2022a; Škrk Dolar et al., 2023a). The article published in *Earth System Science Data* (Škrk et al., 2021a) is of particular significance, as it presents the results of climate data modelling and the release of the SLOCLIM database. This database represents the first highresolution daily dataset of temperature and precipitation for Slovenia for the period 1950–2018, with a spatial resolution of 1 × 1 km. It opens new research opportunities in meteorology, biometeorology, ecology, forestry, and other climatedependent disciplines. The data are freely available via the Zenodo repository (Škrk et al., 2020) and the SLOCLIM website (<http://www.sloclim.eu>; Škrk et al., 2021b), where users can access and download meteorological data for selected locations in Slovenia.

The SLOCLIM data were subsequently used to study the vulnerability of European beech (*Fagus sylvatica*) under climate change. In a further study (Škrk et al., 2022a), data from the Slovenian Forest Service inventories on the volume share of beech in forest stands across Slovenia were combined with corresponding climate data from the SLOCLIM database to test hypotheses regarding the influence of climate on beech distribution. The results demonstrated which climatic variables govern the dominance and proportion of beech in individual stands. These findings were illustrated using spatial models that are publicly available in the Zenodo repository (Škrk et al., 2022b). The results were further complemented by a study examining beech growth in climatically marginal areas under progressing climate change (Škrk et al., 2023a). This research identified the regions of Slovenia where beech growth is most vulnerable and quantified the negative impacts of maximum temperatures and other climatic variables.

In addition to the three primary publications, several other papers were included in the disserta-

tion (Škrk, 2025), and the awardee also contributed to further publications (SICRIS, 2026). Following the defence of her doctoral thesis, she coauthored an expanded study incorporating dendrochronological data from beech sites across the entire southern margin of the species' distribution range (Serrano-Notivoli et al., 2025). Through the innovative application of daily meteorological data and modelling, the study identified critical seasonal time windows and demonstrated the positive influence of spring precipitation and the negative impact of summer maximum temperatures on beech growth in marginal regions.

As a young researcher, Dr Nina Škrk Dolar was actively involved in the work of DWST BF UL. She also collaborated with researchers from the Department of Agronomy, Chair of Agrometeorology and Agricultural Land Management (BF UL), including Assoc. Prof. Dr Zalika Črepinšek, Prof. Dr Lučka Kajfež Bogataj, and Assoc. Prof. Dr Tjaša Pogačar, a reviewer of her dissertation. Dr Jernej Jevšenak, from the Slovenian Forestry Institute, provided valuable support in the implementation and interpretation of modelling approaches. Despite pandemic-related restrictions, she established particularly strong collaborations with researchers from the University of Zaragoza (Spain). Through inperson meetings and online cooperation, her work was strongly supported by Prof. Dr Martín de Luis, Dr Roberto Serrano-Notivoli, and Dr Eurne Martínez del Castillo (Figure 3). Thus, despite challenging circumstances, the awardee developed a broad and productive interdisciplinary and international research network. She also actively participated in scientific conferences and numerous other professional activities (SCOPUS, 2026).

After completing her doctorate, Dr Nina Škrk Dolar returned to the Slovenian Forestry Institute, where she continues her work at the Department of Forest Engineering and Economics.

We sincerely congratulate Dr Nina Škrk Dolar on receiving the prestigious Jesenko Award for Best Doctoral Graduate. We are confident that she will continue her successful research career and make a lasting contribution to the sustainable management of Slovenian forests through her expertise in wood science and forest ecology.

VIRI

REFERENCES

- SICRIS – bibliografija Nina Škrk Dolar. URL: <https://cris.cobiss.net/ecris/si/sl/researcher/code/52170> (2.5.2026)
- Serrano-Notivoli, R., Martínez del Castillo, E., Jevšenak, J., Čufar, K., Škrk Dolar, N., ... & De Luis, M. (2025). A single-tree approach to determine climate-growth patterns of European beech and their seasonality in the species southern distribution area. *Agricultural and Forest Meteorology*, 371: 110644. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2025.110644>
- SLOCLIM (2021). URL: <http://www.sloclim.eu> (15.3.2026)
- Škrk, N., De Luis, M., Čufar, K., Črepinšek, Z., Kajfež Bogataj, L., & Serrano-Notivoli, R. (2020). SLOCLIM: A high-resolution daily gridded precipitation and temperature dataset for Slovenia (First) [Data set]. Zenodo. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4108543>
- Škrk, N., Serrano-Notivoli, R., Čufar, K., Merela, M., Črepinšek, Z., Kajfež Bogataj, L., & De Luis, M. (2021a). SLOCLIM: a high-resolution daily gridded precipitation and temperature dataset for Slovenia. *Earth System Science Data*, 13, 7: 3577–3592. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-13-3577-2021>
- Škrk, N., De Luis, M., Čufar, K., Črepinšek, Z., Kajfež Bogataj, L., & Serrano-Notivoli, R. (2021b). SLOCLIM: baza modeliranih dnevnih meteoroloških podatkov za Slovenijo. V: HOSTNIK, Maja (ur.), KUJOVIĆ, Amela (ur.), MRAVLJE, Jure (ur.). Drugi doktorski dan Bi(o)znanosti: zbornik prispevkov: [27. maj 2021, Biotehniška fakulteta (spletni dogodek)]. Ljubljana: Biotehniška fakulteta: 178–184. URL: <https://repozitorij.unilj.si/Dokument.php?id=143521&lang=slv>
- Škrk, N., Serrano-Notivoli, R., de Luis, M. & Čufar, K. (2022a). Dominance of *Fagus sylvatica* in the Growing Stock and Its Relationship to Climate—An Analysis Using Modeled Stand-Level Climate Data. *Plants*, 11, 19: 2541. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11192541>
- Škrk, N., Serrano-Notivoli, R., de Luis, M., & Čufar, K. (2022b). Climate suitability for *Fagus sylvatica* across Slovenia (First) [Data set]. Zenodo. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6460250>
- Škrk Dolar, N., Castillo, E. M. del, Serrano-Notivoli, R., Arrillaga, M. de L., Novak, K., Merela, M., & Čufar, K. (2023). Spatial and temporal variation of *Fagus sylvatica* growth in marginal areas under progressive climate change. *Dendrochronologia*, 81, 126135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2023.126135>
- Škrk Dolar, N. (2025). Dendroecology and wood of European beech (*Fagus sylvatica*) in the context of climate change = Dendroekologija in les navadne bukve (*Fagus sylvatica*) v kontekstu podnebnih sprememb: doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta. URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=168043> (16.3.2026)

IN MEMORIAM: PROF. DR. FRANC BIZJAK (1942–2025)

IN MEMORIAM: PROF. DR. FRANC BIZJAK (1942–2025)

Leon Oblak^{1*}, Lidija Zadnik Stirn²

UDK: 929 Bizjak F.

Izvilleček / Abstract

Izvilleček: Prof. dr. Franc Bizjak (1942–2025) je bil od leta 1985 do 2002 zaposlen na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (OL BF UL) in ga je dva mandata tudi vodil. Poleg poučevanja in raziskav na OL je v času kadrovskih sprememb predaval tudi na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF UL ter povezoval lesarstvo in gozdarstvo na področju ekonomike in organizacije. Zapuščina profesorja Franca Bizjaka je velika in jasno kaže, da je bil dober sodelavec, povezovalec in človek.

Ključne besede: in memoriam, lesarstvo, gozdarstvo, ekonomika, organizacija

Abstract: We remember Prof. Dr. Franc Bizjak (1942–2025), who served at the Department of Wood Science and Technology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana (DWST BF UL), from 1985 to 2002, including two terms as Head of Department. In addition to his teaching and research at DWST, he also lectured at the Department of Forestry and Renewable Forest Resources at the BF UL, fostering close links between forestry and wood science and technology, particularly in the fields of economics and organization. Professor Franc Bizjak's legacy is significant and shows that he was an outstanding colleague, connector, and personality.

Keywords: in memoriam, wood science and technology, forestry, economics, organization

12. decembra 2025 se je v triinosemdesetem letu starosti poslovil upokojeni prof. dr. Franc Bizjak, ki je bil od leta 1985 do 2002 zaposlen na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (OL BF UL). Rojen je bil 4. oktobra 1942 v Podbrdu v Baški grapi. Po osnovni šoli, ki jo je tam zaključil, se je šolal na Jesenicah, kjer je najprej končal Metalurško industrijsko šolo, nato pa še Srednjo tehniško šolo. Ekonomijo je študiral v Mariboru in diplomiral leta 1975 (Slovenska biografija, 2026). Na Univerzi v Mariboru je magistriral leta 1978, doktoriral pa leta 1984. Prvo službo je nastopil v jesseniški železarni, kasneje pa je služboval v industrijskih in konzultantskih organizacijah (SICRIS, 2026). Leta 1985 se je zaposlil na Biotehniški fakulteti, VTOZD za lesarstvo, kjer je bil istega leta izvoljen v naziv docent za področje organizacije in ekonomike lesarstva, leta 1989 za izrednega profesorja in leta 1994 za rednega profesorja.

Napisal je več člankov za domače in tuje revije o ekonomskih, razvojnih, organizacijskih in usmeritvenih vidikih ter o problemih tehnologije v slovenskem gospodarstvu, predvsem lesarstvu. Z objavljenimi referati in predavanji je aktivno sodeloval na številnih domačih in mednarodnih simpozijih. Vodil je vrsto raziskovalnih projektov, na primer o dolgotrajnem prestrukturiranju gospodarstva v občini Nova Gorica, o organizaciji linijskega sistema proizvodnje pohištva, o varstvu okolja v lesni industriji, o planiranju razvoja tehnologije v lesni industriji, o zagotavljanju sredstev za gozdno reprodukcijo in še mnogo drugih. Je tudi avtor sedmih univerzitetnih oz. visokošolskih učbenikov z recenzijo. Njegova bibliografija obsega 347 zapisov (SICRIS, 2026).

Posebno mesto v njegovem delu so imeli študenti. Do njih ni nastopal le kot pedagog, temveč kot mentor in človek. Znal jih je usmerjati in jim vlivati samozavest. Verjel je v njihov potencial, pogosto še preden so vanj verjeli sami. Zanj so bili človečnost, pozornost in spodbuda prav tako pomembni kot strokovno znanje. Bil je mentor pri skupno 207 diplomah (od tega je bila dobra tretjina opravljenih na Oddelku za lesarstvo BF UL), ter pri enem znanstvenem magisteriju in enem doktoratu (SICRIS, 2026). V začetku devetdesetih let je Oddelku za

¹ prof. dr. Leon Oblak, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo; Jamnikarjeva ulica 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

² zasl. prof. dr. Lidija Zadnik Stirn, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire; Jamnikarjeva ulica 101, 1000 Ljubljana, Slovenija

* e-pošta: leon.oblak@bf.uni-lj.si



Slika 1. Prof. dr. Franc Bizjak (Foto: Pavšič).
Photo 1. Prof. Dr Franc Bizjak (photo: Pavšič).

gozdarstvo BF UL ostal brez učiteljev na ekonomskem področju, ki je za študij gozdarstva izjemno pomembno. V tistem času je priskočil na pomoč in prevzel tudi področje ekonomike in organizacije na takratnem Oddelku za gozdarstvo. S tem dejanjem je pokazal odgovornost, kolegialnost in iskreno skrb za razvoj strok in študijev na Biotehniški fakulteti, obenem pa pomembno prispeval h krepitvi povezovanja gozdno-lesne verige in postavitvi temeljev novega študijskega področja – ekonomike naravnih virov. Deloval je tako na področju lesarstva kot gozdarstva in s tem naravno gradil mostove med disciplinami, pogledi in ljudmi. Njegovo delo je temeljilo na sodelovanju, spoštovanju znanja in zavedanju, da napredek nastaja skupaj. Poudarjal in udeležal je interdisciplinarnost in mednarodno sodelovanje z udeležbami na konferencah, v mednarodnih raziskavah in ustanavljanju mednarodnih društev.

V času od 1991 do 1994 je bil predstojnik Oddelka za lesarstvo (Čufar & Merela, 2025), pa tudi član številnih odborov in komisij, ki so bile povezane z delom in študijem na Biotehniški fakulteti in

Univerzi v Ljubljani. V času njegovega predstojništva je OL BF praznoval 30 let visokošolskega izobraževanja v lesarstvu, ki so ga obeležili tudi s posebno številko revije Les (Bizjak, 1993). Udeležen je bil tudi pri razpravah o prenovi univerzitetnega študija (Bizjak, 2000).

Ob koncu poklicne poti je veliko prispeval k razvoju Univerze v Novi Gorici, saj je aktivno sodeloval pri ustanavljanju in samem začetku delovanja te univerze. S svojim strokovnim znanjem in jasno vizijo je postavil temelje študiju gospodarskega inženiringa na Goriškem.

Njegovo delo s študenti je bilo veliko več kot le posredovanje znanja, saj je znal z občutkom povezovati skrb za visoke strokovne standarde s človeškim razumevanjem in spodbudnimi nasveti, kadarkoli je bilo to potrebno. Bil je prejemnik zlate plakete in zaslužni profesor Univerze v Novi Gorici. Z zgledom je učil, da prava vrednost profesorja ni le v znanju, ki ga predaja študentom, temveč v pripravljenosti na sodelovanje. Sogovorniku je vedno dal občutek, da je slišan in vreden zaupanja. Od leta 2007 zaradi zdravstvenih razlogov ni več mogel nadaljevati svojega dragocenega dela.

Od prof. dr. Franca Bizjaka smo se na Oddelku za lesarstvo BF UL poslovili na žalni seji 10. 2. 2026. Svečanosti so se množično udeležile sodelavke in sodelavci. Vsi, ki se ga spomnijo, ga imajo v lepem spominu. Slovesnosti se je udeležil tudi sin Iztok Bizjak, direktor podjetja Gonzaga-pro.

Dr. Bizjak je bil pravi pedagog in spoštovanja vreden strokovnjak. Njegova zapuščina je velika in jasno kaže, da je bil dober sodelavec, povezovalac in človek.

VIRI

REFERENCES

- Slovenska biografija (2026). Bizjak Franc, economist. URL: <https://www.slovenska-biografija.si/oseba/sbi1004240/> (3.2.2026)
- Bizjak, F. (1993). 30 let visokošolskega izobraževanja. Les, 45 (7/8), 179–181. URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=169796> (3.2. 2026)
- Bizjak, F. (2000). Pričetek prenove univerzitetnega študija lesarstva. Les, 4, 128–131.
- Čufar, K., & Merela, M. (2025). 50 let samostojnega Oddelka za lesarstvo na Univerzi v Ljubljani. Les/Wood, 74(1), 77–94. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2025.v74n01a06>
- SICRIS – bibliografija Franc Bizjak (2026). URL: <https://cris.cobiss.net/ecris/si/sl/researcher/code/06156> (3.2. 2026)

MOZAIK SREČANJ S PROF. DR. FRANCEM BIZJAKOM

MOSAIC OF ENCOUNTERS WITH PROF. DR. FRANC BIZJAK

Darinka Kozinc^{1*}

Zanimivo je, kako nekateri ljudje vstopajo v naše življenje v različnih časovnih obdobjih in ob različnih dogodkih. Postanejo del naše življenjske zgodbe in pustijo v nas svoje sledi.

Moje prvo srečanje s prof. dr. Francem Bizjakom je potekalo na govorilnih urah, ko sem v šolskem letu 1988/89 postala razredničarka razredu, ki ga je obiskoval njegov mlajši sin Simon. Dr. Bizjak je bil skrben oče, hvaležen profesorskemu zboru in Srednji lesarski šoli Nova Gorica, da so bili dijaki obravnavani kot osebnosti in ne zgolj kot številke v redovalnici.

Dr. Bizjak se je kot redni profesor na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in kot nekdanji zaposleni v Meblu redno odzival na različna povabila in se udeleževal dogodkov na naši srednji šoli, ki sem jo več let vodila kot ravnateljica. V spominu mi je ostal droben dogodek, ko smo na mojo pobudo na Srednji lesarski šoli Nova Gorica leta 1994 odkrili obeležje, posvečeno 100-letnici ustanovitve prve obrtno-nadaljevalne šole v Gorici s slovenskim učnim jezikom (1894–1994), v kateri je bilo največ bodočih mizarjev prav zaradi močno razvite mizarске obrti v Solkanu.

Po zaključku prireditve, ko sem skoraj samoumevno poprijela za hrbtišča dveh stolov, da ju odnesem v učilnico, sem na hodniku naletela prav na dr. Bizjaka, ki je že odhajal. Kot strokovnjak za organizacijo dela in upravljanje je samo zmajal z glavo in mi blago rekel: »Ma, gospa, res ni potrebno, da še to delate sami!«

Aktivni profesorjev strokovno-teoretičnih predmetov na lesarskih šolah v Sloveniji smo se zavedali pomena rednega strokovnega izpopolnjevanja. Člani aktivov smo sami izbirali in predlagali teme za seminarje, saj smo najbolje vedeli, katera znanja potrebujemo pri šolskem delu. Povezovali smo se zlasti z Oddelkom za lesarstvo BF UL, ki je bil našim izobraževanjem naklonjen in je bil na ugodni lokaciji za zbor udeležencev iz različnih krajev Slovenije.

Ob eni takih priložnosti je dr. Bizjak na lastno pobudo pripravil zanimivo predavanje v veliki predavalnici Oddelka za lesarstvo s svojega ekonomskega področja. Bil je namreč odličen predavatelj.

Prof. dr. Franc Bizjak je bil aktiven tudi na Goriškem, njegovo delo se je odražalo zlasti pri ustanovitvi Politehnike v Novi Gorici. S svojim strokovnim znanjem in jasno vizijo je postavil temelje študiju gospodarskega inženiringa na Goriškem. Kot glavni pobudnik je vodil pripravo ter vpeljavo novega visokošolskega strokovnega programa Ekonomika in vodenje proizvodnih in tehnoloških sistemov, ki je zaživel ob koncu prejšnjega tisočletja. Vsebinska zamisel študijskega programa, kot ga je oblikoval dr. Bizjak, je bila v več pogledih drzna in je temeljila na njegovem odličnem poznavanju razmer v gospodarstvu in v visokem šolstvu, pa tudi na njegovi sposobnosti za predvidevanje smeri razvoja.

Njegovo delo s študenti je bilo veliko več kot le posredovanje znanja, saj je znal z občutkom povezovati skrb za visoke strokovne standarde s človeškim razumevanjem in spodbudnimi nasveti, kadarkoli je bilo to potrebno. Delo dr. Bizjaka ostaja neločljivo povezano tudi s samimi začetki Univerze v Novi Gorici in Poslovno-tehniške fakultete.

Mestni svet mestne občine Nova Gorica mu je za prispevek k lokalnemu razvoju in univerzitetnemu izobraževanju leta 2009 podelil Nagrado mestne občine Nova Gorica.

Kot zavod Srednja lesarska šola smo sodelovali tudi z njegovim starejšim sinom Iztokom Bizjakom, univ. dipl. inž. strojništva, ki je začel uspešno pot podjetnika na področju opreme za šole in vrtce v podjetju Gonzaga. Iztok Bizjak je s Srednjo lesarsko šolo sodeloval dolga leta in v njegovem podjetju se je zaposlilo kar nekaj naših nekdanjih dijakov. Danes je Gonzaga vodilni proizvajalec pohištva v Sloveniji, ki ponuja raznovrstne rešitve za opremo pisarn, vrtcev, šol, knjižnic, zunanjih igral, hotelov in drugih objektov ter veliko opremlja tudi v tujini.

Leta 2000 sem vpisala magistrski študij na Biotehniški fakulteti v Ljubljani. Med izbirnimi predmeti sem izbrala Teorijo sistemov, izpit sem pri dr. Biz-

¹ mag. Darinka Kozinc, univ. dipl. inž. les., Solkan, Slovenija

* e-pošta: darinka.kozinc@gmail.com

jaku opravila 9. 9. 2001. Najbrž študent, četudi že v zrelih letih, redko doživi, da mu profesor gradiva za študij pusti kar v domačem poštnem nabiralniku in mu s tem prihrani zamudno iskanje po knjižnicah (splet je bil v povojih, o UI še ni bilo sledu). Pohvaliti moram tudi njegovo korektnost, visok strokovni standard, podkrepjen s človeškim razumevanjem, sodoben pristop k osvajanju znanja in samem poteku izpita, kar pa ni pomenilo, da je bil izpit lahek. Pred tem sem namreč obiskovala Šolo za ravnatelje, kjer sem bila deležna popolnoma novih načinov izobraževanja in mi je bil pristop k strokovnemu in pedagoškemu delu prof. dr. Bizjaka blizu.

Z dr. Bizjakom sva bila pravzaprav sokrajana. V Solkanu, v tem več kot tisoč let starem naselju, sva se velikokrat srečevala na njegovih ulicah. Najbolj pogosto, ko sem se z možem namenila na sprehod proti Kekcu, dr. Bizjak pa v obratni smeri s svojim bleščeče črnim psom ob boku. Ko smo se srečali, smo običajno postali na pločniku in se zapletli v živahen pogovor o različnih temah. Klepetali smo lahko le toliko časa, da se večerja doma ni ohladila, oziroma dokler ni minilo potrpljenje njegovega pasjega ljubljence. Ti pogovori so bili za nas zelo dragoceni, čeprav se nismo vedno strinjali. Srečala sva se tudi v Zdravstvenem domu v Novi Gorici leta 2007, ko se je hudo zadihan sesedel na klop v čakalnici. Ni mu bilo dobro, toda tega ni z ničemer pokazal. Kmalu po tem srečanju smo izvedeli, da je zbolel.

Po tem je bolezen profesorja umaknila iz aktivnega življenja in ulic v Solkanu. Z možem sva zelo pogrešala naša srečanja in njegovo lucidnost in iskričnost.

Zadnje srečanje z dr. Bizjakom na javnem mestu je bilo leta 2008 na dvorcu Zemono, ki ga je Lipa Ajdovščina leta 1976 odkupila in ga z obnovo spremenila v enega najlepših biserov v Vipavski dolini. Tovarna pohištva Lipa je ostala lastnica dvorca do leta 2005, po tem je dvorec zamenjal več lastnikov. Univerza Nova Gorica je v dvorani dvorca priredila slovesnost, na kateri so tudi dr. Bizjaku podelili naziv zaslužnega profesorja. Njegova skrbna družina je poskrbela, da je kljub bolezni lahko dostojno sprejel to častno priznanje. Imela sem priložnost, da sem mu osebno čestitala na tem res slovesnem večeru, v krasnem okolju in ob ubranem petju Slovenskega okteta.

Ker je bolezen trajala, se je preselil v Vipavo, v Center starejših Pristan. Ob praznikih in koncih tedna ga je družina še vedno pripeljala v domače okolje. V imenu Krajevne skupnosti Solkan in v dogovoru z domačimi sem ga leta 2018 zadnjič obiskala na njegovem domu v času novoletnih praznikov. Stanovanje so priredili novim razmeram, ki jih je narekovala bolezen. Dr. Bizjak je bil kljub bolezni prijeten sogovornik, še vedno možgansko čil je spremljal aktualna dogajanja in pogovor z njim je bil zanimiv in poučen. Pokazal mi je tudi leposlovno knjigo, ki jo je takrat bral. Še zlasti pa ga je zanimalo, kako je potekal moj magistrski študij. Izmenjala sva tudi poglede na način študija, jaz kot uporabnica, on kot profesor sodobnejših nazorov. Povedal mi je celo anekdoto o zajčku, ki se je odločil, da bo delal doktorat in je imel težave vse do dne, dokler ni njegov mentor postal medved. Takrat sva se žal zadnjič osebno srečala.

Dr. Bizjak je bil res pravi pedagog in spoštovanja vreden gospod. Njegova karierna pot od poklicne šole do doktorata ga je zaznamovala na način, da je poleg znanosti še pred tem osvojil tudi znanost o življenju. Odlikoval ga je prijeten način govora in bogat besedni zaklad.

Prof. dr. Franc Bizjak je pokopan v Solkanu v bližini struge reke Soče, nad katero se pne od prve svetovne vojne ranjeni Sabotin in Skalnica s Svetogorsko baziliko. Počiva ob svojem ljubljenu sinu Simonu.

Summary: Darinka Kozinc, M.Sc., professor and long-time principal of the Secondary School of Woodworking in Nova Gorica, shares her personal and professional memories of Prof. Dr. Franc Bizjak, her fellow resident and an active member of the community in Solkan near Nova Gorica, as well as a respected and dedicated expert and supporter of education in the Gorica region. Professor Franc Bizjak's legacy is significant and demonstrates that he was a person of integrity, an outstanding teacher, professional, colleague, and connector.

PROF. DR. JOŽE LENIČ (1922–2012)–PIONIR NA PODROČJU RAZISKAV LESNIH VLAKNIN

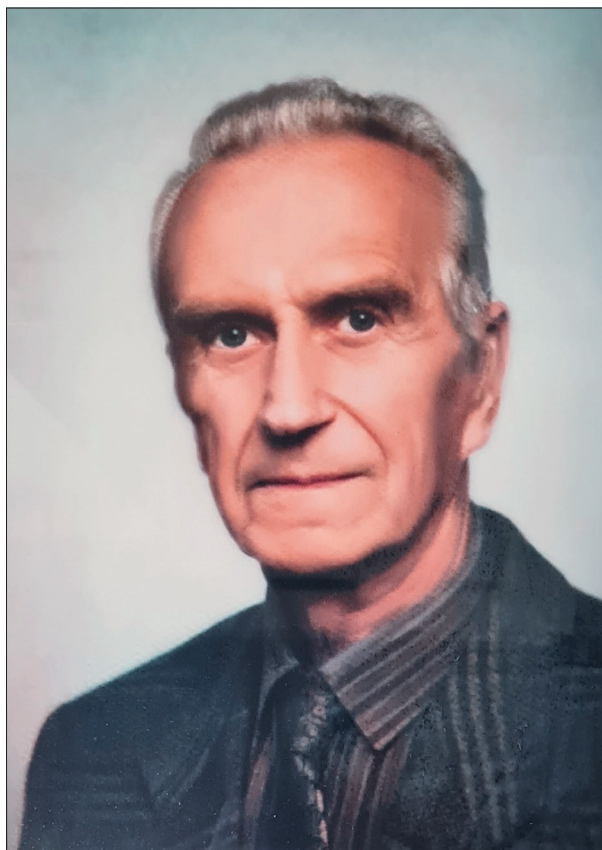
PROF. DR JOŽE LENIČ (1922–2012) – A PIONEER IN THE FIELD OF WOOD FIBRE RESEARCH

Jože Resnik^{1*}, Katarina Čufar²

V letu obletnic Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (OL BF UL) smo se posebej spomnili kolegic in kolegov, ki so orali ledino na področju raziskav in razvojnega dela v lesarstvu, in so pripomogli k nastanku samostojnega oddelka. Med njimi je bil tudi prof. dr. Jože Lenič (28. 6. 1922 – 14. 7. 2012) (slika 1), ki se je kot uveljavljen vodja in raziskovalec z bogatimi delovnimi izkušnjami v Sloveniji in tujini leta 1973 zaposlil na takratnem Lesarskem odseku Gozdarskega oddelka BF UL. Zasnoval je Katedro za kemično predelavo lesa in predmet Lesne vlaknine. Kot redni profesor in učitelj je še naprej sodeloval z industrijo in razvijal stroko. Na OL BF je deloval do upokojitve leta 1983. Po tem se je katedra preimenovala v Katedro za žagarstvo in lesna tvoriva, njegovo delo so nadaljevali prof. dr. Vesna Tišler, prof. dr. Saša Pirkmaier, prof. dr. Franc Merzelj in prof. dr. Jože Resnik (Pirkmaier, 1993; Čufar & Merela, 2025). Ker viri o življenju in delu prof. dr. Leniča niso objavljeni oz. javno dostopni, želimo to nadoknaditi s tem prispevkom.

Jože Lenič je bil rojen v Ilirski Bistrici, kjer je obiskoval tudi osnovno šolo. Pouk je potekal v italijanščini, saj je bil domači kraj takrat del Italije. Leta 1934 se je družina preselila v Slovenj Gradec, kjer mu je v začetku leta 1935 umrl oče. V Slovenj Gradcu je dokončal osnovno šolo in se jeseni leta 1937 vpisal na gimnazijo v Ljubljani. Med vojno, kmalu po italijanski okupaciji Ljubljane, je bil izključen iz gimnazije. Nato je poleti leta 1942 odšel v Kočevje, kjer je, zaradi znanja italijanskega jezika, dobil delo v lesarskem podjetju FORESTA in tam ostal do kapitulacije fašistične Italije 8. septembra 1943. Kmalu zatem je bil v Ljubljani aretiran in zaprt, nato pa poslan na prisilno delo na eno od žag v Avstriji, od koder je pobegnil in se avgusta 1944 priključil

2. brigadi Ljube Šercerja na Pohorju, kjer je bil že novembra težko ranjen v prsni koš in roko, kar je komaj preživel. Po končani drugi svetovni vojni je ostal v JLA do demobilizacije 14. maja 1946. Julija tega leta je maturiral na Celjski gimnaziji in se nato jeseni vpisal na Šumarski fakultet v Zagrebu, kjer je nato leta 1951 diplomiral na oddelku za lesno industrijo. Med študijem je spoznal študentko biologije



prof. dr. Jože Lenič
1922 ~ 2012

¹ zasl. prof. dr. Jože Resnik, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, UL

² zasl. prof. dr. Katarina Čufar, Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, UL

* e-pošta: joze.resnik@siol.net

Slika 1. Prof. dr. Jože Lenič (1922–2012) (Foto: arhiv OL BF UL).

Figure 1. Prof. Dr Jože Lenič (1922–2012) (photo: archive DWSL BF UL).

Marinko, čemur je leta 1952 sledila poroka in nato leta 1954 rojstvo hčerke Marinke. Po končanem študiju se je že leta 1951 zaposlil v tovarni FALLER-SA (Fabrica Lastre Legno Reintegrato Societa Anonima) v Ilirski Bistrici, ki se je kmalu preimenovala v Tovarno lesovinskih plošč, kasneje pa v Lesonit. Med zaposlitvijo v tej tovarni je bil najprej pripravnik v proizvodnji, nato pa vodja proizvodnega sektorja, tehnični direktor, glavni direktor in direktor raziskovalno-razvojnega centra podjetja.

Leta 1957 je bil kot FAO štipendist 4 mesece na specializaciji na Wilhem Klauditz Inštitutu v Braunschweigu v Nemčiji in 2 meseca v laboratoriju firme Defibrator v Stockholmu. V letu 1961 se je družina povečala z rojstvom sina Mojmira. V letih 1967–68 je bil redno zaposlen na Švedskem inštitutu za raziskavo lesa STFI (Svenska Traeforskning Institutet) v Stockholmu na oddelku za kemijo lesa. Sledil je povratek v Lesonit, kjer je nato več let vodil raziskovalno-razvojni inštitut. Leta 1964 je magistriral na Gozdarski fakulteti (Šumarski fakultet) v Zagrebu in nato tam leta 1972 tudi doktoriral. Njegovo osnovno raziskovalno delo je bilo usmerjeno v raziskave za zamenjavo iglavcev v proizvodnji plošč z bukovino, pri čemer je bil prvotni postopek s t.i. Biffar mlini posodobljen z uvedbo defibratorjev in z nekaterimi spremembami v opreми. Vodil je razvoj novih proizvodov kot so dekorativni plastični laminati in lakirane ter s folijami oplemenitene vlaknene plošče. Mnogo opreme so izdelali v domačih delavnicah in po lastnih načrtih, tudi na osnovi njegovih patentov. Pod njegovim vodstvom so v Lesonitu ustanovili in opremili zmogljive laboratorije, ki so delovali v okviru Raziskovalno Razvojnega Centra, ki se je pozneje preimenoval v Inštitut za vlaknene plošče. Za svoje delo je bil odlikovan z redom zaslug za narod 3. stopnje in dvakrat z redom dela 3. stopnje.

Leta 1973 se je zaposlil na Lesarskem odseku Gozdarskega oddelka Biotehniške fakultete na Univerzi v Ljubljani, kjer je bil februarja tega leta habilitiran v izrednega profesorja za predmet lesne vlaknine. Na novem delovnem mestu je nadaljeval pogodbeno sodelovanje z Lesonitom in nekaterimi drugimi podjetji in začel udeležati nekatere svoje poglede na univerzitetni študij, v veliki meri pod vtisom skandinavskih, predvsem švedskih, pristopov. Kmalu je pripravil uvedbo predmeta Vlakninska in iverna lesna tvoriva, katedra pa se je preimenovala

v Katedro za kemijo lesa in lesna tvoriva. Veliko truda je vlagal v nabavo laboratorijske opreme. Tako je bila na osnovi njegovih osebnih poznanstev in s pomočjo Združenja Les nabavljena laboratorijska stiskalnica z električnim gretjem, laboratorijski iverilnik, defibrator in ostala pripadajoča oprema za laboratorijsko izdelavo vlaknenih in ivernih plošč. Zaradi pomanjkanja prostorov je bila oprema začasno nameščena v tovarni Meblo v Novi Gorici. Z Meblom je bila sklenjena pogodba o sodelovanju, pogodbe o sodelovanju pa so bile sklenjene tudi s podjetji Lesonit Ilirska Bistrica, Brest Cerknica in ŠIK Kopaonik Kuršumlja v Srbiji. Vzporedno je tekla povezava in sodelovanje z lesarsko prakso. Kemijski laboratorij je bil kmalu opremljen s plinskim kromatografom, uvedene so bile vaje iz kemijske analize lesa.

Bibliografija prof. Leniča, delno zajeta v sistemu COBISS, obsega 83 naslovov, od tega 21 strokovnih in znanstvenih člankov ter eno recenzijo, 8 referatov na simpozijih, 11 samostojnih publikacij, 21 študij in ekspertiz, 13 tehnoloških delov investicijskih programov, 4 programe raziskovalnega dela za lesarstvo in 4 patente, od tega enega v soavtorstvu. Bil je tudi cenjen mentor pri 20 diplomskih delih, ki so bila večinoma pripravljena v sodelovanju z industrijo (SICRIS, 2026). Znanstveno in strokovno delo prof. Leniča je močno zaznamovalo obsežno raziskovalno delo v okviru njegovega doktorata z naslovom Vpliv predhidrolize bukovine na kemijske in fizikalne lastnosti vlaknenih plošč, ki ga je zagovarjal 27. 1. 1972 na Gozdarski fakulteti Univerze v Zagrebu (Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu) (Lenič, 1972). Doktorsko delo je večinoma zasnoval med bivanjem na Inštitutu za raziskavo lesa v Stockholmu. Tako se je na začetku svoje raziskovalne poti ukvarjal predvsem z vlaknenimi ploščami, tem so se kasneje pridružile tanke iverne plošče in nato plastični laminati in drugi prekrivni materiali za oplemenitenje površin, in kasneje robov lesnih tvoriv. V svojih stikih s številnimi raziskovalci iz Skandinavije in Nemčije je kmalu zaznal pomen okoljske problematike in z njo povezanim problemom formaldehida v nekaterih najpogostejše uporabljanih lepilih in seveda s sproščanjem prostega formaldehida iz lepljenih izdelkov. Sledilo je posvečanje porabi energije in s tem povezani problematiki v proizvodnji lesnih tvoriv. Je tudi avtor publikacije



Slika 2. Na pikniku po strokovni ekskurziji s študentkami in študenti univerzitetnega študija lesarstva generacije 1974–1979 (od leve proti desni prof. dr. Vesna Tišler, prof. dr. Jože Lenič, študenti) (Foto: Franc Stele).

Figure 2. Excursion and picnic with students from the university study programme in wood science and technology, from the 1974–1979 generation (from left to right: Prof. Dr Vesna Tišler, Prof. Dr Jože Lenič, students) (photo: Franc Stele).

o statistični kontroli kvalitete za vlaknene in iverne plošče, v okviru pomena površin lesnih tvoriv pa je raziskoval tudi hrapavost površine vlaknenih in ivernih plošč. Je soavtor učbenika o fizikalnih in kemijskih lastnostih lesa, več slikovnih in grafičnih študijskih pripomočkov in priročnika o statistični kontroli kvalitete v proizvodnji ivernih in vlaknenih plošč (Lenič, 1991). Vodil in usmerjal je tudi več nacionalnih znanstvenoraziskovalnih projektov s področja lesnih tvoriv.

Prof. dr. Lenič je bil v letih 1977 do 1983 pedagog (slika 2), vodja Katedre za lesne vlaknine in lesna tvoriva, v letih 1979 do 1981 tudi predstojnik Oddelka za lesarstvo BF UL. Bil je član švedskega združenja inženirjev in tehnikov celulozne in papir-

ne industrije in švedskega tehničnega združenja celulozne in papirne industrije.

Prof. dr. Lenič se je upokojil leta 1983 in nato skoraj do slovesa s pomočjo osebnih stikov, strokovnih in splošnih časopisov ter spleta spremljal dogajanja v stroki, ki ji je posvetil vse svoje življenje. Ob tem si je kot 87-letnik kupil zmogljivejši računalnik in potrebno periferno opremo. Tako je lahko obdržal stike s kolegi po svetu in doma, kot upokojenec sodeloval z referati na mednarodnih posvetovanjih in s sodelavci objavil samostojno strokovno publikacijo ter bil avtor dveh tehnoloških delov investicijskih projektov. Ostal je tudi v stiku s sodelavkami in sodelavci OL BF (slika 3).

Prof. dr. Jože Lenič je zapustil neizbrisno sled v slovenski lesarski stroki, tako tisti v neposredni pro-



Slika 3. Strokovna ekskurzija Oddelka za lesarstvo v Novoles Straža v decembru 2003, od leve proti desni takratni predstojnik prof. dr. Franc Pohleven, prof. dr. Jože Lenič in sodelavec Jani Renko (Foto: Katarina Čufar).

Figure 3. Field trip of the Department of Wood Science and Technology to Novoles Straža in December 2003; from left to right: Prof. Dr Franc Pohleven, Prof. Dr Jože Lenič, and technical assistant Jani Renko (photo: Katarina Čufar).

izvodnji, na področju preliminarne študij in načrtovanja razvoja, na strokovnem in znanstvenoraziskovalnem področju, na pedagoškem področju ter na področju strokovnih in znanstvenih objav. Pregled njegovih del nam danes kaže pot razvoja enega dela slovenskega lesarstva v preteklih desetletjih, tematika njegovega pionirskega dela na področju kemijske predelave lesa in rabe listavcev pa je tudi danes zelo aktualna. Zaradi vsega navedenega bo prof. dr. Jože Lenič ostal vzor odličnega strokovnjaka, znanstvenika in pedagoga ter pokončnega človeka.

POVZETEK SUMMARY

In the anniversary year of the Department of Wood Science and Technology at the Biotechnical Faculty of the University of Ljubljana (DWST BF UL), a special tribute was paid to colleagues who pioneered research and development in wood science and technology and contributed to the establishment of the DWST as an independent academic unit. Among them was Prof. Dr Jože Lenič (28 June 1922 – 14 July 2012), an engineer, leader, and researcher with extensive experience in Slovenian and European industry and research institutions. He joined the Department of Wood Science

and Technology in 1973, established the Chair of Chemical Processing of Wood and introduced the new subject of Wood Fibres. As a full professor, he maintained close collaboration with industry and significantly advanced research in wood and fibre science. After his retirement in 1983, he remained connected to the Department, the profession, and his colleagues, reflecting his lifelong dedication to wood and fibres.

Jože Lenič was born in Ilirska Bistrica, where he started his primary school (in Italian), and in 1934 continued it in Slovenj Gradec, where he moved with his family. He enrolled in secondary school in Ljubljana in 1937. During the Second World War he was expelled from school and in 1942–1943 worked at the FORESTA timber company in Kočevje, was later arrested and imprisoned, and then sentenced to forced labour in a sawmill in Austria. He escaped, joined the partisans, and was seriously wounded in 1944. After the war he served in the Yugoslav People's Army until May 1946. He then completed secondary school in Celje, and graduated in wood industry engineering from the Faculty of Forestry in Zagreb in 1951.

His professional career began in 1951 at the FALLERSA factory in Ilirska Bistrica (later Lesonit), where he progressed from an early stage engineer

to technical director, general director, and finally director of the Research and Development Centre. In 1957 he undertook specialist training at the Wilhelm Klauditz Institute in Braunschweig, Germany and at the defibrator laboratory in Stockholm. From 1967 to 1968 he worked at the Swedish Wood Research Institute (STFI) in Stockholm, returning thereafter to Lesonit in Slovenia to lead research and development activities. He obtained his MSc in 1964 and his PhD in 1972 from the Faculty of Forestry in Zagreb.

His research focused primarily on fibreboard production, particularly on replacing conifers with beech wood and modernizing production processes through the introduction of defibrators. He led the development of new products, including decorative laminates and surface-finished fibreboards, and contributed to the design of equipment, partly based on his own patents. Under his leadership, Lesonit established well-equipped laboratories that later evolved into the Institute for Fibreboards. For his achievements he received the Order of Merit for the Nation, and was a two-time recipient of the Order of Labour (3rd class) of the Republic of Yugoslavia.

In 1973 Prof. Lenič joined the University of Ljubljana, where he was first appointed Associate Professor and then Full Professor of Wood Fibres at the DWST BF UL. He introduced the subject Fibrous and Particleboard Wood Products and played a key role in developing the laboratory infrastructure and close cooperation with industry. He established partnerships with several major wood-processing companies and promoted an approach to education strongly influenced by Scandinavian research and teaching traditions.

His bibliography comprises 83 items, including scientific and professional articles, monographs, studies, patents, and investment programmes. He supervised 20 graduation theses, most in close collaboration with industry. His research interests expanded from fibreboards to plywood, laminates, surface quality, formaldehyde emissions, energy consumption, and statistical quality control. He was co-author of a textbook on the physical and chemical properties of wood, and the author of a handbook on statistical quality control in particleboard and fibreboard production.

Prof. Lenič served as Head of the Chair of Wood Fibres and Wood Products (1977–1983) and as Head of the Department of Wood Science and Technology BF UL (1979–1981). He was a member of Swedish professional associations in the pulp and paper industry. After his retirement in 1983, he remained professionally active, connected with his colleagues and intellectually engaged well into his old age.

Prof. Dr Jože Lenič made a lasting contribution to Slovenian wood science and technology and the wood industry as an engineer, scientist, innovator, educator, and principled individual. His work reflects the development of a significant part of Slovenian wood science and technology over several decades, and the topics of his pioneering work in chemical wood processing and the promotion of hardwood (beech) utilization remain highly relevant today. His legacy continues to be an enduring source of professional inspiration.

VIRI

REFERENCES

- Čufar, K., & Merela, M. (2025). 50 let samostojnega Oddelka za lesarstvo na Univerzi v Ljubljani. *Les/Wood*, 74(1), 77-94. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2025.v74n01a06>
- Lenič, J. (1971). Utjecaj prethidrolize bukovine na kemijska i fizikalna svojstva vlaknaca. Doktorska disertacija. Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- Lenič, J. (1991). Sistem kvalitete po ISO 9000–vse pomembnejši na evropskem trgu. *Les*, 43(9/10), 264-269.
- Pirkmaier, S. (1993). Katedra za žagarstvo in lesna tvoriva. *Les* 45, (7-8), 209-216.
- Sicris (2026). Jože Lenič–Osebna bibliografija. URL: <https://bib.cobiss.net/biblioweb/biblio/si/slv/cris/03061> (2. 2. 2026)