



Jure Žigon, Aleš Straže

Vpliv vlažnosti na mikrotrdoto smrekovine, določeno z vtiskanjem

The influence of spruce wood moisture content on microhardness, determined with indentation

Anton Velušček, Mojca Horjak Šuštaršič, Tjaša Tolar, Borut Toškan, Maks Merela, Katarina Čufar

Verd – novoodkrito kolišče iz 5. tisočletja pr. Kr. na Ljubljanskem barju

Verd – newly discovered pile-dwelling from the 5th millennium BC in Ljubljansko barje, Slovenia

Anastazija Dimitrova, Angela Balzano, Katarina Čufar, Gabriella S. Scippa, Maks Merela, Antonio Montagnoli, Batkhuu Nyam--Osor, Enkhchimeg Tsedensodnom Chimgee, Donato Chiatante

Anatomy of xylem and phloem in stems and roots of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* from semi-arid steppe in Mongolia

Anatomija ksilema in floema debel in korenin drevesnih vrst *Populus sibirica* in *Ulmus pumila* iz polsuhe stepe v Mongoliji

Matic Sitar, Andreja Pondelak, Samo Grbec, Milan Šernek

Strižna trdnost spojev z ribjim klejem lepljenega lesa ovrednotena z metodo ABES

Shear strength of fish glue bonds of glued wood evaluated by the ABES method

Katarina Remic, Matej Jošt, Matic Sitar

Analiza okoljskih in ekonomskih vplivov mineraliziranega lesa na primeru Plečnikove klopce z uporabo LCA in LCC metodologije

Analysis of the environmental and economic impacts of a Plečnik bench made of mineralized wood using LCA and LCC methodology

Urša Osolnik, Viljem Vek, Primož Oven, Ida Poljanšek

Biokompozitni / bionanokompozitni filmi na osnovi polivinil alkoholne matrice, ojačane s celuloznimi nanofibrilami in različnimi tipi taninov

Biocomposite / bionanocomposite films based on polyvinyl alcohol reinforced with cellulose nanofibrils and different types of tannins



VSEBINA / CONTENTS

Letnik 72, številka 2 / Volume 72, Number 2

• Uvodnik Editorial Leon Oblak	3
• Vpliv vlažnosti na mikrotrdoto smrekovine, določeno z vtiskanjem The influence of spruce wood moisture content on microhardness, determined with indentation Jure Žigon, Aleš Straže	5
• Verd – novoodkrito kolišče iz 5. tisočletja pr. Kr. na Ljubljanskem barju Verd – newly discovered pile-dwelling from the 5th millennium BC in Ljubljansko barje, Slovenia Anton Velušček, Mojca Horjak Šuštaršič, Tjaša Tolar, Borut Toškan, Maks Merela, Katarina Čufar	17
• Anatomy of xylem and phloem in stems and roots of <i>Populus sibirica</i> and <i>Ulmus pumila</i> from semi-arid steppe in Mongolia Anatomija ksilema in floema debel in korenin drevesnih vrst <i>Populus sibirica</i> in <i>Ulmus pumila</i> iz plosuhe stepe v Mongoliji Anastazija Dimitrova, Angela Balzano, Katarina Čufar, Gabriella S. Scippa, Maks Merela, Antonio Montagnoli, Batkhuu Nyam-Osor, Enkhchimeg Tsedensodnom Chimgee, Donato Chiatante	37
• Strižna trdnost spojev z ribjim klejem lepljenega lesa ovrednotena z metodo ABES Shear strength of fish glue bonds of glued wood evaluated by the ABES method Matic Sitar, Andreja Pondelak, Samo Grbec, Milan Šernek	49
• Analiza okoljskih in ekonomskih vplivov mineraliziranega lesa na primeru Plečnikove klopce z uporabo LCA in LCC metodologije Analysis of the environmental and economic impacts of a Plečnik bench made of mineralized wood using LCA and LCC methodology Katarina Remic, Matej Jošt, Matic Sitar	57
• Biokompozitni / bionanokompozitni filmi na osnovi polivinil alkoholne matrice, ojačane s celuloznimi nanofibrilami in različnimi tipi taninov Biocomposite / bionanocomposite films based on polyvinyl alcohol reinforced with cellulose nanofibrils and different types of tannins Urša Osolnik, Viljem Vek, Primož Oven, Ida Poljanšek	69
Novice	
• Forestry and wood technology research and education network for climate change adaptation strategies and ASFORCLIC - HORIZON 2020 project Mreža za raziskave in izobraževanje na področju gozdarstva in lesne tehnologije za strategije prilagajanja podnebnim spremembam in projekt ASFORCLIC - HORIZON 2020 Kyriaki Giagli, Kathrin Böhlting, Tobias Mette, Aleš Kučera, Torben Hilmer, Petr Čermák	81
• Walter Liese (1926-2023) - dolgo in plodno življenje znanstvenika, učitelja, vodje in ambasadorja znanosti Walter Liese (1926-2023) - the long and fruitful life of a scientist, teacher, leader and ambassador of science Katarina Čufar	87
• Katarini Čufar podelili naziv zaslužna profesorica Katarina Čufar received the honour professor emerita Milan Šernek, Leon Oblak, Maks Merela	99
• Prof. dr. Miha Humar izredni član Slovenske akademije znanosti in umetnosti Prof. Dr. Miha Humar Associate Member of the Slovenian Academy of Sciences and Arts Tina Drolc, Boštjan Lesar	107
• Prof. dr. Miha Humar izvoljen za podpredsednika Svetovnega društva za zaščito lesa (IRG WP) Prof. Dr. Miha Humar elected as Vice President of the international research group for Wood Protection (IRG WP) Tina Drolc, Boštjan Lesar	108
• Eli Keržič je prejela nagrado društva IRG WP – »Ron Cockroft Award« Eli Keržič received the IRG WP »Ron Cockroft Award« Tina Drolc, Boštjan Lesar	109
• Doc. dr. Angela Balzano, prejemnica svečane listine za mlade visokošolske učiteljice in sodelavke UL Assistant Professor Dr. Angela Balzano received the Special Commendation for Young Higher Education Teachers and Staff Maks Merela, Katarina Čufar	110
• Urška Kovačič je prejela priznanje strokovnim sodelavkam Univerze v Ljubljani Urška Kovačič received the Award for the Associates of the University of Ljubljana Leon Oblak, Katarina Čufar	114
• 15. srečanje kluba alumnov Oddelka za lesarstvo BF UL 15th Meeting of the Alumni Club of the Department of Wood Science and Technology BF UL Katarina Čufar, Boštjan Lesar, Blaž Primožič, Marko Petrič, Tomaž Kušar, Jure Žigon	118

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.bizjagovedic@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

Tiskarna Koštomaj, Celje
Natisnjeno v decembru 2023 v 100 izvodih./*Printed in December 2023 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

AGRIS, CAB Abstracts, Directory of Open Access Journals

Les/Wood je revija z odprtim dostopom, ki izhaja pod pogoji licence Creative Commons CC BY-NC 4.0.

Les/Wood is an Open Access journal published under the terms of the Creative Commons CC BY-NC 4.0 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)

Naslovnica/Cover page: One inch wall, Matjaž Šivic, Silvaapis d.o.o.



LES/WOOD

UVODNIK / EDITORIAL

Leon Oblak

Brezčasna perspektiva lesa

Leta tečejo, leta letijo, les pa igra nam samo-svojo melodijo ...

Lani je bila za dobrih petnajst milijonov dolarjev v New Yorku na licitaciji prodana violina slavnega italijanskega izdelovalca glasbil Antonia Stradivarija. Mojster jo je izdelal leta 1714. Novi lastnik glasbila ni kupil za igranje, ampak je bila to zanj le dobra naložba, saj je ocenil, da se bo cena še dvignila. In se tudi bo. V svetu, v katerem se vse spreminja in skoraj vse izginja, ostaja brezčasna perspektiva lesa. Ostaja njegova neverjetna vsestranska uporaba, ki ob pogledu na določene izdelke jemlje dih. Ostaja umetnost obdelave, ki pričara oprijemljivo eleganco lesa. Ostaja lepota materiala, ki s svojo raznoliko paleto barv in tekstur vedno znova očara človeško srce. Očara tako močno, da se v les zaljubiš. In ko zaljubljenost mine, ostane ljubezen. Ostajajo tudi mojstri, kot je bil Stradivari, ki les razumejo. Ker les je treba razumeti. To pa ni enostavno.

Leta tečejo, leta letijo, pretekle zmage zdaj porazi se zdijo ...

Gospodarski razcvet, ki je nekoč veljal za veliko zmago človeštva, zdaj postaja največji poraz. Hitra industrijska širitev in povečano potrošništvo, ki sta spodbudili gospodarsko rast, sta veliko prispevali k degradaciji ekosistemov, krčenju gozdov in onesnaževanju okolja. Pripoved o zmagi v gospodarskem smislu je zdaj zamenjana s spoznanjem, da napredka ne bi smeli meriti le z denarjem in bogastvom, temveč predvsem z ohranjanjem ravnovesja na našem

planetu. Prihodnost sveta ni svetla. Perspektiva lesa pa je brezčasna. Vabi nas k razmišljanju o bistvu trajnostnega gospodarjenja. Celostno upravljanje z gozdovi, spodbujanje trajnostne rabe lesa ter podpiranje praks, ki ohranjajo gozdne ekosisteme, so ključni za izkoristek potenciala lesa pri reševanju ekoloških problemov. Medtem ko se globalni odločevalci že leta neuspešno soočajo z okoljskimi izzivi, les ponuja svojevrstne rešitve. Je naravni ponor ogljika, saj drevesa med rastjo absorbirajo ogljikov dioksid iz ozračja. Les nam govori. Treba ga je samo poslušati. In razumeti. To pa ni enostavno.

Leta tečejo, leta letijo, lepi spomini pa nikdàr ne zbledijo ...

Revija Les/Wood svoje bralce že od leta 1949 vabi, da se podajo na popotovanje skozi brezčasno perspektivo lesa. Nešteto lepih spominov nosijo izdane številke. Spominov, ki ne zbledijo. Vsebin, ki ne zbledijo. Spoznanj, ki ne zbledijo. Znanstveni in strokovni članki o lesu igrajo ključno vlogo pri ozaveščanju o pomenu tega edinstvenega trajnostnega in obnovljivega materiala. Ne osvetlujejo le fizikalnih, mehanskih in tehnoloških lastnosti lesa, temveč nam avtorice in avtorji teh člankov pomagajo, da poskušamo les razumeti. To pa ni enostavno. Je pa možno. Imamo izkušnje, ideje in sanje, imamo tradicijo, voljo in znanje. Imamo les, ki ponuja modrost–v preteklosti dreves je naša prihodnost. Naj bo blagoslovljena. Naj bo čarobno lesena.

The timeless perspective of wood

Years pass, years fly by, and the wood plays us its own melody...

Last year, a violin by the famous Italian music maker Antonio Stradivari sold for over fifteen million dollars at an auction in New York. It was made by the master in 1714. The new owner did not buy it to play, but because he assumed that the price would rise. And it will. In a world where everything is changing and almost everything disappear, the timeless perspective of wood remains. What remains is its incredible versatility, which is breath-taking in certain products. What remains is the art of processing, which conjures up the tangible elegance of the material. What remains is the beauty of wood, which captures the human heart again and again with its diverse palette of colours and textures. It enchants so much that you fall in love with wood. And even when the infatuation is over, the love remains. There are also other masters like Stradivari who understand wood. Because wood needs to be understood. But that is not easy.

Years pass, years fly by, past victories now seem like defeats...

Economic growth, once considered a great victory for mankind, is now the greatest defeat. The rapid industrial expansion and increased consumer behaviour that have fuelled the economy have contributed greatly to the destruction of ecosystems, deforestation and pollution. The narrative of victory in the economic sense is now being replaced by the realization that progress should not only be measured in terms of money and prosperity, but above all in terms of maintaining the balance of our plan-

et. The future of the world is not a rosy one. But the perspective of wood is timeless. It invites us to reflect on the nature of sustainable management. Integrated forest management, the promotion of the sustainable use of wood and practises that preserve forest ecosystems are key to realizing the potential of wood in solving ecological problems. In contrast, global policymakers have been unsuccessfully dealing with environmental challenges for years, offering only one-off solutions. Wood is a natural carbon sink, as trees absorb carbon dioxide from the atmosphere as they grow. Wood speaks to us. You just have to listen to it. And understand it. But that's not easy.

Years pass, years fly by, but good memories never fade...

Since 1949, the journal *Les/Wood* has been inviting its readers to embark on a journey through the timeless perspective of wood. Countless good memories are transported through the issues. Memories that do not fade. Content that does not fade. Experiences that do not fade. Scientific and professional articles about wood play a key role in spreading the importance of this unique sustainable and renewable material. Not only do they shed light on the physical, mechanical and technological properties of wood, but the authors of these articles help us to try to understand it. This is not easy, but it is possible. We have experience, ideas and dreams, we have tradition, will and knowledge. We have wood that offers wisdom – in the past of the trees lies our future. May it be blessed. Make it magically wooden.



VPLIV VLAŽNOSTI NA MIKROTRDOTO SMREKOVINE, DOLOČENO Z VTISKANJEM

THE INFLUENCE OF SPRUCE WOOD MOISTURE CONTENT ON MICROHARDNESS, DETERMINED WITH INDENTATION

Jure Žigon^{1*}, Aleš Straže¹

UDK članka: UDK 630*812.73:812.211
Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 27.1. 2023
Sprejeto / Accepted: 21.2.2023

Izvleček / Abstract

Izvleček: Trdota predstavlja merilo odpornosti lesa proti prodiranju tršega telesa v njegovo notranjost in pogosto pogojuje uporabnost izbrane vrste lesa za določen namen uporabe. Poleg gostote, trdoto posamezne lesne vrste zelo pogojuje vlažnost lesa. V raziskavi smo ugotavljali trdoto lesa navadne smreke, uravnovešenega pri različnih relativnih zračnih vlažnostih. Meritve trdote smo izvedli z vtiskanjem kroglice v radialno površino lesa na inštrumentu za ugotavljanje mikromehanskih lastnosti materialov. Rezultati so pokazali, da se s poviševanjem vlažnosti lesa trdota lesa znižuje; vtisna trdota (H_{IT}) in vtisni modul elastičnosti (E_{IT}) sta tako pri absolutno suhem lesu znašala $110,8 \pm 11,7$ MPa in $0,62 \pm 0,01$ GPa, pri lesu z vlažnostjo točke nasičenja celičnih sten (29,4 %) pa $36,3 \pm 7,9$ MPa in $0,40 \pm 0,05$ GPa. Zniževanje trdote lesa s poviševanjem njegove vlažnosti se je pokazalo v povečevanju globine povzročenih vtisov in povečani hrapavosti površin vzorcev. Analiza lesnega tkiva z vrstičnim elektronskim mikroskopom je na območjih z vtisi razkrila usločenje celičnih sten lesa, njihovo gnetenje v lumne traheid, ter nastanek razpok znotraj celičnih sten.

Ključne besede: les, trdota, vlažnost lesa, vtiskanje, mikromehanske lastnosti, vrstični elektronski mikroskop

Abstract: Hardness is a measure of the resistance of wood against the penetration of a harder body into its interior and often defines the usefulness of the selected type of wood for a particular purpose. In addition to density, the hardness of individual wood species is highly dependent on the moisture content of the wood. This study determined the hardness of Norway spruce wood conditioned at different relative humidities. Hardness measurements were performed by indenting a ball in radial wood surfaces on an instrument for determining the micromechanical properties of materials. The results showed that the hardness of wood decreases with increasing moisture content; the indentation hardness (H_{IT}) and indentation elastic modulus (E_{IT}) were 110.8 ± 11.7 MPa and 0.62 ± 0.01 GPa for absolutely dry wood, and for wood with a fibre saturation point of 29.4% they were 36.3 ± 7.9 MPa and 0.40 ± 0.05 GPa, respectively. The decrease in hardness of the wood with increasing moisture content was reflected in an increase in the depth of the indentations caused, and an increase in the surface roughness of the samples. Analysis of the wood tissue with a scanning electron microscope showed the flattening of the cell walls of the wood in the areas with indentations, their kneading into tracheid lumina, and the formation of cracks in the cell walls.

Keywords: wood, hardness, wood moisture content, indentation, micromechanical properties, scanning electron microscope

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Med mehanskimi lastnostmi ima trdota lesa mnogokrat zelo velik pomen za njegovo uporabo (De Assis et al., 2017). Trdota lesa je tako na primer pomembna na področjih uporabe kot so lesene talne obloge, bolj obremenjene površine pohištva

(pulti, mize ipd.), stavbno pohištvo in ročno mizarско orodje (Meyer et al., 2011).

Zaradi načina merjenja trdoto v splošnem najpogosteje definiramo kot odpornost določene-ga materiala proti vtiskanju oz. prodiranju tršega telesa v njegovo notranjost, fizikalno pa je trdota

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

* e-mail: jure.zigon@bf.uni-lj.si

definirana kot razmerje med silo konice in površino nastalega vtisa (Panjan & Čekada, 2005a).

Trdota se pogostokrat uporablja kot parameter za karakterizacijo mehanskih lastnosti materialov, saj so meritve z vtisom relativno preproste in nam dajo neposredno mero za odpornost materiala proti plastični deformaciji (Panjan & Čekada, 2005b). Podobno kot za ostale mehanske lastnosti lesa velja, da se les tudi pri vtiskanju telesa v njegovo površino vede deloma elastično (deformacija se po razbremenitvi izniči) in deloma plastično (deformacija po razbremenitvi ostane trajna). Pravimo, da se les deformira elastoplastično (Fu et al., 2022). Vtiskanje tršega telesa v površino lesa povzroči nastanek tlačnih obremenitev, ki privedejo do gnetenja njegove celične strukture in nazadnje porušitve celičnih sten (Milch et al., 2016).

Trdota lesa je močno odvisna od njegovih številnih inherentnih lastnosti (Scharf et al., 2022) kot so orientacija lesnih vlaken, širina branik in prisotnost rastnih posebnosti (Lykidis et al., 2016), v največji meri pa trdoto lesa definira njegova gostota (Sydor et al., 2022). Znano je, da tudi ravnovesna vlažnost lesa zelo vpliva na njegove mehanske lastnosti (Widehammar, 2004; Hansson & Antti, 2006; Fu et al., 2022). V splošnem se z zniževanjem vlažnosti lesa v območju pod točko nasičenja celičnih sten mehanske lastnosti lesa izboljšujejo (Borrega & Kärenlampi, 2008). Vezana voda v celičnih stenah namreč deluje kot plastifikator, saj s svojo prisotnostjo povečuje razdaljo med mikrofibrilami, zaradi česar se vodikove vezi, ki se nahajajo med njimi, ob obremenitvah lažje pretrgajo (Meng et al., 2015).

Trdota pa ni zgolj osnovna lastnost materialov, ampak je odvisna tudi od načina, hitrosti in pogojev merjenja (Gorišek, 2009). Ta se lahko izvaja na več načinov obremenjevanja (z razenjem, rezanjem, obrabo ter dinamičnim in statičnim vtiskanjem) in s telesi različnih oblik (okrogla, piramidna, stožčasta, cilindrična, iglična) (Broitman, 2017). Trdota lesa se največkrat ugotavlja bodisi z metodami po Brinellu (CEN, 2020), po Janki ali po Monninu (De Assis et al., 2017; Scharf et al., 2022). Pri navajanju vrednosti trdote različnih materialov je zato vedno potrebno navesti tudi metodo, po kateri je bila trdota izmerjena. Pri tovrstnih preizkusih se uporabljajo vtisna telesa okroglih oz. cilindričnih oblik (Koczan et al., 2021), dosežene vrednosti trdote lesa dose-

gajo tudi do $10 \text{ N} \times \text{mm}^{-2}$, globina povzročenih vtisov pa sega tudi več milimetrov globoko (Sydor et al., 2022).

Večina dosedanjih študij ugotavljanja trdote lesa po uveljavljenih in standardiziranih metodah se torej primarno izvaja na makroskopskem nivoju opazovanja. Za razliko od preteklih raziskav smo v tej raziskavi želeli preiti na nižji (mikroskopski) nivo. V ta namen smo za preučevanje odziva površine lesa na vtiskanje uporabili instrument, ki smo ga na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani pridobili v letu 2022 (Petrič, 2022), in omogoča natančnejše ugotavljanje mikromehanskih lastnosti površin lesa. Z uravnotežanjem vzorcev lesa pri različnih relativnih zračnih vlažnostih (RZV) smo v prvi vrsti želeli ugotoviti vpliv ravnovesne vlažnosti na trdoto površinskih slojev lesa. V raziskavi smo zaradi enakomerne porazdelitve celičnih elementov znotraj iste branike uporabili les iglavca, in sicer les navadne smreke (*Picea abies* (L.) Karst.). Strukturne spremembe v lesu, ki jih je povzročilo vtiskanje jeklene kroglice v njegovo površino, smo proučevali z dvema različnima mikroskopskima tehnikama.

2 MATERIAL IN METODE

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 PRIPRAVA VZORCEV

2.1 SAMPLE PREPARATION

Iz deske lesa navadne smreke, klimatizirane pri 23°C in pri RZV 40 %, smo pripravili 3 podolgovate palice dolžine 600 mm in preseka (6×6) mm. Palice so bile strogo orientirane, njihova oblika je sledila poteku letnic v vzdolžni smeri. Vsaka od palic je na sredini zajemala eno prirastno braniko širine približno 2,5 mm. Vsako palico smo nato po dolžini razžagali na 11 zaporednih vzorcev dolžine 50 mm. Po en vzorec iz vsake palice (skupno 3 vzorce) smo nato uravnovešali 48 ur v naslednjih klimatskih pogojih:

- temperatura 103°C , RZV 0 %—v laboratorijskem sušilniku UFE-600 (Memmert GmbH + Co.KG, Schwabach, Nemčija),
- temperatura 20°C , RZV (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90) %—v klimatski komori HPP260 (Memmert GmbH + Co.KG) in
- temperatura 20°C , RZV blizu rosišča (t.j. 100 %)—v kondenzirajoči komori WB-340

KV (Kambič laboratorijska oprema d.o.o., Semič, Slovenija).

Po zaključenem uravnovešanju vzorcev in tik pred začetkom merjenja njihove trdote smo vzorce stehali na tisočinko grama natančno.

2.2 VTISKANJE IN MERJENJE TRDOTE

2.2 INDENTATION AND HARDNESS MEASUREMENTS

Vpliv klimatskih pogojev uravnovešanja vzorcev lesa na trdoto njihovih površin smo ugotavljali z enocikličnim testom, ki smo ga izvedli na inštrumentu Micro Combi Tester (MCT³) proizvajalca Anton Paar (Gradec, Avstrija) (slika 1). Certificirano jekleno kroglico premera 6 mm smo vtiskali v radialno površino posameznega vzorca lesa. Potek izvajanja meritve na vzorcih je prikazan na sliki 1. S pomočjo svetlobnega mikroskopa smo najprej locirali želeno pozicijo vtiskanja in merjenja trdote. Meritve smo izvedli v liniji na sredini iste branike, s čimer smo karakterizirali trdoto deloma ranega in deloma kasnega lesa. Kroglico smo vtisnili na 5 mestih, pri čemer sta bili dve merilni mesti oddaljeni 10 mm. Obremenitev z vtisom je linearno naraščala od 2 mN do 24.000 mN, s hitrostjo 24.000 mN×min⁻¹ (slika 2). Največja obremenitev je bila zadržana 5 s, nato pa se je linearno zniževala s hitrostjo 24.000 mN×min⁻¹. Globina penetracije telesa P_d [μm] v vzorec v odvisnosti od aplicirane normalne sile F_n [mN] se je beležila s hitrostjo zajemanja 50 Hz. Odziv preskušanih površin vzorcev na vtiskovanje je bil ovrednoten s prilagajanjem krivulje razbremenitve med 10 % in 98 %. Trdota H_{IT} [MPa] in modul elastičnosti E_{IT} [GPa] sta bila ovrednotena s pripadajočo programsko opremo Indentation (verzija 10.0.9, Anton Paar), na podlagi preračuna, ki temelji na metodi, objavljeni v študiji avtorjev Warren Oliver in George Pharr iz leta 1992 (Oliver & Pharr, 1992):

$$S = \left(\frac{dF}{dh} \right)_{maks} = m \times F_{maks} (h_{maks} - h_p)^{-1} \quad (1)$$

pri čemer je S togost stika, F_{maks} največja obremenitev, h_{maks} največja globina vtisa, m potenčna konstanta (odvisna od geometrije vtisnega telesa) in h_p permanentna globina vtisa po popolni razbremenitvi. Tangentno globino h_r oz. globino, pri kateri tan-

genta na krivuljo F_{maks} seka os globine penetracije, izračunamo po enačbi (2):

$$h_r = h_{maks} - \frac{F_{maks}}{S} \quad (2)$$

Globino stika h_c oz. globino vtisnega telesa pri F_{maks} izrazimo, kot je navedeno v enačbi (3):

$$h_c = h_{maks} - \varepsilon \times (h_{maks} - h_r) \quad (3)$$

kjer je ε konstanta, odvisna od geometrije vtisnega telesa m .

Vtisna trdota H_{IT} je definirana kot razmerje med F_{maks} in projekcijo ploščine kontakta med vtisnim telesom in vzorcem A_p pri h_c (enačba 4), ter predstavlja merilo za odpornost materiala proti plastični deformaciji:

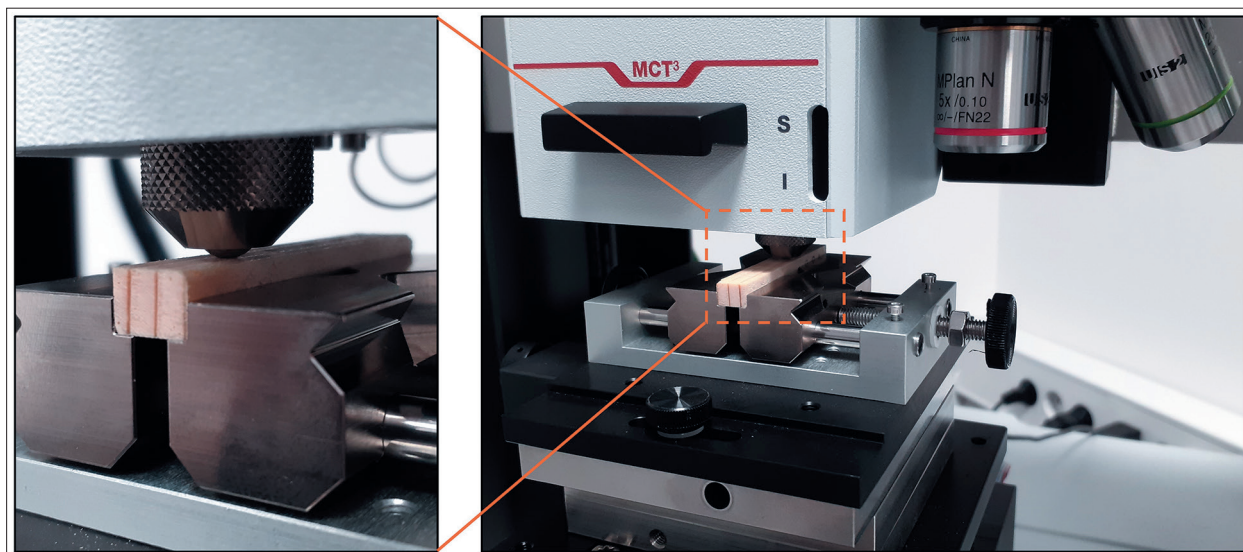
$$H_{IT} = \frac{F_{maks}}{A_p} \quad (4)$$

Reduciran modul elastičnosti E_r izračunamo po naslednji enačbi (5):

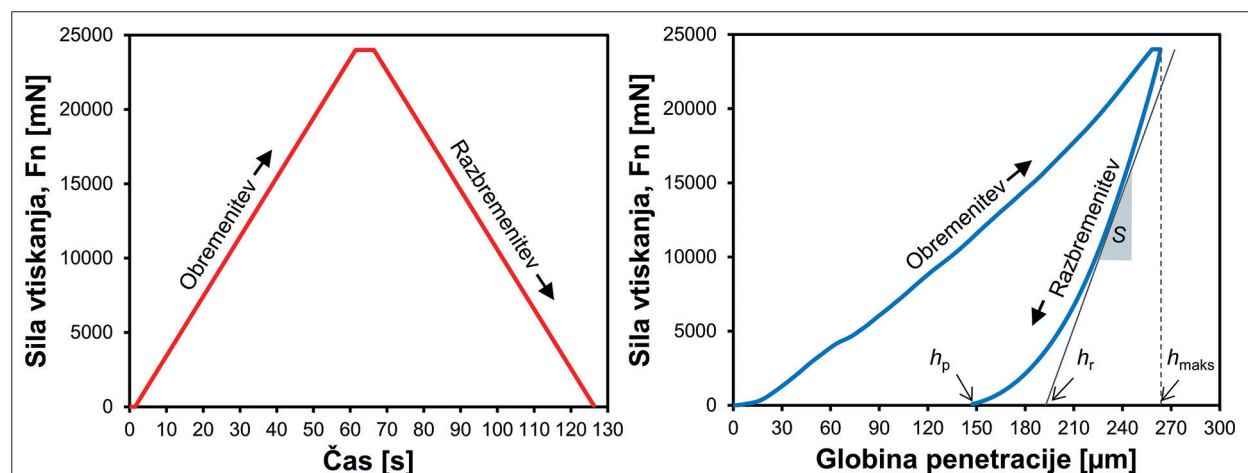
$$E_r = \frac{\sqrt{\pi} \times S}{2 \times \beta \times \sqrt{A_p}} \quad (5)$$

pri čemer je β geometrijski faktor vtisnega telesa ($\beta=1$ za kroglo). Ob znanem Poissonovem številu vtisnega telesa ν_i (0,07), znanem modulu elastičnosti vtisnega telesa E_i (1141 GPa) in znanem Poissonovem številu vzorca ν_s ($\nu_{TR}=0,3$ za les smreke (Kretschmann, 2010)), lahko modul elastičnosti vzorca E_{IT} izrazimo iz enačbe (6):

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1-\nu_s}{E_{IT}} + \frac{1-\nu_i^2}{E_i} \quad (6)$$



Slika 1. Vtiskanje kroglice v vzorec smrekovega lesa in ugotavljanje njegove trdote z inštrumentom MCT³.
Figure 1. Indentation of the ball into the spruce wood sample and determining its hardness with the MCT³ instrument.



Slika 2. Profil obremenjevanja z vtiskanjem (levo) in primer dobljene krivulje elasto-plastične deformacije z bistvenimi parametri (desno).

Figure 2. Indentation profile (left) and an example of the obtained elastoplastic deformation curve with the most important parameters (right).

2.3 MORFOLOŠKA ANALIZA VTISOV

2.3 MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF THE INDENTATIONS

Po zaključnih meritvah trdote smo vtise, na-rejene na površinah vzorcev med merjenjem nji-hove trdote, vizualizirali in analizirali s konfokalnim laserskim mikroskopom LEXT OLS5000 (Olym-pus, Tokio, Japonska) in pripadajočo programsko opremo OLS50-S-AA (Olympus). Mesto posame-

zne meritve trdote je bilo posneto z laserjem pri 5× povečavi, s čimer smo zajeli področje velikosti (2,56×2,56) mm, dobili pa smo podatek o aritmetič-ni povprečni hrapavosti površine (S_a). Na posameznem vzorcu smo vizualizirali in analizirali tudi eno področje brez vtisa, s čimer smo dobili podatek o hrapavosti referenčnih površin. Kot rezultat morfo-loške analize površin smo torej izrazili vrednosti S_a referenčnih področij in vrednosti S_a področij z vtisi.

2.4 UGOTAVLJANJE RAVNOVESNE VLAŽNOSTI LESA

2.4 DETERMINATION OF THE WOOD EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT

Po zaključenih morfoloških analizah vtisov smo vzorce v 24 urah posušili pri temperaturi 102,5 °C v laboratorijskem sušilniku UFE-600 (Mettler GmbH + Co.KG) in po enačbi (7) izračunali njihovo ravnovesno vlažnost (u_r).

$$u_r = \frac{m_u - m_0}{m_0} \times 100 \% \quad (7)$$

pri čemer je m_u [g] masa vzorca, uravnovešenega pri določeni RZV in temperaturi 20 °C, m_0 [g] pa masa vzorca, posušenega na absolutno suho vlažnost.

2.5 MIKROSKOPSKA ANALIZA LESNEGA TKIVA

2.5 MICROSCOPIC ANALYSIS OF THE WOOD TISSUE

Za preučevanje sprememb, ki jih vtiskanje povzroči v lesnem tkivu, smo pripravili 3 orientirane vzorce dimenzij (6×6×6) mm in jih uravnovešili pri temperaturi 20 °C in RZV 50 %. Prvi vzorec smo uporabili za preučevanje sprememb lesnega tkiva na radialni ploskvi, povzročenih s celotnim

vtisnim telesom (slika 3a). Drugi in tretji vzorec smo ustrezno razpolovili, tako da smo dobili vzorec za preučevanje lesnega tkiva na tangencialni ploskvi (slika 3b) in vzorec za preučevanje lesnega tkiva v prečnem prerezu (slika 3c). Pri teh meritvah je bilo vtisno telo v stiku z vzorcem lesa le polovično. Ploskve, ki smo jih preučevali na posameznem vzorcu, smo pred vtiskanjem poravnali na drsnem mikrotomu SM2010R (Leica, Wetzlar, Nemčija) in nanje nanесли tanko plast zlata z napraševalnikom Q150R S Plus (Quorum technologies, Lewes, Združeno kraljestvo). Slike lesnega tkiva pred vtiskanjem in po njem smo zajeli z vrstičnim elektronskim mikroskopom Quanta 250 (Thermo Fisher Scientific, Hillsboro, ZDA). Analize so potekale pri različnih povečavah, visokem vakuumu (0,0156 Pa) in ob pospeševalni napetosti curka elektronov 10 kV.

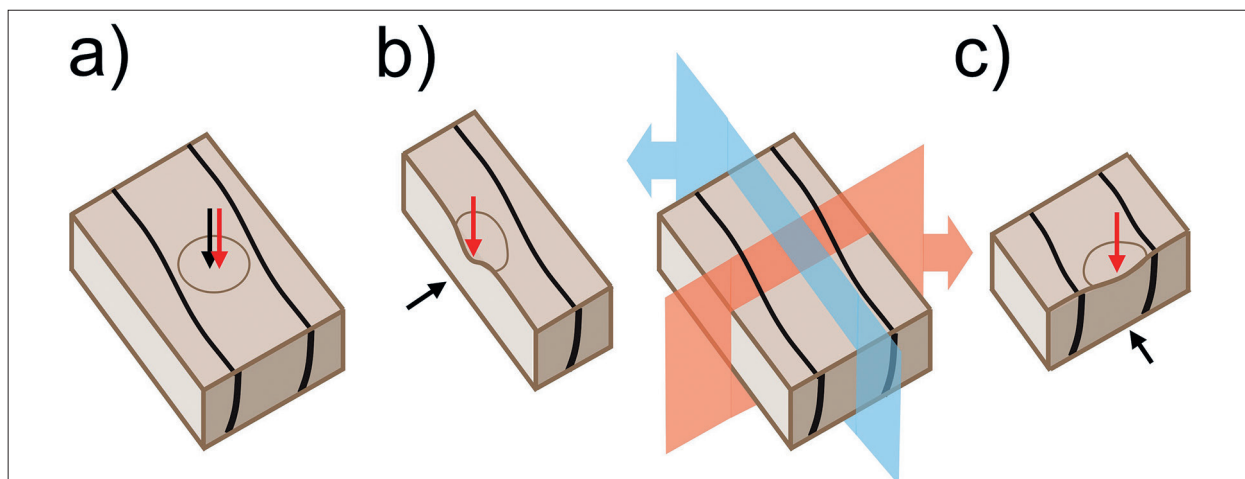
3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

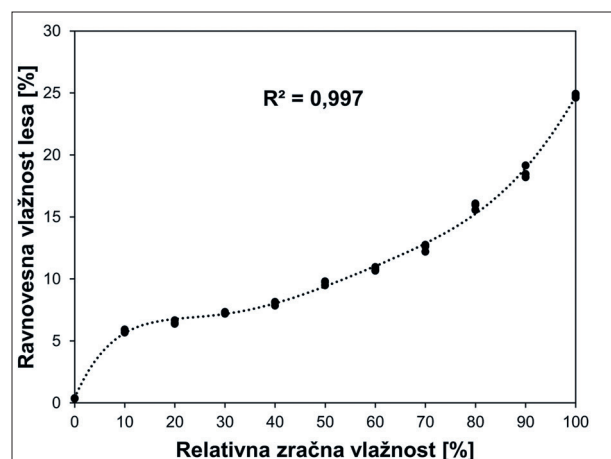
3.1 RAVNOVESNA VLAŽNOST LESA

3.1 EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT OF WOOD

Ravnovesna vlažnost vzorcev iz smrekovega lesa v odvisnosti od RZV, pri kateri so bili vzorci uravnovešeni, je prikazana na sliki 4. Trendna črta, izrisana med posameznimi vrednostmi ravnovesne



Slika 3. Shematski prikaz vzorcev z vtisi za analizo lesnega tkiva z elektronskim vrstičnim mikroskopom: a) vzorec za opazovanje radialne ploskve, b) vzorec za opazovanje tangencialne ploskve in c) vzorec za opazovanje prečnega prereza. Rdeče puščice nakazujejo smer vtiskanja, črne puščice pa smer opazovanja.
Figure 3. Schematic presentation of samples with the indentations for analysis with an scanning electron microscope: a) sample for observation of the radial surface, b) sample for observation of tangential surface, and c) sample for observation of cross-section. The red arrows indicate the direction of indentation and the black arrows indicate the direction of observation.



Slika 4. Ravnovesna vlažnost smrekovega lesa v odvisnosti od RZV uravnovešanja. Točke predstavljajo meritve, prekinjena črta med njimi pa trendno črto.
Figure 4. Equilibrium moisture content of spruce wood and its dependence on relative humidity. The points represent measured values and the dashed line the trend line.

vlažnosti lesa kot krivulja z enačbo polinoma šeste stopnje, izkazuje značilno sigmoidno obliko (Altgen & Rautkari, 2021). Pri 100 % RZV je les dosegel vlažnost ($24,8 \pm 0,1$ %), kar predstavlja tudi točko nasičenja celičnih sten uporabljenega lesa.

3.2 TRDOTA POVRŠIN

3.2 SURFACE HARDNESS

Iz povprečnih napetostno-deformacijskih krivulj, prikazanih na sliki 5, je razvidno, da je bil odziv lesa na vtiskanje v njihovo površino med vzorci različen in je bil odvisen od RZV, pri kateri so bili posamezni vzorci uravnovešeni. Površina obremenitvene histereze posamezne krivulje nakazuje odpornost lesa proti prodiranju telesa ter izraža plastične deformacije, do katerih je prišlo v preskušanjem lesu. Površina pod razbremenitvenim delom krivulje pa predstavlja povratno elastično deformacijo lesa zaradi vtisa. Opaziti je, da je s povečevanjem RZV uravnovešanja lesa oz. poviševanjem njegove ravnovesne vlažnosti, vtisno telo prodrlo

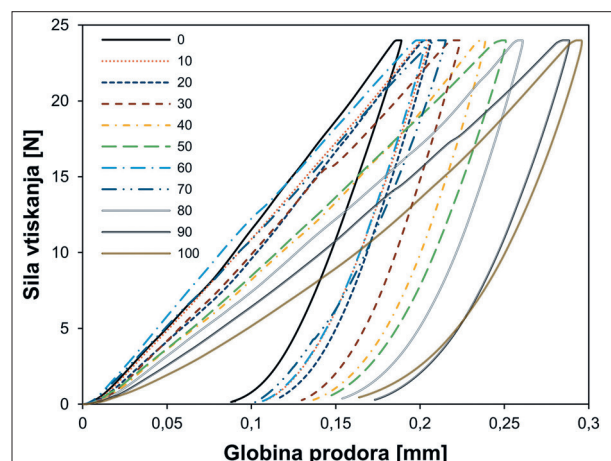
globlje v les. Tako je na primer pri absolutno suhem lesu (vlažnost 0,4 %) vtisno telo v povprečju prodrlo do 190 μm globoko, pri lesu z vlažnostjo 24,9 % pa do 297 μm globoko.

Podatke iz napetostno-deformacijskih krivulj smo uporabili za izračun vtisne trdote lesa H_{IT} in modula elastičnosti E_{IT} . Iz vrednosti obeh parametrov, prikazanih na Sliki 6, je opazen trend zmanjšanja H_{IT} in E_{IT} s povečevanjem ravnovesne vlažnosti lesa. Medtem ko sta H_{IT} in E_{IT} pri absolutno suhem lesu znašala ($110,8 \pm 11,7$) MPa in ($0,62 \pm 0,01$) GPa, je H_{IT} pri lesu z vlažnostjo točke nasičenja celičnih sten znašala ($36,3 \pm 7,9$) MPa (–67 %), E_{IT} pa ($0,40 \pm 0,05$) GPa (–36 %). Z zviševanjem ravnovesne vlažnosti je torej les postajal mehkejši.

3.3 MORFOLOGIJA POVRŠIN LESA

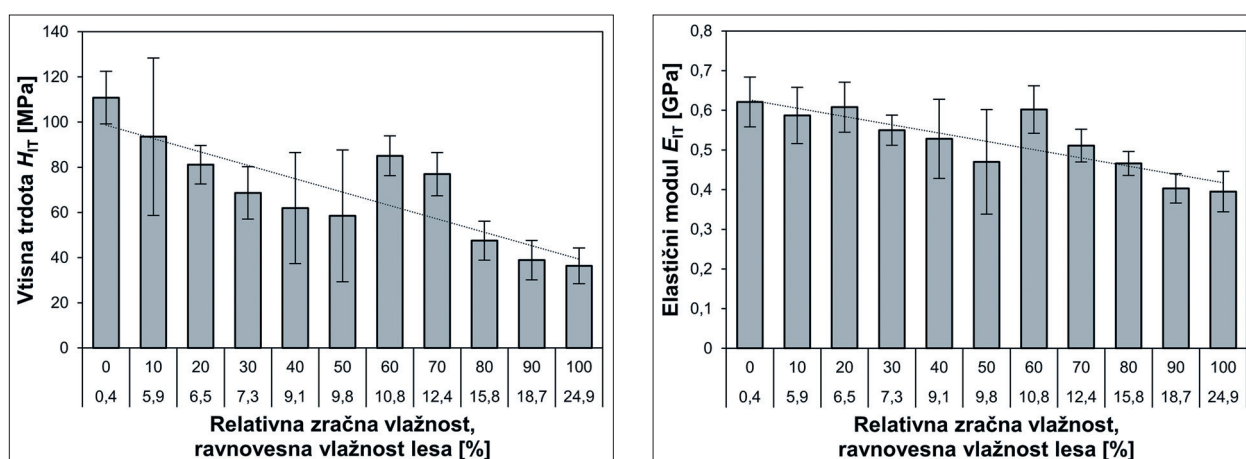
3.3 MORPHOLOGY OF THE WOOD SURFACES

V preglednici 1 so prikazani reprezentativni tridimenzionalni posnetki referenčnega področja in področij z vtisi na vzorcih z različnimi vlažnostmi lesa oz. uravnovešenimi pri različnih RZV, zajeti



Slika 5. Povprečne napetostno-deformacijske krivulje, dobljene z vtiskanjem v vzorce lesa, uravnovešene pri različnih RZV.

Figure 5. The average load-deflection curves gained by indentation in wood samples equilibrated at different relative humidities.



Slika 6. Vtisna trdota H_{IT} (levo) in modul elastičnosti E_{IT} (desno) v odvisnosti od ravnotežne vlažnosti lesa oz. RZV, pri kateri so bili vzorci lesa uravnoteženi. Stolpci prikazujejo povprečne vrednosti s standardnim odklonom.

Figure 6. Indentation hardness H_{IT} (left) and elastic modulus E_{IT} (right) and their dependence on the wood equilibrium moisture content or relative humidity by which the samples were conditioned, respectively. Columns represent the mean values with standard deviation.

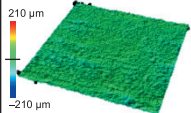
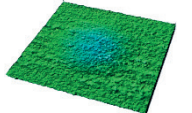
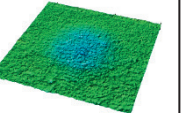
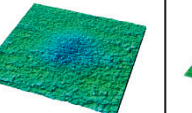
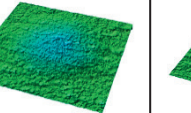
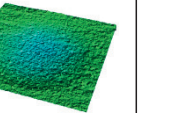
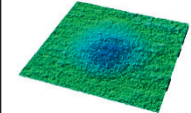
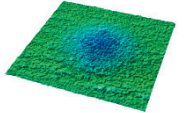
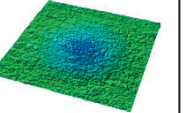
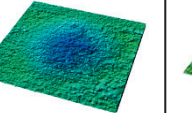
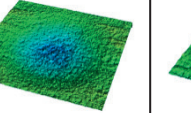
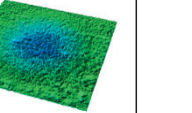
s konfokalnim laserskim mikroskopom. Slike so bile obdelane s funkcijama uravnavanja in brisanja konic v programski opremi konfokalnega laserskega mikroskopa OLS50-S-AA (Olympus).

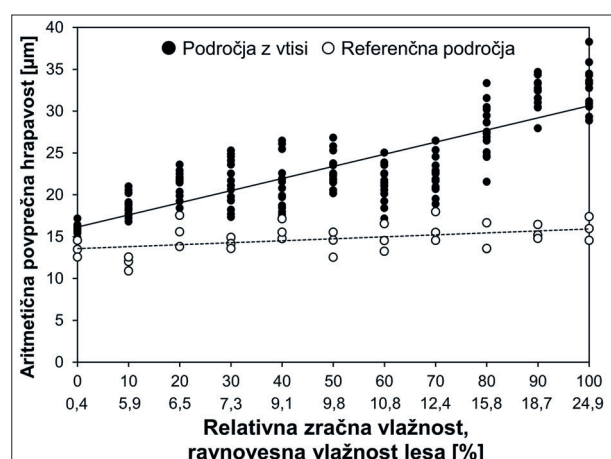
Izmerjene vrednosti S_a na referenčnih področjih nakazujejo zanemarljiv trend povečevanja hrapavosti površine lesa s poviševanjem vlažnosti lesa (slika 7). Vrednosti S_a , izmerjene na vseh področjih

z vtisi, nakazujejo trend povečevanja hrapavosti s povečevanjem vlažnosti lesa. S_a površin je pri lesu z ravnotežno vlažnostjo 0,4 % znašala 15,9 μm , pri lesu z vlažnostjo 24,9 % pa 32,6 μm , kar je pomenilo za 106 % večjo S_a v primerjavi z vtisnjenim absolutno suhim lesom in 241 % večjo S_a v primerjavi s S_a referenčne površine. Tudi s to analizo smo to-

Preglednica 1. Reprezentativni tridimenzionalni posnetki referenčnega področja in področij z vtisi na vzorcih z različnimi vlažnostmi lesa oz. uravnoteženimi pri različnih RZV, zajeti s konfokalnim laserskim mikroskopom. Prikazana področja so velikosti (2,56×2,56) mm.

Table 1. Representative three-dimensional snapshots of the reference area and areas with the indentations on samples with different levels of equilibrium moisture contents or equilibrated at different relative humidities, captured by a confocal laser scanning microscope. The size of the areas shown is (2.56×2.56) mm.

Ravnotežna vlažnost lesa; relativna zračna vlažnost [%] Equilibrium moisture content of wood; relative humidity [%]					
Referenca	0,4; 0	5,9; 10	6,5; 20	7,3; 30	9,1; 40
					
9,8; 50	10,8; 60	12,4; 70	15,8; 80	18,7; 90	24,9; 100
					



Slika 7. Aritmetična povprečna hrapavost površin referenčnih področij in področij z narejenimi vtisi, izmerjena na vzorcih, uravnovešenih pri različnih RZV.

Figure 7. Arithmetic mean roughness of surfaces on reference areas and areas with indentations, measured on samples conditioned at different relative humidities.

rej potrdili, da je vtiskanje telesa v bolj vlažen les povzročilo večjo deformacijo lesnega tkiva.

3.4 MIKROSKOPSKE SPREMEMBE LESNEGA TKIVA 3.4 MICROSCOPIC CHANGES OF THE WOOD TISSUE

Mikroskopska analiza lesnega tkiva je razkrila spremembe, ki jih je povzročilo vtiskanje telesa v strukturo lesa v vseh treh anatomskih smereh. Les se kot porozen material pri tlačnih obremenitvah zaradi porušitev v celicah deformira plastično (Scharf et al., 2022).

Ob primerjavi slik prečnega prereza lesa pred vtiskanjem in po njem (slika 8a in 8d) je razvidno, da je vtiskanje s silo 24.000 mN s polovico vtisnega telesa povzročilo trajni vtis globine približno 100 μm , spremembe v celični strukturi lesa pa je bilo moč opaziti tudi globlje. Tik pod površino ($\approx 0\text{--}100$ μm) je prišlo do porušitev celic in vrivanja celičnih sten v lumne celic. Globlje ($\approx 100\text{--}300$ μm pod površino) so se celične stene usločile in oblika aksialnih traheid smrekovega lesa v prečnem prerezu je prešla iz pravokotne v rombasto.

Iz posnetkov, prikazanih na sliki 8b in 8e je razvidno, da je vtiskanje v tangencialni smeri povzročilo usločenje celic lesa po njihovi dolžini. Pri celicah tik pod površino je zopet opaziti porušitve z vrivanjem celičnih sten aksialnih traheid v njihove lumne, medtem ko so traheide enorednega radialnega parenhimskega tkiva ostale večinoma nepoškodovane in so le sledile premikom v celotni celični strukturi.

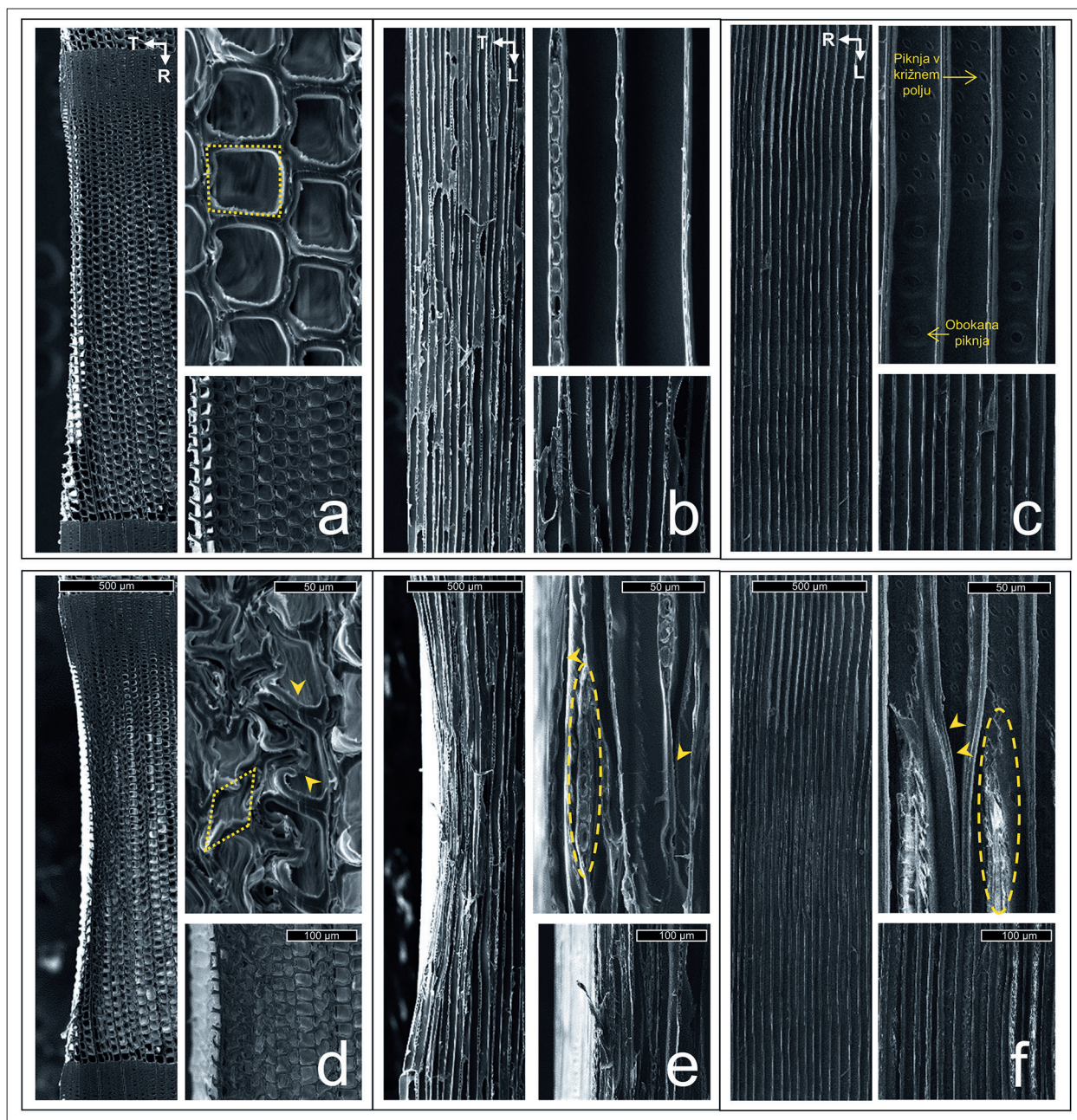
Mikroskopska analiza radialne površine lesa (slika 8c in 8f) je razkrila spremembe, ki jih je vtiskanje povzročilo v celicah na površini lesa. Opaziti je bilo usločenje in porušitev celičnih sten aksialnih

traheid in nastanek razpok v njihovih radialnih celičnih stenah na območjih, kjer so bile prisotne obokane piknje in piknje v križnih poljih.

Za podrobnejšo analizo deformacij, do katerih pride znotraj lesnega tkiva zaradi vtiskanja trših teles v površino lesa, nameravamo v prihodnje uporabiti še kakšno drugo tehniko mikroskopiranja. Eno od tovrstnih tehnik predstavlja računalniška mikro-tomografija, ki so jo drugi avtorji že uspešno uporabili kot nedestruktivno tehniko za analizo in prostorsko vizualizacijo anatomskih lastnosti lesa (Steppe et al., 2004) in porušitev v lesu zaradi tlačnih obremenitev (Zauner et al., 2016).

4 ZAKLJUČKI 4 CONCLUSIONS

Trdota lesa, kot merilo njegove odpornosti proti prodiranju tršega telesa v njegovo notranjost, pogostokrat pogojuje uporabnost izbrane vrste lesa za določen namen uporabe. Med drugim je odvisna tudi od ravnovesne vlažnosti lesa. Meritve trdote, ki smo jih izvedli z vtiskanjem na mikroskopskem nivoju na lesu navadne smreke, uravnovešenim pri različnih RZV, so pokazale, da se s poviševanjem vlažnosti lesa trdota lesa znižuje. Kot navaja tudi literatura (Peng et al., 2016), prisotnost večjih količin vezane vode v celični steni povečuje razdaljo med mikrofibrilami in oslabi njihovo medsebojno povezanost z intermolekularnimi vodikovimi vezmi. S tem je možnost zdrsa med mikrofibrilami ob obremenitvah povečana. Vtisna trdota H_{IT} in modul elastičnosti E_{IT} sta tako pri absolutno suhem lesu znašala ($110,8 \pm 11,7$) MPa in ($0,62 \pm 0,01$) GPa, pri lesu z vlažnostjo točke nasičenja celičnih sten pa



Slika 8. Posnetki mikroskopske strukture lesnega tkiva pred vtiskanjem (a, b, c) in po njem (d, e, f), zajeti na istih mestih pri različnih povečavah: Prečni prerez (a, d), tangencialni prerez (b, e) in radialni prerez (c, f).

Figure 8. Images of the microscopic structure of the wood tissue before indentation (a, b, c) and after it (d, e, f), taken at the same locations at different magnifications: cross section (a, d), tangential section (b, e), and radial section (c, f).

($36,3 \pm 7,9$) MPa in ($0,40 \pm 0,05$) GPa, kar je v povprečju predstavljalo znižanje teh dveh parametrov za 67 % oz. 36 %. Skladno z zniževanjem trdote lesa so se povečevale globine vtisov in posledično se je poviševala hrapavost površin, izmerjena s konfokal-

nim laserskim mikroskopom. Mikroskopska analiza lesnega tkiva na območjih z vtisi je razkrila usločene celičnih sten, njihovo gnetenje v lumnih traheid ter nastanek razpok znotraj celičnih sten.

Raziskava obenem predstavlja demonstracijo uporabnosti inštrumenta za natančno karakterizacijo površin materialov na primeru lesa. Pridobljene podatke meritev trdote lahko dodatno podkrepimo z mikroskopiranjem povzročenih deformacij v obravnavanem materialu.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

The hardness of wood, as a measure of its resistance against the penetration of a harder body into its interior, often conditions the usefulness of the selected type of wood for a specific purpose. Among other properties of wood, such as density, grain orientation and the presence of the anomalies, the hardness of wood is highly dependent on the wood equilibrium moisture content. The hardness measurements, which were carried out by microindentation on Norway spruce wood, conditioned at different relative humidities, showed that the hardness of the wood decreases as the moisture content increases. As also stated in the literature (Peng et al.), the presence of larger amounts of bound water in the cell wall increases the distance between microfibrils and weakens their connectivity with intermolecular hydrogen bonds. This increases the possibility of slipping between the microfibrils under load. The impact hardness H_{IT} and elastic modulus E_{IT} were 110.8 ± 11.7 MPa and 0.62 ± 0.01 GPa for absolutely dry wood, and 36.3 ± 7.9 MPa and 0.40 ± 0.05 GPa for wood conditioned to fibre saturation point, which on average represented a reduction of these two parameters by 67 % and 36 %, respectively. In accordance with the decrease in the hardness of the wood, the depth of the indentations increased and consequently the roughness of the surfaces, measured with a confocal laser scanning microscope, increased. Microscopic analysis of the wood tissue in the areas with indentations showed the flattening of the cell walls, their kneading in the lumina of the tracheids, and the formation of cracks within the cell walls.

At the same time, the research presents a demonstration of the usefulness of the instrument for the precise characterization of material surfaces, and specifically of wood in the present case. The obtained hardness data can be further supported

by microscopy of the deformations caused in the treated material.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENT

Za financiranje raziskave se zahvaljujemo Javni agenciji za raziskovalno dejavnost (ARRS) in programski skupini P4-0430 (»Gozdno-lesna veriga in podnebne spremembe: prehod v krožno biogospodarstvo«).

LITERATURA

REFERENCES

- Altgen, M., & Rautkari, L. (2021). Humidity-dependence of the hydroxyl accessibility in Norway spruce wood. *Cellulose*, 28, 45–58. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03535-6>
- Borrega, M., & Kärenlampi, P. (2008). Mechanical behavior of heat-treated spruce (*Picea abies*) wood at constant moisture content and ambient humidity. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 66, 63–69. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-007-0207-3>
- Broitman, E. (2017). Indentation hardness measurements at macro-, micro-, and nanoscale: A critical overview. *Tribology Letters*, 65, 23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11249-016-0805-5>
- CEN, E. (2020). Lesene talne obloge in parket–Ugotavljanje odpornosti proti vtiskovanju–Preskusna metoda. Bruselj, Belgija.
- De Assis, A., Pinto Alexandre, R., & Wagner Ballarin, A. (2017). Dynamic hardness of wood – measurements with an automated portable hardness tester. *Holzforschung*, 71(5), 383–389. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2016-0137>
- Fu, W.-L., Guan, H.-Y., Li, W., Sawata, K., & Zhao, Y. (2023). Elastoplastic performance of wood under compression load considering cross grain orientation and moisture content. *European Journal of Wood and Wood Products*, 81, 111–124. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-022-01880-w>
- Gorišek, Ž. (2009). Les: zgradba in lastnosti: njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
- Hansson, L., & Antti, A. (2006). The effect of drying method and temperature level on the hardness of wood. *Journal of Materials Processing Technology*, 171, 467–470. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.08.007>
- Koczan, G., Karwat, Z., & Kozakiewicz, P. (2021). An attempt to unify the Brinell, Janka and Monnin hardness of wood on the basis of Meyer law. *Journal of Wood Science*, 67(7), 16 p. DOI: <https://doi.org/10.1186/s10086-020-01938-4>
- Kretschmann, D. (2010). Mechanical properties of wood. In: R. Ross, *Wood handbook—wood as an engineering material* (str. 1-46). Madison, ZDA: Forest Products Laboratory.
- Lykidis, C., Nikolakakos, M., Sakellariou, E., & Biribilis, D. (2016). Assessment of a modification to the Brinell method for determi-

- ning solid wood hardness. *Materials and Structures*, 49, 961–967. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0551-4>
- Meng, Y., Xia, Y., Young, T., Cai, Z., & Wang, S. (2015). Viscoelasticity of wood cell walls with different moisture content as measured by nanoindentation. *RSC Advances*, 5, 47538. DOI: <https://doi.org/10.1039/c5ra05822h>
- Meyer, L., Brischke, C., & Welzbacher, C. (2011). Dynamic and static hardness of wood: method development and comparative studies. *International Wood Products Journal*, 2, 5–11. DOI: <https://doi.org/10.1179/2042645311Y.0000000005>
- Milch, J., Tippner, J., Sebera, V., & Brabec, M. (2016). Determination of the elasto-plastic material characteristics of Norway spruce and European beech wood by experimental and numerical analyses. *Holzforschung*, 70(11), 1081–1092. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2015-0267>
- Oliver, W., & Pharr, G. (1992). An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. *Journal of Materials Research*, 7(6), 1564–1583. DOI: <https://doi.org/10.1557/JMR.1992.1564>
- Panjan, M., & Čekada, M. (2005a). Merjenje mikrotrdote trdnih PVD-prevlak z nanoindenterjem (1. del)–Fizikalna opredelitev trdote. *Vakuumist*, 25(3), 9–15.
- Panjan, M., & Čekada, M. (2005b). Merjenje mikrotrdote trdnih PVD-prevlak z nanoindenterjem (2. del). *Vakuumist*, 25(4), 8–17.
- Peng, H., Jiang, J., Zhan, T., & Lu, J. (2016). Influence of density and equilibrium moisture content on the hardness anisotropy of wood. *Forest Products Journal*, 66(7/8), 443–452. DOI: <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-15-00072>
- Petrič, M. (2022). Nova raziskovalna oprema na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani–Instrument za določanje mikromehanskih lastnosti površin lesa, kompozitov in lesnoobdelovalnih orodij MCT3. *Les/Wood*, 71(2), 86–87.
- Scharf, A., Neyses, B., & Sandberg, D. (2022). Hardness of surface-densified wood. Part 1: material or product property? *Holz-forschung*, 76(6), 503–514. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2021-0151>
- Steppe, K., Cnudde, V., Girard, C., Lemeur, R., Cnudde, J.-P., & Jacobs, P. (2004). Use of X-ray computed microtomography for non-invasive determination of wood anatomical characteristics. *Journal of Structural Biology*, 148, 11–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2004.05.001>
- Sydor, M., Pinkowski, G., Kučerka, M., Kminiak, R., Antov, P., & Rogoziński, T. (2022). Indentation hardness and elastic recovery of some hardwood species. *Applied Sciences*, 12, 5049. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12105049>
- Widehammar, S. (2004). Stress-strain relationships for spruce wood: Influence of strain rate, moisture content and loading direction. *Experimental Mechanics*, 44(1), 44–48. DOI: <https://doi.org/10.1177/0014485104039748>
- Zauner, M., Stampanoni, M., & Niemz, P. (2016). Failure and failure mechanisms of wood during longitudinal compression monitored by synchrotron micro-computed tomography. *Holz-forschung*, 70(2), 179–185. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2014-0225>



VERD – NOVOODKRITO KOLIŠČE IZ 5. TISOČLETJA PR. KR. NA LJUBLJANSKEM BARJU

VERD – NEWLY DISCOVERED PILE-DWELLING FROM THE 5TH MILLENNIUM BC IN LJUBLJANSKO BARJE, SLOVENIA

Anton Velušček^{1*}, Mojca Horjak Šuštaršič², Tjaša Tolar¹,
Borut Toškan¹, Maks Merela³, Katarina Čufar³

UDK članka: 903.4(497.412)
Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 7. 6. 2023
Sprejeto / Accepted: 4. 7. 2023

Izvleček / Abstract

Izvleček: Predstavljamo rezultate interdisciplinarnih raziskav na novoodkritem kolišču Verd na zahodnem robu Ljubljanskega barja. Za oceno starosti najdišča so bili ključni rezultati dendrokronoloških raziskav in radiokarbonskega datiranja lesa, podprtega z metodo wiggle-matching, ki posek lesa dveh pilotov z Verda postavljajo v obdobje 4674 ± 42 cal BC, kar je nekoliko starejše ali sočasno doslej najstarejšemu odkritemu kolišču Resnikov prekop pri Igu. Keramične najdbe so tipološko podobne tistim z Resnikovega prekopa. Arheozoološke raziskave ugotavljajo zastopanost izključno lovnih in odsotnost domačih živali. Arheobotanične raziskave kažejo, da je bilo naselje Verd umeščeno v dokaj naravno in vodnato okolje brez večjih vplivov človeka. Vse raziskave nakazujejo, da najdišče Verd z ostanki neolitskega kolišča iz 5. tisočletja pr. Kr., ne glede na majhnost izkopnega polja in razmeroma skromno število najdb, najverjetneje predstavlja eno najstarejših znanih koliščarskih poselitvenih točk na Ljubljanskem barju.

Ključne besede: kolišče, Ljubljansko barje, neolitik, arheološki les, arheozoologija, arheobotanika, dendrokronologija, C14 wiggle-matching

Abstract: We present the results of interdisciplinary research on the newly discovered pile-dwelling site Verd on the western edge of Ljubljansko barje. Decisive for the age determination of the site were the results of dendrochronological investigations and radiocarbon dating of wood using the wiggle-matching method. The estimated felling date of trees for two piles is 4674 ± 42 cal BC, suggesting that Verd is contemporaneous with or slightly older than the oldest pile-dwelling settlement known to date, Resnikov prekop near Ig. The pottery finds from Verd are typologically similar to those from the Resnikov prekop. Archaeozoological investigations have revealed only hunted animals and no domestic animals. Archaeobotanical analyses show that the Verd settlement, was located in a relatively natural and marshy environment without significant human influence. Despite the small size of the excavation field and the relatively small number of finds, the results from all disciplines indicate that the Verd site, with its Neolithic remains from the 5th millennium BC, probably represents the oldest known pile-dwelling settlement in the Ljubljansko barje.

Keywords: pile dwelling, Ljubljansko barje, Neolithic, archaeological wood, archaeozoology, archaeobotany, dendrochronology, radiocarbon wiggle-matching

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Arheologija na podlagi materialnih virov preučuje preteklost človeštva. Pri tem jo zanima prostor

in čas preteklega dogajanja, kje in v kakšnem okolju ter kdaj se je nekaj dogajalo. Čas obravnava v smislu relativne in absolutne kronologije. Razvoj prve je zelo napredoval, ko še ni bilo na razpolago

¹ Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Inštitut za arheologijo, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

² Avgusta, raziskovalna in storitvena dejavnost, d.o.o., Mestni trg 15, 5280 Idrija, Slovenija

³ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina, Cesta VIII/34, 1000 Ljubljana, Slovenija

* e-pošta: anton.veluscek@zrc-sazu.si

sodobnih naravoslovnih datacijskih metod. Danes je za mlajša obdobja prazgodovine zelo popularno radiokarbonsko datiranje, zanj zadostuje že majhna količina organske snovi. Prve tovrstne datacije so se v slovenski arheologiji začele pojavljati v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja (npr., Bregant, 1975; Turk, 1989).

Za arheološko okolje zmerne pasu, kjer se je preko daljših časovnih obdobij ohranil predvsem z vodo napojen arheološki les, pa se je uveljavila datacijska metoda dendrokronologija, ki jo v Sloveniji razvijamo tudi na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in jo uporabljamo na področju prazgodovinske arheologije. Največji napredek je dendrokronologija omogočila pri raziskovanju koliščarske poselitve Ljubljanskega barja (slika 1; npr., Čufar et al., 2013, 2022). Trenutno razpolagamo s 510 let dolgo kronologijo BAR-3330, ki je bila dendrokronološko datirana s pomočjo telekonekcije z nemško-švicarsko kronologijo (Čufar et al., 2015) in podaljšana, tako da pokriva razpon 3840–3330 pr. Kr. (Čufar et al., 2022). Omenjena referenčna kronologija omogoča na leto natančno ugotavljanje časa poseka dreves, uporabljenih za gradnjo koliščarskih naselij, osem kolišč iz 4. tisočletja pr. n. št. kot so Črnelnik, Trebež, Strojanova voda, Hočevarica, Maharski prekop, Spodnje mostišče, Črešnja pri Bistri, Stare gmajne (starejša faza), pa je bilo z njo absolutno datiranih (Čufar et al., 2015, 2022).

Pomembne so tudi kronologije s konca 4. tisočletja pr. Kr., kot so Stare gmajne (mlajša faza), Veliki Otavnik in Blatna Brezovica, ter kronologije iz 3. tisočletja pr. Kr. (Čufar et al., 2022), ki so datirane s pomočjo radiokarbonskega datiranja lesa in metode 'wiggle-matching' (Čufar et al., 2010). Kronologije omogočajo datiranje in opazovanje dinamike poselitve, kot sta npr. sočasnost naselij in obdobja, ko poselitev ni bilo (poselitveni hiatusi) (npr., Velušček et al., 2011; Čufar et al., 2022).

V Sloveniji trenutno predstavlja težavo sestavljanje kronologij za najdišča iz 5. in 2. tisočletja pr. Kr. Med razlogi za to je predvsem manjše število ostankov kolišč in uporaba gradbenega lesa, ki je manj primeren za dendrokronološko analizo, kar lahko trdimo predvsem za 5. tisočletje (npr., Čufar & Korenčič, 2006; Čufar et al., 2022; Out et al., 2023).

Na Ljubljanskem barju je najstarejša poselitev v 5. tisočletju pr. Kr. vezana izključno na neolitska naj-

dišča s keramičnimi najdbami, ki so blizu keramiki z Resnikovega prekopa pri Igu (Korošec, 1964; Harej, 1975; Velušček, 2006). Resnikov prekop je edino raziskano kolišče iz tega obdobja (Bregant, 1964; Korošec, 1964; Harej, 1975; Velušček, ur., 2006), ki je datirano okvirno v 46. stoletje pr. Kr. (preglednica 5). Poleg njega je bilo odkritih še nekaj najdišč z enako keramiko drugod po barju. Karel Dežman je omenjal vertikalne nosilne kole pri Zamedvedici, kar kasneje ni bilo potrjeno, čeprav so pred nekaj desetletji domnevno na istih parcelah našli keramiko tipa Resnikov prekop, kremenove artefakte, živalske kosti in oglje (Turk & Vuga, 1984). Znane so tudi najdbe resniške keramike z osamelcev oz. na robu vršaja, kot so primeri na Bregu pri Škofljici (Frelj, 1986), pod Gradiščem pri Bevkah (Bregant, 1969) in pri Igu (Turk & Vuga, 1982). Dobro desetletje nazaj pa je bilo odkrito plano naselje na suhem v vasi Jezero (Nadbath et al., 2011).

Po horizontu najdb tipa Resnikov prekop sledi obdobje, ki je trajalo pribl. 800 let, ko z mokrotnega dela barja doslej ni sledov o arheoloških najdiščih, kar kaže na dolgotrajni poselitveni hiatus (npr., Velušček & Čufar, 2014), ki pa bi bil lahko le navidezen. Obstojajo namreč ne preveč prepričljivi indici (glej npr., Velušček, 2013), ki nakazujejo prisotnost človeka na Ljubljanskem barju tudi v vmesnem obdobju, od približno 4500 do 3700 pr. Kr. To nakazujejo nekateri pelodni diagrami (npr., Gardner, 1999; Andrič et al., 2008) in predvsem nekatere radiokarbonske datacije z najdišč, bodisi Savske skupine lengyelske kulture iz okoli sredine 5. tisočletja (Mlekuž et al., 2013) bodisi iz 4. tisočletja, kot sta Strojanova voda (Tolar, 2018) ter Maharski prekop (npr., Mlekuž et al., 2012). Po drugi strani pa popolna odsotnost karakterističnih najdb iz okvirno druge polovice 5. tisočletja kaže, da Ljubljansko barje najverjetneje dlje časa ni bilo poseljeno, čeprav povsem prepričljivih razlogov za to še ne poznamo.

Leta 2021 je ekipa podjetja Avgusta, raziskovalna in storitvena dejavnost, d.o.o., pod vodstvom Mojce Horjak Šuštaršič, na skrajnem zahodnem robu mokrotnega dela Ljubljanskega barja pri Verdu (slika 1), odkrila najdišče z vertikalnimi koli, kamni, živalskimi kostmi in prazgodovinsko keramiko. Najdbe so takoj pokazale, da gre za ostanke prazgodovinske koliščarske naselbine. Lega najdišča je nakazovala zelo visoko starost, ki bi bila lahko višja od horizonta kolišč keramike z brazdistim vrezom,

ki je umeščen v časovni okvir 4. tisočletja, od 38. do 36. stol. pr. Kr. (npr., Čufar et al., 2022) in bi glede na lego lahko sodilo v začetno obdobje koliščarske poselitve Ljubljanskega barja (prim., Velušček & Čufar, 2008; Turk & Velušček, 2013; Velušček et al., 2018).

Cilj tega prispevka je predstaviti prve arheološke, arheobotanične, arheozoološke, dendrokronološke in radiokarbonske raziskave najdb z najdišča Verd z ostanki koliščarske naselbine, ki morda spada med najzgodnejše koliščarske naselbine Ljubljanskega barja. V prispevku, ki je rezultat sodelovanja med različnimi strokami, so podani pregledi arheoloških najdb ter izsledki naravoslovnih raziskav, s posebnim poudarkom na dendrokronologiji in radiokarbonskem datiranju arheološkega lesa.

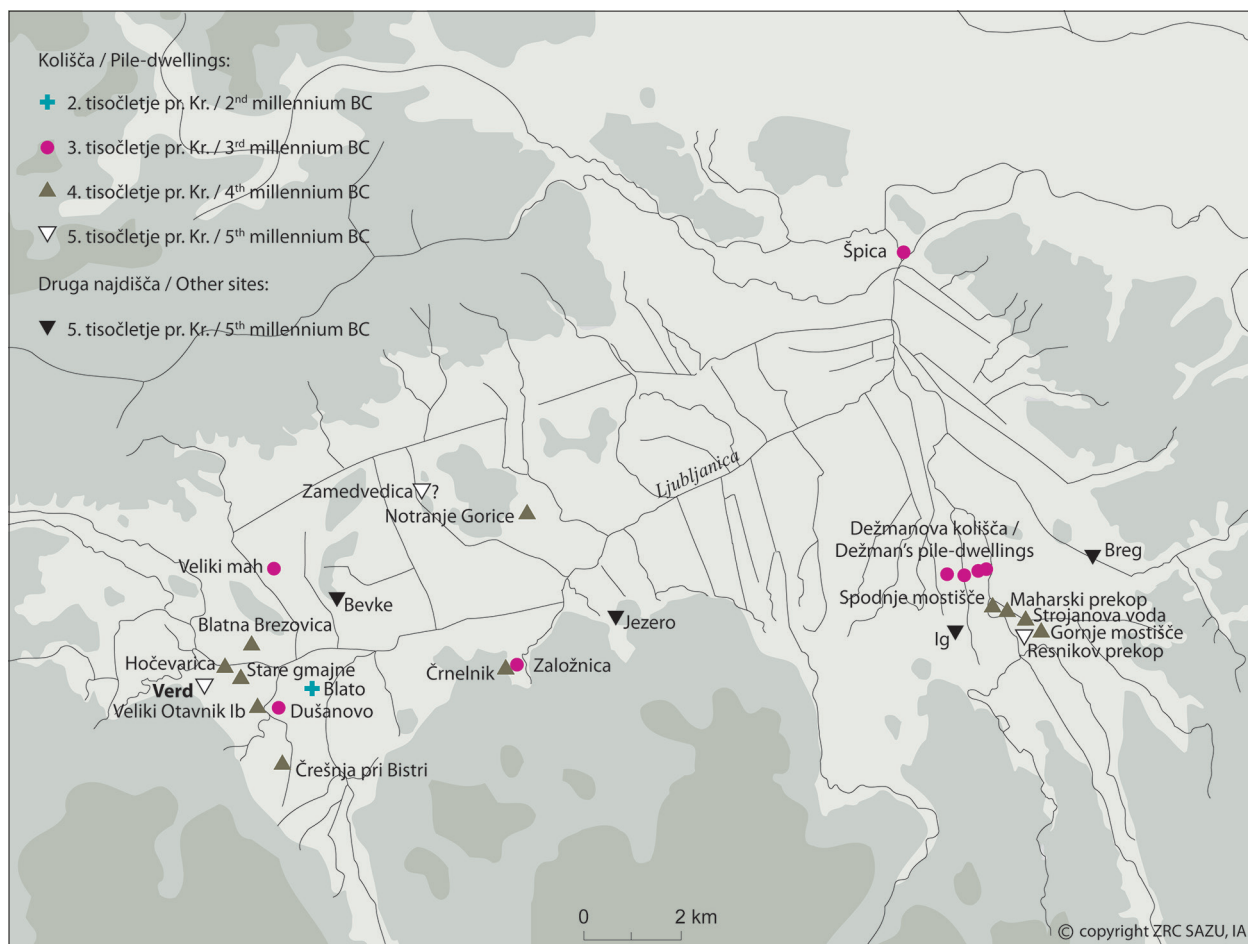
2 MATERIAL IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 ARHEOLOŠKA IZKOPAVANJA

2.1 ARCHAEOLOGICAL EXCAVATIONS

Sodelavci podjetja Avgusta, raziskovalna in storitvena dejavnost d.o.o., so v času od 2. 8. 2021 do 22. 2. 2022 izvedli arheološki nadzor ob postavitvi podzemnega električnega voda na zahodnem robu Ljubljanskega barja. Med 17. in 19. 11. 2022 so na območju parcel v k.o. Verd (slika 2), ki ležita na mokrotnih tleh vzhodno od istoimenskega naselja Verd, v izkopanem jašku naleteli na rumenkast melj, ki je od severa prešel v sivkasto plast z organskimi ostanki. Ko se je v severozahodnem profilu v plasti pojavilo več majhnih kamnov, so postali še pozornejši in so opozorili gradbince, da upočasnijo izkop. Na dnu izkopa, v globini 0,9 m, so opazili dva



Slika 1. Ljubljansko barje in lega bolje poznanih najdišč z ostanki kolišč; najdišča iz 5. tisočletja pr. Kr. vsebujejo najdbe keramike tipa Resnikov prekop. Zemljevid: Tamara Korošec.

Figure 1. Ljubljansko barje and the locations of the better-known sites with remains of pile-dwellings; the sites from the 5th millennium BC contain finds of Resnikov prekop type pottery. Map: Tamara Korošec.



Slika 2. Najdišče Verd. Lega jaška, kjer so bili odkriti ostanki prazgodovinske poselitve. Zemljevid: Tamara Korošec, GURS (2023).

Figure 2. The site Verd and the location of the shaft where the remains of a prehistoric settlement were discovered. Map: Tamara Korošec, GURS (2023).

večja kamna z zgostitvijo prazgodovinske keramike, v zahodni steni pa dva vertikalna kola.

Na podlagi zapažanj so sklepali, da gre za ostanke koliščarske naselbine. Pristojna konzervatorica ZVKDS OE Ljubljana je odredila, da se v jašku kulturno plast zameji in opravi arheološko raziskavo (slika 3). Tako so gradbeni delavci upočasnjeni, toda še vedno strojno, odstranjevali zemeljske plasti, strokovna ekipa pa je sproti pobirala najdbe in živalske kosti ter čistila zahodno steno jaška, ki je bila na koncu ustrezno dokumentirana. Pobrani so bili tudi vzorci lesa ter vzorci sedimenta za naravoslovne raziskave v arheologiji.

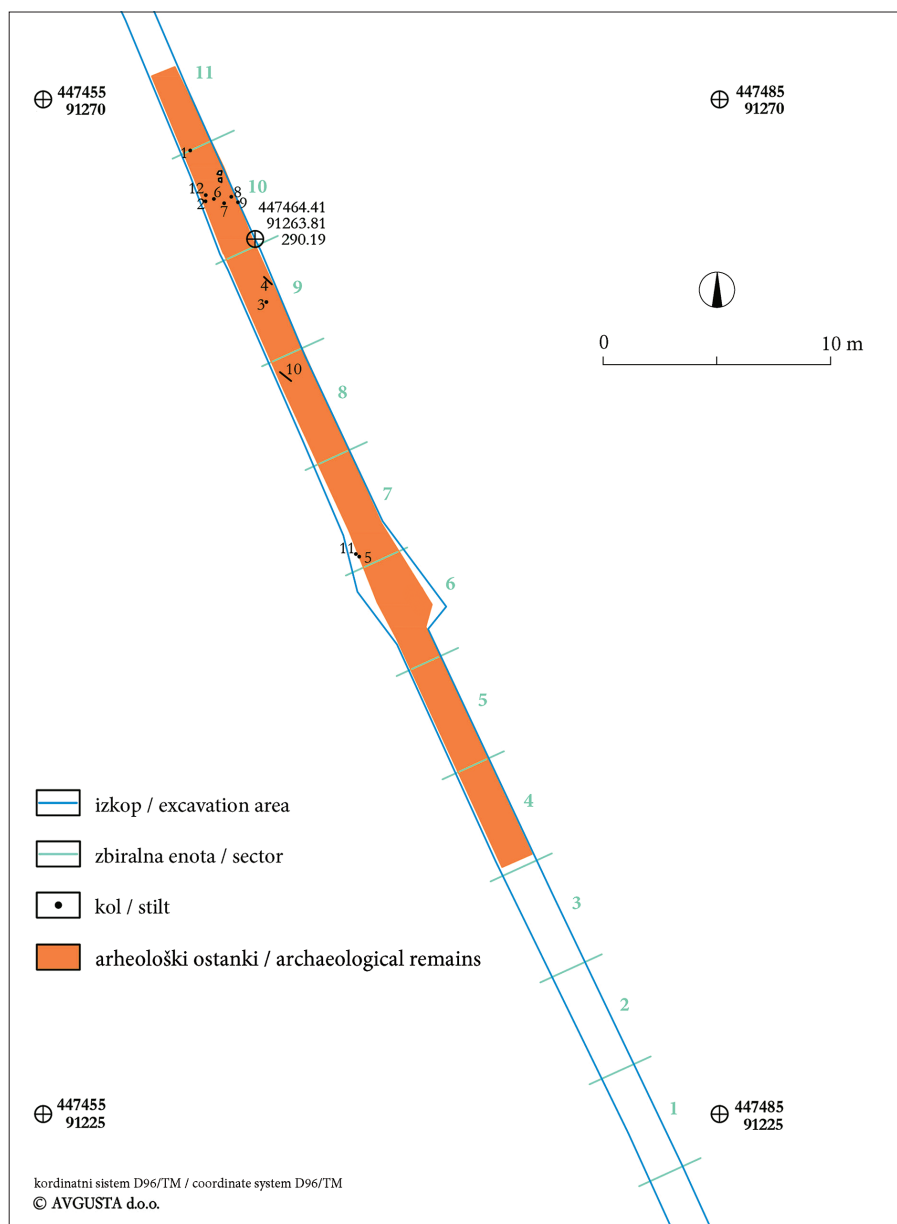
2.2 ARHEOLOŠKE, ARHEOZOOLOŠKE IN ARHEOBOTANIČNE RAZISKAVE IN RAZISKAVE LESA

2.2 ARCHAEOLOGICAL, ARCHEOZOOLOGICAL AND ARCHEOBOTANICAL AND WOOD RESEARCH

Zbranih je bilo 75 fragmentov prazgodovinske keramike za arheološke raziskave in 18 odlomkov

živalskih kosti, ki so bile raziskane po uveljavljeni metodologiji za arheozoološke analize (Velušček, 2006; Andrič et al., 2016).

Iz kulturne plasti so bili odvzeti tudi 3 vzorci sedimenta za arheobotanično analizo (Andrič et al., 2016; Tolar, 2018). Analizirana sta bila vzorca 1 in 2. Naključno je bilo podvzorčeno 1200 ml sedimenta iz vz. 1 in 700 ml sedimenta iz vz. 2, ki je bilo nato mokro presejano skozi sita z odprtinami por 2 in 0,355 mm. Na sitih se je ujelo nekaj organske frakcije velikostnega razreda nad 2 mm, in 510 ml (vz. 1) oz. 200 ml (vz. 2) frakcije oz. organskih ostankov velikosti od 0,355 do 2 mm. Anorganskega materiala, kot so kamenje in večje kosti, v spranem gradivu ni bilo. Prevladovali so odlomki lesa, oglja, listov, vej ipd. V veliki večini so bili ostanki nezogleneli, tj. z vodo prepojeni, zato je pregledovanje, sortiranje in identifikacija potekala v vodnem mediju in s pomočjo stereomikroskopa z do 50-kratno povečavo na Inštitutu za arheologijo ZRC SAZU. Identifikacija rastlinskih makroostankov, kot so semena, plodovi



Slika 3. Načrt raziskanega območja s koordinatami. Označeni so jašek, zbiralne enote SN 1-11, območje pojavljanja kulturne plasti (obarvano) in lesene najdbe z zaporednimi številkami; v zbiralni enoti 10 sta bila odkrita dva neobdelana kamna. Načrt: Gregor Gruden.

Figure 3. Plan of the study area with coordinates. The shaft, the collection units SN 1-11, the area of occurrence of the cultural layer (coloured) and the wooden finds with serial numbers are marked; two unprocessed stones were found in the collection unit 10. Plan by Gregor Gruden.

in lesno oglje, je potekala s pomočjo referenčne zbirke in ustreznih identifikacijskih ključev.

Skupno je bilo dokumentiranih tudi 12 lesenih najdb, od tega je bilo v dendrokronološkem laboratoriju Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani preiskanih 10 vzorcev lesa. Makroskopska in mikroskopska identifikacija lesa ter dendrokronološka analiza so bile opravljene po uveljavljeni metodi (Čufar et al., 2013, 2022; Koželj, 2023). Za dendrokronološko analizo oz. merjenje širin branik sta bila primerna samo vzorca dveh jesenovih kolov, ki sta imela več kot 45 branik. Po opravljeni dendrokronološki analizi sta bila odvze-

ta dva (pod) vzorca lesa za radiokarbonsko analizo. Radiokarbonsko datiranje obeh vzorcev lesa je bilo opravljeno v laboratoriju v Poznau na Poljskem (Poznań Radiocarbon Laboratory).

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 RAZISKAVE LESA IN DATIRANJE

3.1 WOOD RESEARCH AND DATING

Skupno je bilo dokumentiranih 12 lesenih najdb, od tega 8 vertikalnih kolov. V dendrokronološkem laboratoriju je bilo preiskanih 10 vzorcev lesa

Preglednica 1. Podatki o lesenih najdbah z najdišča Verd; *Alnus glutinosa*, črna jelša, *Salix* sp., vrba, *Fraxinus* sp., jesen in *Fagus sylvatica*, navadna bukev. Skorja, zadnja branika pod skorjo »+« prisotna, »-« ni prisotna, * vzorec VZ10 je bil izbran za radiokarbonsko datiranje.

Table 1. Data on wooden finds from the Verd site; *Alnus glutinosa*, black alder, *Salix* sp., willow, *Fraxinus* sp., ash, and *Fagus sylvatica*, European beech. Bark, last ring below the bark "+" present, "-" absent, * sample VZ10 was selected for radiocarbon dating. INID – not identified.

Zaporedna številka Serial number	Kol številka Pile number	Oznaka vzorca Specimen code	Dendro-kronološka oznaka Dendro code	Število branik Number of tree rings	Lesna vrsta Tree species	Skorja Bark	Zadnja branika pod skorjo Last ring below the bark	Premer (cm) Diameter (cm)
10	3	VZ1		~20	<i>Alnus glutinosa</i>	+	+	7,0
11	4	VZ2		17	<i>Salix</i> sp.	-	-	7,0
12	2	VZ3		20	<i>Alnus glutinosa</i>	-	+	10,0
13	6	VZ4		18	<i>Salix</i> sp.	+	+	5,0
14	7	VZ5		10	<i>Salix</i> sp.	-	+	3,0
15	8	VZ6		5	<i>Alnus glutinosa</i>	-	+	1,0
16	9	VZ7		5	<i>Alnus glutinosa</i>	-	+	9,0
17	5	VZ8	VE22001	65	<i>Fraxinus</i> sp.	-	blizu near	8,0
18	10	VZ9		25	<i>Fagus sylvatica</i>	-	+	9,0
19	11	VZ10*	VE22002	63	<i>Fraxinus</i> sp.	-	blizu near	7,0

(preglednica 1). Makroskopska in mikroskopska identifikacija lesa je pokazala, da so zbrani vzorci predstavljali les črne jelše (*Alnus glutinosa*, ALGL), vrbe (*Salix* sp., SASP), jesena (*Fraxinus* sp., FRSP) in navadne bukve (*Fagus sylvatica*, FASY).

Najmanjša lesena najdba je imela premer 1 cm, medtem ko za pilote (kole) lahko štejemo najdbe, ki predstavljajo debla dreves s premerom od 5 do

9 cm (preglednica 1). Koli so se najprej pojavili v zbiralni enoti SN 7 in nato še v zbiralnih enotah SN 8–10 (slika 3).

Največja zgostitev lesenih najdb je bila v zbiralni enoti SN 10 (sliki 3 in 4), drugod jih je bilo manj.

Za merjenje širin branik sta bila primerna vzorca dveh jesenovih kolov (preglednica 1, slika 5), ki sta imela 62 in 64 branik. Zaporedji širin branik

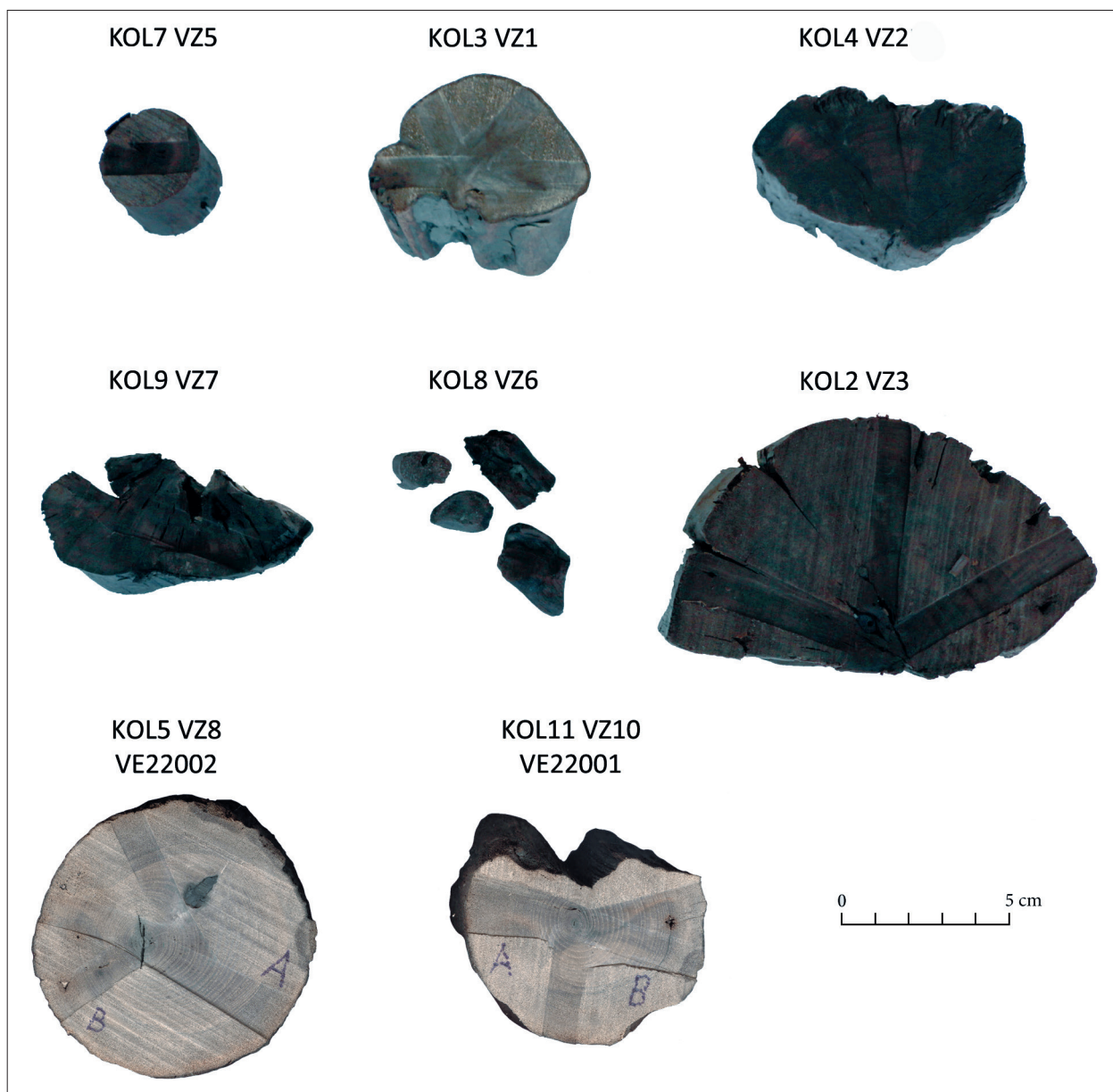


Slika 4. Nosilni koli in drugi ostanki arheološkega lesa *in situ*, zbiralna enota SN 10, pogled proti severozahodu. Foto: Mojca Horjak Šuštaršič.

Figure 4. Piles and other archaeological wood remains *in situ*, collection unit SN 10, viewed towards the northwest. Photo: Mojca Horjak Šuštaršič.

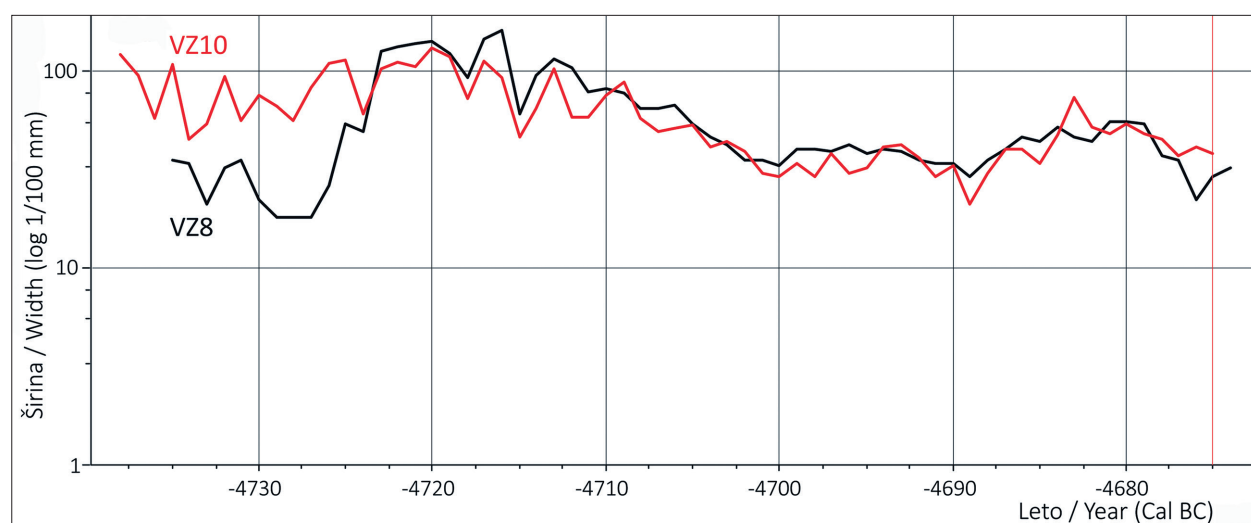
obeh vzorcev je bilo mogoče sinhronizirati in izkazalo se je, da sta bila posekana z 1 letom zamika (slika 6). Nobenega od vzorcev ni bilo mogoče dendrokronološko datirati z razpoložljivimi kronologijami koliščarskih naselbin Ljubljanskega barja iz 4. in 3. tisočletja pr. Kr. (prim., Čufar et al., 2013, 2015, 2022).

Rezultati dendrokronološke analize so bili uporabljeni kot osnova za odvzem vzorcev za radiokarbonsko datiranje. Iz koluta kola št. 11 (VZ10) sta bila v ta namen odvzeta dva vzorca, eden v bližini stržena (VEVZ10-P) in eden z zunanjega dela pod skorjo (VEVZ10-B) (slika 7). Ker so bile na mestih odvzema branike izjemno ozke, sta vzorca vsebovala 10 in 6



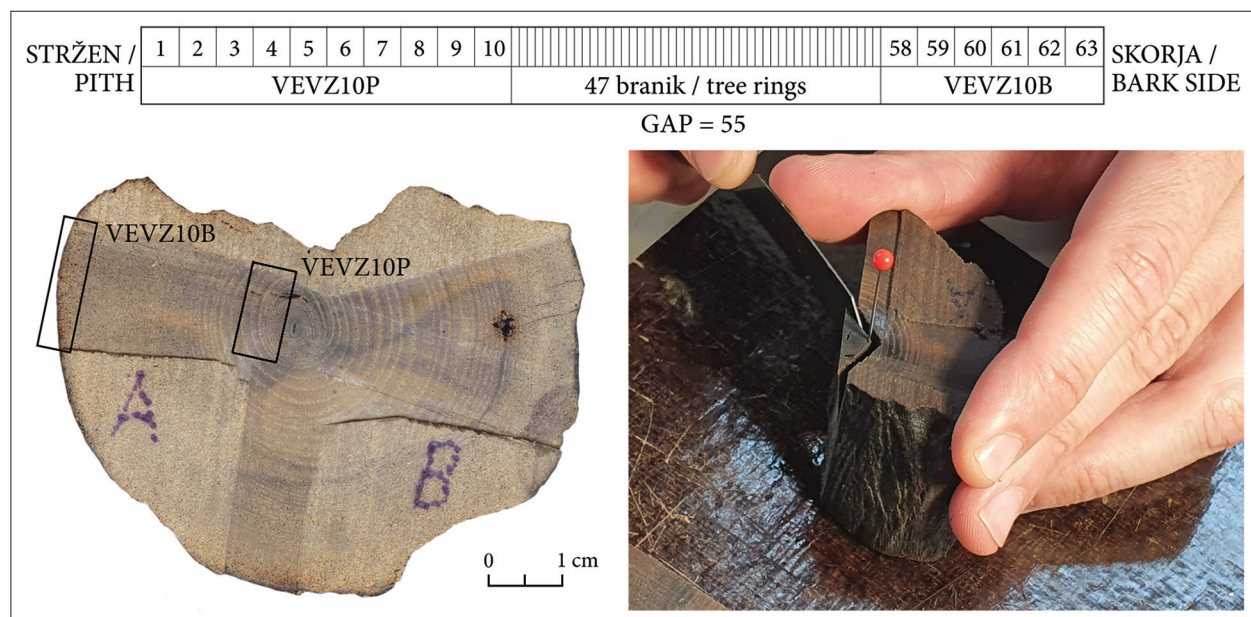
Slika 5. Vzorci lesa, pripravljeni za raziskave – identifikacijo lesa in štetje števila branik; samo vzorca lesa jesena (*Fraxinus excelsior*, FRSP) VZ8 in VZ10 sta bila primerna za dendrokronološko analizo. VZ10 je bil nato izbran za radiokarbonsko datiranje. Foto: Luka Krže.

Figure 5. Wood samples prepared for research—wood identification and counting of tree rings; only ash wood (*Fraxinus excelsior*) samples VZ8 and VZ10 were suitable for dendrochronological analysis. VZ10 was then selected for radiocarbon dating. Photo: Luka Krže.



Slika 6. Sinhronizirana zaporedja širin branik dendrokronološko raziskanih vzorcev VZ8 (črna) in VZ10 (rdeča) ter predlog datacije na osnovi radiokarbonskih analiz lesa z bližine skorje vzorca VZ10. Drevo VZ10 je bilo posekano eno leto prej kot VZ8.

Figure 6. Crossdated tree ring series of the dendrochronologically analysed samples VZ8 (black) and VZ10 (red) and proposed dating based on radiocarbon analyses of wood below the bark of the VZ10 sample. The tree VZ10 was felled one year before VZ8.



Slika 7. Shema odvzema vzorcev za radiokarbonsko analizo (zgoraj), kolot VZ10 (VEVZ10) in mesta za odvzem vzorcev (spodaj levo), odvzem vzorca VEVZ10P v bližini stržena (spodaj desno).

Figure 7. Sampling scheme for radiocarbon analysis (top), disc VZ10 (VEVZ10) and sampling locations (bottom left), collection of sample VEVZ10P near the pith (bottom right).

branik, s čimer je bila pridobljena zadostna količina lesa za radiokarbonsko analizo. Razlika v starosti je bila določena glede na srednjo braniko posameznega vzorca in je znašala 55 let oz. 55 branik. To je

bilo upoštevano kot razlika v starosti, t.i. 'gap' pri postopku 'wigggle-matching' za kalibriranje in interpretacijo rezultatov analize (sliki 7 in 8).

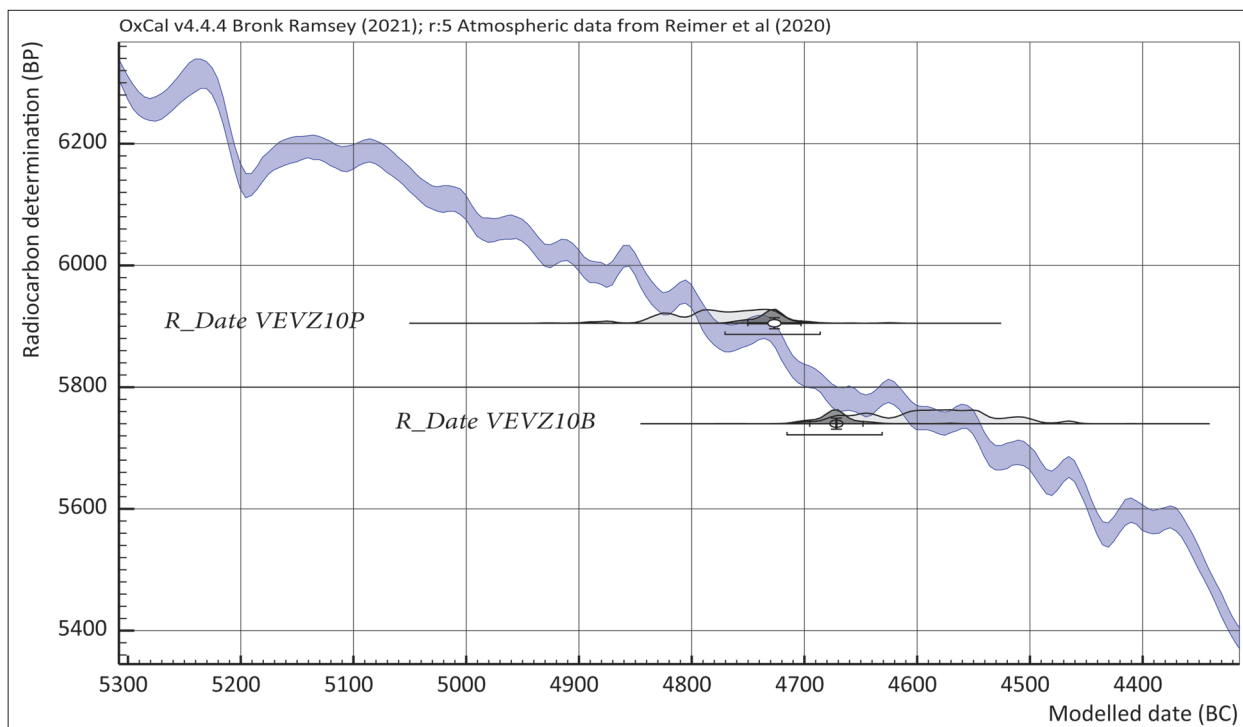
Preglednica 2. ^{14}C dataciji (BP) in rezultati kalibracije za vzorca VEVZ10-P in VEVZ10-B (Goslar, 2022).
Table 2. ^{14}C dates (BP) and calibration results for samples VEVZ10-P and VEVZ10-B (Goslar, 2022).

Verd_190437_VEVZ10-P Poz-155871 5905 $\pm$ 35 BP	Verd_190437_VEVZ10-B Poz-155870 5740 $\pm$ 35 BP
68.3 % probability 4827 BC (3.9 %) 4821 BC 4797 BC (64.4 %) 4723 BC	68.3 % probability 4672 BC (15.9 %) 4636 BC 4616 BC (52.4 %) 4539 BC
95.4 % probability 4885 BC (1.8 %) 4870 BC 4848 BC (93.7 %) 4703 BC	95.4 % probability 4691 BC (94.8 %) 4493 BC 4469 BC (0.6 %) 4464 BC

Preglednica 3. Kalibracija po postopku 'wigggle-matching' ob uporabi opcije 'sequence' programa OxCal4.4.4. Datacija vzorca pod skorjo, ki je najbližje letu poseka drevesa, je 4716–4632 cal BC ($\pm 2\delta$, 95 % interval zaupanja).

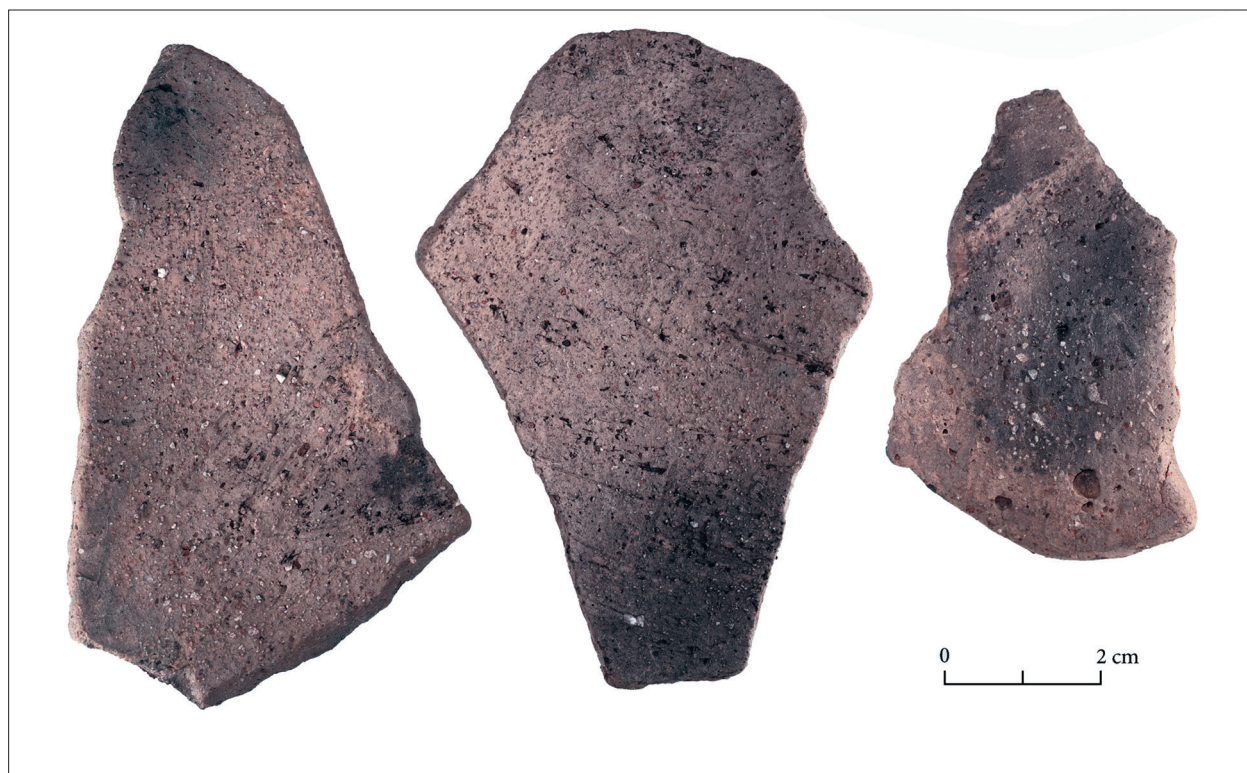
Table 3. Calibration by wigggle-matching using OxCal's 'sequence' option OxCal4.4.4.4. The date of the sample under the bark closest to the year of tree felling is 4716-4632 cal BC ($\pm 2\delta$, 95% confidence interval).

VEVZ10 D_Sequence() X2-Test: df = 1 T = 1.306 (5 % 3.841)
68.3 % probability 4692 BC (68.3 %) 4658 BC
95.4 % probability 4716 BC (95.4 %) 4632 BC
Agreement n = 2 Acomb = 73.1 % (An = 50.0 %)



Slika 8. Grafični prikaz kalibracijske krivulje IntCal20 (Reimer et al., 2020) in rezultatov kalibriranja radio-karbonskih datacij dveh vzorcev z razliko v starosti oz. 'gapom' 55 let po postopku 'wigggle-matching' ob uporabi opcije 'sequence' programa OxCal4.4.4. (prim., preglednica 3).

Figure 8. Graphical representation of the IntCal20 calibration curve (Reimer et al., 2020) and the results of calibrating the radiocarbon dates of two samples with an age difference or 'gap' of 55 years by the wigggle-matching procedure using the 'sequence' option of OxCal4.4.4 (cf., Table 3).



Slika 9. Izbor fragmentov keramike iz kulturne plasti v zbiralni enoti SN 10. Foto: Drago Valoh.

Figure 9. Selection of ceramic fragments from the cultural layer in collection unit SN 10. Photo: Drago Valoh.

Radiokarbonsko datiranje obeh vzorcev lesa je bilo opravljeno v laboratoriju v Poznaniu na Poljskem (Poznań Radiocarbon Laboratory; preglednica 2). Datacija vzorca pod skorjo, ki je nastal najbližje letu poseka drevesa, je 4691–4464 cal BC ($\pm 2\delta$, 95 % interval zaupanja).

Kalibracija po postopku 'wiggle-matching' je bila opravljena s pomočjo programa OxCal v4.4.4 (Bronk Ramsey, 2001, 2021) in kalibracijske krivulje IntCal20 (Reimer et al., 2020). Pri tem je bilo upoštevano, da razlika v starosti, t. i. 'gap', med VEVZ10-P in VEVZ10-B znaša 55 let (preglednica 3, slika 8).

Datacija laboratorija Poznań (4577 ± 114 cal BC) za vzorec v bližini skorje je bila z uporabo metode 'wiggle-matching' tako izboljšana na 4674 ± 42 cal BC (preglednica 5), kar kaže na najverjetnejši časovni razpon, znotraj katerega gre iskati poselitev na najdišču Verd. Za še natančnejšo časovno opredelitev in trajanje domnevne naselbine bi bilo potrebno pridobiti dodatne vzorce lesenih kolov s tega območja.

3.2 ARHEOLOŠKE NAJDBE

3.2 ARCHAEOLOGICAL FINDS

Skupno je bilo pobranih in analiziranih 75 fragmentov prazgodovinske keramike, 1 fragment glajenega kamna z lisasto površino sive do temno sive barve ter več neobdelanih kamnov.

Med arheološkimi najdbami prevladujejo fragmenti keramike, sivih do sivorjavih barvnih odtenkov. Najti je tudi temno sive fragmente. Nekateri fragmenti so na otip zelo trdi in ob udarcu dajo kovinski zven (slika 9), kar se sicer pripisuje keramičnim najdbam z Resnikovega prekopa (npr., Harej 1975), najboljše poznane najdišča Savske skupine lengyelske kulture na Ljubljanskem barju (npr., Tomaž & Velušček, 2005; Velušček, 2006). Na več fragmentih je opaziti, da so bili izpostavljeni ognju. Prelomi fragmentov pa so večinoma stari.

Keramika z najdišča Verd je bila narejena iz gline, v kateri je najti kremenčev pesek, sljudo in organske ostanke, lahko tudi apnenec in glinena jedra (slika 9). Grob kremenčev pesek se zelo hitro prepozna na površini neornamentiranih in na otip

zelo trdih fragmentov. Pri tem izstopa več fragmentov rjave oz. svetlo do sivorjave barve (slika 9). Analogije za tovrstno keramiko najdemo na primer na omenjenem Resnikovem prekopu, kjer so bili v lončarski masi tako kremenčev pesek kot tudi apnenec, sljuda in organske snovi (npr., Korošec, 1964; Harej, 1975; Mlekuž et al., 2013). V Moverni vasi v Beli krajini v lončarski masi ni bilo apnenca, so pa zato prisotna glinena jedra. Le-ta so v keramiki iz neolitskih poselitvenih faz, pri čemer se pogosteje pojavljajo v najstarejši fazi, kasneje pa so redka (Tomaž, 1997).

Med razmeroma skromnim številom tipološko opredeljivih oblik je najti posode z lijakastim ustjem, ki spominjajo na lonce z Resnikovega prekopa (npr., Korošec, 1964, tabela 11: 2; 15: 1,2,3; Harej, 1975, tabela 1: 1,6; 2: 1,5; Velušček, 2006, tabela 16: 6–10). Pojavlja se tudi lonec s plastično aplikacijo, ali gre morda celo za vrč oz. amforo, ki ima na obodu ustja ornament odtisov, na vratu pa vrezani poševni črti. Zanj se prav tako najde dobro analogijo na Resnikovem prekopu (npr., Korošec, 1964, tabela 15: 3; Harej, 1975, tabela 1: 1,6; 2: 1; 6: 5; Velušček, 2006, tabela 16: 6; 17: 3). Enako velja za fragment bikonične posode, ki ima z odtisi ornamentiran trebuh (prim., Harej, 1975, tabela 5: 5; Velušček, 2006, tabela 7: 6,7; itd.). Pri fragmentu uvihanega ustja se sluti zgornji del posode, katerega je Josip Korošec označil za lonec jajčasto ovalne oblike (Korošec, 1964, tabela 16: 2; prim., Harej, 1975, tabela 4: 1), oz. gre za razvojno različico t. i. piri-formne amfore, za katero sta značilna polkroglasto rame in odsotnost vratu (npr., Bregant, 1974). Na ustju lonca je najti ostanke črnega premaza (prim., Tomaž & Velušček, 2005), kar se enako pojavlja tudi na drugem koncu Ljubljanskega barja, na keramiki z Resnikovega prekopa (npr., Korošec, 1964; Harej, 1975, tabela 2: 6; 4: 7; 5: 5; Tomaž, 1999).

3.3 ARHEOZOOLOŠKE NAJDBE

3.3 ARCHAEOZOOLOGICAL FINDS

V kulturni plasti je bilo najdeno 18 odlomkov živalskih kosti. Vse izvirajo iz zbiralne enote SN 10 (glej, slika 3), od tega jih je bilo pet mogoče ožje taksonomsko opredeliti. Štirje primerki so bili pripisani jelenu (*Cervus elaphus*), eden pa labodu (*Cygnus* sp.).

Skromen zbir razpoložljivih živalskih ostankov dovoljuje le površen komentar rezultatov. Pred-

vsem je treba izpostaviti izključno prisotnost divjadi in odsotnost kosti domačih živali. Koliščarji z Ljubljanskega barja so se namreč v splošnem intenzivneje ukvarjali z lovom kot druge tedanje skupnosti z jugo-vzhodnoalpskega prostora, vključno s tistimi s Krasa (glej npr., Drobne, 1973; Toškan, 2009; nasproti Pohar, 1983; Velušček, 2005; Toškan, 2011), pri čemer pa je pomen živinoreje skozi čas v povprečju vendarle postopoma naraščal (Toškan, 2008, 2009).

Na obeh arheozoološko obdelanih najdiščih Savske skupine lengyelske kulture, tj. Resnikov prekop in Zamedvedica, je delež lovnih vrst med ostanke sesalcev najmanj dvotretjinski oziroma tričetrtinski (Turk & Vuga, 1984; Toškan & Dirjec, 2006). Pomembno je poudariti, da pri teh vrednostih niso upoštevani ostanke prašičev, saj je zanesljivo razlikovanje med kostnimi odlomki domačega in divjega prašiča v arheozoologiji zelo težavno. Na podlagi razpoložljivih podatkov o velikosti bolj ohranjenih najdb se sicer zdi, da bi jih glavnina z Resnikovega prekopa utegnila pripadati prav divjemu prašiču (Toškan & Dirjec, 2006).

V tem primeru bi se delež ostankov divjadi na tem najdišču lahko povzpел na do 90 % izmed vseh 97 taksonomsko opredeljenih sesalskih kosti in zob, pri čemer je treba za ustrezno razumevanje velikega pomena lova upoštevati tudi odkritje 31 kosti divjih ptic (Janžekovič & Malez, 2006).

Šibka točka predstavljenih arheozooloških podatkov z Resnikovega prekopa in Zamedvedice je skromnost obeh zbиров najdb, sploh tistega z Zamedvedice, kjer je bilo vsega skupaj pobranih le 15 kostnih odlomkov (Turk & Vuga, 1984). Poleg tega je interdisciplinarna študija najdišča Resnikov prekop pokazala, da je bila glavnina kulturne plasti, ki bi jo bilo mogoče navezati na koliščarsko vas, že v prazgodovini odplavljena (Velušček, ur., 2006). To dogajanje je nedvomno popačilo izvorni vzorec prostorske razpršenosti živalskih ostankov na najdišču (Achino et al., 2017), vpliv na sestavo zbira kosti velikih sesalcev pa naj bi bil razmeroma skromen (Toškan & Dirjec, 2006).

Med kolišči iz 4. tisočletja je bil podobno visok delež divjadi ugotovljen na Črnelniku pri Kamniku pod Krimom, ki je bil najverjetneje poseljen v 39. in morda še v prvi polovici 38. stoletja pr. Kr. (Velušček et al., 2018), oz. v 38. in na začetku 37. stoletja, kot kaže zadnja analiza (glej, Čufar et al., 2022). Med

skupaj 89 taksonomsko opredeljenimi ostanki sesalcev jih je bilo namreč divjadi pripisanih 60, podobno kot na Resnikovem prekopu in Zamedvedici večina prav jelenu. Pravzaprav je bil večinski delež lovnih vrst ugotovljen tudi med izredno pičlim (N = 16) zbirom najdb sesalcev s Črešnje pri Bistri (35. stol. pr. Kr.; Velušček et al., 2004), kjer je bilo odkritih tudi 117 taksonomsko opredeljenih kosti divjih ptičev in ostanki petih vrst rib (Velušček et al., 2004). Na vseh treh najdiščih iz 4. tisočletja pr. Kr. z znatno bogatejšimi arheozoološkimi najdbami, tj. Hočevarici pri Verdu (37. in / ali zgodnje 36. stol. pr. Kr.; Toškan & Dirjec, 2004), Maharskem prekopu pri Igu (35. stol. pr. Kr.; Toškan et al., 2020) in Starih gmajnah pri Verdu (34. in / ali 32. stol. pr. Kr.; Toškan, 2009), je med ostanki sesalcev delež divjih in domačih živali primerljiv oziroma so prevladoval najdbe slednjih.

Med najdišči iz 3. tisočletja je bil višji delež divjadi ugotovljen na t. i. Dežmanovih koliščih pri Igu (cca. 28.–25. stol. pr. Kr.; Drobne, 1973) ter Založnici pri Kamniku pod Krimom in Dušanovem pri Bistri (26.–25. stol. pr. Kr.; izkopavanji iz let 2009 in 2010: Velušček et al., 2011; Čufar et al., 2022; Velušček, 2022). Pri slednjih dveh je bil zbir analiziranih najdb izjemno skromen (tj. 30 oziroma 12), na Dežmanovih koliščih pa sicer bogatejši, vendar gre v tem primeru za gradivo, izkopano in opredeljeno v drugi polovici 19. stol., ko je treba pri pobiranju najdb domnevati izbor v prid večjim kostem (prim., Bartosiewicz, 2002). Poleg tega je med ostanki divjadi s kar tretjinskim deležem zastopan bober, ki so ga verjetno lovili predvsem zavoljo kože (prim., Zeiler, 1987). Na drugih dveh koliščih iz sredine 3. tisočletja, tj. Parte pri Igu (sklop Dežmanovih kolišč) in Notranje gorice, je bila večina najdb pripisana domačim živalim oziroma je bil delež slednjih primerljiv z deležem divjadi (Drobne, 1973; Velušček et al., 2011). Prav tako na sočasen obstoj različnih načinov zagotavljanja mesne hrane namigujejo skromni podatki za najdišča bronastodobne starosti (Dirjec, 1991; Toškan, 2005, 2008).

Rezultati arheozooloških raziskav načeloma potrjujejo kronološki uvrstitvi Verda ob bok Resnikovemu prekopu. Razvidna je zastopanost izključno lovnih vrst živali, vendar je treba pri tem opozoriti na izjemno pičlo število najdb. Previdnost je potrebna toliko bolj zato, ker bi utegnili vsi štirje kostni odlomki jelena pripadati isti živali, saj so bili odkri-

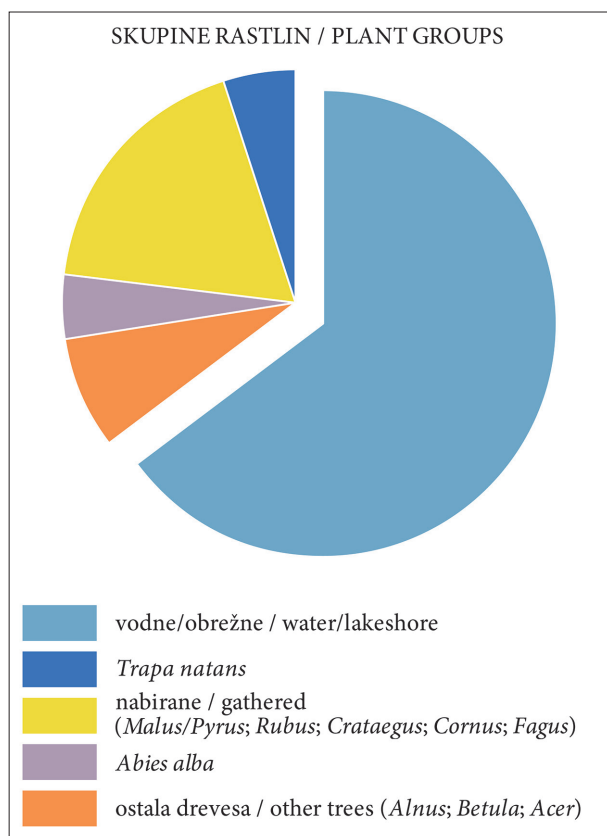
ti blizu skupaj. Nobena izmed kosti se ne podvoji; odlomka golenice sta sicer dva, vendar izvira en iz leve in drugi iz desne noge. Vsi trije odlomki, pri katerih je bilo mogoče ugotavljati zraščenost epifize s pripadajočo diafizo, so pripadali ob poginu mladi živali. Ker so bila na koliščarskih naselbinah z Ljubljanskega barja delno ohranjena okostja že odkrita (Velušček et al., 2018; glej, Toškan & Dirjec, 2006; Velušček et al., 2011), študiji prostorske razpršenosti živalskih kosti na Maharskem prekopu in na Starih gmajnah pa sta že za čas 4. tisočletja pr. Kr. nakazali določeno stopnjo funkcionalne specializacije prebivalstva v smislu ukvarjanja z lovom (Toškan et al., 2020) oz. različnega poseganja po izbranih vrstah mesne hrane (Toškan et al., 2020; Janžekovič et al., 2021), bi lahko torej izključni zastopanosti divjadi med zgolj petimi taksonomsko opredeljenimi živalskimi kostmi z Verda ob zgodnji starosti najdišča vendarle botrovali tudi nekateri drugi dejavniki.

3.4 ARHEOBOTANIČNE NAJDBE

3.4 ARCHAEOBOTANICAL FINDS

V analiziranih arheobotaničnih podvzorcih ni ohranjenih veliko organskih ostankov, kot so semena, plodovi in oglje, ki so običajno zastopani v vzorcih iz kulturne plasti koliščarskih naselbin 4. tisočletja pr. Kr. in mlajših (prim. npr., Tolar et al., 2011; Tolar, 2018). Tudi ostankov ulovljenih rib, kot so luske, kosti, vretenca ter zobje, je bilo v fino presejanih vzorcih zelo malo oz. nič—kar je neobičajno za koliščarsko naselbino, posebej če jo primerjamo z mlajšimi dobro raziskanimi naselbinami. Tudi nabiranih mahov ter praproti, ki navadno v koliščarskih plasteh prevladujejo, ni zaslediti. Na splošno je vrstna pestrost ohranjenih semen/plodov v obeh podvzorcih v veliki meri omejena na obrežne in vodne rastlinske taksone (slika 10). Ostankov kulturnih rastlin, kot so enozrne in dvoznne pšenice, ječmena, lanu, maka, ogrščice in graha, ter plevelno-ruderalnih taksonov, ki so značilni za kolišča 4. tisočletja pr. Kr., v vzorcu z najdišča Verd ni najti.

Prevladujoče identificirani ostanki vodnih in obrežnih rastlin kažejo na značilno objezersko rastje, torej na človeško še neokrnjeno naravo. Vodna meta, jelša, trpotčasti porečnik, konjska griva, vodni sovec idr. so značilne obrežne rastline, katerih ostanke najdemo tudi na drugih, mlajših koliščih Ljubljanskega barja. Med potencialno nabilnimi rastlinami z užitnimi plodovi so identificira-



Slika 10. Deleži identificiranih ostankov semen/plodov ter iglic jelke (*Abies*) v obeh analiziranih podvzorcih glede na skupino rastlin.

Figure 10. Proportions of identified remains of seeds/fruits and fir (*Abies*) needles in both subsamples per plant group.

ni le ostanki divjega jabolka/hruške, robide, gloga, žira in predvsem vodnega oreška. Tudi iglice jelke v koliščarskih plasteh navadno pričajo o človekovem delovanju; tj. nabiranju jelovih vej in uporabi le-teh. Nekaj je neznačilnih in nezoglenelih ostankov plev rastlin iz družine trav, ki bi lahko bili ostanki gojenih žit, toda žal so le-ti zelo nezanesljivi za tovrstno interpretacijo. Med redkimi ostanki oglja je identificirano oglje jesena.

V primerjavi s prostorsko najbližjimi arheobotanično raziskanimi kolišči, kot sta Stare gmajne in Hočevarica (slika 1, 2; prim., Velušček, ur., 2004, 2009; Out et al., 2023), je bilo naselje Verd umeščeno v bolj naravno, vodnato okolje, v katerem je zaznati šibek antropogeni vpliv, kar ponovno daje slutiti, da imamo opravka s koliščem višje starosti.

3.5 PRIMERJAVA KOLIŠČ VERD IN RESNIKOV PREKOP

3.5 COMPARISON OF THE PILE DWELLINGS VERD AND RESNIKOV PREKOP

Kakor omenjeno, je bila največja zgostitev lesenih najdb v zbiralni enoti SN 10 (sliki 3 in 5), drugod jih je bilo manj. Od tega lahko v SN 10 pripišemo nosilnim kolom samo tri najdebelejše lesene najdbe (glej, preglednica 1, slika 3). Skromno število lahko primerjamo s situacijo na koliščarski naselbini Resnikov prekop. Na obeh najdiščih je bilo, primerjalno gledano (prim., Verd (sliki 3 in 5) in Resnikov prekop (Bregant, 1964; Harej, 1975; Velušček, ur.,

Preglednica 4. Primerjava nabora lesnih vrst in števila raziskanih vzorcev lesa na koliščih Verd in Resnikov prekop (prim., Čufar & Korenčič, 2006). *Alnus glutinosa* – črna jelša, *Salix* sp.–vrba, *Fraxinus* sp.–jesen in *Fagus sylvatica*–navadna bukev.

Table 4. Comparison of the range of wood species and the number of researched wood samples at the pile dwellings of Verd and Resnikov prekop (cf., Čufar & Korenčič, 2006). *Alnus glutinosa*–black alder, *Salix* sp.–willow, *Fraxinus* sp.–ash, and *Fagus sylvatica*–European beech.

Vrsta lesa / Wood Species	VERD Število vzorcev Number of Samples	RESNIKOV PREKOP Število vzorcev Number of Samples
<i>Alnus glutinosa</i>	4	10
<i>Acer</i> sp.	-	1
<i>Fagus sylvatica</i>	1	-
<i>Fraxinus</i> sp.	2	4
<i>Salix</i> sp.	3	-
Neidentificiran / INID	-	1
Skupaj / Total	10	16

Preglednica 5. Radiokarbonsko datiranje vzorcev s kolišč Resnikov prekop in Verd (prim. Čufar & Korenčič, 2006).

Table 5. Radiocarbon dating of the samples from pile-dwellings Resnikov prekop and Verd (cf., Čufar & Korenčič, 2006).

Najdišče Site	RESNIKOV PREKOP	VERD
Oznaka Code	RP02-33	VEVZ10-B
Lesna vrsta Wood species	<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Fraxinus</i> sp.
Laboratorijska oznaka vzorca Laboratory code of the sample	Hd-24038	Poz-155870
Datacija ¹⁴ C (BP) Dating ¹⁴ C (BP)	5718 ± 23	5740 ± 35
Kalibracijski interval (cal BC, 2σ) Calibration interval (cal BC, 2σ)	4675–4465	4716–4632
Kalibracija (cal BC, 2σ) Calibration (cal BC, 2σ)	4570 ± 105	4674 ± 42

2006) z npr. Maharskim prekopom (Bregant, 1996), Hočevarico (Velušček, 2004), Starimi gmajnam (Velušček, 2009), Blatno Brezovico (Korošec, 1963) in najdiščem Parte–Iščica (sklop Dežmanovih kolišč; Velušček et al., 2000), kolov malo oz. tako se zdi, da to velja tudi za Verd, so poredko zabiti v tla. V primeru Resnikovega prekopa smo takšno okoliščino razložili s kratkotrajnostjo poselitve, kar predlagamo tudi za kolišče Verd (glej, Velušček, ur., 2006; prim., Čufar & Korenčič, 2006).

Najdišči povezuje tudi izbor lesa, ki je bil podoben, tako na Resnikovem prekopu kot na Verdu (preglednica 4). Z obeh najdišč ni bil pridobljen noben hrastov vzorec, največje dimenzije pa so imeli koli iz jesena in jelše (prim., Harej, 1975; Culiberg & Šercelj, 1991; Čufar & Korenčič, 2006).

Rezultati radiokarbonskih datumov (BP) vzorcev s kolišč Verd in Resnikov prekop so podobni (preglednica 5), toda kalibrirane vrednosti teh datacij kažejo, da bi lahko bilo kolišče Verd celo nekoliko starejše od kolišča Resnikov prekop. Razlike so lahko delno posledica postopka kalibracije, saj sta bila pri vzorcu s kolišča Verd radiokarbonsko datirana dva vzorca z znano razliko v starosti (letih), kar je omogočilo uporabo metode 'wiggle-matching' in sodobnejše kalibracijske krivulje IntCal20. Ocenjujemo, da je bilo drevo za kol št. 11 (VZ10) in dendrokronološko sinhronizirani kol št. 5 (VZ8) posekano pred približno 6700 leti, ter da je koliščarsko naselje

Verd živelo znotraj časovnega razpona od konca 48. do druge polovice 47. stoletja pr. Kr.

Po drugi strani je videti, da predpostavko o morebitni nekoliko višji starosti kolišča Verd v primerjavi z Resnikovim prekopom podpirajo tudi rezultati analiz pelodnih diagramov iz vrtine Na mahu in z najdišča Maharski prekop, lociranih približno 1–1,5 km severozahodno od Resnikovega prekopa na jugovzhodu Ljubljanskega barja (prim., slika 1). Te kažejo na opazen človekov vpliv na okolje v obdobju, ki ga povezujemo s poselitvijo na kolišču Resnikov prekop (Andrič et al., 2008; Andrič, 2020). Nasprotno pa trenutni arheobotanični rezultati umeščajo koliščarsko naselje Verd v bolj primarno okolje s šibkim človekovim vplivom. Arheobotanične raziskave rastlinskih makroostankov na kolišču Resnikov prekop žal niso dale želenih rezultatov, saj je bila kulturna plast te naselbine, kot že rečeno, v celoti odplavljena oz. presedimentirana (Turk, 2006; Culiberg, 2006).

4 ZAKLJUČKI

4 CONCLUSIONS

Interdisciplinarna raziskava najdišča Verd kaže pomen uporabe različnih znanstvenih disciplin, ki vsaka po svoje potrjujejo, da je novo odkrito kolišče z datacijo lesenih pilotov 4674 ± 42 cal BC verjetno najstarejše na Ljubljanskem barju.

Najdišče je bilo odkrito med gradbenimi deli, ko so kopali jašek za podzemni električni vod. Najprej je pozornost vzbudila lega najdišča na skrajnem zahodnem robu Ljubljanskega barja, kar je kazalo na njegovo visoko starost. Slednjo je potrdila analiza keramičnega gradiva, ki kolišče Verd postavlja ob bok Resnikovemu prekopu, doslej najstarejšemu odkritemu kolišču na Ljubljanskem barju.

Ko je skupina arheologov prepoznala pomen razkritih ostankov in na odseku jaška izvedla arheološko raziskavo, so bile naknadno vključene še raziskave lesa z dendrokronologijo in radioarbonskim datiranjem, arheozoologija in arheobotanika.

Za absolutno datiranje najdišča so bile ključne dendrokronološke raziskave in radiokarbonsko datiranje z uporabo metode wigggle-matching. Analiza vzorcev lesa je opozorila na podobnost s koliščem Resnikov prekop glede na podoben izbor lesnih vrst in majhno število kolov, od katerih so bili le redki uporabni za dendrokronološko analizo (prim., Čufar & Korenčič, 2006).

Za določitev starosti najdišča sta bila ključna dva pilota iz istočasno posekanih dreves. Enemu sta bila odvzeta dva vzorca za radiokarbonsko datiranje, ki smo ga izostrili s pomočjo metode wigggle-matching in ugotovili, da je bilo drevo posekano 4674 ± 42 cal BC. Datacija hkrati pomeni najverjetnejši čas obstoja kolišča, ki je verjetno živelo tik pred nastopom, ali istočasno, kot doslej najstarejše znano kolišče Resnikov prekop.

Da gre za zelo staro kolišče, nakazujejo tudi rezultati arheozooloških raziskav, ki zaenkrat kažejo le na pomen lovne divjadi (in odsotnost domačih živali) ter arheobotaničnih raziskav, ki kažejo zelo primarno obrežno vegetacijo brez vplivov poljedelstva in/ali drugega človekovega delovanja.

Glede na izsledke najdišče Verd z ostanki neolitskega kolišča najverjetneje predstavlja najstarejšo znano koliščarsko poselitveno točko na Ljubljanskem barju.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

Ljubljansko barje is known for its prehistoric pile dwellings (Figure 1). In recent decades, intensive archaeological and interdisciplinary research have been conducted there, and dendrochronology has been an important component of the investiga-

tions (e.g., Čufar et al., 2013, 2022). Nearly three decades of work enabled the establishment of an absolutely dated tree-ring chronology (Čufar et al., 2015) that currently covers the period 3840-3330 BC (Čufar et al., 2022). The chronology, dated by teleconnection with the German-Swiss chronology, is based on the wood from eight pile dwellings of the 4th millennium BC, Črnelnik, Trebež, Strojanova voda, Hočevarica, Maharski prekop, Spodnje mostišče, Črešnja pri Bistri, and Stare gmajne (older phase), and allows for accurate determination of the years in which the trees used to build the pile dwellings were felled. Another three pile dwellings of the 4th millennium BC Stare gmajne (younger phase), Veliki Otavnik and Blatna Bezovica were dated by radiocarbon dating and wigggle matching (Čufar et al., 2010, 2022); the same applies to the chronologies of five settlements of the 3rd millennium BC. All chronologies allow, among other things, the observation of settlement dynamics, settlement gaps, simultaneity of settlements, and their relationships with contemporaneous settlements in the larger area (e.g., Velušček et al., 2011; Čufar et al., 2015, 2022). The settlement of Ljubljansko barje and the establishment of chronologies for the 5th millennium BC have been less successful, partly because of the smaller number of sites and fewer archaeological and wooden remains, as well as different choice of construction wood, which is less suitable for dendrochronological analyses (e.g., Čufar & Korenčič, 2006; Čufar et al., 2022). The best-studied site from the 5th millennium BC to date is Resnikov prekop, where only a small amount of archaeological wood has been preserved (Velušček, ed., 2006).

Here, we present the archaeological investigation of the newly discovered pile-dwelling settlement Verd.

In 2021, a team from Avgusta, raziskovalna in storitvena dejavnost, d.o.o., led by Mojca Horjak Šuštaršič, discovered a site on the westernmost edge of the wetland part of Ljubljansko barje (Figures 1 and 2). The location of the site indicated that it could belong to the early period of the pile-dwelling settlement of Ljubljansko barje (cf. Velušček & Čufar, 2008; Turk & Velušček, 2013; Velušček et al., 2018).

The vertical piles, stones, animal bones, and prehistoric pottery found on the site undoubtedly

confirmed the remains of a prehistoric pile-dwelling settlement that could be older than the horizon of the furrow-cut pottery mounds, of the 4th millennium (38th to 36th century) BC (e.g., Čufar et al., 2022).

The fieldwork showed that the highest concentration of wood finds is in the collection unit SN 10 (Figures 3 and 4), with some piles used as construction elements (Table 1, Figure 3).

The wood from the Verd site could not be dendrochronologically dated, but radiocarbon dating and wiggle-matching indicate that the wood for two piles was harvested around 4674 ± 42 cal BC.

The radiocarbon dating of wood from Verd (5718 ± 23 BP) is similar to that of the Resnikov prekop (5740 ± 35 BP) (Table 5), but the application of wiggle-matching and IntCal20 calibration curve suggest that the Verd settlement was probably slightly older than Resnikov prekop. It is estimated that the wood for the piles was felled or that the Verd settlement was active in the period from the end of the 48th century BC to the second half of the 47th century BC, i.e. about 6,700 years ago.

We recorded many similarities between Verd and Resnikov prekop. The number of wood finds is in both cases small, the piles were rare and their frequency was lower than at younger sites of the 4th millennium BC. In the case of Resnikov prekop, this is explained by the presumably short duration of the settlement, which most likely also applies to the Verd site (see, Velušček, ed., 2006; Velušček, 2006; cf., Čufar & Korenčič, 2006). The selection of wood species was also similar (Table 4). No oak poles were recovered from either site, and ash and alder poles had the largest dimensions (cf., Harej, 1975; Culiberg & Šercelj, 1991; Čufar & Korenčič, 2006).

The great age of the Verd site is also supported by the results of archaeological, archaeozoological and archaeobotanical investigations.

The archaeological finds in Verd mainly consist of fragments of pottery. They are of grey to grey-brown colour, and dark grey fragments are also found. Some fragments feel very hard and emit a metallic sound when struck (Figure 9), i.e. characteristics attributed also to pottery finds from Resnikov prekop (e.g., Harej 1975), the best-known site of the Sava Group of the Lengyel culture in Ljubljansko barje (e.g., Tomaž & Velušček 2005; Ve-

lušček, 2006). Several fragments show evidence of exposure to fire. The fractures of the fragments are mostly old.

Also, the results of archaeozoological investigations generally support the chronological placement of Verd next to the Resnikov prekop. The presence of exclusively hunted animal species is evident, but the extremely small number of finds should be noted as well. Caution should be exercised as the four deer bone fragments could all belong to the same animal, as they were found close together. None of the bones are duplicated; there are two tibia fragments, but one is from the left leg and the other from the right leg. All three fragments, with the epiphysis and associated diaphysis fused together, belonged to an animal that was young at the time of death. Since partially preserved skeletons were already found in the pile-dwelling settlements of Ljubljansko barje (Toškan & Dirjec, 2006; Velušček et al., 2011; Velušček et al., 2018) and the studies of the spatial distribution of animal bones in Maharski prekop and Stare gmajne in the 4th millennium BC have already indicated a certain functional specialization of the human population in relation to hunting (Toškan et al, 2018; Toškan & Dirjec, 2006; Velušček et al., 2011, 2020; Toškan et al., 2018) or different types of meat food (Toškan et al., 2020; Janžekovič et al., 2021). The exclusive findings of wild and the absence of domestic animal bones in Verd could also be influenced by other factors.

As indicated by archaeobotanical analyses of the seeds/fruits preserved in the cultural layer of the site Verd, human influence on the environment appears to be minor (Figure 10). The remains of cultivated plants such as wheat, barley, flax, poppy, rape and pea, as well as weedy ruderal taxa typical of 4th millennium BC sites, were not found in the sample from Verd. Compared to the spatially closest 4th millennium BC pile-dwelling sites such as Stare gmajne and Hočevarica (Fig. 1; cf. Velušček, 2004; 2009; Out et al., 2023), Verd was located in a more natural and water/lakeshore environment where a weak anthropogenic influence is noticeable. This also suggests that we are dealing with an older settlement.

The assumption of a possibly somewhat older age of the Verd site compared to Resnikov prekop is also supported by the results of the analysis of

pollen diagrams from the Na mahu borehole and the Maharski prekop site from the 4th millennium BC, located about 1-1.5 km northwest of Resnikov prekop in the southeast of Ljubljansko barje (cf. Fig. 1). They indicate a significant human impact on the environment during the settlement of these sites (Andrič et al., 2008; Andrič, 2020). In contrast, the current archaeobotanical results suggest a more primary, water/lakeshore environment where a weak anthropogenic influence is detected.

The discovery of the new pile-dwelling settlement of Verd, which is about 6,700 years old, in addition to the already known and studied contemporaneous or slightly younger settlement of Resnikov prekop, is of great importance for the reconstruction of events in the 5th millennium BC, when numerous pile-dwellings started to appear in a wider region, for instance in the Circum-Alpine region (e.g., Jacomet et al., 2016) and in the southeastern Europe, such as Ploča Mičov Grad on the eastern shore of the Lake Ohrid in North Macedonia (Hafner et al., 2021; Bolliger et al., 2023).

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskave je financirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije, v okviru programov P6-0064 in P4-0015 ter projekta J7-2598. Zahvaljujemo se sodelavkam in sodelavcem ter študentom in študentkam Inštituta za arheologijo ZRC SAZU in Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani za pomoč pri delu v laboratorijih ter v vseh fazah raziskav. Posebna zahvala gre podjetju Avgusta, raziskovalna in storitvena dejavnost d.o.o. za povabilo k znanstveni obdelavi gradiva, fotografom Gregorju Grudnu, Mojci Horjak Šuštaršič, Dragu Valohu, za veliko pomoč pri raziskavah lesa Luki Kržetu in Vidu Koželju ter oblikovalki slikovnega gradiva Tamari Korošec. Vsem lepa hvala!

VIRI

REFERENCES

Achino, K. F., Toškan, B., & Velušček, A. (2017). Potentiality of intra-site spatial analysis and post-depositional processes: a Slovenian case study Resnikov prekop. *Prilozi Instituta za arheologiju u Zagrebu* 34(1), 83-99.

- Andrič, M. (2020). Maharski prekop, Stare gmajne and Blatna Brezovica settlements and the vegetation of Ljubljansko barje (Slovenia) in the 4th millennium cal BC. *Documenta Praehistorica* 47, 420-445.
- Andrič, M., Kroflič, B., Toman, M. J., Ogrinc, N., Dolenc, T., Dobnikar, M., & Čermelj, B. (2008). Late, Late Quaternary vegetation and hydrological change at Ljubljansko barje (Slovenia). *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology* 270(1-2), 150-165.
- Andrič, M., Tolar, T., & Toškan, B. (2016). Okoljska arheologija in paleoekologija: palinologija, arheobotanika in arheozoologija. Ljubljana, Založba ZRC, ZRC SAZU: 317 str.
- Bartosiewicz, L. (2002). Dogs from the Ig pile dwellings in the National Museum of Slovenia. *Arheološki vestnik* 53, 77-89.
- Bolliger, M., Maczkowski, A., Francuz, J., Reich, J., Hostettler, M., Balmer, A., Naumov, G., Taneski, B., Todoroska, V., Szidat, S., & Hafner, A. (2023). Dendroarchaeology at Lake Ohrid: 5th and 2nd millennia BCE tree-ring chronologies from the waterlogged site of Ploča Mičov Grad, North Macedonia. *Dendrochronologia*, 79, 126095. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2023.126095>
- Bregant, T. (1964). Poročilo o raziskovanju kolišča in gradbenih ostalin ob Resnikovem prekopu pri Igu (Bericht über die Forschungsarbeiten an dem Pfahlbau und den Bauresten am Resnik-Kanal bei Ig). Poročilo o raziskovanju neolita in eneolita v Sloveniji 1, 7-24.
- Bregant, T. (1969). Nekaj novih elementov alpskega faciesa lengyelske kulture pri Bevkah na Ljubljanskem barju (Einige neue Elemente der alpinen Fazies der Lengyelkultur bei Bevke auf dem Moor von Ljubljana). *Arheološki vestnik* 20, 149-154.
- Bregant, T. (1974). Elementi jadransko-mediteranske kulturne skupine v alpskem faciesu lengyelske kulture (Elemente der adriatisch-mediterranean Kulturgruppe in der alpinen Fazies der Lengyel-Kultur). In: A. Jeločnik, ed., *Opuscula Iosepho Kastelic sexagenario dicata*, Situla 14/15, 35-43.
- Bregant, T. (1975). Kolišče ob Maharskem prekopu pri Igu – raziskovanja 1973. in 1974. leta (Der Pfahlbau am Maharski-Kanal – Forschungen aus dem Jahren 1973 und 1974). Poročilo o raziskovanju neolita in eneolita v Sloveniji 4, 7-114.
- Bregant, T. (1996). Early, Middle and Late Stone Ages, Copper Age. In: B. Dirjec, N. Pirnat-Spahić, L. Plesničar-Gec, J. Rebolj, & I. Sivec, eds., *Ancestral encounters: Ljubljana from prehistory to the middle ages*, exhibition catalogue, 18-45, Ljubljana.
- Bronk Ramsey, C. (2001). Development of the radiocarbon calibration program OxCal. *Radiocarbon* 43(2A), 355-363.
- Bronk Ramsey, C. (2021). OxCal Program development history, version 4.4.4 (15/04/21). URL: https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcalhelp/hlp_develop.html (21. 12. 2022).
- Culiberg, M., & Šercelj, A. (1991). Razlike v rezultatih raziskav makroskopskih rastlinskih ostankov s kolišč na Ljubljanskem barju in pelodnih analiz – dokaz človekovega vpliva na gozd (Die Unterschiede zwischen den Resultaten der Untersuchungen der makroskopischen Reste aus den Pfahlbauten und den Pollenanalysen – ein Beweis für den Einfluß des Menschen auf die

- Wälder). Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji 19, 249-256.
- Culiberg, M. (2006). Rastlinski ostanki z arheološkega najdišča Resnikov prekop (Plant Remains from the Archaeological Site at Resnikov prekop). V/In: Velušček, ed., 2006, 129-132.
- Čufar, K., & Korenčič, T. (2006). Raziskave lesa z Resnikovega prekopu in radiokarbonsko datiranje / Investigations of Wood from Resnikov Prekop and Radiocarbon Dating. In: Velušček, ed., 2006, 123-127.
- Čufar, K., Kromer, B., Tolar, T., & Velušček, A. (2010). Dating of 4th millennium BC pile-dwellings on Ljubljansko barje, Slovenia. *Journal of Archaeological Science* 37 (8): 2031-2039.
- Čufar, K., Velušček, A., & Kromer, B. (2013). Two decades of dendrochronology in the pile dwellings of the Ljubljansko barje, Slovenia. In: N. Bleicher, ed., *Dendro: Chronologie Typologie Ökologie, Festschrift für André Billamboz zum 65. Geburtstag*, 35-40. Freiburg im Breisgau: Janus Verlag.
- Čufar, K., Tegel, W., Merela, M., Kromer, B., & Velušček, A. (2015). Eneolithic pile dwellings south of the Alps precisely dated with tree-ring chronologies from the north. *Dendrochronologia* 35(1), 91-98.
- Čufar, K., Merela, M., Krže, L., & Velušček, A. (2022). Dendrokronologija in absolutno datiranje kolišč na Ljubljanskem barju (Dendrochronology and absolute dating of pile-dwellings in Ljubljansko barje). *Les/Wood* 71(1), 57-70.
- Dirjec, B. (1991). Kolišče v bližini Zornice pri Blatni Brezovici (Pfahlbausiedlung in der Nähe der Zornica bei Blatna Brezovica). Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji 19, 193-206.
- Drobne, K. (1973). Favna koliščarskih naselbin na Ljubljanskem barju / Fauna der Pfahlbautensiedlung auf dem Moor von Ljubljana. *Arheološki vestnik* 24, 217-224.
- Frehli, M. (1986). Breg pri Škofljici–mezolitško najdišče na Ljubljanskem barju (Breg bei Škofljica–mesolithischer Fundort am Ljubljansko barje). Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji 14, 21-57.
- Gardner, A. (1999). The ecology of Neolithic environmental impacts: re-evaluation of existing theory using case studies from Hungary & Slovenia. *Documenta Praehistorica* 26, 163-183.
- Goslar, T. (2022). Report on C-14 dating in the Poznań Radiocarbon Laboratory. Job No. 19507(22).
- Hafner, A., Reich, J., Ballmer, A., Bolliger, M., Antolín, F., Charles, M., Emmenegger, L., Fandré, J., Francuz, J., Gobet, E., Hostettler, M., Lotter, A., Maczkowski, A., Morales-Molino, C., Naumov, G., Stäheli, C., Szidat, S., Taneski, B., Todoroska, V., & Tinner, W. (2021). First absolute chronologies of neolithic and bronze age settlements at Lake Ohrid based on dendrochronology and radiocarbon dating. *Journal of Archaeological Science Reports* 38, 103107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103107>
- Harej, Z. (1975). Kolišče ob Resnikovem prekopu–II (Der Pfahlbau am Resnik Kanal–II). Poročilo o raziskovanju neolita in eneolita v Sloveniji 4, 145-169.
- Jacomet, S., Ebersbach, R., Akeret, Ö., Antolín, F., Baum, T., Boegaard, A., Brombacher, Ch., Bleicher, N., Heitz-Weniger, A., Huster-Plogmann, H., Gross, E., Kuhn, M., Rentzel, P., Steiner, B., Wick, L., & Schibler, J. (2016). On-site data cast doubts on the hypothesis of shifting cultivation in the late Neolithic (c. 4300-2400 cal. BC): Landscape management as an alternative paradigm. *The Holocene*, 26(11), 1858-1874. DOI: <https://doi.org/10.1177/0959683616645941>
- Janžekovič, F., & Malez, V. (2006). Ptičji ostanki (Aves) s koliščarske naselbine Resnikov prekop pri Igu na Ljubljanskem barju (Bird Remains (Aves) from the Pile-Dwelling Settlement at Resnikov Prekop near Ig in the Ljubljansko Barje). In: Velušček, ed., 2006, 133-138.
- Janžekovič, F., Klenovšek, T., Mlíkovský, J., Toškan, B., & Velušček, A. (2021). Eneolithic pile dwellers captured waterfowl in winter: analysis of avian bone remains from two pile dwellings in Ljubljansko barje (Slovenia). *International journal of osteoarchaeology* 31(6), 977-986.
- Korošec, J. (1963). Prazgodovinsko kolišče pri Blatni Brezovici (Der Pfahlbau bei Blatna Brezovica). *Dela SAZU* 14/10.
- Korošec, J. (1964). Kulturne ostaline na kolišču ob Resnikovem prekopu odkrite v letu 1962 (Die im J. 1962 entdeckten Kulturüberreste im Pfahlbau am Resnik-Kanal). Poročilo o raziskovanju neolita in eneolita v Sloveniji 1, 25-46.
- Koželj, V. (2023) Raziskave lesa s kolišč Črešnja pri Bistri, Verd in Stare gmajne na Ljubljanskem barju [na spletu]. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani. URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=145781> (21. 5. 2023)
- Mlekuž, D., Žibrat Gašparič, A., Horvat, M., & Budja, M. (2012). Houses, pots and food: the pottery from Maharski prekop in context. *Documenta Praehistorica* 39, 325-338.
- Mlekuž, D., Ogrinc, N., Horvat, M., Žibrat Gašparič, A., Gams Petrišič, M., & Budja, M. (2013). Pots and food: uses of pottery from Resnikov prekop. *Documenta Praehistorica* 40, 131-146.
- Nadbath, B., Rutar, G., & Žorž, A. (2011). Arheološka dediščina na območju župnije Preserje. In: F. M. Dolinar, ed., *Župnija Preserje skozi čas*, 21-47. Preserje: Župnija Preserje.
- Out, W. A., Hänninen, K., Merela, M., Velušček, A., Vermeeren, C., & Čufar, K. (2023). Evidence of woodland management at the Eneolithic pile dwellings (3700–2400 BCE) in the Ljubljansko Barje, Slovenia? *Plants* 12(2), 291. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12020291>
- Pohar, V. (1983). Holocenska favna iz Lukenjske jame (Die holozäne Fauna aus der Höhle Lukenjska jama). Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji 11, 33-72.
- Reimer, P. J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., ..., & Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon* 62(4), 725-757. DOI: <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Tolar, T. (2018). Primerjava različnih metod vzorčenja in priprave arheobotaničnih vzorcev z eneolitskih kolišč Strojanova voda in Maharski prekop na Ljubljanskem barju / Comparison of different sampling and treatment methods in order to reconstruct plant economies at the Eneolithic pile-dwellings of Strojanova

- voda and Maharski prekop at Ljubljansko barje. *Arheološki vestnik* 69, 461-498.
- Tolar, T., Jacomet, S., Velušček, A., & Čufar, K. (2011). Plant economy at a late Neolithic lake dwelling site in Slovenia at the time of the Alpine Iceman. *Vegetation history and archaeobotany* 20(3), 207-222.
- Tomaž, A. (1997). Tehnološka raziskava lončenine iz Moverne vasi v Beli krajini / Research into pottery technology from Moverna vas in the Bela krajina region. *Poročilo o raziskovanju paleolitika, neolitika in eneolitika* 24, 113-142.
- Tomaž, A. (1999). Časovna in prostorska strukturiranost neolitkega lončarstva: Bela krajina, Ljubljansko barje, Dinarski kras. *Magistrska naloga, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani*.
- Tomaž, A., & Velušček, A. (2005). Resnikov prekop na Ljubljanskem barju 1962 in 2002. In: M. Guštin, ed., *First farmers: The Sava group of the Lengyel culture, Annales Mediterranea*, 87-99. Koper: Založba Annales.
- Toškan, B. (2005). Živalski ostanki iz bronastodobnih naselbin pri Iški Loki in Žlebiču (Animal remains from the Bronze Age settlements at Iška Loka and Žlebič). *Arheološki vestnik* 56, 91-97.
- Toškan, B. (2008.). Sesalska favna iz bronastodobnega najdišča Mali Otavnik pri Bistri na Ljubljanskem barju / Mammal fauna from Bronze Age site at Mali Otavnik near Bistra in the Ljubljansko barje. *Arheološki vestnik* 59, 91-110.
- Toškan, B. (2009). The fauna of the pile-dwelling settlement period. In: P. Turk, J. Istenič, T. Knific, & T. Nabregoj, eds., *The Ljubljanića—a river and its past*, 56-58, Ljubljana.
- Toškan, B. (2011). Živalski ostanki / Animal remains. In: A. Velušček, ed., *Spaha, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae* 22, 265-281. Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU & Založba ZRC.
- Toškan, B., Achino, K. F., & Velušček, A. (2020). Faunal remains mirroring social and functional differentiation?: the Copper Age pile-dwelling Site of Maharski prekop (Ljubljansko barje, Slovenia). *Quaternary international* 539, 62-77.
- Toškan, B., & Dirjec, J. (2004). Hočevarica—analiza ostankov makrofavne / Hočevarica—an analysis of macrofauna remains. In: Velušček, ed., 2004, 76-132.
- Toškan, B., & Dirjec, J. (2006). Ostanki sesalske favne na Resnikovem prekopu, Ljubljansko barje / Remains of Mammal Fauna at Resnikov Prekop, Ljubljansko Barje. In: Velušček, ed., 2006, 139-150.
- Turk, J. (2006). Ugotavljanje paleoekoloških sprememb na Ljubljanskem barju v holocenu na primeru sedimentov z Resnikovega prekopa (Determining the Palaeoecological Changes in the Ljubljansko barje during the Holocene. Case Study: Sediments from Resnikov prekop). V/In: Velušček, ed., 2006, 93-98.
- Turk, J., & Velušček, A. (2013). Multidisciplinary investigations of the pile-dwellings at Ljubljansko barje (Slovenia). *Quaternary international* 294, 183-189.
- Turk, I. (1989). Izotopske metode datiranja nekoč in danes (Isotopische Methoden einst und heute grundlegende applikationen in der paläolithischen archäologie und Chronologie des Jungpleistozäns). *Poročilo o raziskovanju paleolitika, neolitika in eneolitika v Sloveniji* 17, 53-60.
- Turk, I., & Vuga, D. (1982). *Ig. Varstvo spomenikov* 24, 141.
- Turk, I., & Vuga, D. (1984). Zamedvedica pri Plešivici. Novo eneolitsko naselje na Ljubljanskem barju (Zamedvedica bei Plešivica. Eine neue äneolithische Ansiedlung auf dem Moor von Ljubljana (Laibacher Moor)). *Arheološki vestnik* 35, 76-89.
- Velušček, A., ur. (2004). Hočevarica: An eneolithic pile dwelling in the Ljubljansko barje. *Opera Instituti archaeologici Sloveniae* 8. Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU & Založba ZRC. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545055>
- Velušček, A. (2004). Terenske raziskave, stratigrafija in najdbe / Field research, stratigraphy and the material finds. In: Velušček, ed., 2004, 33-55.
- Velušček, A. (2005). Kraška planota jugozahodne Slovenije in Ljubljansko barje v neo-eneolitski dobi—primerjalna študija / The Kras Plateau in southwestern Slovenia and the Ljubljansko barje in the Neo-Eneolithic period—a comparative study. In: A. Mihevc, ed., *Kras: water and life in a rocky landscape*, 199-219, Ljubljana.
- Velušček, A., ur. (2006). Resnikov prekop, the oldest pile-dwelling settlement in the Ljubljansko barje. *Opera Instituti Archaeologici Sloveniae* 10. Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU & Založba ZRC. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545154>
- Velušček, A. (2006). Resnikov Prekop—Sample Trenching, Archaeological Finds, Cultural and Chronological Classification. In: Velušček, ed., 2006, 19-85.
- Velušček, A., ur. (2009). Stare gmajne Pile-dwelling Settlement and Its Era. The Ljubljansko barje in the 2nd half of the 4th millennium BC. *Opera Instituti Archaeologici Sloveniae* 16. Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU & Založba ZRC. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545611>
- Velušček, A. (2009). Koliščarska naselbina Stare gmajne pri Verdu / Stare gmajne pile-dwelling settlement near Verd. In: Velušček, ed., 2009, 49-121.
- Velušček, A. (2013). Datiranje arheološkega najdišča Maharski prekop na Ljubljanskem barju / Dating of the archaeological site Maharski prekop at the Ljubljansko barje. *Arheološki vestnik* 64, 367-396.
- Velušček, A. (2022). The Ljubljansko barje, Slovenia. In: K. F. Achino & A. Velušček, *The lake-dwelling phenomenon, E-monographiae Instituti archaeologici Sloveniae* 13, 75-109. Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU & Založba ZRC. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789610506560>
- Velušček, A., & Čufar, K. (2008). Novoopredeljeni najdišči keramike z brazdastim vrezom na Ljubljanskem barju. / Newly determined sites with pottery with furrowed incisions from the Ljubljansko barje. *Arheološki vestnik* 59, 31-48.
- Velušček, A., & Čufar, K. (2014). Kolišča na Ljubljanskem barju / Pile-dwellings at Ljubljansko barje. In: S. Tecco Hvala, ed., *Studia Praehistorica in Honorem Janez Dular*, *Opera Instituti Archaeologici Sloveniae* 30, 39-64. Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU & Založba ZRC.
- Velušček, A., Čufar, K., & Levanič, T. (2000). Parte-Iščica, arheološke in dendrokronološke raziskave (Parte-Iščica, archaeological

- and dendrochronological investigations). *Arheološki vestnik* 51, 83-107.
- Velušček, A., Toškan, B., & Čufar, K. (2011). Zaton kolišč na Ljubljanskem barju / The decline of pile-dwellings at Ljubljansko barje. *Arheološki vestnik* 62, 51-82.
- Velušček, A., Čufar, K., Culiberg, M., Toškan, B., Dirjec, J., Malez, V., Janžekovič, F., & Govedič, M. (2004). Črešnja pri Bistri, novoodkrito kolišče na Ljubljanskem barju (Črešnja pri Bistri, a newly discovered pile-dwelling settlement in the Ljubljansko barje). *Arheološki vestnik* 55, 39-54.
- Velušček, A., Podpečan, B., Tolar, T., Toškan, B., Turk, J., Merela, M., & Čufar, K. (2018). Črnelnik in Devce, novoodkriti najdišči iz bakrene dobe na Ljubljanskem barju / Črnelnik and Devce, newly discovered Copper Age sites at Ljubljansko barje. *Arheološki vestnik* 69, 9-68.
- Zeiler, J. T. (1987). Exploitation of fur animals in Neolithic Swifterbant and Hazendonk (Central and Western Netherlands). *Palaeohistoria* 29, 245-263.



ANATOMY OF XYLEM AND PHLOEM IN STEMS AND ROOTS OF *POPULUS SIBIRICA* AND *ULMUS PUMILA* FROM SEMI-ARID STEPPE IN MONGOLIA

ANATOMIJA KSILEMA IN FLOEMA DEBEL IN KORENIN DREVESNIH VRST *POPULUS SIBIRICA* IN *ULMUS PUMILA* IZ POLSUHE STEPE V MONGOLIJI

Anastazija Dimitrova^{1*}, Angela Balzano^{2*}, Katarina Čufar³, Gabriella S. Scippa¹, Maks Merela², Antonio Montagnoli³, Batkhoo Nyam-Osor⁴, Enkhchimeg Tsedensodnom Chimgee⁴, Donato Chiatante³

UDK članka: 630*811.18:630*811.28

Original scientific article / Izvirni znanstveni članek

Received / Prispelo: 13.7.2023

Accepted / Sprejeto: 29.8.2023

Abstract / Izvleček

Abstract: The present study focuses on the cambium and the anatomy of secondary tissues (xylem – wood and phloem) of Siberian poplar (*Populus sibirica*) and Siberian elm (*Ulmus pumila*) grown in a plantation in the semi-arid Mongolian steppe. Stem and root microcores from both species were collected and subsequently processed to obtain cross-sections for light microscopy by paraffin embedding, sectioning with a rotary microtome, and staining with safranin and astra blue. The results present the anatomy of the secondary xylem and phloem of stems and roots of both species, along with the characteristics of the youngest xylem and phloem annual rings. We discuss the critical aspects which need to be considered when using the microcoring methodology, along with the need for further studies on wood and phloem formation of less-commonly studied tree species and their characteristics when grown in semi-arid environments.

Keywords: Siberian poplar (*Populus sibirica*), Siberian elm (*Ulmus pumila*), cambium, xylem, phloem, stem, root, microcore

Izvleček: Raziskali smo kambij in anatomijo sekundarnih tkiv (ksilema–lesa in floema) sibirskega topola (*Populus sibirica*) in sibirskega bresta (*Ulmus pumila*) s plantaže v polsuhi stepi v Mongoliji. Tkivo za analize (mikro izvrtke) smo odvzeli iz debel in korenin dreves. Mikro izvrtke smo vklopili v parafin in z rotacijskim mikrotomom narezali preparate prečnih prerezov, ki smo jih obarvali z barviloma safranin in astra modro in pregledali pod svetlobnim mikroskopom. Rezultati predstavljajo anatomijo ksilema in floema debel in korenin obeh vrst. Posebno pozornost smo posvetili prikazu značilnosti najmlajših letnih prirastkov ksilema in floema. V razpravi poudarjamo kritične vidike metodologije odvzema, priprave mikro izvrtkov in anatomskih preparatov, ter potrebo po nadaljevanju raziskav nastajanja ter lastnosti lesa in floema manj znanih drevesnih vrst iz polsuhih okolij.

Ključne besede: sibirski topol (*Populus sibirica*), sibirski brest (*Ulmus pumila*), kambij, ksilem, floem, deblo, korenina, mikro izvrtki

1 INTRODUCTION

1 UVOD

Secondary tissues in trees, secondary xylem and secondary phloem, are produced by the vascular cambium. Studies of cambial activity and xylem and phloem formation are therefore essential for a better understanding of cambial phenology, the subsequent formation processes and characteristics of the secondary tissues. Combined, they provide information on the general health and growth potential of trees, the tree responses to changing

¹ University of Molise, Department of Biosciences and Territory, Contrada Fonte Lappone SnC, 86090 Pesche, Italy

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

³ University of Insubria, Department of Biotechnology and Life Science, Via Dunant 3, 21100 Varese, Italy

⁴ National University of Mongolia, Laboratory of Forest Genetics and Ecophysiology, School of Engineering and Applied Sciences, 14201 Ulaanbaatar, Mongolia

* e-mail: anastazijadimitrova@hotmail.com, angela.balzano@bf.uni-lj.si

* A. Dimitrova and A. Balzano contributed equally to this work

environmental conditions, and tree plasticity, in terms of adapting their growth and the structure of xylem and phloem to the given environmental conditions and ensuring their optimal functioning (Rossi et al., 2006a; Gričar & Čufar, 2008; Prislan et al., 2013b; Balzano et al., 2018).

In the present context, the term 'cambium' is used to describe the cambial zone, which consists of several cell layers, including actively dividing cambial initials with phloem and xylem mother cells (Catesson et al., 1994; Larson, 1994; Lachaud et al., 1999; Gričar & Čufar, 2007). The study of cambial activity, and its productivity, usually involves collecting tissues from a living tree, fixation and preparation of tissues, cutting and staining of thin sections, observation under a microscope, image analysis and quantification (counting and measuring) of cambial cells in radial rows (e.g., Prislan et al., 2009; Balzano et al., 2022; Prislan et al., 2022). Studies can also include an analysis of cambial cell morphology, cell content and the developmental stages of their derivatives. Studying actively dividing or dormant cambium cells can be also based on observation of their ultrastructure, focusing on the presence, appearance, and frequency of cell organelles. Such analyses require a demanding fixation with solutions like glutaraldehyde and osmium tetroxide and observation with a transmission electron microscope (Prislan et al., 2011; 2013a; 2016).

The secondary xylem in hardwoods (dicotyledons) consists of vessels, various types of fibres, axial parenchyma, and rays. These major components vary widely among species (Wheeler et al., 1989). During wood formation, the new cells formed by the cambium go through several stages of differentiation. In the first phase, they have a thin, non-lignified primary cell wall and undergo expansion to reach the final form and size. This phase is followed by deposition and lignification of the cell walls, and finally, programmed cell death (Prislan et al., 2009).

The secondary phloem in hardwoods consists of sieve tubes with companion cells, axial parenchyma, phloem rays and phloem fibres (Čufar, 2006; Prislan et al., 2012; Crivellaro & Schweingruber, 2015; Gričar et al., 2016). Some taxa, e.g., *Fagus*, do not form phloem fibres but contain sclereids which are formed during secondary processes in older bark (Čufar, 2006; Prislan et al., 2012). After the cambium produces the phloem, we can follow

the cell differentiation, maturation and secondary changes, and observe the non-collapsed and conducting phloem which is able to transport products of photosynthesis. The older (outer) phloem is identified as collapsed and non-conductive, and over time it undergoes considerable changes (Prislan et al., 2019). In temperate species we can usually define at least one annual growth ring in phloem, with early and late phloem and the phloem ring boundary (Prislan et al., 2012).

When studies focus on the characteristics and dynamics of the cambial activity, xylem and phloem formation in response to climatic and environmental changes, it is important to prepare an adequate sampling design, along with an appropriate technique for tissue collection and sample preparation, as described by Prislan et al. (2014a; 2014b; 2022) and Balzano et al. (2022). It is also important to have a thorough knowledge of the anatomy of the secondary tissues of the species in question.

Recently, the need for such knowledge arose in activities focused on species selection for environmental restoration in the semi-arid steppe areas suffering from increasing aridity. In particular, as part of the *Green Belt* project in Mongolia, plantations of the Siberian poplar (*Populus sibirica* Hort. Ex. Taush) and Siberian elm (*Ulmus pumila* L.), have been used to study the effects of irrigation and fertilization on several plant characteristics, i.e., tree growth – stem height and root collar diameter (Byambadorj et al., 2021a), morphophysiological traits – leaf area and leaf biomass (Byambadorj et al., 2021b), above and belowground biomass partitioning (Byambadorj et al., 2022), root biomass distribution (Nyam-Osor et al., 2021), and plasticity of root architecture in *Ulmus pumila* (Montagnoli et al., 2022).

The aim of this study is thus to present the basic anatomy of the vascular cambium, secondary xylem, and secondary phloem from microcores taken from stems and roots of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila*, grown under natural conditions (without irrigation or fertilization) in the semi-arid Mongolian steppe. As such, the study presents the first attempt to underline the anatomical and structural characteristics of xylem and phloem of the two species grown in semi-arid conditions. Furthermore, we underline critical aspects related to tissue collection and sample preparation, as part of future

Dimitrova, A., Balzano, A., Čufar, K., Scippa, G. S., Merela, M., Montagnoli, A., Osor-Nyam, B., Chimgee, E. T., & Chiatante D.: Anatomy of xylem and phloem in stems and roots of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* from semi-arid steppe in Mongolia

recommendations for more in depth studies on cambial activity and the development of secondary tissues in challenging environmental conditions.

2 MATERIALS AND METHODS

2 MATERIAL IN METODE

2.1 MATERIALS

2.1 MATERIAL

The *Populus sibirica* Hort. ex Tausch and *Ulmus pumila* L. trees used in this study originate from a plantation—experimental site (area 2 ha) – located in Mongolia (latitude 47°52'15.43" N, longitude 105°10'46.4" E, elevation 1130 m a.s.l.) within the forest nursery of the South Korea-Mongolia Joint *Green Belt* Plantation Project in Lun soum, Tuv aimag, Mongolia, 135 km west of Ulaanbaatar, Mongolia (Byambadorj et al., 2021a). In particular, the nursery is located on the right bank of the Tuul River, in a dry-steppe area which is densely populated and greatly degraded by intense livestock grazing. The site had a mean annual temperature of 0.7°C and total annual sum of precipitation 196 mm (period 2000-2019) as recorded by the Lun soum weather station (Byambadorj et al., 2021a). The mean monthly temperatures were below zero from November to March, with a mean air temperature of the warmest month (July) of 16°C, while that of the coldest month (January) of -22°C. Detailed meteorological data measured during the experiments showed that July-September 2019 was characterized by below average precipitation and above average temperatures (Byambadorj et al., 2021a).

As part of the *Green Belt* project, an experimental design aiming to evaluate the performance of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* under different combination of fertilization and irrigation treatments was established (for detailed overview of the experimental design, see Byambadorja et al., 2021a; 2021b). Briefly, as preparatory work, after growing them in a greenhouse, two-year-old *Populus sibirica* saplings (grown from 20 cm cuttings) and *Ulmus pumila* seedlings (grown from seeds) were acclimated in an open nursery and transplanted in open plantations in May 2011. After one month of open-field acclimatization with sufficient watering, the pre-selected combination of fertilization and irrigation treatment was applied. In the autumn of 2019, the trees had reached 10 years of

age with a height of 180 cm and 190 cm, and root collar diameter of 3.7 cm and 5.6 cm, for *Ulmus* and *Populus*, respectively (Byambadorj et al., 2021a).

2.1 SAMPLING AND SAMPLE PREPARATION

2.1 VZORČENJE IN PRIPRAVA VZORCEV

In the present study, we investigated the samples coming from eight trees (four from the poplar and four from the elm) which were grown under natural conditions, i.e., without any fertilization and irrigation treatment. For each tree, four microcores were sampled on 20 October 2019; two were taken from the stem (5 cm above ground) and two from the root (5 cm below ground) using a Trephor tool (Rossi et al., 2006b).

The microcores were initially stored in FAA (mixture of formalin, acetic acid and ethanol) and then dehydrated in gradient ethanol series (70, 90, 95 and 100%), infiltrated with bio-clear (D-limonene) and embedded in paraffin blocks using a Leica TP1020-1 tissue processor (Nussloch, Germany). Using a semi-automatic rotary microtome (RM 2245, Leica, Nussloch), cross-sections (9 µm thick) were obtained, and subsequently stained with safranin (0.04%) and astra blue (0.15%) water solution (Prislan et al., 2013a; Balzano et al., 2022; Prislan et al., 2022). The samples were mounted in Euparal (Bioquip Rancho Domingez, CA, USA) and observed under a light microscope – transmitted light mode Zeiss Axio Imager A.2 light microscope (Carl Zeiss Microscopy, White Plains, NY, USA), while images were acquired with a Zeiss AxioCam 712 color (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Germany).

On the transverse sections of each specimen, we identified the non-collapsed phloem and the phloem growth rings including early and late phloem and measured their respective widths. We also recorded the number of cambium cells, the width of the cambium and made observations on the stage of its productivity. On the xylem side, we examined and measured the tissues with the newly formed cells in the enlargement stage, with cells in the secondary cell wall deposition and lignification phase, and the tissue where the cells were mature. We also measured the width of the most recently formed xylem growth ring and the rings formed in one or more previous years.

3 RESULTS

3 REZULTATI

3.1 XYLEM AND PHLOEM STRUCTURE OF *Populus sibirica*

3.1 ZGRADBA KSILEMA IN FLOEMA SIBIRSKEGA TOPOLA *Populus sibirica*

The wood of the stem of *Populus sibirica* has the typical anatomy of poplar with the following features observed on cross-section: wood diffuse porous, growth ring boundaries distinct, tangential diameter of vessel lumina 50 – 100 µm, fibres generally thin-walled, and rays exclusively uniseriate (Wheeler, 2011; InsideWood, 2023) (Fig. 1a, 2a). The growth ring boundaries were characterized by

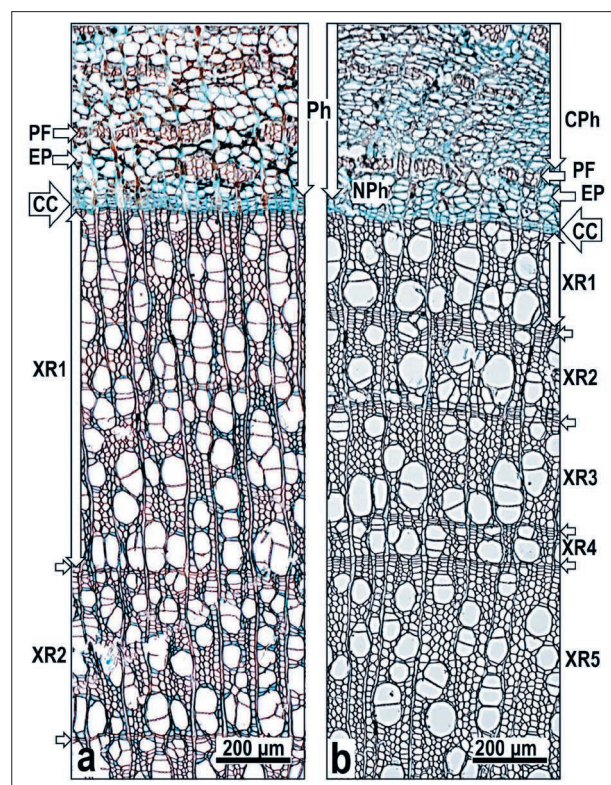


Figure 1. Secondary tissues of *Populus sibirica*, overview: (a) stem, (b) root. CC- cambial cells, XR1... XR5-xylem rings, arrows pointing to growth ring boundaries, Ph-phloem, EP-early phloem (sieve tubes), PF-phloem fibres, NPh – non-collapsed (conductive) phloem, CPh – collapsed phloem.

Slika 1. *Populus sibirica*, pregled sekundarnih tkiv: (a) deblo, (b) korenina. CC – celice kambija, XR1... XR5 – ksilemske branike, puščice kažejo letnice – meje med branikami, Ph – floem, EP – rani floem (sitaste cevi), PF – floemska vlakna, NPh – nekolabirani (prevodni) floem, CPh – kolabirani floem.

radially flattened fibres arranged in radial rows. Although axial parenchyma is usually absent, rare, or appears in marginal or seemingly marginal bands in poplars (InsideWood, 2023), we noted abundant paratracheal scanty axial parenchyma (Fig. 2). However, its presence would need to be further confirmed in radial or tangential sections. The wood of the roots had slightly larger vessels and less distinct growth ring boundaries (Fig. 1 b, 2b) than the wood of the stem, likely due to the occurrence of density fluctuations. In the stem, the width of the xylem ring averaged 986 µm in 2019 and 740 µm in 2018; the corresponding values in the root were 268 and 212 µm. Tension wood was present in the xylem of both stems and roots, consisting of fibres with cell walls containing a blue stained gelatinous layer.

The cambium of stems and roots had an average of four and three cambium cells per radial file, respectively, and the cambium was not productive.

The phloem of stems of *Populus sibirica* consists of sieve tubes with companion cells, axial pa-

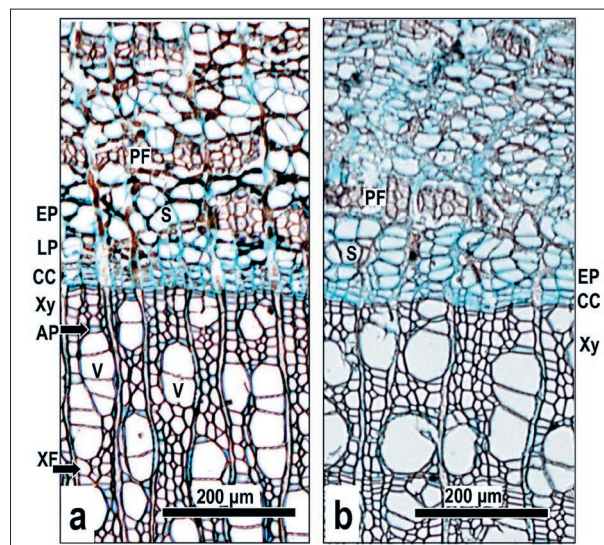


Figure 2. Cambium and secondary tissues of *Populus sibirica*, detailed view: (a) stem and (b) root. CC – cambial cells, Xy – xylem, AP – axial parenchyma, V – vessel, XF – xylem fibre, Ph – phloem, EP – early phloem, LP – late phloem, PF – phloem fibres, S – sieve tubes.

Slika 2. *Populus sibirica*, kambij in sekundarna tkiva, podoben pogled: (a) deblo in (b) korenina. CC – celice kambija, Xy – ksilem, AP – aksialni parenhim, V – traheja, XF – ksilemsko vlakno, Ph – floem, EP – rani floem, LP – kasni floem, PF – floemska vlakna, S – sitaste cevi.

renchyma, phloem fibres between the early and late phloem, and phloem rays. We could distinguish between non-collapsed (conducting) phloem and collapsed (non-conducting) phloem (Fig. 1 and 2). In the non-collapsed phloem, we could distinguish between early phloem with larger sieve tubes and late phloem in which the sieve tubes had smaller diameters. This is consistent with the phloem structure of *Populus tremula* described by Gričar (2019) where early and late phloem were divided by groups of fibres arranged in tangential bands. Moreover, it was possible to detect the phloem growth ring boundary that delineates the youngest increment in *Populus tremula* (Gričar, 2019), whereas in our case the growth ring boundary could not be detected in the phloem of *Populus sibirica*. We could not detect late phloem in the phloem of the roots of *Populus sibirica*, while the non-collapsed phloem was narrower than that in the stem (Fig. 2).

3.2 XYLEM AND PHLOEM STRUCTURE OF *Ulmus pumila*

3.2 ZGRADBA KSILEMA IN FLOEMA SIBIRKEGA BRESTA *Ulmus pumila*

The wood of the stem of *Ulmus pumila* has the typical anatomy of elms with the following features observed on cross-sections: wood ring porous, growth ring boundaries distinct, tangential diameter of early wood vessel lumina 100 – 200 µm, late wood vessels in tangential bands, vessel clusters common, tyloses common, vascular/vasicentric tracheids present, fibres thin- to thick-walled, axial parenchyma vasicentric, confluent and in marginal or in seemingly marginal bands with 3 – 4 cells per parenchyma strand, larger rays commonly 4 – 10-seriate, rays of two distinct sizes (InsideWood, 2023) (Fig. 3, 4).

Most of the fibres in the wood of the stem and root stained blue, possibly indicating the abundant presence of tension wood (Fig. 3, 4) which is formed to reinforce or change the position of the stem, branch or the root. The wood of the roots had less distinct growth ring boundaries and more earlywood vessels than the wood of the stem (Fig. 3 a, 4 a, b). In the stems of trees of *Ulmus*, the width of the last xylem ring was around 1.5 mm. In the roots intra-annual density fluctuations (IADFs) cannot be excluded (Fig. 4b).

The cambium of stems and roots had an average of 6.7 and 6 cells per radial file, and the cambium was not productive.

The phloem of *Ulmus pumila* consists of early and late phloem sieve tubes with companion cells, axial parenchyma, and phloem rays (Fig. 3). Fibre sclereids (Fig. 3b) and mucilage (slime) cells (Fig. 3a) are observed in the older phloem, as described by Holdheide (1951) in *Ulmus scabra*. In *Ulmus pumila*

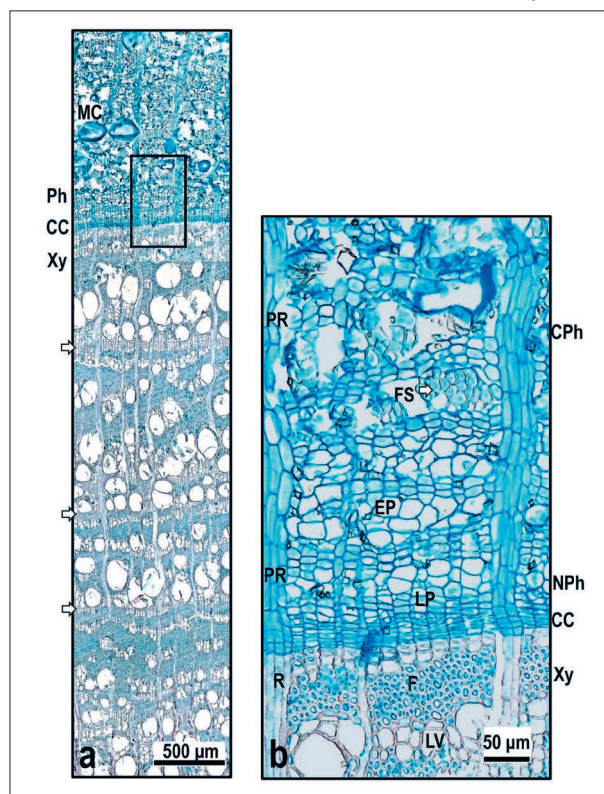


Figure 3. Secondary tissues of *Ulmus pumila* stem: (a) overview, (b) detail of image a. CC – cambial cells, Xy – xylem, arrows pointing to growth ring boundaries, Ph – phloem, LV – latewood vessel, F – xylem fibre, EP – early phloem (sieve cell), R – xylem ray, NPh – non-collapsed (conductive) phloem, CPh – collapsed phloem, LP – late phloem, FS – fibre sclereid, PR – phloem ray, MC – mucilage (slime) cell.

Slika 3. Sekundarna tkiva debla *Ulmus pumila*: (a) pregled, (b) podroben pogled slike a. CC – celice kambija, Xy – ksilem, puščice kažejo na letnice, Ph – floem, LV – traheje kasnega lesa, F – ksilemsko vlakno, R – ksilemski trak, NPh – nekolabirani (prevodni) floem, CPh – kolabirani floem, LP – kasni floem, EP – rani floem (sitasta cev), PR – floemski trak, FS – vlaknasta sklereida, MC – sluzna celica.

we could distinguish between non-collapsed (conducting) phloem and collapsed (non-conducting) phloem (Fig. 3, 4). In the non-collapsed phloem, we could recognize early phloem with larger sieve tubes and late phloem where the sieve tubes had smaller diameters. However, we were unable to identify clear growth ring boundaries and therefore could not accurately determine the width of the last formed phloem annual increment. The first thick walled fibre sclereids were observed at a distance of about 300 µm from the cambium (Fig. 3b) in phloem tissue that may have been formed in the previous year.

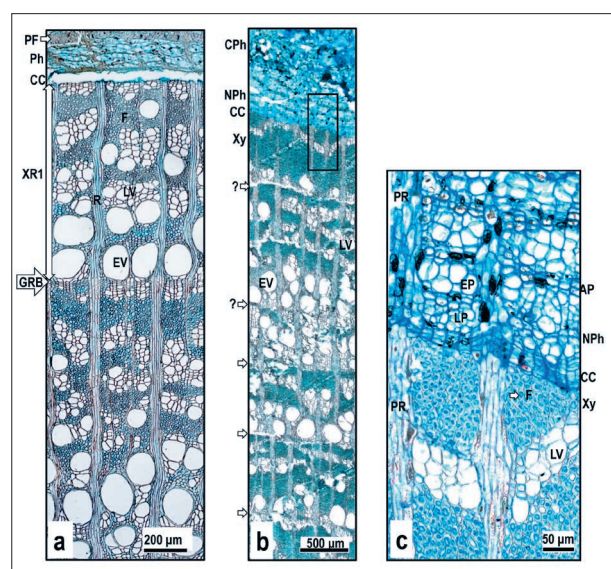


Figure 4. Secondary tissues of *Ulmus pumila* root: (a) normal structure of xylem ring (XR1) below cambium (CC) with clear tree ring boundary, (b) overview (cross-section of the microcore) where some growth ring boundaries are not clear (?), (c) detail from b. EV – early wood vessel, LV late wood vessel, R – ray, F – fibre, AP – axial parenchyma; for other abbreviations see Figs. 1 to 3.

Slika 4. Sekundarna tkiva korenine *Ulmus pumila*: (a) normalna struktura ksilemske branike (XR1) pod kambijem (CC) z razločno letnico (TRB), (b) pregled tkiv (prečni prerez mikro izvrtka), kjer nekatere meje med branikami niso jasne (?), (c) podrobnosti iz slike b (okvir). EV – traheja ranega lesa, LV traheja kasnega lesa, R – trak, F – vlakno, AP – aksialni parenhim; za ostale okrajšave glej slike 1–3.

4 DISCUSSION

4 RAZPRAVA

The microcoring technique has proven effective for the study of wood, cambium, and phloem, including their anatomy and stage of development at the end of the vegetation period in both species and in the particular environment. The method is time consuming and requires a sophisticated procedure from the removal from the tree to sample preparation and production of sections of appropriate quality for microscopy and image analysis. As a result, numerous technical challenges can be encountered during all steps of the analysis. Samples are typically collected from forest trees, which are often located in remote areas. Therefore, tissues must be efficiently fixed and appropriately stored before section preparation can begin. Cutting is usually complicated by the fact that plant tissue is generally heterogeneous and fragile (Balzano et al., 2022). These limitations can be exacerbated when we sample species for which there are few or no studies of wood and bark anatomy, and when we work in difficult, remote environments, as in our case in semi-arid areas in the Mongolian steppe, far from the laboratory. The amount of material available for analyses may also limit our ability to make high quality microscopic preparations, as we usually do not have replicates to replace damaged microcores. In addition, we rely mainly on cross sections, as we do not have enough material to make radial or tangential sections as well. All these factors may affect the results of the study.

The present study was conducted on two tree species, *Populus sibirica* and *Ulmus pumila*, whose wood and bark anatomy are less well known, especially when the trees grow in a harsh environment under semi-arid conditions, in addition to occasional very cold winter and very hot summer conditions. The wood and phloem anatomy could be compared with the anatomy of other species of *Populus* and *Ulmus* like InsideWood (2023) for wood, and Holdheide (1951) and Gričar (2019) for phloem.

The study involved sampling in remote areas with a relatively large team assigned to perform the various steps of the experimental work. Although two technical replicates of microcores from the stem and root of each tree were taken, the material was limited and the samples often did not contain enough wood due to the thicker bark. This also

caused challenges during the fixation of the samples.

In view of the above, we recommend for future studies a rapid evaluation of the material and a prioritization of high-quality cross-sections that can provide sufficient information. This is especially important when working with less frequently studied species. Indeed, most previous studies have focused on the more widespread tree species (e.g., *Fagus sylvatica* L., *Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L., etc.) from less remote sites in temperate climates (e.g., Van der Werf et al., 2007; Michelot et al., 2012; Giagli et al., 2016; Martinez del Castillo et al., 2016).

However, our study has shown that the analysed tree tissues contain a lot of information if we know how to extract and interpret it.

Impending climatic challenges require expansion of studies to areas of increasing aridity (e.g., Liu et al., 2022), as such changes will inevitably affect cambium productivity and wood and phloem formation. This raises the need for better understanding of how a particular species behaves in a semiarid climate and how this climate affects tissue development and structure. Another aspect of interest is the selection of plant tissues. Microcoring is usually performed on stems, often focusing on the anatomy and formation of the wood. However, the phloem is often not included in such studies, as most focus on the aboveground portion of the tree, such as the stem at breast height, which is more accessible. Root sampling presents a list of technical and logistical challenges (Freschet et al., 2021). However, as the above- and belowground tree parts, i.e., stem and root, play distinct roles in plant establishment and performance (Byambadorj et al., 2022), understanding their combined response to growing conditions could provide more in-depth information about plant plasticity and adaptive potential.

Given the projected climatic challenges, afforestation and reforestation measures are considered extremely important. However, these costly and complicated actions require appropriate and context-specific species selection. Therefore, in order to understand the anatomy of wood, which represents a large proportion of biomass, and bark, which is a smaller proportion of the biomass but performs critical functions for photosynthate

transport (non-collapsed phloem) and protective function (collapsed phloem and outer bark), it is of particular value to know their anatomical characteristics as well as the potential changes in tissue due to management actions and/or changing climatic conditions.

The present study highlights the similarities and differences between the wood anatomy of the stem and roots of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila*. Although certain technical challenges have hindered a more thorough analysis, i.e., small number of replicates, damage to some samples due to extended storage in FAA, thick bark, and the increased presence of tension wood, the descriptive approach and characterization of the wood, cambium, and phloem that we have used provides the basis for expanding the analyses. To the best of our knowledge, this is the first study to attempt to characterize the secondary tissues of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* growing in semi-arid areas.

5 CONCLUSIONS

5 ZAKLJUČKI

The present study summarizes the anatomy of secondary xylem and phloem in the stems and roots of two tree species less known in this context, *Populus sibirica* and *Ulmus pumila*. Observations were made on samples collected from the trees in the plantation in the Mongolian semi-arid steppe on October 20, 2019, when temperatures dropped below zero and the growing season had ended. The samples contained cambium that was no longer producing new cells and a narrow cambial zone. Most of the cells in the secondary xylem and phloem produced during the current growing season were already mature. In the wood of the stems of *Populus* we found some tension wood where the cell walls of the fibres contained a non-lignified G-layer. In both species the phloem increment contained early and late phloem, but no clear growth ring boundaries. Because of the timing of tissue sampling, it was possible to see tissues formed in the last growth period, while the process of xylem and phloem formation was not evident.

Despite the difficulty of sampling in the remote areas and some technical problems in preparing samples for microscopy, we have shown that microscopic examination of the basic anatomy of the

Dimitrova, A., Balzano, A., Čufar, K., Scippa, G. S., Merela, M., Montagnoli, A., Osor-Nyam, B., Chimgee, E. T., & Chiatante D.: Anatomija ksilema in floema debel in korenin drevesnih vrst *Populus sibirica* in *Ulmus pumila* iz polsuhe stepe v Mongoliji

tissues of interest was possible in the stems and roots of the two species.

As far as we know, the results presented here are the first attempt to characterize xylem and phloem structure in a specific time of wood and phloem formation of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* at the end of the vegetation period in the semi-arid region of Mongolia. This study also provides information for planning future studies focusing on the seasonal dynamics of secondary xylem and phloem formation of the two species, which would provide valuable information on their potential for adaptation to the challenging climatic conditions.

6 SUMMARY

6 POVZETEK

Proučili smo kambij (v tem prispevku z besedo kambij označujemo kambijevo cono s kambijevimi inicialkami ter ksilemskimi in floemskimi materinskimi celicami) in anatomijo ksilema – lesa in floema sibirskega topola (*Populus sibirica*) in sibirskega bresta (*Ulmus pumila*) v okviru širše raziskave, namenjene preučevanju plastičnosti in sposobnosti prilagajanja obeh vrst na podnebne in okoljske spremembe. Vzorčenje oz. odvzem mikro izvrtkov je bilo opravljeno na plantaži v Mongoliji, v stepi s polsuhim podnebjem. Tkivo za analize (mikro izvrtke) smo odvzeli iz debel in korenin dreves obeh vrst 19.10. 2019, pri čemer smo v tej študiji raziskali samo vzorce iz kontrolne skupine (brez gnojenja in namakanja). Preparati prečnih prereзов tkiv za svetlobno mikroskopijo so bili po vklapljanju mikro izvrtkov v parafin narezani z rotacijskim mikrotomom ter obarvani z barviloma safranin in astra modro.

Les debela *Populus sibirica* ima anatomijo lesa, kot je značilna za rod *Populus* z naslednjimi znaki, vidnimi na prečnem prerezu: les je difuzno porozen, prirastne plasti so razločne, tangencialni premer trahej je 50–100 µm, vlakna so večinoma tankostenska, trakovi so izključno enoredni (Wheeler et al., 2011; InsideWood, 2023) (sliki 1a in 2a). Proučeni topol je imel v nasprotju z opisi v literaturi tudi dokaj obilen aksialni parenhim (slika 2). Les korenin je imel nekoliko večje traheje in manj izrazite branike (sliki 1b in 2b) kot les debela. Les debela je imel okoli 1 mm široke branike, v lesu korenin pa so bile te široke okoli 0,25 mm. V ksilemu korenin so

bile letnice manj izrazite, zato ne izključujemo prisotnosti »lažnih branik« oz. gostotnih variacij znotraj letnih prirastnih plasti.

V kambiju debela smo v povprečju našli 4 in v kambiju korenin 3 celice na radialni niz. V nobenem primeru nismo zasledili produkcije novih celic.

Floem debela *Populus sibirica* je sestavljen iz sitastih cevi s celicami spremljevalkami, aksialnega parenhima, floemskih vlaken in floemskih trakov. Razlikovali smo lahko med nekolabiranim (prevodnim) floemom in kolabiranim (neprevodnim) floemom (sliki 1 in 2). V nekolabiranem floemu smo lahko prepoznali rani floem s sitastimi cevmi večjih premerov in kasni floem, v katerem so imele sitaste cevi manjši premer. Meje med prirastnimi plastmi (floemske letnice) nismo mogli določiti. Anatomija floema *Populus sibirica* je večinoma podobna kot pri trepetliki (*Populus tremula*), ki jo je podrobno opisala Gričar (2019), kjer so rani in kasni floem delile skupine vlaken, razporejene v tangencialnih pasovih. Poleg tega je bilo pri *Populus tremula* mogoče zaznati mejo floemske branike (Gričar, 2019), medtem ko v našem primeru meje prirastnih plasti v najmlajšem floemu *Populus sibirica* ni bilo mogoče zaznati. V floemu korenin *Populus sibirica* nismo mogli zaznati kasnega floema, nekolabirani floem pa je bil ožji od tistega v floemu debela (slika 2).

Les debela sibirskega bresta (*Ulmus pumila*) ima značilno anatomijo lesa brestov z naslednjimi znaki, ki jih lahko vidimo na prečnem prerezu: les je venčasto porozen, letnice so izrazite, tangencialni premer trahej ranega lesa je 100–200 µm, traheje kasnega lesa so grupirane v tangencialnih skupinah, traheje so pogosto otiljene, prisotne so vaskularne/vazicentrične traheide, vlakna so tankostena do debelostena, aksialni parenhim je paratrahealen, vazicentričen, zlivajoč in v marginalnih ali navidezno marginalnih pasovih s 3–4 celicami na parenhimski pramen, trakovi so dveh različnih velikosti, večji trakovi so običajno 4 do 10-redni (InsideWood, 2023) (sliki 3 in 4).

Večina vlaken v lesu debela in korenine se je pri sibirskem brestu obarvala modro, kar verjetno kaže na obilno prisotnost tenzijskega lesa (sliki 3 in 4), ki omogoča usmerjanje položaja debela, veje ali korenine. Les korenin *Ulmus pumila* je imel manj izrazite letnice in več trahej ranega lesa kot les debela (slike 3a, 4a, 4b). V deblih preiskanih dreves je bila povprečna širina zadnje branike približno 1,5 mm.

V koreninah je bil prirastek nekoliko manjši, znotraj branik pa so se pojavljale gostotne variacije (IADF) (slika 4b).

Kambij debel in korenin je imel v povprečju 6–7 celic v radialnem nizu in ni bil več produktiven.

Floem *Ulmus pumila* sestavljajo sitaste cevi s celicami spremljevalkami, aksialni parenhim in floemski trakovi (slika 3). Običajnih floemskih vlaken nismo zaznali, v starejšem floemu pa smo opazili sklereide (slika 3b) in sluzne celice (slika 3a). To se ujema z opažanji, ki jih je objavil (Holdheide, 1951), ki je poročal, da floem *Ulmus scabra* nima vlaken, ima pa številne vlaknaste sklereide s podobnim videzom, vendar različno ontogenijo kot floemska vlakna (Čufar, 2006; Prislán et al., 2019). Holdheide (1951) poroča tudi o številnih sluznih celicah v starejšem floemskem tkivu *Ulmus scabra*.

Pri *Ulmus pumila* smo lahko razlikovali med nekolabiranim (prevodnim) floemom in kolabiranim (neprevodnim) floemom (sliki 3 in 4). V nekolabiranem floemu smo lahko razlikovali med ranim floemom s sitastimi cevmi večjih premerov in kasnim floemom, v katerem so imele sitaste cevi manjši tangencialni premer. V floemskih prirastnih plasteh nismo mogli določiti letnic (mej med dvema floemskima branikama) zato tudi nismo mogli natančno izmeriti širine zadnje nastale floemske branike. Prve debelostene vlaknaste sklereide smo opazili na razdalji približno 300 µm od kambija, najverjetneje v floemu, nastalem v predhodnem letu 2018 (slika 3b), kar je v skladu z ugotovitvami, ki jih je objavil Holdheide (1951).

Predstavljamo tudi nekatere ključne tehnične in logistične vidike, ki jih je treba upoštevati pri izvedbi terensko in laboratorijsko zahtevne raziskave. Čeprav smo odvzeli po več vzorcev iz debela in korenin posameznega drevesa, je bilo v nekaterih primerih tkivo poškodovano zaradi narave materiala, postopka vzorčenja in dolgotrajnega hranjenja mikroizvrtkov v fiksirnem sredstvu FAA (mešanice formalina, očetne kisline in alkohola). Kljub tehničnim težavam so izdelani preparati omogočili preučevanje osnovne anatomije in razvojno fazo lesa in floema, nastalega v tekočem letu.

Pri obeh vrstah so branike lesa vsebovale večino zrele celice. Floemski prirastek je pri obeh vrstah vseboval rani in kasni floem, nismo pa mogli razmejiti prirastnih plasti v floemu. Zaradi časa odvzema je bilo mogoče videti le tkiva, ki so nastala

v zadnji rastni sezoni, zato bo v prihodnje potrebno dobro časovno načrtovano vzorčenje, osredotočeno na študij dinamike kambijeve aktivnosti ter procesa nastajanja ksilema in floema.

V predstavljeni študiji smo se osredotočili na kvalitativne podatke, vendar so proučeni preparati uporabni tudi za merjenje oz. analizo slike tkiv, s čimer bi lahko pridobili tudi kvantitativne podatke, in s tem povečali vrednost pridobljenih informacij o lesu in skorji proučenih vrst.

ACKNOWLEDGEMENTS

ZAHVALA

The study and the time spent at the University of Ljubljana were supported by the PhD fellowship for AD from the University of Molise. AM and DC acknowledge the Department of Biotechnology and Life Science at the University of Insubria for the support in the joint research project. The authors also thank the staff of the Korea-Mongolia Joint *Green Belt* Plantation Project and the members of the Laboratory of Forest Genetics and Ecophysiology from the National University of Mongolia for their assistance in the field and laboratory works. The work of AB, MM and KČ and the laboratory equipment were funded by the Programme P4-0015 of the Slovenian Research and Innovation Agency ARIS. We thank Luka Krže for his great support in the laboratory. We thank Darja Vranjek and Paul Steed for editing the Slovene and English language, and two reviewers whose comments helped us to improve the original version of the manuscript.

Author contributions: AM, BN-O, GSS, and DC conceived and designed the project and the study plan. BN-O, ETC, DC, and AM were responsible for tissue collection; AD and AB, with the assistance of MM, performed the laboratory analyses (tissue preparation, microscopy, and measurements) and organized the results; KČ, AB, and AD drafted and wrote the manuscript. All co-authors contributed to the writing; they also read and approved the final version of the manuscript. AD and AB contributed equally to this work.

Dimitrova, A., Balzano, A., Čufar, K., Scippa, G. S., Merela, M., Montagnoli, A., Osor-Nyam, B., Chimgee, E. T., & Chiatante, D.: Anatomija ksilema in floema debel in korenin drevesnih vrst *Populus sibirica* in *Ulmus pumila* iz polsuhe stepe v Mongoliji

REFERENCES

VIRI

- Balzano, A., Čufar, K., Battipaglia, G., Merela, M., Prislan, P., Aronne, G., & De Micco, V. (2018). Xylogenesis reveals the genesis and ecological signal of IADFs in *Pinus pinea* L. and *Arbutus unedo* L. *Annals of Botany*, 121(6), 1231–1242.
- Balzano, A., Čufar, K., Krže, L., & Merela, M. (2022). Critical steps and troubleshooting in sample preparation for wood and phloem formation: from sampling to microscopic observation: Kritični koraki in reševanje težav pri pripravi vzorcev za spremljanje nastajanja lesa in floema: od vzorčenja do opazovanja pod mikroskopom. *Les/Wood*, 71(1), 47–56.
- Byambadorj, S.-O., Chiatante, D., Akhmedi, K., Lunten, J., Ochirbat, B., Park, B. B., ..., & Nyam-Osor, B. (2021a). The effect of different watering regimes and fertilizer addition on the growth of tree species used to afforest the semi-arid steppe of Mongolia. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 155(4), 747–758.
- Byambadorj, S. O., Park, B. B., Hernandez, J. O., Tsedensodnom, E., Byambasuren, O., Montagnoli, A., Chiatante, D., & Nyam-Osor, B. (2021b). Effects of irrigation and fertilization on the morphophysiological traits of *Populus sibirica* hort. Ex Tausch and *Ulmus pumila* L. in the semiarid steppe region of Mongolia. *Plants*, 10(11). DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10112407>
- Byambadorj, S. O., Nyam-Osor, B., Park, B. B., Avirmed, T., Scippa, G. S., Chiatante, D., Montagnoli, A., & Dimitrova, A. (2022). Afforestation of Mongolian steppe: patterns of biomass partitioning in *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* trees in response to management supporting measures. *Plant Biosystems*, 156(4), 969–981. DOI: <https://doi.org/10.1080/11263504.2021.1985002>
- Catesson, A. M., Funada, R., Robert-Baby, D., Quinet-Szely, M., Chu-Bâ, J., & Goldberg, R. (1994). Biochemical and cytochemical cell wall changes across the cambial zone. *IAWA Journal*, 15(1), 91–101.
- Crivellaro, A., & Schweingruber, F. H. (2015). Stem anatomical features of Dicotyledons. Remagen: Kessel Publishing.
- Čufar, K. (2006). Anatomija lesa [univerzitetni učbenik]. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
- Freschet, G. T., Pagès, L., Iversen, C. M., Comas, L. H., Rewald, B., Roumet, C., ..., & McCormack, M. L. (2021). A starting guide to root ecology: strengthening ecological concepts and standardising root classification, sampling, processing and trait measurements. *New Phytologist*, 232(3), 973–1122. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.17572>
- Giagli, K., Gričar, J., Vavrčik, H., Menšik, L., & Gryc, V. (2016). The effects of drought on wood formation in *Fagus sylvatica* during two contrasting years. *IAWA Journal*, 37(2), 332–348.
- Gričar, J., & Čufar, K. (2007). Xylo- and phloemogenesis in silver fir (*Abies alba* Mill.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.): Ksilo- in floemogeneza pri beli jelki (*Abies alba* Mill.) in navadni smreki (*Picea abies* (L.) Karst.). Ljubljana: Slovenian Forestry Institute.
- 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, 538–543.
- Gričar, J., Prislan, P., De Luis, M., Novak, K., Longares, L. A., Martinez del Castillo, E. M., & Čufar, K. (2016). Lack of annual periodicity in cambial production of phloem in trees from Mediterranean areas. *IAWA Journal*, 37(2), 349–364.
- Gričar, J. (2019). Značilnosti lesnih in floemskih prirastkov pri trepetliki (*Populus tremula* L.)/Characteristics of wood and phloem increments in Eurasian aspen (*Populus tremula* L.). *Folia Biologica et Geologica*, 60(2), 85–94.
- Holdheide, W. (1951). Anatomie mitteleuropäischer Gehölzrinden (mit mikrophotographischem Atlas). *H Freund's Handbuch Der Mikroskopie in Der Technik*, 5, 193–367.
- InsideWood (2023) InsideWood Database <http://insidewood.lib.ncsu.edu>, 2004 onwards (accessed 6.6.2023)
- Lachaud, S., Catesson, A.-M., & Bonnemai, J.-L. (1999). Structure and functions of the vascular cambium. *Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences-Series III-Sciences de La Vie*, 322(8), 633–650.
- Larson, P. R. (1994). The vascular cambium. Berlin: Springer-Verlag.
- Liu, H., Xu, C., Allen, C. D., Hartmann, H., Wei, X., Yakir, D., Wu, X., & Yu, P. (2022). Nature-based framework for sustainable afforestation in global drylands under changing climate. *Global Change Biology*, 28(7), 2202–2220.
- Martinez del Castillo, E., Longares, L. A., Gričar, J., Prislan, P., Gil-Pelegrín, E., Čufar, K., & De Luis, M. (2016). Living on the edge: contrasted wood-formation dynamics in *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* under Mediterranean conditions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 370.
- Michelot, A., Simard, S., Rathgeber, C., Dufrêne, E., & Damesin, C. (2012). Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics. *Tree Physiology*, 32(8), 1033–1045.
- Montagnoli, A., Lasserre, B., Terzaghi, M., Byambadorj, S.-O., Nyam-Osor, B., Scippa, G. S., & Chiatante, D. (2022). Fertilization reduces root architecture plasticity in *Ulmus pumila* used for afforesting Mongolian semi-arid steppe. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- Nyam-Osor, B., Byambadorj, S. O., Park, B. B., Terzaghi, M., Scippa, G. S., Stanturf, J. A., Chiatante, D., & Montagnoli, A. (2021). Root biomass distribution of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* afforestation stands is affected by watering regimes and fertilization in the Mongolian semi-arid steppe. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.638828>
- 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., Schmitt, U., Koch, G., Gričar, J., & Čufar, K. (2011). Seasonal ultrastructural changes in the cambial zone of beech (*Fagus sylvatica*) grown at two different altitudes. *Iawa Journal*, 32(4), 443–459.

- Dimitrova, A., Balzano, A., Čufar, K., Scippa, G. S., Merela, M., Montagnoli, A., Osor-Nyam, B., Chimgee, E. T., & Chiatante D.: Anatomy of xylem and phloem in stems and roots of *Populus sibirica* and *Ulmus pumila* from semi-arid steppe in Mongolia
- Prislan, P., Koch, G., Schmitt, U., Gričar, J., & Čufar, K. (2012). Cellular and topochemical characteristics of secondary changes in bark tissues of beech (*Fagus sylvatica*). *Holzforschung* 66(1), 131–138. DOI: <https://doi.org/10.1515/HF.2011.119>
- 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.
- 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, 142–151.
- Prislan, P., Martinez Del Castillo, E., Krže, L., Habjan, P., Merela, M., & Reijnen, H. (ed.) (2014a). Wood sample preparation for microscopic analysis – video <https://www.youtube.com/watch?v=FUddCGVr0bY> (30.8.2023).
- Prislan, P., Gričar, J., & Čufar, K. (2014b). Wood sample preparation for microscopic analysis – protocol. URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=148728> (5.7.2023)
- Prislan, P., Gričar, J., De Luis, M., Novak, K., Martinez del Castillo, E., Schmitt, U., Koch, G., ..., & Žnidarič, M. T. (2016). Annual cambial rhythm in *Pinus halepensis* and *Pinus sylvestris* as indicator for climate adaptation. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1923.
- Prislan, P., Mrak, P., Žnidaršič, N., Štrus, J., Humar, M., Thaler, N., Mrak, T., & Gričar, J. (2019). Intra-annual dynamics of phloem formation and ultrastructural changes in sieve tubes in *Fagus sylvatica*. *Tree Physiology*, 39(2), 262–274.
- Prislan, P., Martinez del Castillo, E. M., Skoberne, G., Špenko, N., & Gričar, J. (2022). Sample preparation protocol for wood and phloem formation analyses. *Dendrochronologia*, 73, 125959.
- Rossi, S., Deslauriers, A., & Anfodillo, T. (2006a). Assessment of cambial activity and xylogenesis by microsampling tree species: an example at the Alpine timberline. *Iawa Journal*, 27(4), 383–394.
- Rossi, S., Anfodillo, T., & Menardi, R. (2006b). Trephor: A new tool for sampling microcores from tree stems. *IAWA Journal*, 27(1), 89–97. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000139>
- Van der Werf, G. W., Sass-Klaassen, U. G. W., & Mohren, G. M. J. (2007). The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. *Dendrochronologia*, 25(2), 103–112.
- Wheeler, E. A., Baas, P., & Gasson, P. E. (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identification.
- Wheeler, E. A. (2011). InsideWood—A web resource for hardwood anatomy. *IAWA Journal*, 32(2), 199–211.



STRIŽNA TRDNOST SPOJEV Z RIBJIM KLEJEM LEPLJENEGA LESA OVREDNOTENA Z METODO ABES

SHEAR STRENGTH OF FISH GLUE BONDS OF GLUED WOOD EVALUATED BY THE ABES METHOD

Matic Sitar^{1,2}, Andreja Pondelak¹, Samo Grbec², Milan Šernek^{2*}

UDK članka: 630*824.821

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 5.7.2023

Sprejeto / Accepted: 28.8.2023

Izvleček / Abstract

Izvleček: V prispevku smo s pomočjo sistema za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti (ABES) ugotavljali razvoj strižne trdnosti ribjega kleja pri lepljenju lesa. Uporabili smo bukov (*Fagus sylvatica* L.) furnir, ki smo ga lepili pri konstantnem tlaku 12 barov, medtem ko smo spreminjali temperaturo in čas stiskanja. Temperatura je znašala med 25 °C in 100 °C, z intervalom 25 °C, čas stiskanja pa od 1 minute do 60 minut. Dosežena maksimalna strižna trdnost je znašala okoli 10 N/mm², dosegli smo jo pri vseh štirih proučevanih temperaturah stiskanja. Na podlagi rezultatov študije smo ugotovili, da strižna trdnost ribjega kleja pri različnih temperaturah segrevanja neenakomerno narašča. Pri višjih temperaturah segrevanja hitreje dosežemo maksimalne strižne trdnosti. Strižne trdnosti spoja lepila iz ribjega kleja smo ugotavljali tudi po standardih EN 204 in EN 205.

Ključne besede: ribji klej, ABES, strižna trdnost, lepilni spoj, bukov furnir, temperatura stiskanja, čas stiskanja

Abstract: Detail of the development of the shear strength of fish glue in wood bonding using an automated bonding evaluation system (ABES) are presented. Beech (*Fagus sylvatica* L.) veneer was used, which was compressed at constant pressure of 12 bars while the temperature and pressing time were varied. The temperature ranged between 25°C and 100°C with an interval of 25°C, while the time period was between 1 minute and 60 minutes. The achieved maximum shear strength was approximately 10 N/mm², which was reached at all four studied pressing temperature intervals. Based on the study results, we found that the shear strength of fish glue increases unevenly at different heating temperatures. Maximum shear strength values are reached faster at higher heating temperatures. The shear strength of the fish glue bonds was also determined according to the EN 204 and EN 205 standards.

Keywords: fish glue, ABES, shear strength, adhesive bond, beech veneer, pressing temperature, pressing time

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Živalske produkte obrtniki in umetniki že stoletja uporabljajo kot sestavino za izdelavo lepil, premazov in veziv (Buck, 1990; Schellmann, 2007). Lepila iz živalskih produktov delimo na glutinska (lepila iz kože, kit, kosti, roževine in rib), kazeinska (lepila iz mleka) in krvnoalbuminska (lepila iz krvnega albumina) (Resnik, 1989). Glutinska lepila temeljijo na beljakovinski osnovi – želatini, pridobljeni s kemičnim in fizikalnim razkrajanjem kolagena. Dobro mehansko trdnost kolagenskim materialom omogočajo visoko prepletajoča vlakna, ki tvorijo

tridimenzionalno mrežo (Lin et al., 2019). Lepila na biološki osnovi so v zadnjem času deležna velikega zanimanja, saj so zdravju bolj prijazna, ekonomsko ugodnejša in bolj trajnostna kot lepila na osnovi nafte (Román & Wilker, 2019; Xi et al., 2020). Poleg tega ribiška industrija proizvaja velike količine odpadne biomase, ki predstavlja bogat in neizkoriščen vir beljakovin (Coppola et al., 2020).

Znano je, da se je ribja želatina, pridobljena iz ribjega plavalnega mehurja, že pred več stoletji uporabljala za lepljenje lesa (Schellmann, 2007). Dandanes se ribji klej še vedno uporablja pri izdelavi in popravilu glasbil, konzerviranju starih lesenih

¹ Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

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

* e-pošta: milan.sernek@bf.uni-lj.si

stavb in restavriranju lesenih artefaktov, konzerviranju papirja ter tudi na primer za lepljenje pohištva iz mahagonija na Kitajskem (Petukhova, 1989; Pang, 2002; Schellmann, 2007). Uporaba naravnega ribjega kleja se je uveljavila zaradi njegovih odličnih lastnosti: trdnosti, prožnosti, netoksičnosti, topnosti v vodi ter reverzibilnosti. Ribji klej je najprimernejše lepilo za popravilo starinskih predmetov, saj so z ribjim klejem zlepljeni leseni spoji odstranljivi (Yang et al., 2012) – to lahko storimo s ponovnim navlaževanjem (Petrie, 2000).

Za nastanek kakovostnih lepilnih spojev je izredno pomembno zagotavljanje zadostnega časa stiskanja leplencev in poznavanje vpliva temperature na lastnosti že utrjenega lepilnega spoja (EN 14257, 2006). Za ribji klej je značilno hladno lepljenje z dolgimi časi stiskanja (12 ur) (Kremer Pigmente, 2023). Za doseganje ustrezne končne trdnosti lepilnega spoja je potrebno celoten proces utrjevanja lepilnega spoja ustrezno nadzorovati in regulirati (Thoemen et al., 2010).

Sistem za avtomatizirano vrednotenje zlepljenosti ABES (angl. Automated Bonding Evaluation System) se uporablja za določanje stopnje razvoja trdnosti lepil na lesenih strižnih preklopnih spojih (Martins et al., 2013). ABES je kombinacija majhne vroče stiskalnice in naprave za natezno testiranje, ki omogoča določitev trdnosti lepilne vezi takoj po želenem času stiskanja ali dodatnem hlajenju (Saražin et al., 2022). Naprava pomaga pri razumevanju dinamike razvoja trdnosti lepilnih spojev v visoko nadzorovanih pogojih, saj omogoča natančno kontrolo časa in tlaka stiskanja, temperature grelnih plošč ter površine prekrivanja preizkušancev (Martins et al., 2013).

Cilj raziskave je bil proučevanje rasti strižne trdnosti lepilnega spoja ribjega kleja. Na napravi ABES smo spremljali utrjevanje ribjega kleja pri lepljenju bukovega furnirja in uporabi različnih temperatur in časov stiskanja. Zanimal nas je vpliv povišane temperature stiskanja na razvoj strižne trdnosti lepilnega spoja.

2 MATERIAL IN METODE

2 MATERIAL AND METHODS

V raziskavi smo uporabili rezan bukov furnir debeline 0,8 mm. Na napravi za rezanje furnirskih lističev za testiranje z ABES (Adhesive Evaluation

Systems Inc., Oregon, USA) smo furnir narezali na dimenzije dolžine 117 mm in širine 20 mm. Vsi lističi furnirja so bili narezani na enak način, bili so polradialno (radialno-trangencialno) usmerjeni in klimatizirani pri sobnih pogojih pri temperaturi približno 25 °C in relativni zračni vlažnosti približno 50 %.

Bukov furnir smo lepili z ribjim klejem tipa 63550 (Kremer Pigmente GmbH & CO. KG, Nemčija), ki ni vseboval nobenih dodatkov (slika 1). Ribji klej tipa 63550 je visoko viskozna tekočina (viskoznost pri 24 °C znaša 4000 cps), narejena za takojšnjo uporabo. Delež suhe snovi kleja znaša okoli 45 % (Kremer pigmente, 2023). Za en strižni test sta potrebna dva lističa furnirja, kjer smo klej nanašali na vnaprej označeno preklopno površino (20 mm × 5 mm) preizkušanca. Pri tem smo bili pozorni, da je bil na vseh serijah preizkušancev nanos kleja čim bolj enakomeren in sicer med 12 in 13 mg/cm². Klej smo nanašali na oba lističa furnirja – tako je skupni nanos znašal 250 g/m². Vsakega od furnirskih lističev smo na napravi ABES vstavili v svojo vpenjalno



Slika 1. Ribji klej proizvajalca Kremer Pigmente v originalni embalaži (foto: M. Sitar).

Figure 1. Fish glue Kremer Pigmente in the original packaging (photo: M. Sitar).

čeljust, kot je prikazano na sliki 2. Fiksna postavitev vpenjalnih čeljusti omogoča, da konstantno dosežemo enake površine lepilnih spojev furnirjev.

Meritve smo izvajali pri konstantnem tlaku 12 barov, štirih različnih temperaturah: 25 °C, 50 °C, 75 °C in 100 °C, ter osmih različnih časih stiskanja: 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30 in 60 minut. Strižne teste smo izvajali takoj po pretečenem času, brez dodatne faze hlajenja, saj nas je zanimal le vpliv povišane temperature. Vsaka serija je bila ponovljena šestkrat, pri čemer serija pomeni eno izbrano temperaturo in osem časovnih intervalov. Skupaj je bilo opravljenih 192 meritev. Pri temperaturah 50 °C, 75 °C in 100 °C smo s termočlenom tipa K pri času stiskanja 10 minut izmerili tudi temperaturne profile v lepilnem spoju.

Po koncu posameznega strižnega testiranja smo natančno ugotovili še dejansko površino spoja, ki jo izračunamo s pomočjo izmer obeh dimenzij preklopa. Dimenzije preklopa smo odčitavali s kljunastim merilom, na desetinko milimetra natančno.

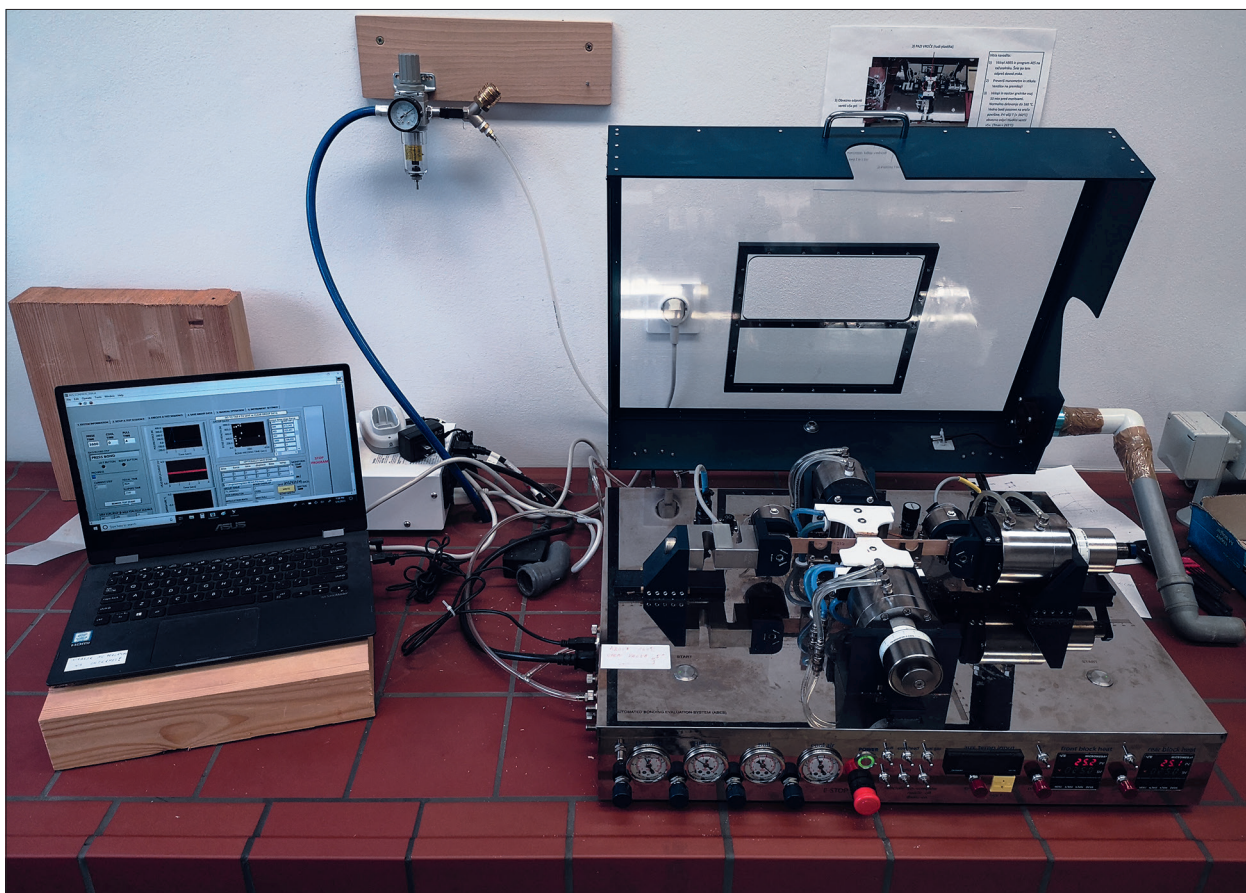
Strižno trdnost (τ) posameznega spoja smo izračunali po enačbi (1):

$$\tau = F_{max}/A \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (1)$$

kjer F_{max} [N] pomeni dobljeno maksimalno porušno silo in A [mm²] površino preklopa.

Po opravljenih testih na ABES-u smo izvedli preizkušanje spoja ribjega kleja še po standardih EN 204 in EN 205. Standard EN 204 razvršča lepila v štiri trajnostne razrede (D1–D4). Za vsak razred je predpisan različen način priprave preizkušancev pred testiranjem (klimatiziranje, namakanje, kuhanje). Ker je ribji klej neodporen na povišano vlažnost in vodo, smo za pripravo preizkušancev uporabili samo prvi način priprave (7 dni klimatiziranja v standardni atmosferi), ki je predpisan za trajnostni razred D1.

Lepili smo po dve bukovi lameli, dimenzij 250 mm × 150 mm × 5 mm, iz katerih smo po lepljenju izžagali 20 preizkušancev, dimenzij 20 mm ×



Slika 2. Program AES Control na prenosnem računalniku in naprava ABES (foto: M. Sitar).

Figure 2. AES Control program on the laptop and the ABES device (photo: M. Sitar).

150 mm × 10 mm. Lepljenje je potekalo pri sobnih pogojih (temperatura približno 25 °C in relativna zračna vlažnost približno 50 %). Lepilo smo nanašali obojestransko, skupen nanos je znašal 200 g/m² z vmesnimi časi, krajšimi od 2 minut. Čas stiskanja je trajal 16 ur, pri tlaku 12 barov. Po 7 dneh klimatiziranja v standardni atmosferi smo na napravi Zwick Roell Z 005 izvedli 20 testov strižne trdnosti lepljenih preizkušancev.

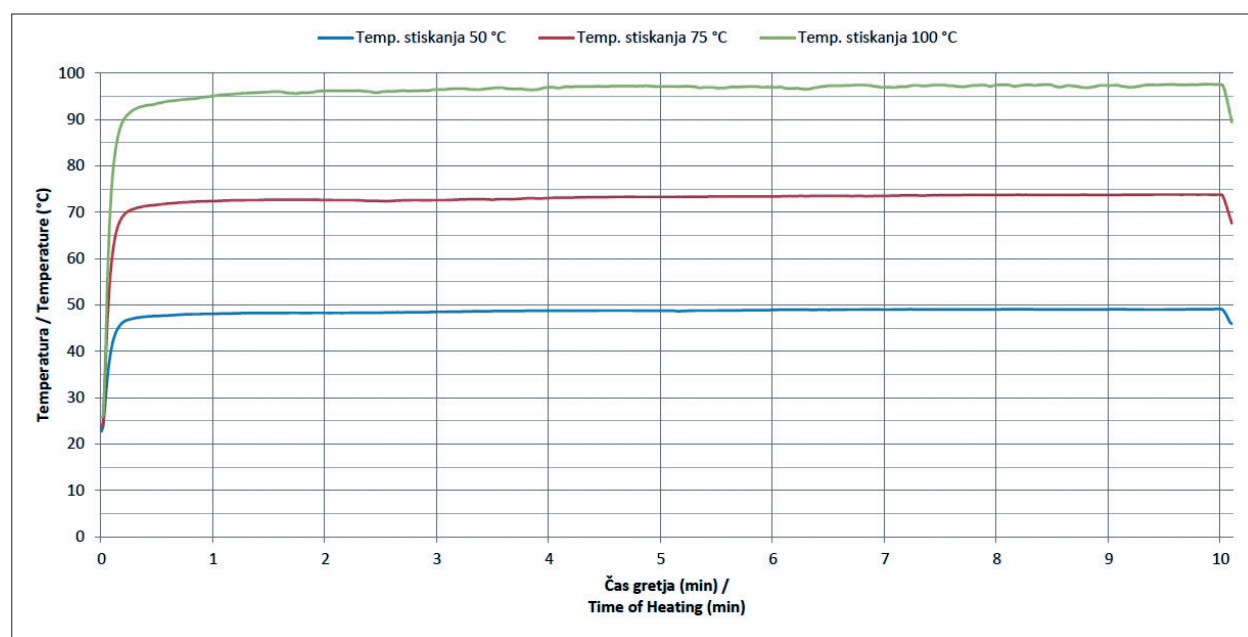
3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3 RESULTS AND DISCUSSION

Ker temperatura pomembno vpliva na utrjevanje lepil, smo na sliki 3 prikazali dejanske temperature v lepilnem spoju. Ugotovili smo, da so te temperature nekoliko nižje od nastavljenih temperatur stiskalnice. Pri temperaturi stiskalnice 50 °C je bila najvišja izmerjena temperatura lepilnega spoja 49 °C, pri temperaturi stiskalnice 75 °C je znašala 73 °C in pri temperaturi stiskalnice 100 °C je bila 97 °C. Višja kot je bila temperatura stiskanja, kasneje je bila dosežena konstantna vrednost temperature v lepilnem spoju. Konstantna vrednost pri temperaturi stiskanja 50 °C je bila dosežena po približno 25 sekundah, pri 75 °C po približno 40 sekundah ter pri 100 °C po dobrih 60 sekundah.

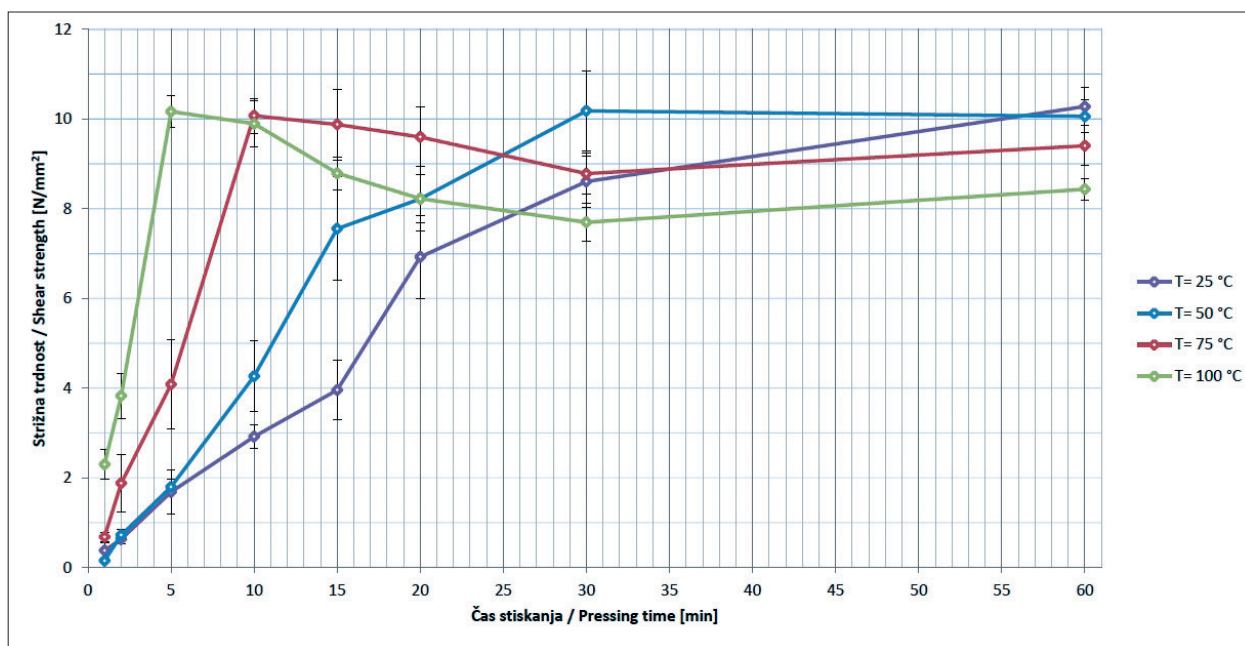
Slika 4 prikazuje štiri krivulje graditve strižne trdnosti lepilnih spojev ribjega kleja, dobljene iz povprečja šestih meritev pri enaki temperaturi in času stiskanja. V prvih 5 minutah strižna trdnost pri vseh štirih proučevanih temperaturah narašča, vendar neenakomerno. Pri temperaturi 100 °C v tem času dosežemo maksimum (približno 10 N/mm²), saj je vrednost po 10 minutah pri tej temperaturi že malenkost nižja, s podaljšanjem časa stiskanja pa se še znižuje. Pri temperaturi 75 °C maksimum dosežemo po 10 minutah, in sicer prav tako okoli 10 N/mm². Po prvih 5 minutah pri temperaturah 25 °C in 50 °C dosegamo zelo podobne vrednosti. Največjo razliko med temperaturama 25 °C in 50 °C opazimo po 15 minutah, ko pri 50 °C beležimo vrednosti med 7 in 8 N/mm², pri 25 °C pa okoli 4 N/mm². S temperaturo 50 °C dosežemo maksimum dvakrat hitreje kot pri 25 °C, saj ga v prvem primeru dosežemo po 30 minutah, v drugem pa po 60 minutah. Vrednost v obeh primerih znaša okoli 10 N/mm².

Pri vseh štirih proučevanih temperaturah strižne trdnosti s časom naraščajo, vse dokler ne dosežejo najvišje vrednosti – okoli 10 N/mm². Z doseženimi 10 N/mm² strižna trdnost začne s podaljševanjem časa stiskanja malenkost upadati (pri 50 °C, 75 °C in 100 °C). Ribji klej je neodporen na višje temperature in začne postopno razpadati.



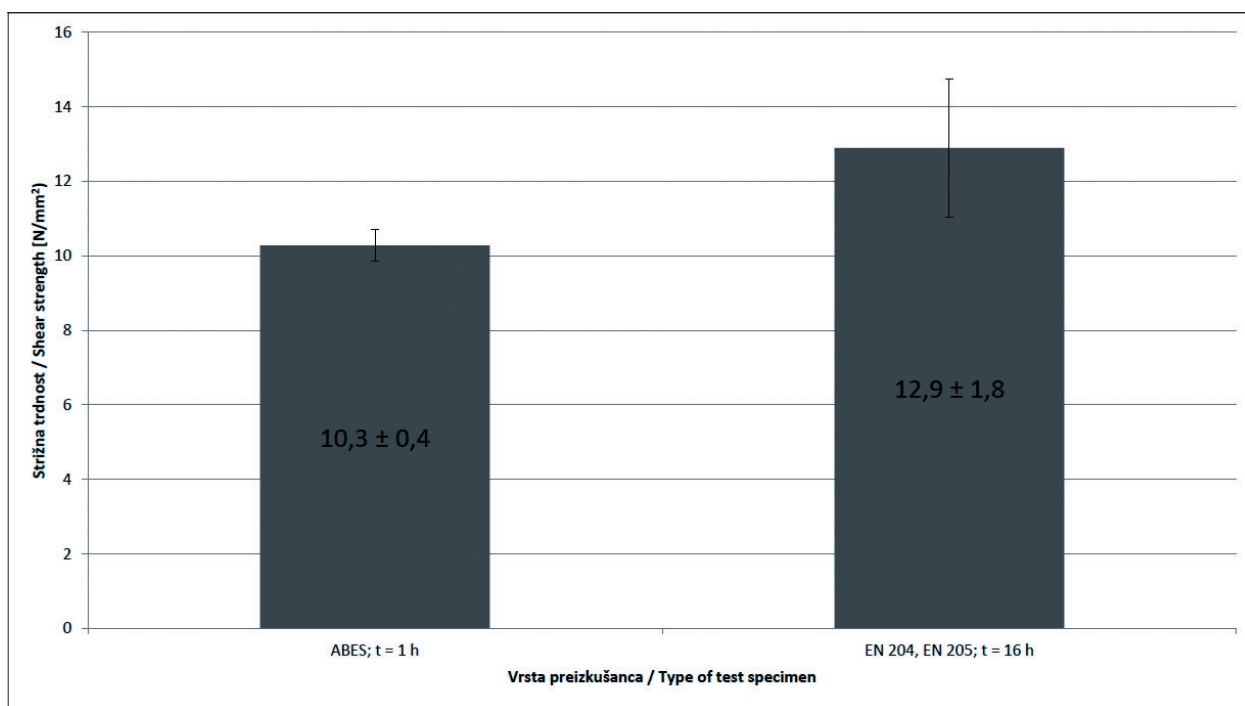
Slika 3. Izmerjene temperature lepilnega spoja za tri različne temperature stiskanja.

Figure 3. Measured temperatures of the adhesive bond for three different pressing temperatures.



Slika 4. Strižna trdnost spoja iz ribjega kleja tipa 63550 v odvisnosti od temperature in časa stiskanja.

Figure 4. Shear strength of the adhesive bond of fish glue type 63550 as a function of temperature and pressing time.



Slika 5. Dosežena strižna trdnost med stiskanjem na napravi ABES po času 1 h (levo) ter strižna trdnost preizkušancev s časom stiskanja 16 h, ugotovljena po standardih EN 204 in EN 205 (desno).

Figure 5. The achieved shear strength during compression on the ABES device after a time of 1 h (left) and shear strength of test specimens compressed for 16 h and tested according to the EN 204 and EN 205 standards (right).

Znano je, da se lepila na osnovi kolagena pripravljajo pri nižjih temperaturah (priporočeno je med 55 °C in 65 °C), saj pri višjih temperaturah zaradi postopne razgradnje vezi v beljakovinah izgubljajo svojo trdnost (Schellmann, 2007). Podobno lahko interpretiramo tudi vrednosti strižnih trdnosti pri temperaturah med 75 °C in 100 °C in času stiskanja od 10 minut dalje (slika 4). Pri temperaturi 100 °C je dosežena strižna trdnost od 10 minut naprej ves čas nižja kot pri 75 °C. Zato je pri lepljenju z ribjim klejem pri povišanih temperaturah zelo pomembno poznavanje kinetike utrjevanja in s tem posledično pravilno določanje parametrov lepljenja.

Na koncu smo strižne trdnosti, dobljene z metodo ABES, primerjali z rezultati, dobljenimi po standardih EN 204 in EN 205 (slika 5). Po teh standardih pri lepljenju dveh masivnih bukovih lamel z ribjim klejem pri 25 °C in času stiskanja 16 ur v povprečju dosežemo približno 2,5 N/mm² večjo strižno trdnost kot pri testiranju na napravi ABES pri času 1 ure in temperaturi stiskanja 25 °C. Povprečna strižna trdnost, ugotovljena po standardni metodi, znaša 12,9 N/mm², kar ribji klej uvršča v razred D1, saj po 7 dneh v standardnih pogojih dosežemo povprečno strižno trdnost, ki je višja od 10 N/mm². Podobne strižne trdnosti ribjega kleja so dobili Bachtar et al. (2017). Omenjena standarda predpisujeta testiranje debelejših preizkušancev (2 mm × 5 mm) in večjo površino spoja (10 mm × 20 mm) za razliko od preizkušancev, testiranih na ABES-u, kar se kaže v drugačni porazdelitvi napetosti pri strižnih testih. Daljši čas stiskanja prav tako rezultira v večji končni trdnosti lepilnega spoja. Razlike v strižni trdnosti, dobljene iz obeh metod, so lahko tudi posledica različne kakovosti površine pri furnirju in masivnem lesu. Ugotovili smo tudi, da imajo izmerjene strižne trdnosti po metodi ABES manjši standardni odklon ($\pm 0,4$) v primerjavi z metodama EN 204 in EN 205 ($\pm 1,8$) (slika 5). Večjo variabilnost rezultatov, pridobljenih s standardnima metodama, pripisujemo predvsem naravi lesa, saj je pri debelejšem lesu vsekakor bolj opazna njegova nehomogenost.

V splošnem smo ugotovili, da metoda ABES omogoča visoko nadzorovane pogoje, visoko natančnost in ponovljivost, zato je vsekakor dobrodošla metoda za ugotavljanje strižne trdnosti lepilnih spojev in definiranje optimalnih parametrov lepljenja lesa v praksi.

4 SKLEPI

4 CONCLUSIONS

Pri lepljenju preizkušancev bukovega furnirja z ribjim klejem smo ugotovili, da je s spremljanjem razvoja strižne trdnosti na napravi ABES mogoče proučevanemu lepilu določiti optimalne parametre lepljenja. Največje strižne trdnosti smo dosegli pri naslednjih temperaturah in časih lepljenja: 5 minut pri 100 °C, 10 minut pri 75 °C, 30 minut pri 50 °C in 60 minut pri 25 °C. Maksimalna strižna trdnost je v omenjenih primerih znašala nekoliko več kot 10 N/mm². Zaradi ekonomskih vidikov se običajno odločamo za krajše čase stiskanja, kar pomeni krajše čase izdelave izdelkov in s tem večjo konkurenčnost na trgu. V kolikor stiskalnica omogoča stiskanje pri visokih temperaturah, je tako glede na dobljene rezultate na napravi ABES najprimernejše lepljenje z ribjim klejem 5 minut pri 100 °C. Ker pa vemo, da pri tej temperaturi s podaljševanjem časa stiskanja strižna trdnost lepila iz ribjega kleja hitro začne padati, se lahko odločimo za varnejšo alternativo in stiskamo 10 minut pri 75 °C. V kolikor pa proizvodnja ne omogoča lepljenja pri višjih temperaturah, bi za dosego 10 N/mm² strižne trdnosti, glede na rezultate na napravi ABES, potrebovali 1 uro stiskanja pri temperaturi 25 °C. Po standardiziranih metodah EN 204 in EN 205 ter parametroh lepljenja, ki jih določa proizvajalec, smo pri lepljenju bukovih lamel z ribjim klejem dosegli povprečno strižno trdnost 12,9 N/mm², kar ga uvršča v D1 trajnostni razred.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

In this study, the shear strength development of fish glue when bonding veneer as a function of pressing time at four different pressing temperatures was determined. Since fish glues typically require long pressing times at room temperature, we were interested in how it would cure at shorter times and higher pressing temperatures.

Shear strength of the adhesive bond was determined using beech (*Fagus sylvatica* L.) veneer with dimensions of 117 mm × 20 mm and a thickness of 0.8 mm. The fish glue used was type 63550 (Kremer Pigmente GmbH & CO. KG, Germany) and it is a highly viscous liquid adhesive designed for immediate use.

The shear strength of the adhesive bond was determined using an Automated Bonding Evaluation System (ABES). Measurements were conducted at a constant pressure of 12 bars, four different temperatures of 25°C, 50°C, 75°C, and 100°C and eight different pressing times of 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 60 minutes. Shear tests were performed immediately after the specified pressing time, without a cooling phase. Each series was repeated six times, with each series representing one selected temperature and eight time intervals.

In the first five minutes, the shear strength at all four studied temperatures increased, although unevenly. At 100°C the maximum shear strength was reached within this time period, while at 75°C the maximum was achieved after 10 minutes. At 50°C the maximum was reached twice as fast as at 25°C, with the former requiring 30 minutes and the latter requiring 60. The maximum shear strength values achieved at all four temperatures were around 10 N/mm². As the pressing time is further extended, the shear strength further decreases. The fish glue is somewhat sensitive to higher temperatures, and likely starts to degrade after prolonged exposure time.

According to standardized methods EN 204 and EN 205, when bonding two solid beech lamellas with fish glue at 25°C and a pressing time of 16 hours (57600 s), an average shear strength of approximately 13 N/mm² was achieved. Differences compared to the results obtained on the ABES device occur because those standards prescribe testing thicker specimens (5 mm) and a larger bonding area (10 mm × 200 mm), unlike the specimens tested on the ABES, which results in a different stress distribution in shear tests. A longer pressing time also leads to a higher strength of the adhesive bond.

It has been demonstrated that the optimal bonding parameters for the fish glue can be determined using the ABES device. Based on the ABES results the recommend bonding conditions of fish glue in real applications would be five minutes at 100°C. However, if the production process does not allow high-temperature bonding, 60 minutes of pressing at 25°C is recommended to achieve similar shear strength values.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskava je nastala v okviru Programskih skupin P4-0430 Gozdno-lesna veriga in podnebne spremembe: prehod v krožno biogospodarstvo, P4-0015 Les in lignocelulozni kompoziti in projekta J4-4546 Proteinska lepila za visoko zmogljive notranje lesene konstrukcije, ki jih financira Javna agencija Republike Slovenije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost (ARIS). Nakup naprave ABES je bil sofinanciran iz ARRS razpisa P17 in projekta WooBAdh (Environmentally-friendly bioadhesives from renewable resources), ki je bil del programa ERA CoBioTech ter Ministrstva Republike Slovenije za izobraževanje, znanost in šport.

LITERATURA

REFERENCES

- Bachtar, E., Clerc, G., Brunner, A., Kaliske, M., & Niemz, P. (2017). Static and dynamic tensile shear test of glued lap wooden joint with four different types of adhesives. *Holzforschung*, 71(5), 391–396.
- Buck, S. L. (1990). A study of the properties of commercial liquid hide glue and traditional hot hide glue in response to changes in relative humidity and temperature. *Wooden artifacts group. Specialty sessions*.
- Coppola, D., Oliviero, M., Vitale, G. A., Lauritano C., D'Ambra, I., Iannace, S., & de Pascale, D. (2020). Marine collagen from alternative and sustainable sources: Extraction, processing and applications. *Marine drugs*, 18(4): 214.
- EN 14257 (2006). Adhesives–Wood adhesives–Determination of tensile strength of lap joints at elevated temperature (WATT '91). 6 str.
- EN 204 (2016). Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications. 8 str.
- EN 205 (2016). Adhesives – Wood adhesives for non-structural applications – Determination of tensile shear strength of lap joints. 12 str.
- Kremer Pigmente (2023). 63550 Fish Glue. URL: <https://www.kremer-pigmente.com/elements/resources/products/files/63550e.pdf> (28.6.2023)
- Lin, K., Zhang, D., Macedo, M. H., Cui, W., Sarmiento, B., & Shen, G. (2019). Advanced collagen-based biomaterials for regenerative biomedicine. *Advanced Functional Materials*, 29(3), 1804943.
- Martins, J., Pereira, J., Coelho, C., Ferra, J., Mena, P., Magalhães, F., & Carvalho, L. (2013). Adhesive bond strength development evaluation using ABES in different lignocellulosic materials. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 47, 105–109.
- Pang, K. W. (2002). Application of fish glue in repairing wood building (in Chinese). *Journal of Taiyuan University of Technology*, 62(3), 214–221.

- Petrie, E. M. (2000). Handbook of adhesives and sealants. New York: McGraw-Hill Education.
- Petukhova, T. (1989). Potential applications of isinglass adhesive for paper conservation.
- Resnik, J. (1989). Lepila in lepljenje lesa. Ljubljana: Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, VTOZD za Lesarstvo, 103 str.
- Román, J. K., & Wilker, J. J. (2019). Cooking chemistry transforms proteins into high-strength adhesives. *Journal of the American Chemical Society*, 141(3), 1359–1365.
- 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*, 1–15.
- Schellmann, N. C. (2007). Animal glues: A review of their key properties relevant to conservation. *Studies in Conservation*, 52(sup1), 55–66.
- Thoemen, H., Irle, M., & Šernek, M. (2010). Wood-based panels. An Introduction for Specialists.
- Xi, X., Pizzi, A., Gerardin, C., Chen, X., & Amirou, S. (2020). Soy protein isolate-based polyamides as wood adhesives. *Wood science and technology*, 54, 89–102.
- Yang, H., Ji, C., Nie, Y., & Yinxing, H. (2012). China's wood furniture manufacturing industry: Industrial cluster and export competitiveness. *Forest Products Journal* 62(3), 214–221.



ANALIZA OKOLJSKIH IN EKONOMSKIH VPLIVOV MINERALIZIRANEGA LESA NA PRIMERU PLEČNIKOVE KLOPCE Z UPORABO LCA IN LCC METODOLOGIJE

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC IMPACTS OF A PLEČNIK BENCH MADE OF MINERALIZED WOOD USING LCA AND LCC METHODOLOGY

Katarina Remic^{1*}, Matej Jošt¹, Matic Sitar^{1,2}

UDK članka: 684.433:502.175

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 20.9.2023

Sprejeto / Accepted: 19.10.2023

Izvleček / Abstract

Izvleček: Les je v krožnem biogospodarstvu prepoznan kot obetavna surovina, saj ima sposobnost skladiščenja ogljika, ki pa je pogojena z življenjsko dobo izdelka. Podaljšanje življenjske dobe lesa lahko dosežemo z ustrezno zaščito, pogosto z uporabo kemikalij, ki so lahko okolju in ljudem nevarne. Mineralizacija lesa s hidroksiapatitom predstavlja potencial za okolju prijazno zaščito lesa. Na primeru Plečnikove parkovne klopce, mineralizirane s hidroksiapatitom, sta bili izvedeni LCA in LCC analizi. Analiza LCA je temeljila na standardih EN ISO 14040 in EN ISO 14044, analiza LCC je bila prilagojena po vmesniku Evropske komisije za javna naročila. Pri primerjavi mineraliziranega lesa z življenjsko dobo 16 oz. 24 let z referenčnim (nemineraliziranim) lesom so rezultati pokazali, da je mineraliziran les z življenjsko dobo 24 let okolju najprijaznejša in hkrati najcenejša izbira. Največje negativne vplive na okolje je predstavljal mineraliziran les z življenjsko dobo 16 let, najdražja alternativa je bil referenčni les.

Ključne besede: analiza življenjskega cikla, hidroksiapatit, LCA, mineraliziran les, vplivi na okolje

Abstract: Wood is considered a promising raw material for the circular bioeconomy and has the ability to store biogenic carbon, and this is one reason why we want to extend the service life of wood. Toxic chemicals are often used for wood preservation, but hydroxyapatite seems to be an environmentally friendly solution for wood mineralization. LCA and LCC analyses were performed on a case study of a Plečnik bench, comparing mineralized wood with a service life of 16 and 24 years to a non-mineralized reference variant. LCA was based on EN ISO 14040 and EN ISO 14044, while LCC was adapted from the European Commission's LCC tool for public procurement. When comparing the results, mineralized wood with a service life of 24 years proved to be the most environmentally friendly and cost-effective option. The mineralized wood with a service life of 16 years had the greatest negative environmental impact, while the most expensive option was the reference wood.

Keywords: life cycle assessment, hydroxyapatite, LCA, mineralized wood, environmental impacts

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Onesnaževanje okolja in čezmerno izkoriščanje naravnih virov še nikoli ni bilo tako intenzivno kot v zadnjih desetletjih. Posledično se družba spopada s socialnimi in podnebnimi krizami različnih razsežnosti (Implementacija ciljev trajnostnega razvoja, 2020). Kot obetavna surovina za premagovanje težav, s katerimi se sooča človeštvo, je bil, tudi v okviru ciljev trajnostnega razvoja, prepoznan les.

Lignocelulozni materiali predstavljajo potencial za trajnostno naravnano industrijo z dodano vrednostjo, omogočajo zmanjševanje globalne odvisnosti od fosilnih goriv in so cenjeni zaradi svoje sposobnosti skladiščenja ogljika (Kraigher et al., 2023). Ravno zaradi ogljika, vezanega v les, želimo lesu podaljšati življenjsko dobo in omogočiti čim več funkcij uporabe pred funkcijo pridobivanja energije-sežigom. Kljub cilju vzpostavitve krožno naravnane lesne industrije in promociji kaskadne rabe lesa je

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

² Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

* e-mail: katarina.remic@bf.uni-lj.si

treba upoštevati, da je življenjska doba lesa pogojena tudi z naravno odpornostjo lesa (Humar et al., 2020) in scenariji ponovne uporabe lesa za različne funkcije mnogokrat niso mogoči.

Pri uporabi lesa na prostem lahko do neke mere lesu podaljšamo življenjsko dobo z uporabo konstrukcijskih rešitev, ki les varujejo pred vremenskimi vplivi. Običajno moramo uporabiti tudi modifikacijo lesa in/ali zaščito z biocidnimi sredstvi (Humar et al., 2020). Procesji zaščite lesa so lahko energetsko intenzivni in velikokrat vključujejo okolju in človeku nevarne kemikalije (Archer et al., 2006). Vplive na okolje, ki jih kratkoročno in dolgoročno povzročajo posamezni procesji zaščite, je zato smiselno preverjati in po potrebi regulirati. Kot učinkovita metoda za ugotavljanje okoljskega odnosa se je izkazala analiza življenjskega cikla (LCA), ki omogoča preučitev raznovrstnih vplivov na okolje v celotnem življenjskem ciklu in predstavlja celosten vpogled v prednosti in pomanjkljivosti procesov in izdelkov (Sinkko et al., 2023). Dias et al. (2022) so z uporabo LCA analizirali kombinacije površinske obdelave (insekticid + fungicid) in/ali vakuumске impregnacije (biocid na vodni osnovi) na kriptomeriji, smreki, boru in evkaliptusu. Kot pomemben dejavnik pri končnih rezultatih se je izkazala naravna odpornost lesa. Kategorije vplivov, ki so najbolj izstopale v rezultatih analize, so bile ekotoksičnost sladkih voda in rakotvorni vplivi na človekovo zdravje. Ugotovljeno je bilo tudi, da se okoljska učinkovitost v primerih uporabe površinskih premazov bistveno izboljšuje z zmanjševanjem frekvence obnavljanja premaza. Raziskave (Hill et al., 2021; Kuka et al., 2022; Candelier & Dibdiakova, 2021; Buryova & Sedlak, 2021) so z uporabo LCA preučevale vplive termične modifikacije lesa na okolje. Obravnavana je bila termična modifikacija kot samostojna vrsta zaščite lesa ali kot kombinacija s površinskimi premazi oz. sredstvi za impregnacijo (npr. bakrovimi pripravki). Modificiran les se je znotraj življenjskega cikla še posebej pozitivno izkazal v fazi uporabe (30 let). Faza impregnacije in/ali površinske obdelave z ostalimi sredstvi se je izkazala kot kritična v kategorijah ekotoksičnosti sladkih voda in toksičnih vplivih na človekovo zdravje (rakotvorni in nerakotvorni vplivi). Pri proučevanju vplivov lesene terase, impregnirane z bakrovim pripravkom (Bolin & Smith, 2011), je bilo ugotovljeno, da količina vplivov celotnega življenjskega cikla terase z večdesetletno

življenjsko dobo predstavlja zanemarljivo količino vplivov v primerjavi z vplivi gospodinjstva, ustvarjenimi zgolj v enem letu. V svojih raziskavah so Bolin in Smith (2011) ter Hu et al. (2023) z uporabo LCA ugotavljali tudi vplive na okolje pri zaščiti lesa z borovim pripravkom. Ugotovljeni so bili reprezentativno majhni vplivi na okolje, predvsem v kombinaciji bora s tanini, ki predstavljajo naravno zaščito lesa. Montazeri in Eckelman (2018) sta analizirala vplive na okolje različnih površinskih premazov na naravni osnovi oz. premazov, katerih večinski delež sestave ne predstavljajo sintetične spojine. Pomembna ugotovitev je bila, da delež naravnih komponent ne predstavlja nujno okolju bolj prijazne rešitve, ko upoštevamo celotni življenjski cikel.

Ker je v industriji velikokrat odločujoč dejavnik izbora cena izdelka oz. storitve, je kot podpora analizi LCA smiselna in pogosto uporabljena tudi analiza stroškov življenjskega cikla (LCC), ki upošteva vse stroške med celotnim življenjskim ciklom izdelka (stroški investicije, stroški vzdrževanja, stroški delovanja, stroški amortizacije itd.) (Sesana & Salvalai, 2013). Za doseganje optimalnih okoljskih in socialnih rezultatov je ključnega pomena, da se analize življenjskih ciklov združujejo in izdelek oz. storitev obravnavajo iz najrazličnejših zornih kotov. V tej raziskavi sta bili izvedeni poenostavljena analiza LCA in analiza LCC za les, mineraliziran s hidroksiapatitom (HAp). Ker je bila analiza LCA za sintezo hidroksiapatita že izvedena (Turk et al., 2017) in nakuže obetavno, okolju prijazno rešitev zaščite lesa, smo v raziskavi želeli raziskati okoljsko in ekonomsko učinkovitost uporabe mineraliziranega lesa na praktičnem primeru – v sistemu parkovne klopce.

2 MATERIAL IN METODE

2 MATERIALS AND METHODS

LCA analiza je bila izvedena v skladu s standardoma EN ISO 14040:2006 in EN ISO 14044:2006 ter priročnikom ILCD Handbook.

2.1 OPREDELITEV CILJEV IN OBSEGA

2.1 GOAL AND SCOPE DEFINITION

Namen analize LCA je oceniti vplive mineraliziranega bukovega lesa na okolje in jih primerjati z nemineralizirano različico. Analiza je bila izvedena na primeru sedišča in naslona Plečnikove klopc. Analizirana je bila zgolj faza uporabe znotraj ži-

vljenjskega cikla, ne pa tudi pridobivanje surovin, reciklaža, itd. Obe alternativni sta premazani z enim slojem 5 % raztopine montanskega voska. Mineralizirana bukovina je impregnirana s hidroksiapatitom (HAp). Določena funkcionalna enota izdelka je funkcija sedenja (zunanja uporaba) za 30 let. Upoštevali smo, da sedišče in naslon nista pod nobenimi pogoji izpostavljena stiku s tlemi. Glede na raziskave in poročila o življenjski dobi bukovine na prostem (Humar et al., 2015) je bila ocenjena življenjska doba bukovine, premazane z montanskim voskom, 8 let. Za mineraliziran les, premazan z montanskim voskom, je bila ocenjena življenjska doba 16 oziroma 24 let. Referenca je podana glede na potrebno vstopno količino lesa za sedišče in naslon. Glede na izkoristek lesa pri predelavi je treba v obravnavani sistem vnesti 0,22 m³ bukovine B kakovostnega razreda.

V analizi uporabljeni podatki so sekundarne narave in pridobljeni iz podatkovne baze Ecoinvent 3.9.1 ter obdelani s programsko opremo SimaPro 9.5.0.1. Omejitve sistema zajemajo (1) transport surovin do predelovalnega obrata; (2) obdelavo lesa; (3) impregnacijo in/ali površinsko obdelavo; (4) transport do montažne lokacije klopi; (5) vzdrževanje; (6) transport po končani življenjski dobi. Procesi so geografsko omejeni na področje Ljubljane, kar v nekaterih procesih, ki so vključeni v analizo, ključno vpliva na rezultate.

Vplivi analize življenjskega cikla (LCIA) so bili preračunani in ovrednoteni na podlagi metodologije ReCiPe 2016, ki emisije uvršča v Midpoint (H) kategorije ter jih nato združuje v kategorije Endpoint

(H), ki predstavljajo glavne indikatorje za ohranitev zdravja ljudi in ekosistemov. Midpoint kategorije vključujejo emisije drobnih delcev, radioaktivnost, tanjšanje stratosferske ozonske plasti, rakotvorne toksične vplive na človekovo zdravje, nerakotvorne toksične vplive na človekovo zdravje, segrevanje ozračja, rabo vode, ekotoksičnost sladkih voda, evtrofikacijo sladkih voda, evtrofikacijo morskih voda, ekotoksičnost zemlje, zakisovanje tal, rabo tal, ekotoksičnost morskih voda, izrabo mineralov in kovin, izrabo fosilnih goriv, troposferski ozon (vplivi na človeško zdravje) in troposferski ozon (vplivi na kopenske ekosisteme). Endpoint kategorije združujejo Midpoint kategorije v škodo, povzročeno človeškemu zdravju, škodo, povzročeno ekosistemom in okrnjenost surovin. Z normalizacijo rezultatov so bili le-ti preračunani na pomembnost negativnih vplivov posamezne kategorije za povprečnega prebivalca.

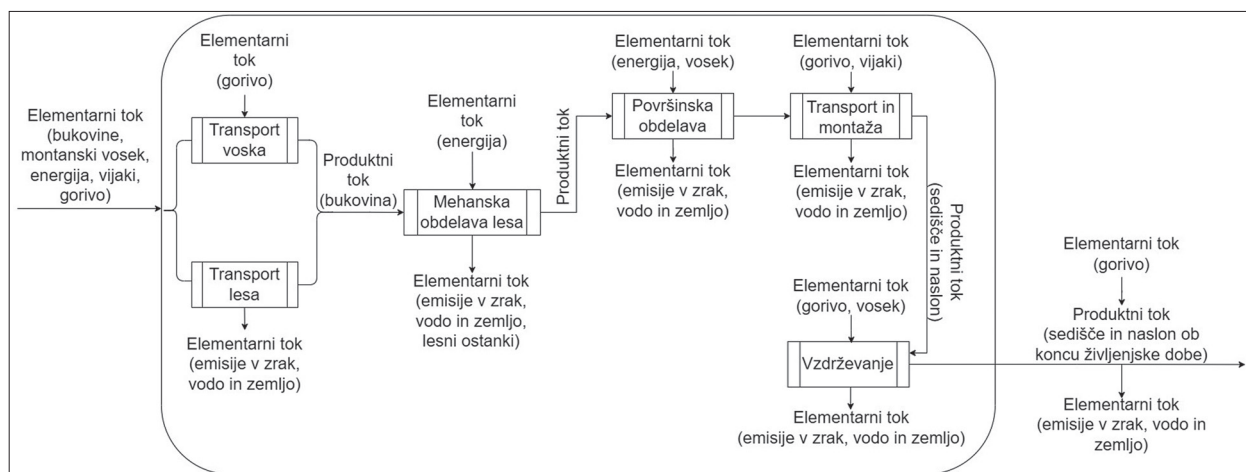
2.2 FAZA ANALIZE INVENTARJA (LCI)

2.2 LIFE CYCLE INVENTORY (LCI)

Omejitve sistema so tako za referenčni les, ki je premazan le z montanskim voskom (NATUR), kot tudi za mineralizirane alternative lesa, premazane z montanskim voskom (HAp16 in HAp24), prikazane v obliki diagrama na slikah 1 in 2.

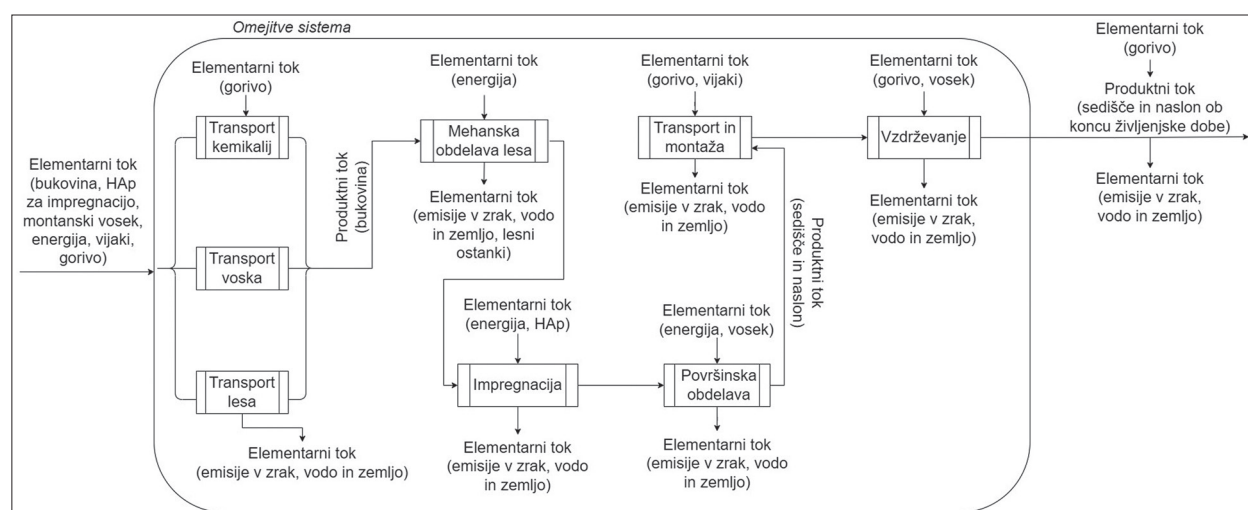
Analiza LCA zajema:

(1) Transport žaganega in skobljanega lesa od lokalne žage do proizvodnega obrata za izdelavo naslona in sedišča Plečnikove parkovne klopce (slika 3). Za izdelavo sedišča so bile v sistem vnesene tri letve dimenzij 10 cm × 12 cm × 4 m, za naslon



Slika 1. Diagram procesov za les 'NATUR'.

Figure 1. Process flow diagram for the variant 'NATUR'.



Slika 2. Diagram procesov za alternativni 'Hap16' in 'Hap24'.

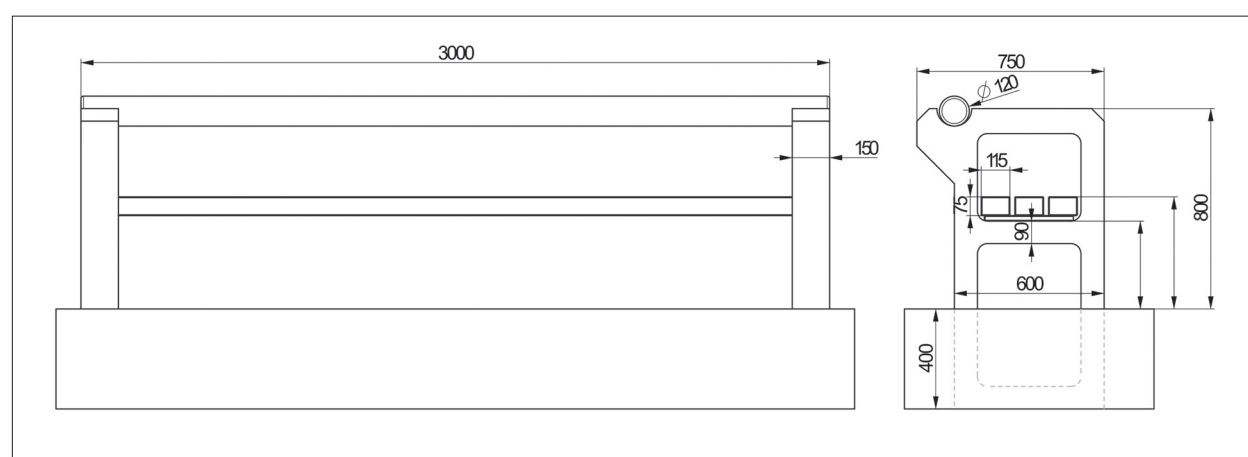
Figure 2. Process flow diagram for the variants 'Hap16' and 'Hap24'.

pa ena letev dimenzij 14 cm × 14 cm × 4 m. Les je bil predvidoma dobavljen s tovornim vozilom, zato smo iz podatkovne baze izbrali transport s tovornim vozilom EURO6 z največjo dovoljeno maso 7,5–16 ton. Dobavljen žagan les je bil sušen na 20 % ravnovesne vlažnosti. V podatkovni bazi smo izbrali rezan les listavcev ustrezne ravnovesne vlažnosti. V podatkovni bazi Ecoinvent je, glede na ravnovesno vlažnost lesa, energija, porabljena za sušenje v komercialni sušilni komori, že upoštevana. Za izbrano ravnovesno vlažnost lesa smo upoštevali gostoto bukovine 710 kg/m³ (Čufar et al., 2017);

(2) Transport kemikalij in voska od trgovine/distributerja do predelovalnega obrata. Dobava je bila izvedena z lahkim komercialnim vozilom;

(3) Mehansko obdelavo lesa, ki je zajemala rezanje in štiristransko poravnavo sedišča ter rezanje in struženje naslona. Za obdelavo sedišča in naslona je bil iz podatkovne baze poenostavljeno izbran proces štiristranske poravnave, ki predstavlja približek porabe energije za vse ostale procese;

(4) Impregnacijo v visokotlačni komori s HAp. Za preračune znotraj te faze je bil iz podatkovne baze uporabljen proces impregnacije lesa, ki vklju-



Slika 3. Tehnični načrt Plečnikove parkovne klopce (prirejeno po javnem razpisu Javnega holdinga Ljubljana za parkovno klop tip Plečnik).

Figure 3. Technical drawing of a Plečnik park bench (adapted from the public tender for a Plečnik-type park bench for the Javni holding Ljubljana).

čuje vse povprečne komercialne parametre in emisije;

(5) Nanos montanskega voska. Iz podatkovne baze je bil uporabljen proces nanosa površinskih sredstev s potapljanjem. Pri procesu potapljanja je vhodni parameter masa lesa, ker pa se po impregnaciji masa poveča za 20 %, smo nanos voska obravnavali ločeno za mineraliziran les in ločeno za referenčni les. Različno smo obravnavali tudi vse nadaljnje operacije, kjer masa vpliva na rezultate. Maso nanosenega voska smo v izračunih zanemarili;

(6) Transport do montažne lokacije in montažo z vijaki. Ker v podatkovni bazi ni parametra za vijake, smo uporabili poenostavljeno alternativo in v sistem vnesli zgolj parameter materiala (jeklo s pripadajočo maso za 12 vijakov M8, dolžine 100 mm);

(7) Vzdrževanje. Za referenčni les (NATUR) je bilo vzdrževanje predvideno enkrat v življenjski dobi, za les HAp16 je bilo vzdrževanje predvide-

no dvakrat v življenjski dobi, za HAp24 pa trikrat. Vzdrževanje zajema transport voska do montažne lokacije in porabo montanskega voska. Predpostavili smo, da se vosek pri vzdrževanju nanaša ročno s premazovanjem;

(8) Transport po končani življenjski dobi.

Podatkovna baza nima vnesenega parametra za HAp, zato je bil v naš sistem ročno vnesen material »HAp«, ki je bil poenostavljeno opisan kot skup (približek) materialov in procesov, definiranih v podatkovni bazi (kalcijev karbonat, etanojska kislina, voda, diamonijev fosfat in transport z lahkim komercialnim vozilom). Na enak način je bil opisan montanski vosek (voda, lignit in transport z lahkim komercialnim vozilom). Porabe energije delavcev in ostalih vhodnih parametrov, vezanih na delavce (transport do predelovalnega obrata, malica, itd.), v analizi nismo upoštevali. Za doseganje naše funkcionalne enote (30 let) moramo v sistem vnesti večkratne vrednosti emisij posameznih vrst lese-

Preglednica 1. Vrednosti vhodnih parametrov.

Table 1. Values of the input parameters.

Procesi in materiali / Processes and materials	Vrednost / Value	Vhodni parameter / Input parameter
Transport lesa / Wood transportation	20 km	3,16 tkm
Transport HAp / HAp transportation	13 km	0,21 tkm
Transport montanskega voska / Montan wax transportation	5 km	0,005 tkm
Žagan les, bukovina / Sawn wood, beech	-	0,22 m ³
Izdelava sedišča / Seating manufacturing	-	102,2 kg
Izdelava naslona / Backrest manufacturing	-	55,7 kg
HAp / Hap	-	16,33 kg
Impregnacija / Impregnation	-	81,65 kg
Montanski vosek (1x nanos) / Montan wax (1 coat)	4,63 m ² ; 200 g/m ²	0,93 kg
Nanos voska HAp / Application of montan wax to HAp treated wood	-	97,98 kg
Nanos voska NATUR / Application of montan wax	-	81,65 kg
Transport do montažne lokacije HAp / Transportation to the assembly site	5 km	0,49 tkm
Transport do montažne lokacije NATUR / Transportation to the assembly site for NATUR wood	5 km	0,41 tkm
Vijaki / Screws	12 kom	0,43 kg
Obnova voska / Recoating	4,63 m ² ; 200 g/m ²	0,93 kg
Transport po končani življenjski dobi HAp / Transportation at the end of service life for HAp wood	5 km	0,49 tkm
Transport po končani življenjski dobi NATUR / Transportation at the end of service life for NATUR wood	5 km	0,41 tkm

ne klopce glede na predvidene življenjske dobe. Obravnavani življenjski cikel se za les NATUR ponovi 3,75-krat, za HAp16 1,875-krat, za HAp24 pa 1,25-krat.

V preglednici 1 so predstavljeni kvantificirani vhodni parametri, ki so bili vneseni v izbrane procese znotraj obravnavanega sistema. Parametri so kvantificirani z maso oz. kot tonski kilometer, ki predstavlja prevoz 1 tone surovin na relaciji 1 km.

2.3 STROŠKOVNA OPREDELITEV

2.3 CHARACTERIZATION OF COSTS

Analiza stroškov življenjskega cikla (LCC) je bila izvedena na podlagi adaptacije vmesnika European Commission LCC tool (2019) za izračune specifičnih artiklov, ki so predmet javnih naročil, npr. računalnikov in monitorjev. Izračun zajema nabavne stroške, stroške vzdrževanja, stroške storitev, ostale stroške in stroške eksternalij. Stroški, vključeni v obravnavano LCC analizo, so prikazani v preglednici 2. Vsi stroški so prilagojeni stanju na trgu za leto 2023.

Za sušen žagan les je bila predvidena cena 400 €/m³ (Slovenski državni gozdovi, 2023; Tesarstvo Rutnik). Pri vseh storitvah transporta je bila upoštevana cena 1,5 €/km. Cena mehanske obdelave lesa zajema razrez lesa (4,2 €/m²), ploskovno poravnavo, formatiranje in brušenje sedišča (10,8 €/m²) ter struženje naslona (12 €/kos). Pri določitvi cene montaže je bilo upoštevano število privijačenih lesnih vijakov (0,5 €/kos). Na enak način je bila določena tudi cena demontaže – število izviženih vijakov (0,5 €/kos) (OZS, 2013). Upoštevana cena montanskega voska je bila 26,96 €/kg (Silva-produkt). Upoštevana cena vijakov je bila 0,7 €/kos (Vijaki.net). Predvidena cena impregnacije lesa s hidroksiapatitom je bila 1600 €/m³. Nabavne stroške predstavljajo stroški nabave lesa, vijakov, montanskega voska ter HAp. V LCC izračunu je bil strošek materiala HAp prištet k procesu impregnacije in obravnavan kot strošek storitve. Stroški vzdrževanja vključujejo dodatni montanski vosek, nanos voska ter transport do montažne lokacije. Impregnaci-

Preglednica 2. Cenovno ovrednoteni vhodni parametri glede na življenjsko dobo izdelka (ene klopi).

Table 2. Defined costs of input parameters based on the life of the product (one bench).

	NATUR [€]	HAp16 [€]	HAp24 [€]
Transport lesa / Wood transportation	30,00	30,00	30,00
Les / Wood	88,00	88,00	88,00
Transport HAp / HAp transportation	-	19,50	19,50
Impregnacija s HAp / Impregnation with HAp	-	184,00	184,00
Transport montanskega voska / Montan wax transportation	7,50	7,50	7,50
Montanski vosek / Montan wax	25,07	25,07	25,07
Površinska obdelava / Surface treatment	111,12	111,12	111,12
Mehanska obdelava lesa / Wood machining	35,95	35,95	35,95
Transport do montažne lokacije / Transportation to the assembly site	7,50	7,50	7,50
Vijaki / Screws	8,40	8,40	8,40
Montaža / Assembly process	6,00	6,00	6,00
Vzdrževanje / Maintenance	56,57	113,14	169,71
Demontaža / Dismantling	6,00	6,00	6,00
Transport po koncu življenjskega cikla / Transportation at the end of service life	7,50	7,50	7,50

ja, površinska obdelava, mehanska obdelava lesa, montaža in demontaža predstavljajo stroške storitev. Ostali stroški so vezani na Transporte materialov ter transport izdelka do montažne lokacije oz. transport po koncu življenjske dobe. V LCC izračunu so upoštevani še stroški eksternalij. V našem sistemu eksternalije predstavljajo socialne stroške onesnaževanja, ki so bili izračunani za področje Evrope (EU28) s programsko opremo SimaPro in metodologijo Environmental Prices.

3 REZULTATI

3 RESULTS

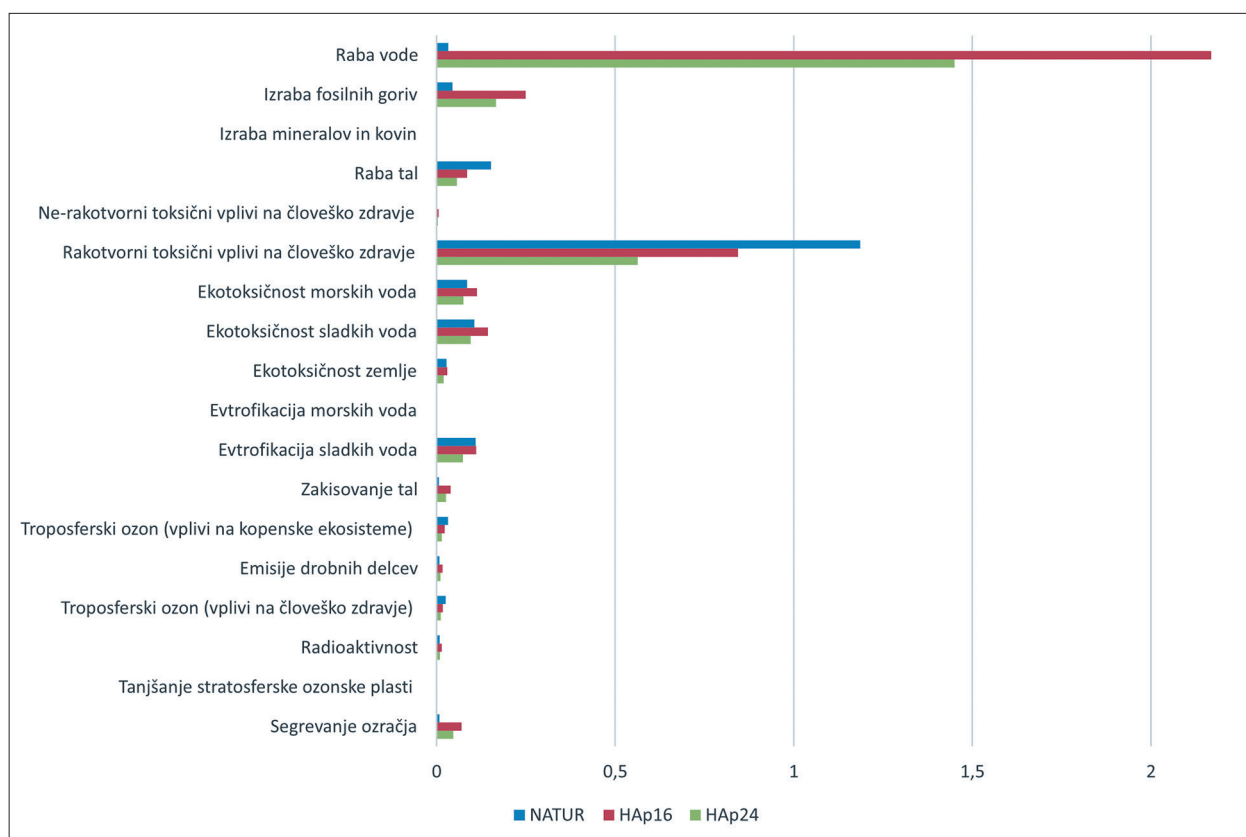
3.1 REZULTATI ANALIZE LCA (LCIA)

3.1 THE RESULTS OF LCA ANALYSIS (LCIA)

Vplivi kategorij Midpoint so večinoma najvišji za les HAp16, z izjemo rabe tal, tanjšanja stratosferske ozonske plasti, fotokemičnega smoga, eutrofikacije morskih voda in rakotvornih toksičnih vplivov na človekovo zdravje, kjer najvišje vplive dosega

les NATUR. Le-ta posebno nizke vrednosti vplivov dosega za klimatsko segrevanje, zakisovanje zemlje ter izrabo vode, mineralnih in fosilnih virov. Po normalizaciji rezultatov na globalno povprečnega prebivalca (slika 4), ki omogoča primerjavo kategorij s sicer različnimi enotami, je kot kategorija z najbolj problematičnimi vplivi izpostavljena kategorija rabe vode. Izpostavljeni so tudi rakotvorni toksični vplivi na človekovo zdravje. Največji vpliv na rabo vode ima proces impregnacije, na rakotvorne toksične vplive pa procesi mehanske obdelave lesa in uporaba jekla (vijakov) v sistemu.

Pri analizi Endpoint kategorij vplivov na okolje lahko ponovno vidimo, da so vplivi na okolje največji za HAp16. Močno negativno na kategorijo ekosistema vpliva tudi les NATUR. Pri normalizaciji Endpoint kategorij vplivov se kot daleč najbolj kritična kaže kategorija vplivov na človekovo zdravje (slika 5). Največ negativnih vplivov za človekovo zdravje nastane kot posledica procesa impregnacije.



Slika 4. Vplivi Midpoint kategorij po normalizaciji pri primerjavi alternativ 'NATUR', 'Hap16' in 'Hap24'.

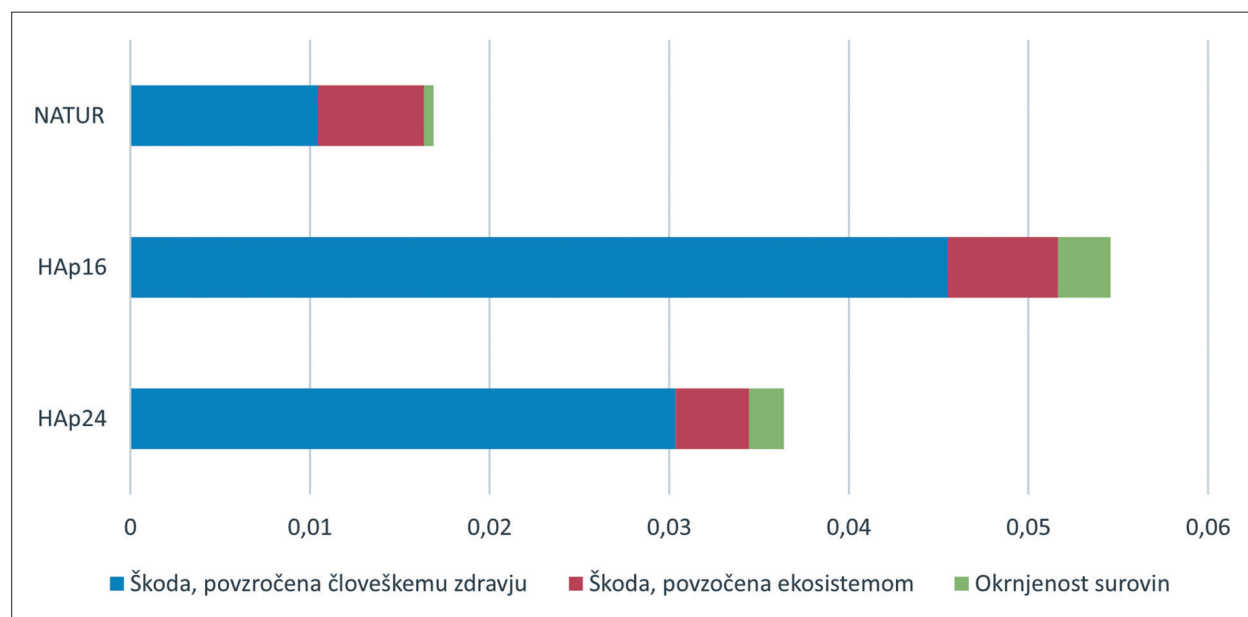
Figure 4. Impacts of midpoint categories after normalization when comparing variants 'NATUR', 'Hap16' and 'Hap24'.

3.2 REZULTATI LCC ANALIZE

3.2 THE RESULTS OF LCC ANALYSIS

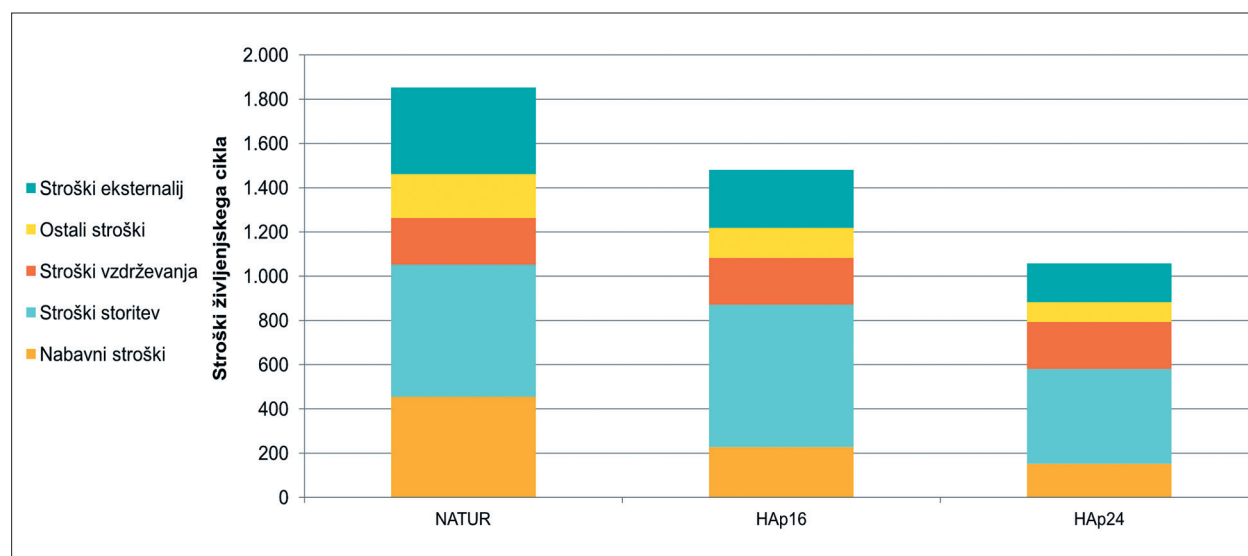
Na sliki 6 so prikazani rezultati LCC analize za obravnavano funkcionalno enoto (30 let funkcije sedenja). Stroški življenjskega cikla sedišča in naslona Plečnikove klopce so najnižji za mineraliziran les z življenjsko dobo 24 let, najvišji pa za referenčni les

NATUR. Skupni okoljski stroški (stroški eksternalij) so bili za les NATUR 391,63 €, za HAp16 262,11 € in za HAp24 174,75 €. Brez upoštevanja stroškov zaradi onesnaževanja okolja stroški lesa NATUR znašajo 1461,04 €, stroški lesa HAp16 znašajo 1218,15 €, stroški za HAp24 znašajo 882,81 €. Stroški eksternalij v največji meri predstavljajo stroški zaradi iz-



Slika 5. Vplivi Endpoint kategorij po normalizaciji pri primerjavi alternativ 'NATUR', 'Hap16' in 'Hap24'.

Figure 5. Impacts of endpoint categories after normalization when comparing variants 'NATUR', 'Hap16' and 'Hap24'.



Slika 6. Grafični prikaz rezultatov stroškovne analize življenjskega cikla sedišča in naslona Plečnikove klopce.

Figure 6. Graphical representation of the results of the life cycle cost analysis of the Plečnik bench (seat and backrest).

rabe kmetijskih površin (NATUR 361,67 €; HAp16 185,14 €; HAp24 123,43 €). Nezanemarljiv del stroškov vplivov na okolje predstavljajo tudi formacija drobnih delcev (NATUR 11,04 €; HAp16 17,69 €; HAp24 11,79 €), klimatske spremembe (NATUR 3,62 €; HAp16 31,68 €; HAp24 21,12 €), zakisovanje zemlje (NATUR 2,81 €; HAp16 13,74 €; HAp24 9,16 €) ter izraba urbanih površin (NATUR 8,38 €; HAp16 8,82 €; HAp24 5,88 €).

4 RAZPRAVA

4 DISCUSSION

Primerjali smo vplive na okolje treh alternativ sedišča in naslona Plečnikove parkovne klopce. Pri lesu NATUR izstopajo negativni vplivi na rabo tal, kar je posledica večje porabe lesa, ki se kaže tudi v večjih potrebah po sečnji dreves. Pri alternativah HAp16 in HAp24 izstopa raba vode, ki je posledica procesa impregnacije. Vplivi še posebej izstopajo pri HAp16, kjer je bila frekvenca ponavljanja procesa impregnacije znotraj naše funkcionalne enote večja kot pri HAp24. Proces impregnacije, skupaj z jeklom (vijaki), izstopa tudi pri rakotvornih toksičnih vplivih na človekovo zdravje. Znano je, da so sekundarni materiali in procesi, ki vsebujejo kemikalije, pogosto najbolj problematičen element v analizah LCA, ki obravnavajo lesne sisteme. Vendar so vrednosti vseh vplivov znotraj našega sistema zelo majhne, nekatere, npr. eutrofikacija in troposferski ozon, skoraj zanemarljive, in ne predstavljajo tveganja. Ker je celoten sistem okolju prijazen in ne vsebuje specifično problematičnih elementov (npr. rakotvornih kemikalij za zaščito lesa, čezoceanskih transportov itd.), procesi, kot je impregnacija, ki so intenzivnejši v porabi energije in surovin, predstavljajo ključni delež vplivov in se kažejo kot okoljsko problematični, čeprav so vrednosti emisij zelo majhne (< 0,01 na enoto emisije). Pri večini kategorij se kažejo tudi vplivi mehanske obdelave lesa. Pri teh procesih glavni del vplivov predstavlja porabljena energija. V naših izračunih je bilo uporabljeno energijsko povprečje Evrope (Podatkovna baza Ecoinvent 3.9.1), kar pomeni, da so bili upoštevani različni deleži trajnostnih (45 %) in netrajnostnih (55 %) virov energije. Vrsta uporabljene energije lahko bistveno vpliva na rezultate, zato bi lahko le-ti odstopali v primeru uporabe izključno trajnostne energije oziroma v primeru upora-

be energije, pridobljene izključno iz fosilnih goriv. Pri analizi Endpoint kategorij, kjer na videz močno prevladujejo negativni vplivi na človekovo zdravje, moramo ponovno upoštevati zelo majhne dejanske vrednosti vplivov ter sistem vrednotenja Endpoint kategorij, ki pri normalizaciji bistveno večjo težo polaga na škodo, povzročeno človeškemu zdravju (40 %) in škodo, povzročeno ekosistemom (40 %), kot na okrnjenost surovin (20 %). V obravnavanem sistemu je bil za HAp in montanski vosek uporabljen poenostavljen nabor kemikalij, ki se ni izkazal kot problematičen oziroma tvegan. Za točnejšo analizo vplivov HAp in montanskega voska bi morali v sistem vnesti primarno pridobljene vhodne parametre, upoštevajoč vse morebitne emisije v zrak, vodo in zemljo.

Pri primerjavi stroškov različnih sedišč in naslonov je LCC analiza potrdila superiornost lesa HAp24, pri čemer se je referenčni les NATUR izkazal kot najdražja alternativa (z upoštevanjem in brez upoštevanja stroškov eksternalij). Večje razlike v stroških so se pojavile v nabavnih stroških. Večja količina lesa in vijakov znotraj funkcionalne enote je predstavljala pomemben dejavnik za večjo ceno referenčnega lesa. Podobno so na skupne stroške vplivali ostali stroški, ki zajemajo transport. Pri stroških, ki so znotraj sistema vezani na frekvenco ponovitev (nakup lesa, transport lesa ...), je pomembno upoštevati, da lahko delež teh stroškov znotraj skupnih stroškov bistveno niha glede na spreminjanje cen na trgu. Stroški storitev (predvsem impregnacije) predstavljajo največji delež skupnih stroškov, zato je ključno, da ima impregniran, površinsko obdelan les bistveno daljšo življenjsko dobo od netretiranih alternativ. Stroški eksternalij so v našem sistemu v večini zastopani s količino porabljenega lesa. Posledično so le-ti najvišji za referenčni les.

5 ZAKLJUČKI

5 CONCLUSIONS

Pri analizi vplivov na okolje znotraj faze uporabe ter analizi stroškov življenjskega cikla za tri alternativne variante sedišč in naslonov Plečnikove parkovne klopce so se vse variante izkazale kot okolju prijazne, brez kritičnih vplivov na okolje. Referenčni les sedišča in naslona iz bukovine, premazane z montanskim voskom, ima življenjsko dobo 8 let in se je izkazal za najdražjo alternativo. Pri analiziranju

mineralizirane bukovine, premazane z montanskim voskom, se je življenjska doba izkazala za ključen dejavnik. V splošnem se je izkazalo, da je mineraliziran les okolju prijazen rešitev, saj brez uporabe toksičnih sredstev lesu podaljša življenjsko dobo, posledično se ohranja gozdnatost, zmanjšan je tudi negativen vpliv na biotsko raznovrstnost. Ker je proces impregnacije intenzivnejši od ostalih procesov v obravnavanem sistemu, je varianta sedišča in naslona z življenjsko dobo 16 let predstavljala okolju najslabšo alternativo. Obe analizi, LCA in LCC, sta kot okolju najprijaznejšo in najcenejšo varianto izpostavili sedišče in naslon iz mineraliziranega lesa z življenjsko dobo 24 let. Analiza je potrdila, da je pri izdelkih, ki jim podaljšujemo življenjsko dobo, ključno, da pazimo na mejo med doseženo življenjsko dobo in energetsko/kemijsko intenzivnostjo procesov za doseganje daljše življenjske dobe.

6 POVZETEK

6 SUMMARY

In this study, LCA (Life Cycle Assessment) and LCC (Life Cycle Cost) analyses were carried out to compare three alternative seats and backrests of a Plečnik bench. Two wood variants were mineralized beech wood with a service life of 16 (HAp16) and 24 (HAp24) years and the reference wood variant was non-mineralized beech wood (NATUR) with a life cycle of 8 years. All variants were surface treated with montan wax. For the LCA analysis the ReCiPe method was used. In the midpoint categories, variant HAp16 proved to be the most polluting and dominated in most categories (global warming, ionizing radiation, fine particulate matter formation, terrestrial acidification, freshwater eutrophication, terrestrial ecotoxicity, freshwater ecotoxicity, marine ecotoxicity, human non-carcinogenic toxicity, mineral resource scarcity, fossil resource scarcity, water consumption), in the remaining categories (land use, stratospheric ozone depletion, ozone formation, marine eutrophication, carcinogenic toxicity to humans) the NATUR variant causes the greatest impact. The HAp24 variant showed medium values for all midpoint categories. After normalization of the results to compare categories with otherwise different units, it was found that the most problematic category was water consumption. Water consumption was

especially significant for the alternatives HAp16 and HAp24 due to the impregnation processes. In addition to impregnation, the processing of steel for screws has also been identified as an indicator of higher water consumption. Since impregnation was more frequent in HAp16 than in other variants in the defined functional unit (30 years), this could explain the results. Most of the carcinogenic toxicity, which also had higher levels, was caused by the use of steel, more specifically by the processes of ore extraction and processing.

The NATUR variant proved to be the most expensive alternative, while the HAp24 variant turned out to be the cheapest. Our life cycle cost analysis included investment costs, maintenance costs, service costs, other costs, and externalities, which were presented in our study as environmental prices representing the impact of pollution on the socio-ecological system. Both total (€1,852.67) and individual pollution (€391.63) costs were highest in the NATUR variant and lowest in the HAp24 variant. Total costs for HAp24 were €1,057.57 and the individual pollution costs were €174.57. The total cost for the alternative HAp16 were €1,480.27 €, while the individual pollution costs are €262.11. The highest pollution costs with the variant NATUR are due to the fact that the largest amount of wood is needed, and so more trees are felled.

Overall, all variants prove to be environmentally friendly and have no significant impact on the environment. Processes that are more energy intensive or contain chemicals appear to be environmentally harmful. However, the actual impacts were very small and should not be considered threatening. The results show that durability is a very important criteria in the use of wood preservatives, as the impacts due to the energy and chemical intensity of the processes can easily exceed the benefits of a longer product life.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskavo je finančno podprla Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS), v okviru programov Les in lignocelulozni kompoziti (P4-0015) in Gozdno-lesna veriga in podnebne spremembe: prehod v krožno biogospodarstvo (P4-0430).

VIRI

REFERENCES

- Archer, K., & Lebow, S. (2006). Wood preservation. In: Primary Wood Processing. Springer, Dordrecht.
- Bolin, C. A., & Smith, S. (2011). Life cycle assessment of ACQ-treated lumber with comparison to wood plastic composite decking. *Journal of Cleaner Production*, 19(6), 620–629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.12.004>
- Bolin, C. A., & Smith, S. (2011). Life cycle assessment of borate-treated lumber with comparison to galvanized steel framing. *Journal of Cleaner Production*, 19(6), 630–639. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.12.005>
- Búryová, D., & Sedlák, P. (2021). Life cycle assessment of coated and thermally modified wood façades. *Coatings*, 11(12), 1487. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings11121487>
- Candelier, K., & Dibdiakova, J. (2021). A review on life cycle assessments of thermally modified wood. *Holzforschung*, 75(3), 199–224. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2020-0102>
- Čufar, K., Gorišek, Ž., Merela, M., Kropivšek, J., Gornik Bučar, D., & Straže, A. (2017). Lastnosti bukovine in njena raba. *Les*, 66(1), 27–39. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2017.v66n01a03>
- Dias, A. M. A., Santos, P. G. G., Dias, A. M. P. G., Silvestre, J. D., & Brito, J. (2022). Life cycle assessment of a preservative treated wooden deck. *Wood Material Science & Engineering*, 17(6), 502–512. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480272.2021.1897673>
- Hill, C., Hughes, M., & Gudsell, D. (2021). Environmental impact of wood modification. *Coatings*, 11(3), 366.
- Hu, J., Skinner, C., Ormondroyd, G., & Thevenon, M. F. (2023). Life cycle assessment of a novel tannin-boron association for wood protection. *Science of The Total Environment*, 858, 159739. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159739>
- Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B., Thaler, N., & Žlahtič, M. (2015). Življenjska doba bukovine na prostem. *Gozdarski vestnik*, 73(10), 461–469.
- Humar, M., Lesar, B., & Kržišnik, D. (2020). Tehnična in estetska življenjska doba lesa. *Acta Silvae et Ligni*, 121, 33–48. DOI: <https://doi.org/10.20315/ASetL.121.3>
- Implementacija ciljev trajnostnega razvoja. 2020. URL: https://slovenia2030.si/files/VNR2020_Slovenia-SI.pdf (15. 7. 2023)
- Javni razpis Javnega holdinga Ljubljana za parkovno klop tip Plečnik. URL: nacrtparkovna_klop_tip_plecnik.pdf (vokasnaga.si) (28. 7. 2023)
- Kraigher, H., Humar, M., & Gričar, J. (ur.) (2023). Gozd in les: gozd prihodnosti [na spletu]. Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov na domači konferenci. Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica. URL: <https://dirros.openscience.si/lzpisGradiva.php?lang=slv&id=16558> (12. 8. 2023)
- Kuka, E., Cirule, D., Andersons, I., Andersons, B., Kurnosova, N., Vetrovskins, A., & Puke, M. (2023). Environmental performance of combined treated wood. *Wood Material Science & Engineering*, 18(1), 88–96. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2153737>
- Montazeri, M., & Eckelman, M. J. (2018). Life cycle assessment of UV-Curable bio-based wood flooring coatings. *Journal of Cleaner Production*, 192, 932–939. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.209>
- Obrotna zbornica Slovenije (2013). Priporočen cenik mizarskih del. URL: <https://www.ozs.si/datoteke/ozs/staro/Media/Dokumenti/OZS/Sekcije%20in%20odbori/Iris/lesarji/Priporo%C4%8Den%20cenik%20mizarskih%20del%20dec2013.pdf> (3. 8. 2023)
- Podatkovna baza Ecoinvent 3.9.1
- PRé Sustainability B.V. (2003). Programska oprema SimaPro 9.5.0.1
- Sesana, M. M., & Salvalai, G. (2013). Overview on life cycle methodologies and economic feasibility for nZEBs. *Building and Environment*, 67, 211–216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.builenv.2013.05.022>
- Silvaprodukt. Silvacera. URL: <https://silvaprodukt.si/izdelek/silvacera/> (2. 8. 2023)
- Sinkko, T., Sanyé-Mengual, E., Corrado, S., Giuntoli, J., & Sala, S. (2023). The EU Bioeconomy Footprint: Using life cycle assessment to monitor environmental impacts of the EU Bioeconomy. *Sustainable Production and Consumption*, 37, 169–179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.02.015>
- Slovenski državni gozdovi (2023). Cenik za direktno prodajo za obdobje veljavnosti od 1.7. 2023 URL: <https://sidg.si/index.php/javna-narocila-objave/prodaja-lesa-in-logistika/cenik-za-direktno-prodajo> (3. 8. 2023)
- Vijaki.net. Vijak s šestrobo glavo, DIN 933, polni navoj. URL: <https://www.vijaki.net/inov-vijak-s-sestrobo-glavo-m8-din-933-nerjavni-a4> (3. 8. 2023)
- Tesarstvo Rutnik. Žagan les bukev. URL: <http://tesarstvo-rutnik.si/za-gan-les-bukev/> (2. 8. 2023)
- Turk, J., Pranjic, A. M., Tomasin, P., Škrlep, L., Antelo, J., Favaro, M., Sever Škapin, A., Bernardi, A., Ranogajec, J., & Chiurato, M. (2017). Environmental performance of three innovative calcium carbonate-based consolidants used in the field of built cultural heritage. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22, 1329–1338. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1260-8>



BIOKOMPOZITNI / BIONANOKOMPOZITNI FILMI NA OSNOVI POLIVINIL ALKOHOLNE MATRICE, OJAČANE S CELULOZNIMI NANOFIBRILAMI IN RAZLIČNIMI TIPI TANINOV

BIOCOMPOSITE / BIONANOCOMPOSITE FILMS BASED ON POLYVINYL ALCOHOL REINFORCED WITH CELLULOSE NANOFIBRILS AND DIFFERENT TYPES OF TANNINS

Urša Osolnik¹, Viljem Vek¹, Primož Oven¹, Ida Poljanšek^{1*}

UDK članka: 630*813.6

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

Prispelo / Received: 18.10.2023

Sprejeto / Accepted: 5.11.2023

Izvleček / Abstract

Izvleček: Cilj naše študije je bil razviti več različnih formulacij biokompozitnih in bionanokompozitnih filmov na osnovi polivinil alkohola (PVA) z dodatkom ojačitvene komponente – celuloznih nanofibril (CNF) in različnih tipov biološko aktivnih taninov – taninske kisline (TA), galne kisline (GA) in kostanjevega tanina (KT). CNF smo dodali v utežnem deležu 2 %; TA, GA in KT pa v utežnem deležu 4 % glede na PVA. S 4 % dodatkom TA v PVA matrico smo pripravili biokompozitni film, ki je izkazoval več kot 25 % višjo natežno trdnost v primerjavi z osnovnim PVA filmom. Z dodatkom 2 % CNF in 4 % TA v PVA matrico smo pridobili bionanokompozitni film (P2C4T) z izboljšanim modulom elastičnosti in natežno trdnostjo, hkrati pa smo z omenjenima dodatkom povečali tudi fleksibilnost pripravljenega nanokompozita, saj je bila vrednost raztezka pri pretrgu za končni formulirani film (P2C4T) več kot 50 % višja od raztezka pri pretrgu za osnovni PVA film. Hidrofilnost površine dvokomponentnih PVA filmov je bila nižja, trikomponentnih pa višja.

Ključne besede: biokompozitni in bionanokompozitni filmi, polivinil alkohol, celulozne nanofibre, taninska kislina, galna kislina, kostanjev tanin

Abstract: The aim of our study was to develop biocomposite and bionanocomposite films based on polyvinyl alcohol (PVA) with the addition of a reinforcing component – cellulose nanofibrils (CNF) and different types of biologically active tannins – along with tannic acid (TA), gallic acid (GA) and chestnut tannin (KT). CNF was added in a weight percentage of 2%, while TA, GA and KT had a weight percentage of 4% in relation to PVA. The addition of 4% TA to the PVA matrix resulted in a biocomposite film with more than 25% higher tensile strength compared to the neat PVA film. By adding 2% CNF and 4% TA to the PVA matrix, a bionanocomposite film (P2C4T) with an improved elastic modulus and higher tensile strength was obtained. At the same time, the flexibility of this bionanocomposite was greatly increased, as the elongation at the breaking of the final formulated film (P2C4T) was more than 50% higher than the elongation at break of the neat PVA film. The surface hydrophilicity of the two-component PVA films was lower, while that of the three-component films was higher.

Keywords: biocomposite and bionanocomposite films, polyvinyl alcohol, cellulose nanofibrils CNF, tannic acid, gallic acid, chestnut tannin

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Najbolj pogosto uporabljeni polimeri na področjih embalaranja hrane, farmacevtskih izdelkov, zdravil in prehranskih dopolnil so osnovani na polimerih, pridobljenih iz neobnovljivih naftnih virov,

kot so polivinil klorid (PVC), polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP), polietilen (PE), polistiren (PS) in poliamid (PA). Le-te odlikuje nizka cena, razpoložljivost, dobre mehanske in barijerne lastnosti, kemijska inertnost in široko področje uporabe. Problem polimerov, osnovanih na naftnih derivatih, je

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

* e-pošta: ida.poljansek@bf.uni-lj.si

v njihovem dolgotrajnem postopku razgradnje in njihovih škodljivih vplivih na okolje ter ljudi (Epinosa et al., 2019; Nagalakshmaiah, 2019). V ta namen si v zadnjih letih številne raziskovalne skupine po svetu prizadevajo nadomestiti uporabo okoljsko spornih polimernih kompozitov, osnovanih na naftnih surovinskih virih, z razvojem in pripravo bio-osnovanih kompozitov, kjer se kot osnovna matrica uporabljajo biopolimeri.

Eden izmed najbolj zanimivih vodotopnih polimerov za izdelavo embalažnih filmov je polivinil alkohol (PVA). PVA je sintetičen, biorazgradljiv in biokompatibilen polimer. PVA je dobro topen v vodi, ni toksičen in ima odlične sposobnosti formiranja filmov in dobro kemijsko stabilnost (Espinosa et al., 2019; Kassab et al., 2019; Liu et al., 2022). Uporaba PVA materialov za pakiranje lahko zmanjša delež odpadkov in v določeni meri odpravi probleme okoljskega onesnaževanja (Li et al., 2022). PVA je zmožen formirati vodikove vezi s hidrofilnimi površinami biomaterialov, kar omogoča pripravo zelenih kompozitov (Espinosa et al., 2019). Uporabnost PVA materialov je lahko v okoljih z višjo vlažnostjo zaradi hidrofilnosti PVA zelo omejena. Molekule vode zlahka penetrirajo v PVA strukturo, delujejo kot neke vrste mehčalo in tako povzročijo nabrekanje PVA filmov. To nadalje vodi do poslabšanja mehanskih in bariernih lastnosti PVA materialov (Lee et al., 2019; Liu et al., 2022). Omenjeni problem raziskovalci rešujejo s pripravo PVA kompozitnih materialov, in sicer z dodatkom nanopolnil v PVA matrico, z mešanjem PVA polimera z drugimi polimeri, s kemijskim premreženjem PVA verig z dodatkom ustreznih spojin (npr. organskih kislin), kjer nastajajo nove kemijske vezi, ali pa se poslužijo kombinacij omenjenih metod (Liu et al., 2022).

Nanopolnila so torej nanomateriali, ki so lahko organske ali anorganske snovi. Slabost anorganskih nanopolnil, kot so npr. srebrovi nanodelci, v primerjavi z organskimi (nanoceluloza) je v njihovi omejeni biokompatibilnosti in biorazgradljivosti (El Achaby et al., 2017; Espinosa et al., 2019). Izredno zanimivo nanopolnilo, ki ga lahko vključimo v biorazgradljivo polimerno matrico PVA, predstavljajo celulozne nanofibrile (CNF). CNF, navadno pridobljene iz lesne celuloze, so zelo zanimive, saj jih odlikuje nizek termični raztezek, visoko presečno razmerje (dolžina proti širini fibril), dostopnost, dobre mehanske in optične lastnosti (Srithep et al., 2012; Dufresne,

2013). CNF, pridobljene iz rastlinskih virov, so zelo ozke, širin približno 4 nm, z visokimi presečnimi razmerji nad 250 (dolžina fibril > 1 μm) in visokimi vrednostmi elastičnega modula (od 140 GPa do 150 GPa) (Saito et al., 2011). Zaradi omenjenih prednosti je aplikativnost CNF lahko zelo široka; lahko se uporablja v nanokompozitih, v papirni industriji, v premazih, pri pakiranju hrane, pri plinskih barierah (Abdul Khalil et al., 2014). Vključitev biorazgradljive ojačitvene komponente CNF v polimere omogoča pripravo nanokompozitov z boljšimi mehanskimi, bariernimi in termičnimi lastnostmi (Spoljaric et al., 2013; Abdul Khalil et al., 2014; Espinosa et al., 2019; Sánchez-Gutiérrez et al., 2021).

Z dodatkom primernih lesnih ekstraktivov v polimerno matrico lahko pripravimo biološko aktivne nanokompozitne filme (Hong, 2016; Missio et al., 2019). K biološko aktivnim ekstraktivnim spojinam prištevamo nizko- in visokomolekularne polifenolne spojine, ki imajo lahko antioksidativno, antibakterijsko, antivirusno, antitumorno, antialergijsko, protivnetno in antidiabetično aktivnost (Papuc et al., 2017; Guo et al., 2019; Vek et al., 2021; Vek et al., 2023). Dodatek polifenolnih spojin, natančneje taninov (galna kislina, taninska kislina, industrijski tanin), je bil tudi del naše raziskave, in sicer v smislu vpliva različnih vrst taninov na končne lastnosti PVA biokompozitnih in bionanokompozitnih filmov.

Namen naše študije je bil pripraviti več di- in trikomponentnih formulacij bio(nano)kompozitnih filmov na osnovi biorazgradljive polimerne matrice PVA z dodatkom ojačitvene komponente CNF in različnih tipov taninov (galna kislina, taninska kislina, kostanjev tanin). Pri tem je bil glavni cilj uspešna vključitev CNF in taninov v PVA matrico, saj le z enakomerno porazdelitvijo gradnikov lahko dosežemo želene izboljšane mehanske lastnosti, kot so natezna trdnost, modul elastičnosti in raztezek. Poleg izboljšanih mehanskih lastnosti je pomemben cilj tudi zmanjšanje hidrofilnosti kompozitnega PVA filma zaradi vključitve gradnikov. To smo spremljali z merjenjem stičnega kota vodne kaplice na površini pripravljenih biokompozitnih in bionanokompozitnih filmov. Ciljno področje uporabe na tak način razvitih bio(nano)kompozitnih filmov je embaliranje hrane.

2 MATERIAL IN METODE

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 MATERIAL

2.1 MATERIAL

Kot polimerno matrico smo uporabili polivinil alkohol PVA s povprečno molekulsko maso 47000 g/mol proizvajalca Sigma Aldrich.

Celulozne nanofibrile (CNF) smo pridobili v obliki vodne suspenzije z vsebnostjo suhe snovi 1,40 % iz Centre for Biocomposite and Biomaterial Processing, Univerze v Torontu, Kanada. Premer CNF je znašal med 20 nm in 60 nm. CNF so bile pripravljene z mehansko homogenizacijo sulfitne celuloze (Žepič et al., 2014). Uporabili smo tudi taninsko kislino ($M = 1701,19$ g/mol) in galno kislino ($M = 170,12$ g/mol) proizvajalca Sigma Aldrich ter industrijski kostanjev tanin ($M =$ od 500 g/mol do 3000 g/mol), pridobljen iz tovarne Tanin, Sevnica.

2.2 PRIPRAVA PVA BIONANOKOMPOZITNIH FILMOV

2.2 PRODUCTION OF PVA BIONANOCOMPOSITE FILMS

Za pripravo PVA biokompozitnih in bionanokompozitnih filmov smo najprej pripravili 10 % raztopino PVA v destilirani vodi. 80 g granul PVA smo raztopili v 720 g destilirane vode pri temperaturi 90 °C. Raztapljanje polimera v vodi je potekalo približno 6 ur. Pred uporabo 10 % PVA raztopine smo počakali, da se je pripravljena raztopina ohladila do sobne temperature.

Pripravili smo več suspenzij za pripravo PVA biokompozitnih in bionanokompozitnih filmov. Prav tako smo dodali taninsko kislino (TA), galno kislino (GA) in kostanjev tanin (KT) glede na suho snov PVA, in sicer z utežnim odstotkom 4 %. CNF smo v 10 % raztopino PVA dodajali v obliki vodne suspenzije z deležem suhe snovi 1,40 %, in sicer 2 % glede na suho snov PVA. Nastale suspenzije PVA + 2 % CNF, PVA + 4 % TA, PVA + 4 % GA, PVA + 4 % KT, PVA + 2 % CNF + 4 % TA, PVA + 2 % CNF + 4 % GA in PVA + 2 % CNF + 4 % KT smo mešali na magnetnem mešalu približno 48 h. Z metodo tehnike vlivanja in odhlapevanja topila smo pripravili filme, in sicer tako, da smo suspenzije vlili v polistirenske petrijevke in jih sušili približno 1 teden pri sobnih pogojih. Ko so se filmi posušili, smo jih lahko uporabili za nadaljnje analize. Pripravili smo tudi referenčni, osnovni PVA film, tako da smo v polistirensko petrijevko vlili 10 % osnovno raztopino PVA. Suspenzija PVA + 4 % GA je med mešanjem želirala, nastal je hidrogel, tako nismo uspeli pridobiti filma PVA + 4 % GA. Podatki o sestavi formiranih PVA biokompozitnih filmov so zbrani v preglednici 1.

2.3 FT-IR SPEKTROSKOPIJA

2.3 FT-IR SPECTROSCOPY

Vključitev CNF ter GA, TA in KT v polimerno matrico PVA in interakcije med komponentami PVA biokompozitnih in bionanokompozitnih filmov smo spremljali s FT-IR spektroskopijo v ATR tehniki s pomočjo naprave Spectrum Two UATR FT-IR (Perkin Elmer, Waltham, MA, USA). FTIR spektre osnovne-

Preglednica 1. Sestava PVA biokompozitnih filmov.

Table 1. Compositions of PVA biocomposite films.

Film Film	Oznaka filma Film code	% CNF * % CNF *	% GA* % GA*	% TA* % TA*	% KT* % CT*
PVA	PVA	0	0	0	0
PVA + 2 % CNF	P2C	2	0	0	0
PVA + 4 % GA	P4G	0	4	0	0
PVA + 4 % TA	P4T	0	0	4	0
PVA + 4 % KT	P4KT	0	0	0	4
PVA + 2 % CNF + 4 % GA	P2C4G	2	4	0	0
PVA + 2 % CNF + 4 % TA	P2C4T	2	0	4	0
PVA + 2 % CNF + 4 % KT	P2C4KT	2	0	0	4

* delež CNF, GA, TA in KT na suho snov PVA v %

* percentage of CNF, GA, TA and CT to the dry mass of PVA

ga PVA filma in PVA biokompozitnih filmov smo posneli na spodnji strani filma v spektralnem območju med 4000 cm^{-1} in 400 cm^{-1} . Za vsak film je bilo narejenih 16 ponovitev pri ločljivosti 4 cm^{-1} . Vsem spektrom smo naredili ATR korekcijo in korekcijo bazne linije.

2.4 NATEZNI PREIZKUS

2.4 TENSILE TEST

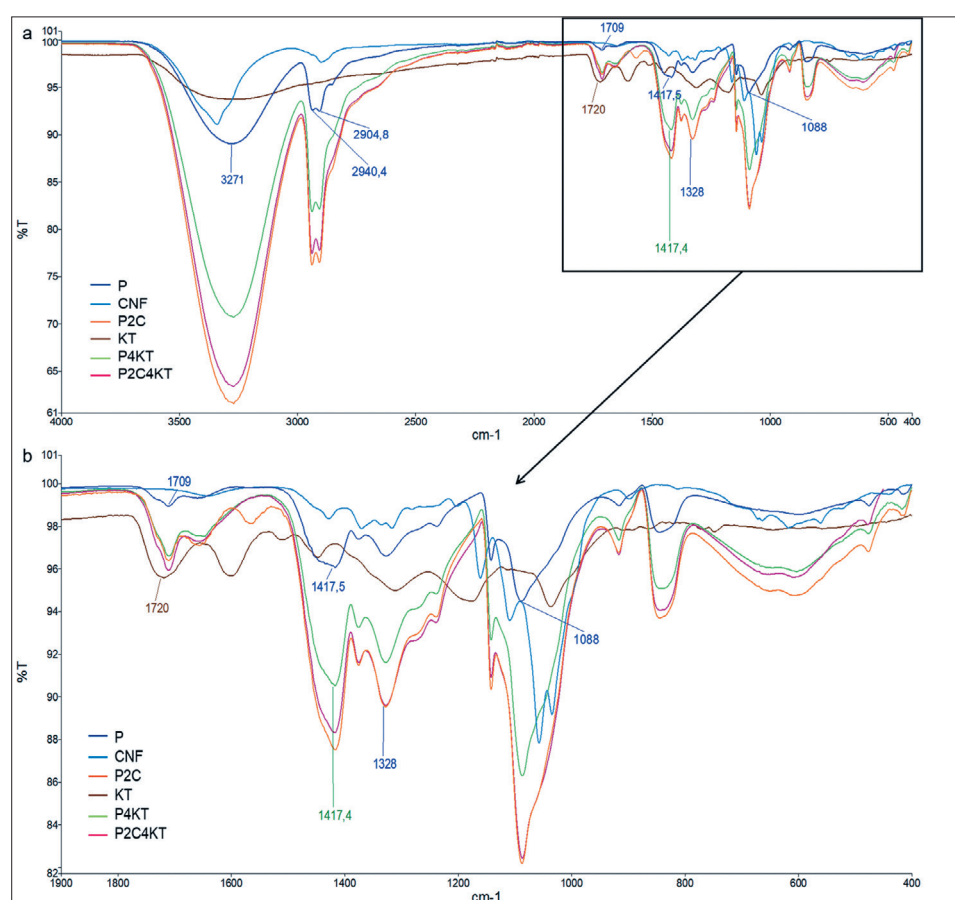
Natezne lastnosti osnovnega PVA filma in PVA biokompozitnih ter bionanokompozitnih filmov z dodatkom CNF in taninov (GA, TA, KT), kot so modul elastičnosti (E_t), natezna trdnost (σ_M) in raztezek pri pretrgu (ϵ_{tb}), smo določili na trgalnem stroju Zwick/Roell Z005 (Zwick GmbH & Co. KG, Ulm, Germany) pri sobnih pogojih. Natezni preizkus na preizkušancih posameznega filma smo izvedli v skladu z metodo ASTM D882-02 (Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting). Preizkušance smo narezali z laserjem, in sicer v obliki veselc (dolžina 100 mm, širina 10 mm, širina preizkušanca na najožjem delu 5 mm). Pred testiranjem

smo preizkušance kondicionirali v komori pri temperaturi $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ in relativni zračni vlažnosti $(50 \pm 5)\%$. Hitrost obremenjevanja je bila konstantna, in sicer 25 mm/min . Za vsak PVA biokompozitni film smo pripravili 10 preizkušancev.

2.5 DOLOČITEV STIČNIH KOTOV VODNE KAPLJICE NA POVRŠINI PVA BIOKOMPOZITNIH FILMOV

2.5 DETERMINATION OF THE CONTACT ANGLE OF A WATER DROP ON THE SURFACE OF PVA BIOCOMPOSITE FILMS

Z merjenjem stičnega kota vodne kapljice ($5\text{ }\mu\text{L}$) na zgornji površini osnovnega PVA in PVA biokompozitnih ter bionanokompozitnih filmov v časovnem intervalu od 0 s do 60 s smo ocenili vpliv dodatka CNF in GA, TA, KT na zvišanje oziroma znižanje hidrofilnosti površine kompozitnega materiala. Le-to smo določali z uporabo optičnega gonimetra Theta (Biolin Scientific Oy, Espoo, Finland), opremljenega s programsko opremo OneAttension version (Biolin Scientific). Uporabili smo metodo sedeče kapljice in izvedli 10 ponovitev za vsak film.



Slika 1. FT-IR spektri osnovnega PVA (P) filma, CNF, KT in pripravljenih biokompozitnih filmov P2C, P4KT in P2C4KT v celotnem spektralnem območju (a) in v ožjem spektralnem območju (b).

Figure 1. FT-IR Spectra of the neat PVA (P) film, CNF, KT and the produced biocomposite films P2C, P4KT, P2C4KT over the whole spectral range (a) and in the narrow spectral range (b).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 FT-IR SPEKTROSKOPIJA

3.1 FT-IR SPECTROSCOPY

Na sliki 1 so prikazani FT-IR spektri osnovnega PVA filma, CNF, KT in pripravljenih kompozitnih filmov P2C, P4KT in P2C4KT. V spektru osnovnega filma PVA opazimo karakteristične signale (slika 1, 2 in 3), značilne za vezi v strukturi PVA, in sicer valenčno nihanje vezi – OH pri 3271 cm^{-1} , – CH_2 pri 2940 cm^{-1} in 2904 cm^{-1} , deformacijska nihanja – CH_2 pri 1418 cm^{-1} , C – H (wagging) od CH_2 pri 1328 cm^{-1} in C – O pri 1088 cm^{-1} (Hong, 2017; Judawisastra et al., 2017; Singh et al., 2018). Signal pri 1709 cm^{-1} v spektru osnovnega filma pa lahko pripišemo nihanju C=O vezi v acetatni skupini, ki je lahko v strukturi PVA ostala kot posledica priprave polimera, in sicer nepopolne hidrolize polivinil acetata (Mansur et al., 2008).

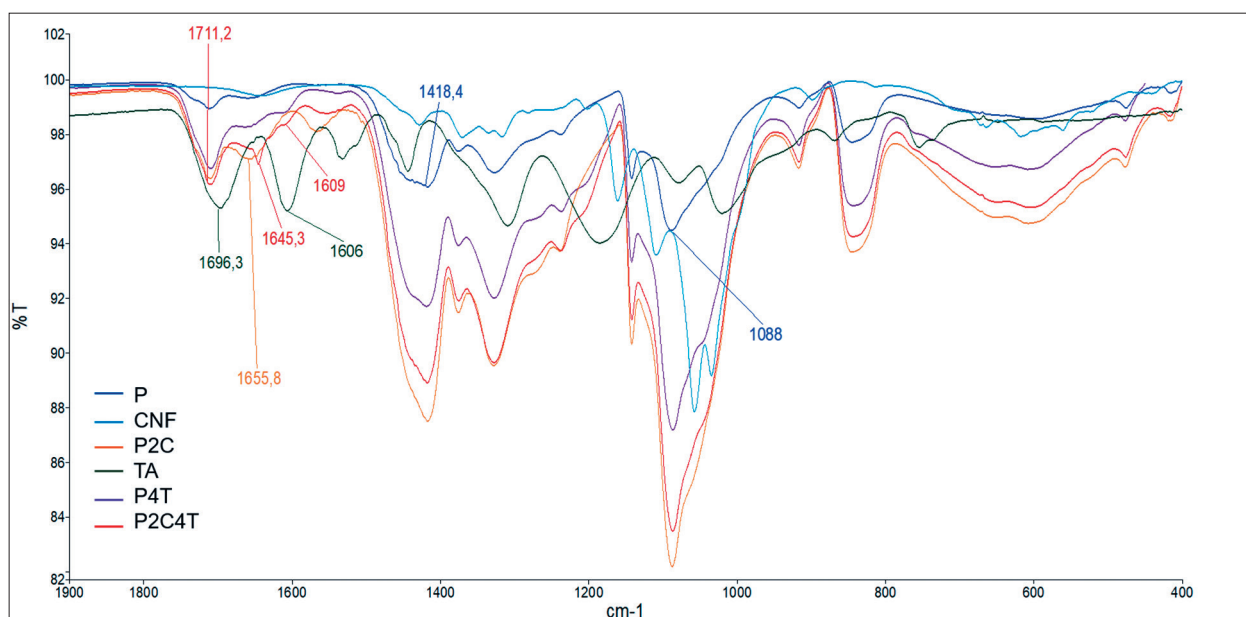
Signale, karakteristične za osnovni PVA film, opazimo tudi v FT-IR spektrih pripravljenih biokompozitnih filmov – P2C, P4KT, P2C4KT in tudi v FT-IR spektrih biokompozitnih filmov, pripravljenih z drugo vrsto taninov – P4T, P2C4T, P2C4G (slika 2 in 3).

V najbolj značilnem območju za nihanje C – O vezi v molekuli celuloze od približno 1100 cm^{-1} do 1000 cm^{-1} se v primeru biokompozitnih filmov P2C, P2C4KT, P2C4T, P2C4G skrivajo signali CNF (slika 1, 2 in 3). Prav tako lahko opazimo, da se v območju

pri približno 1720 cm^{-1} v primeru filmov P4KT in P2C4KT skrivajo signali za nihanje C=O skupin polifenolnih molekul, značilnih za kostanjev tanin (slika 1). Iz pridobljenih FT-IR spektrov sklepamo, da so CNF in KT uspešno vključeni v PVA matrico.

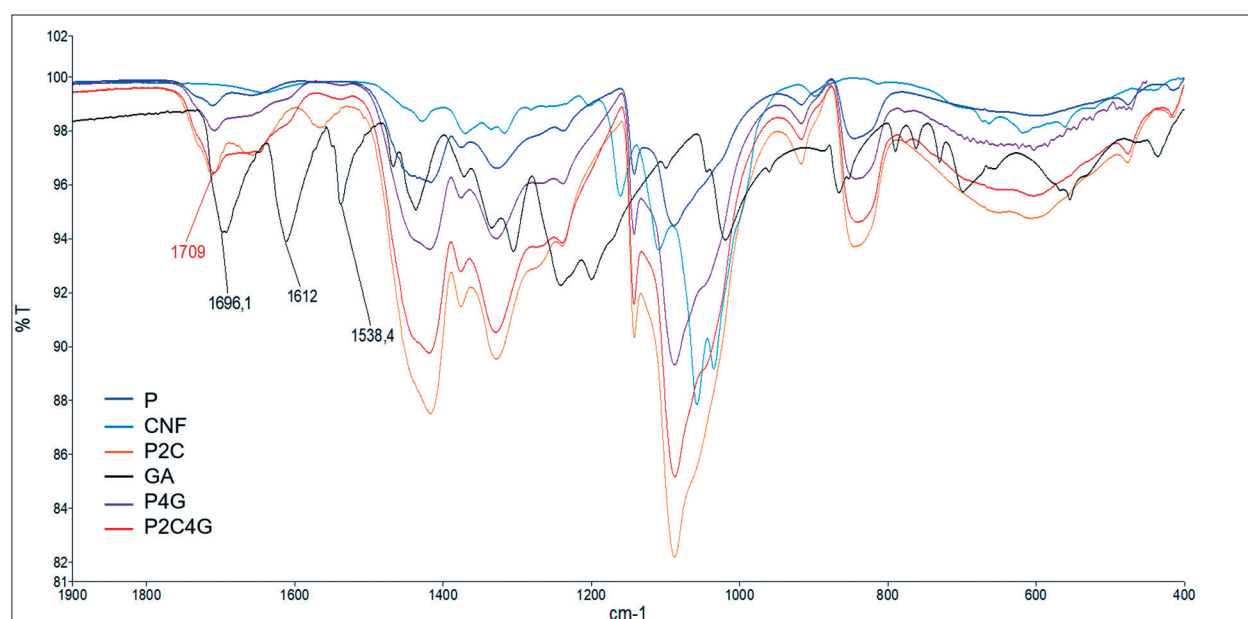
Na sliki 2 opazimo signala za nihanje C=O skupine in vezi C=C pri 1696 cm^{-1} in 1606 cm^{-1} , značilni za molekulo TA (Dai et al., 2018). Le-ta signala se v primeru biokompozitnih filmov P4T in P2C4T pomakneta k višjim valovnim številom (1711 cm^{-1} in 1609 cm^{-1}), zato sklepamo, da je TA vključena v interakcijo s PVA oz. s PVA in CNF.

Na sliki 3 opazimo tri karakteristične signale za nihanje vezi v molekuli GA, in sicer pri 1696 cm^{-1} , 1612 cm^{-1} in 1538 cm^{-1} . Prvi signal je značilen za nihanje vezi v karboksilni skupini GA, medtem ko drugi in tretji signal pripisujemo nihanju dvojne vezi (C=C) v aromatskem obroču (Luzi et al., 2019). Ti trije signali so vidni tudi v spektru bionanokompozitnega filma P2C4G, malenkostno tudi v spektru biokompozita P4G. Pri FT-IR spektrih obeh filmov z dodano GA se trak pri 1696 cm^{-1} pomakne k višji vrednosti valovnega števila, in sicer sovpada s trakom pri 1709 cm^{-1} , ki pripada nihanju C=O vezi v acetatni skupini v PVA strukturi. Tako sklepamo, da tudi GA formira interakcije s PVA oz. s PVA in CNF v primeru trikomponentnega bionanokompozitnega filma (Limaye et al., 2019). Kot smo že omenili, se je pri formulaciji kompozita PVA + 4 % GA tekom me-



Slika 2. FT-IR spektri osnovnega PVA (P) filma, CNF, TA in biokompozitnih filmov P2C, P4T in P2C4T.

Figure 2. FT-IR spectra of the neat PVA (P) film, CNF, TA and biocomposite films P2C, P4T and P2C4T.



Slika 3. FT-IR spektri osnovnega PVA (P) filma, CNF, GA in pripravljenih biokompozitov P2C, P4G in P2C4G.
Figure 3. FT-IR spectra of the neat PVA (P) film, CNF, GA and produced biocomposites P2C, P4G in P2C4G.

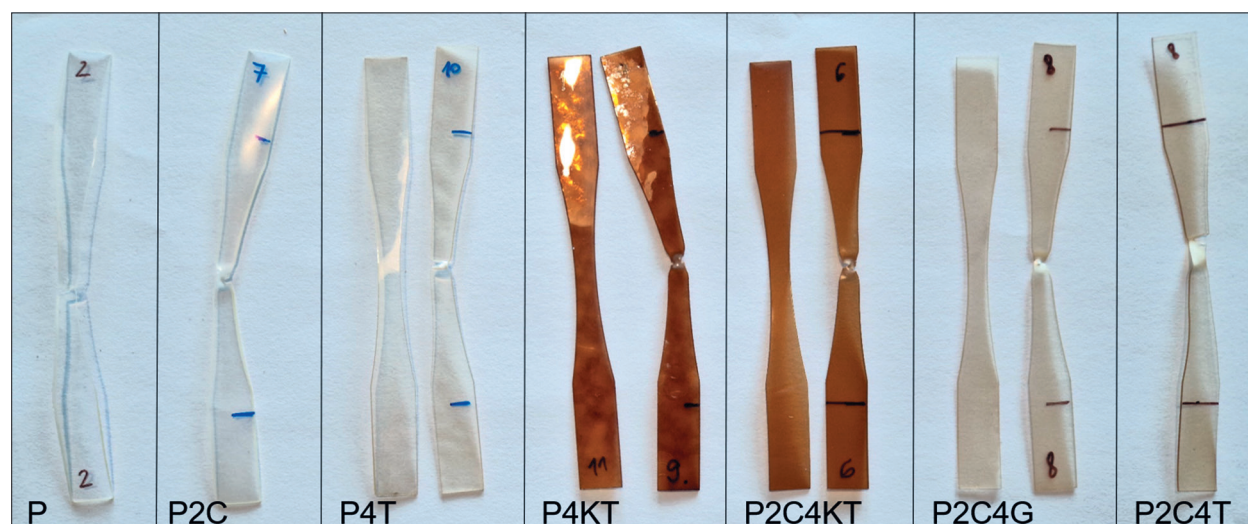
šanja suspenzije formiral hidrogel, tako smo posneli FT-IR spekter posušenega hidrogela.

3.2 NATEZNI PREIZKUS

3.2 TENSILE TEST

Mehanske lastnosti, predvsem mehanska trdnost in fleksibilnost sta pomembni karakteristiki

polimernih kompozitov za uporabo le-teh kot materialov na področjih pakiranja različnih produktov (Lee et al., 2020). Na sliki 5 so prikazani lasersko pripravljeni preizkušanci za potrebe meritev nateznega testa. V preglednici 2 so zbrane povprečne vrednosti mehanskih parametrov za osnovni PVA film (P) in PVA biokompozite. Vrednosti mehanskih



Slika 4. Preizkušanci osnovnega PVA (P) filma in pripravljenih biokompozitnih ter bionanokompozitnih filmov pred in po meritvah natezne trdnosti. Od leve proti desni: P, P2C, P4T, P4KT, P2C4KT, P2C4G in P2C4T.
Figure 4. Specimens of the neat PVA (P) film and prepared biocomposite and bionanocomposite films for tensile test measurements in order from left to right: P, P2C, P4T, P4KT, P2C4KT, P2C4G, and P2C4T.



Slika 5. Preizkušanca filma P2C4KT (spodaj) in filma P4KT (zgoraj) – primerjava porazdelitve KT v PVA/CNF sistemu oziroma v PVA matrici.

Figure 5. Test specimens of P2C4KT film (bottom) and P4KT film (top) – a comparison of KT distribution in the PVA/CNF system and in the PVA matrix.

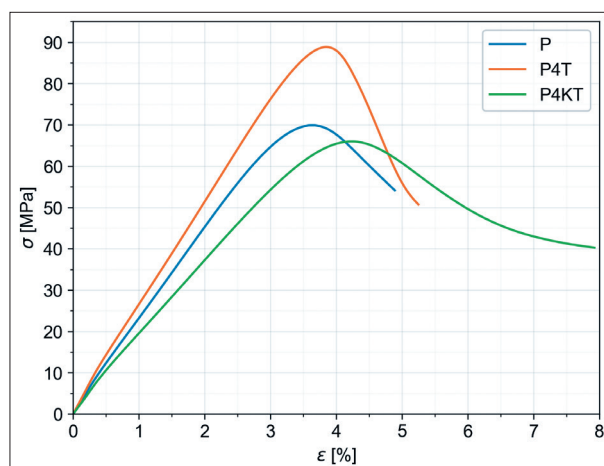
Preglednica 2. Mehanske lastnosti (elastični modul (E_t), natezna trdnost (σ_M) in raztezek pri pretrgu (ϵ_{tb})) osnovnega PVA filma in PVA biokompozitnih filmov.

Table 2. Mechanical properties (elastic modulus (E_t), tensile strength (σ_M) and elongation at break (ϵ_{tb})) of the neat PVA film and PVA biocomposite films.

Film	E_t [MPa]	σ_M [MPa]	ϵ_{tb} [%]
PVA	2553 ± 246	69.9 ± 5.1	8.5 ± 2.6
P2C	3232 ± 294	79.7 ± 4.2	10.5 ± 1.8
P4T	3074 ± 299	88.8 ± 7.3	8.1 ± 2.1
P4KT	2274 ± 103	66.0 ± 3.8	11.4 ± 1.4
P2C4G	2898 ± 203	75.3 ± 3.1	11.6 ± 1.2
P2C4T	3572 ± 445	78.8 ± 6.9	12.8 ± 2.4
P2C4KT	2837 ± 205	70.9 ± 3.0	10.0 ± 0.6

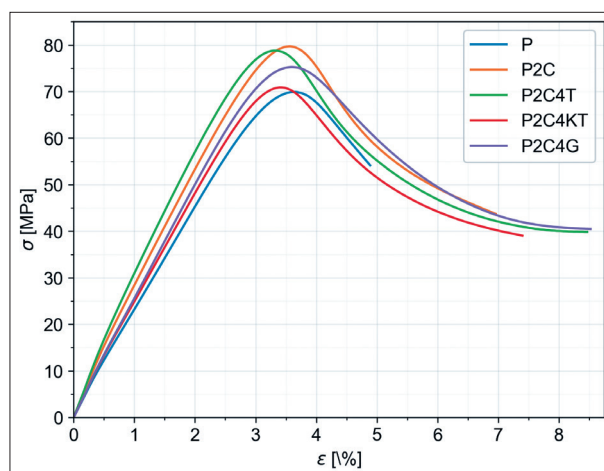
parametrov (E_t , σ_M in ϵ_{tb}) smo določili na osnovi nateznega preizkusa. Na sliki 6 in 7 so prikazane povprečne napetostno-deformacijske krivulje.

Z vključitvijo ojačitvene komponente CNF v polimerne matrice lahko zaradi izjemnih mehanskih lastnosti CNF pridobimo polimerne nanokompozite z izboljšanimi mehanskimi lastnostmi (Zimmermann et al., 2004; Lee et al., 2009; Isogai, 2013). Za izboljšanje mehanskih lastnosti formiranih nanokompozitov je v primerjavi z osnovno polimerno matrico ključna dobra porazdelitev CNF v matrici in tudi močne medfazne interakcije med CNF in polimerno matrico (Oksman et al., 2016).



Slika 6. Napetostno-deformacijske krivulje za osnovni PVA (P) film in za biokompozitna filma P4T in P4KT.

Figure 6. Stress – strain curves for the neat PVA (P) film and for biocomposite films P4T and P4KT.



Slika 7. Napetostno-deformacijske krivulje za osnovni PVA (P) film, P2C film in trikomponentne biokompozitne filme P2C4G, P2C4T, P2C4KT.

Figure 7. Stress – strain curves for the neat PVA (P) film, P2C film and three-component biocomposite films P2C4G, P2C4T, P2C4KT.

Iz poteka napetostno – deformacijskih krivulj na sliki 6 in 7 je razvidno, da sta elastični modul in natezna trdnost za vse PVA biokompozitne filme višja kot za osnovni P film, le v primeru filma P4KT to ne drži, saj sta omenjena mehanska parametra tu nižja. Z 2 % dodatkom CNF v matrico PVA smo izboljšali vse 3 mehanske parametre – modul elastičnosti, natezno trdnost in raztezek pri pretrgu.

Izboljšano natezno trdnost P2C nanokompozitnega filma v primerjavi z osnovnim PVA filmom lahko pripišemo prepletu CNF in formirani 3 D mrežasti strukturi v biokompozitu, pri čemer gre za učinkovit prenos napetosti od matrice do vlakna (Zhou et al., 2012; Han et al., 2018; Lee et al., 2020). Prav tako lahko sklepamo, da so CNF v primeru P2C nanokompozita dobro porazdeljene v PVA matrici. Vrednost raztezka pri pretrgu je bila za P2C nanokompozitni film višja od vrednosti raztezka pri pretrgu za osnovni PVA film. Le-to lahko pripišemo dejstvu, da smo v osnovno raztopino PVA CNF dodajali v obliki vodne suspenzije. Tako je lahko vnesena voda delovala kot neke vrste mehčalo za polimer PVA (Tan et al., 2021).

V naši študiji smo uspeli dobro dispergirati CNF v osnovnem polimeru PVA, prav tako smo dosegli dobro porazdelitev uporabljenih taninov (GA in TA) v PVA matrici. Izjema tu je KT, ki ni bil enakomerno porazdeljen v osnovnem polimeru PVA. KT verjetno tvori skupke, agregate v PVA matrici in ti agregati nadalje lahko povzročajo defekte v strukturi P4KT kompozitnega filma, zato sta verjetno natezna trdnost in modul elastičnosti tu nižja v primerjavi z osnovnim P filmom. Nehomogenost filma P4KT in neenakomernost porazdelitve KT v PVA matrici sta razvidni iz slike 5 (zgoraj), kjer je prikazan preizkušane P4KT filma. Izgled preizkušanca P2C4KT (slika 5 spodaj) je popolnoma drugačen, saj P2C4KT film v nasprotju s P4KT filmom izkazuje zelo homogeno strukturo. Tako sklepamo, da se KT v prisotnosti CNF boljše in bolj enakomerno razporedi v PVA matrici. Dodatek KT v PVA matrico pa je prispeval k višji fleksibilnosti P4KT filma v primerjavi z osnovno matrico (P film) (preglednica 2).

Z dodatkom 4 % TA v PVA matrico (P4T) smo pridobili film z največjo natezno trdnostjo, ki je v primerjavi z osnovnim P filmom večja za več kot 25 %. Kljub veliko večji natezni trdnosti je vrednost raztezka pri pretrgu za P4T film ostala podobna vrednosti raztezka pri pretrgu za osnovni P film. Tako lahko sklepamo, da je TA v tem utežnem deležu tudi primerna za ojačitev PVA matrice, saj poveča natezno trdnost kompozita in ne vpliva na njegovo fleksibilnost.

Med trikomponentnimi PVA bionanokompozitnimi filmi (P2C4G, P2C4T in P2C4KT) je imel najboljše mehanske lastnosti P2C4T film. P2C4T je presegel vse merjene mehanske parametre v primerjavi

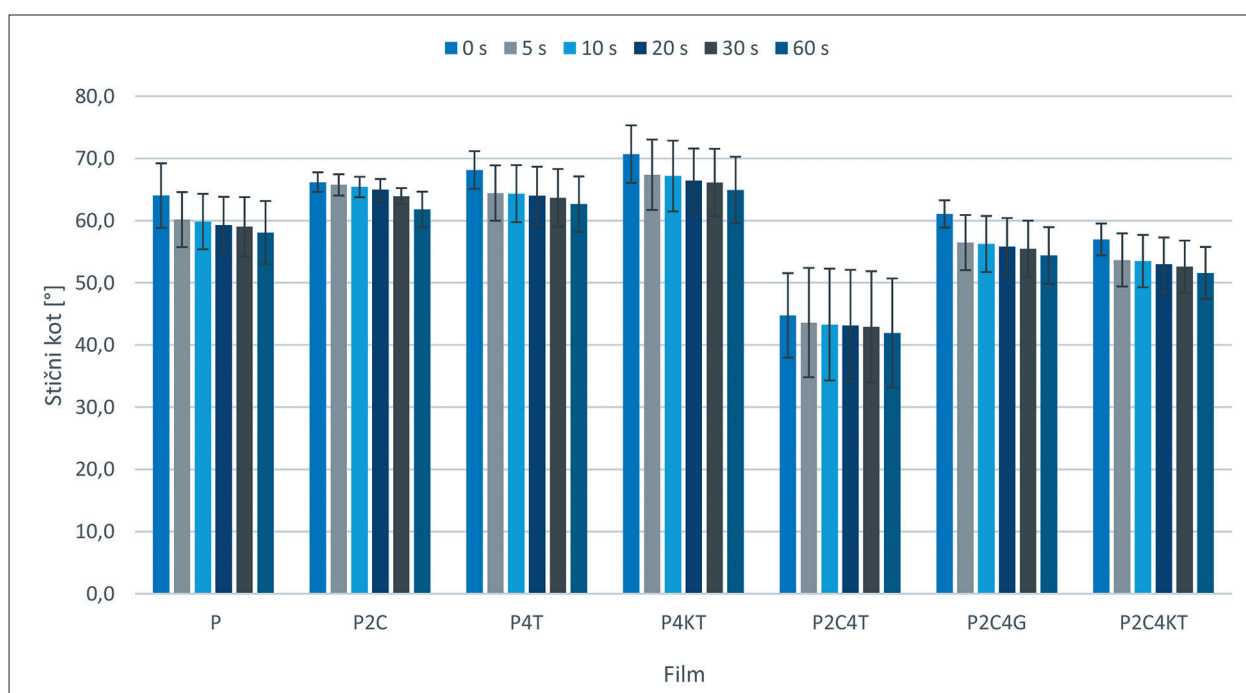
z osnovnim P filmom. Menimo, da je P2C4T film zanimiv kandidat za embalažni film, saj smo mu z ustreznim dodatkom CNF in TA izboljšali trdnost in fleksibilnost, kar sta ključni karakteristiki materialov za pakiranje raznih produktov. P2C4T film ima v primerjavi s P4T filmom slabšo natezno trdnost, a boljši elastični modul in raztezek pri pretrgu. Kot že omenjeno, biokompozitni oziroma bionanokompozitni film lahko preseže lastnosti polimerne matrice, kadar so polnila v matrici dobro porazdeljena. Ko slednji pogoj ni zadoščen, lahko prihaja do tvorbe agregatov polnil, ki lahko povzročajo defekte v strukturi biokompozitnega filma in s tem slabše mehanske lastnosti končnega kompozita. Poleg izboljšanih mehanskih lastnosti pa smo z dodatkom TA pripravili film z antioksidativno aktivnostjo (Hong, 2016).

3.3 STIČNI KOT VODNE KAPLJICE NA POVRŠINI PVA IN PVA BIOKOMPOZITNIH FILMOV

3.3 CONTACT ANGLE OF A WATER DROP ON THE SURFACE OF PVA AND PVA BIOCOMPOSITE FILMS

Aplikativnost PVA filmov velikokrat omejuje hidrofilnost PVA, saj v vlažnih okoljih voda penetrira v PVA strukturo in s tem poslabša mehanske in barijerne lastnosti PVA materialov. Na sliki 8 so prikazani stični koti vodne kapljice na površini osnovnega PVA filma in različnih PVA biokompozitnih filmov v časovnem intervalu od 0 s do 60 s. Z nobeno sestavo biokompozitnega filma nismo znatno znižali hidrofilnosti površine kompozita. S 4 % dodatkom KT v PVA matrico smo malenkostno zmanjšali hidrofilnost površine P4KT filma, saj je P4KT film na začetku meritev izkazoval za približno 6° višji stični kot v primerjavi z osnovnim P filmom. Malenkostno zmanjšanje hidrofilnosti smo opazili tudi pri filmih P2C in P4T. Iz dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da je KT zaradi svoje sestave manj polaren v primerjavi z GA in TA in tako biokompozitni film P4KT izkazuje najnižjo hidrofilnost med proučevanimi filmi. Le-to se sklada tudi z neenakomerno porazdelitvijo KT v polarni matrici PVA (slika 5). GA in TA se zaradi bolj polarnega značaja v primerjavi s KT boljše dispergirata v PVA matrici.

Med trikomponentnimi PVA bionanokompozitnimi filmi pa smo na površini P2C4T filma izmerili najnižje stične kote. Z enakim deležem GA kot TA v PVA/CNF sistemu smo pridobili P2C4G film, ki je bil



Slika 8. Stični kot vodne kapljice skozi čas (od 0 s do 60 s) na površini osnovnega PVA filma in PVA biokompozitnih filmov.

Figure 8. Contact angle over time (from 0 s to 60 s) for the neat PVA film and PVA biocomposite films.

veliko manj hidrofilen kot P2C4T film (slika 8). Masa GA in TA, ki smo jo dodali v PVA/CNF suspenzijo med pripravo biokompozitnih filmov, je bila enaka. Tako smo z enako maso GA v sistem vnesli veliko več hidroksilnih skupin kot v primeru dodatka TA. GA se je tako lahko povezala s PVA verigami preko več hidroksilnih skupin, tako je bilo število prostih OH skupin na PVA verigi nižje za P2C4G film in posledično smo pridobili manj hidrofilno površino P2C4G filma v primerjavi s P2C4T. Tudi v literaturi (Lee et al., 2020) navajajo, da se znižanje števila prostih OH skupin v PVA strukturi zaradi vzpostavljenih interakcij s komponentami kompozita kaže v povečanju stičnih kotov vodne kapljice na površini kompozitnih filmov. V naši študiji smo med pripravo suspenzij za izdelavo PVA biokompozitnih filmov opazili, da PVA z GA veliko bolj zamrežuje oziroma tvori več interakcij kot s TA in KT. Izdelava P4G filma nam ni uspela, saj je suspenzija za izdelavo omenjenega filma želirala in pridobili smo drugo vrsto kompozita – hidrogele. Verjetno bi z večjim dodatkom TA in KT dosegli več interakcij s PVA, morda tudi s CNF in tako uspeli zmanjšati hidrofilnost končnih biokompozitnih filmov v primerjavi z osnovnim P filmom.

4 SKLEP

4 CONCLUSION

V naši študiji smo pripravili PVA biokompozitne filme z dodatkom ojačitvene komponente CNF in različnih vrst taninov (GA, TA in KT). Izdelali smo dvokomponentne PVA biokompozitne sisteme (P2C, P4T in P4KT) in trikomponentne PVA bionanokompozitne sisteme (P2C4G, P2C4T in P2C4KT). Med pripravo suspenzije za PVA biokompozitni film s 4 % dodatkom GA je suspenzija želirala in tako nismo uspeli pridobiti filma, temveč smo pridobili hidrogele. S pomočjo FT-IR spektroskopije smo potrdili vključitev CNF in vseh vrst dodanih taninov v osnovno matrico PVA.

Z dodatkom 2 % CNF v PVA matrico smo pridobili PVA bionanokompozitni film, ki je presegel vse merjene mehanske parametre osnovnega PVA filma. CNF predstavljajo primerno nanopolnilo za PVA matrico. Za izboljšanje lastnosti končnega kompozitnega filma je pomembna dobra porazdelitev (nano)polnila v PVA matrici in močne medfazne interakcije med PVA in (nano)polnilom. GA in TA smo uspešno dispergirali v PVA matrici, saj smo pridobili filme P4T, P2C4T in P2C4G homogene in enakomerne sestave. Z dodatkom KT v PVA matrico

nismo uspeli pridobiti homogenega filma, temveč so bili v filmu prisotni skupki KT in neenakomerna porazdelitev le-teh. Ko pa smo KT dodali v PVA/CNF sistem, smo uspeli pridobiti trikomponentni biokompozitni film z enakomerno in homogeno porazdelitvijo KT v PVA/CNF sistemu. S tem se skladajo tudi pridobljeni rezultati mehanskih testov. Modul elastičnosti in natezna trdnost se v primeru P4KT filma nista izboljšali glede na osnovni P film, vrednosti za omenjena parametra sta bili nižji. Pri vseh ostalih formulacijah pa smo pridobili PVA biokompozitne filme z večjimi vrednostmi elastičnega modula in natezne trdnosti v primerjavi z osnovnim P filmom. Med trikomponentnimi PVA biokompozitnimi filmi je P2C4T izkazoval najboljše mehanske lastnosti, in sicer je bila vrednost natezne trdnosti več kot 12 % višja glede na osnovni P film. Med vsemi pripravljenimi filmi pa je biokompozitni film P4T izkazoval najvišjo natezno trdnost, ki je bila več kot 25 % višja glede na vrednost natezne trdnosti za osnovni P film. Na področju pakiranja raznih živil je nujno potrebna tako trdnost kot tudi fleksibilnost uporabljenih embalažnih filmov. Raztezek pri pretrgu je tako tudi zelo pomemben mehanski parameter, saj narekuje fleksibilnost kompozita. V primeru P4T filma se je le-ta malenkostno zmanjšal glede na referenčni P film, medtem ko je pri vseh ostalih filmih vrednost razteзка pri pretrgu višja glede na referenčni film. P2C4T je imel najvišji raztezek pri pretrgu, bil je 50 % večji kot za osnovni P film.

Polimer PVA je hidrofilen, kar pogosto omejuje njegovo uporabo v vodnem okolju in okolju z višjo vlažnostjo. Poleg izboljšanja mehanskih lastnosti PVA kompozitov je bil eden od ciljev naše študije tudi zmanjšati hidrofilnost končnih PVA biokompozitnih filmov v primerjavi z osnovnim P filmom. Znatnih izboljšav oziroma zmanjšanja hidrofilnosti površin PVA biokompozitnih filmov nismo dosegli. PVA biokompozitni film P4KT je imel med preiskovanimi filmi najmanj hidrofilen značaj. Verjetno bi bilo v prihodnje za doseg bolj hidrofobne površine PVA biokompozitnih filmov smiselno dodati večjo količino dodanih taninov oziroma poiskati bolj ustrezno razmerje med vsemi komponentami kompozitnega materiala – PVA, CNF in tanini.

Na osnovi izsledkov pričujoče študije smo osnovali nadaljnje raziskovalne aktivnosti, ki že potekajo v laboratorijih Katedre za kemijo lesa in drugih lignoceluloznih materialov Oddelka za lesarstvo.

Raziskave so usmerjenе na področje preverjanja bioaktivnih lastnosti bio(nano)kompozitnih filmov. Glavni cilj je razviti aplikativni potencial naših biokompozitnih formulacij na področju naprednih/funkcionalnih okolju prijaznih embalaž.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

In our study, we prepared PVA biocomposite films with the addition of the reinforcing component CNF and different types of tannins (GA, TA and CT). We prepared two-component PVA biocomposite systems (P2C, P4T, and P4CT) and three-component PVA bionanocomposite systems (P2C4G, P2C4T, and P2C4CT). When preparing the suspension for the PVA-bionanocomposite film with 4% GA addition, the suspension gelled, so we did not obtain a film but a hydrogel. Using FT-IR spectroscopy, we confirmed the incorporation of CNF and all types of added tannins into the PVA base matrix.

By adding 2% CNF to the PVA matrix, we obtained a PVA bionanocomposite film that exceeded all measured mechanical parameters of the PVA base film. CNFs are a suitable nanofiller for the PVA matrix. Good distribution of the (nano)filler in the PVA matrix and strong interactions between PVA and (nano)filler are important to improve the properties of the final composite film. GA and TA were successfully dispersed in the PVA matrix to obtain P4T, P2C4T and P2C4G films with homogeneous and uniform composition. With the addition of CT to the PVA matrix, we could not obtain a homogeneous film; instead, clusters of CT and a non-uniform distribution of only these were present in the film. However, by adding CT to the PVA/CNF system, we were able to obtain a three-component biocomposite film with a uniform and homogeneous distribution of KT in the PVA/CNF system. Only in this way are the results of the mechanical tests consistent. The modulus of elasticity and tensile strength did not improve for the P4CT film compared to the P base film, and the values for the above parameters were lower. For all other formulations, we obtained PVA biocomposite films with higher values for the elastic modulus and tensile strength compared to the P base film. Among the three-component PVA biocomposite films, P2C4T exhibited the best mechanical properties, and the value for tensile strength was more than 12% high-

er than that of the P base film. Among all the films produced, P4T biocomposite film had the highest tensile strength, which was more than 25% higher than the tensile strength of the P base film. In the field of packaging various food products, both the strength and flexibility of the packaging films used are absolutely essential. Elongation at break is also a very important mechanical parameter, as it determines the flexibility of the composite. In the case of the P4T film this decreased slightly compared to the P reference film, while for all other films the elongation at break was higher compared to the reference film. The P2C4T film exhibited the highest elongation at break, which was 50% higher than that of the P base film.

The PVA polymer is hydrophilic, which often limits its use in aqueous and humid environments. In addition to improving the mechanical properties of PVA composite films, one of the objectives of our study was to reduce the hydrophilicity of the final PVA biocomposite films compared to the P base film. We were unable to obtain significant improvements or reductions in the hydrophilicity of the surfaces of the PVA biocomposite films. The PVA biocomposite film P4CT had the lowest hydrophilicity among the films studied. In order to achieve a more hydrophobic surface of PVA biocomposite films in the future, it would probably be useful to add a larger amount of tannins or to find a more suitable ratio between all components of the composite material – PVA, CNF and tannins.

Based on the results of the present study we have initiated further research activities, which are already being carried out in the laboratories of the Chair of Wood Chemistry and Other Lignocellulosic Materials in the Department of Wood. The research aims to test the bioactive properties of bio(nano)composite films. The main objective is to develop the application potential of our biocomposite formulations in the field of advanced/functional eco-friendly packaging.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENT

Avtorji se zahvaljujemo za finančno podporo Javni agenciji za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS (ARIS) v okviru raziskovalnega programa P4-0015 (Les in lignocelulozni kompoziti), aplikativnega projekta L4-2623 (ArsAlbi), razisko-

valnih projektov V4-2017 (Izboljšanje konkurenčnosti slovenske gozdno-lesne verige v kontekstu podnebnih sprememb in prehoda v nizkoogljično družbo) in J2-1723 (CaLiBration). Posebna zahvala Juretu Žigonu za pripravo preskušancev za meritve mehanskih lastnosti.

LITERATURA

LITERATURE

- Abdul Khalil, H. P. S., Davoudpour, Y., Islam, M. N., Mustapha, A., Suresh, K., Dungani, R., & Jawaid, M. (2014). Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: A review. *Carbohydrate Polymers*, 99, 649–665. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.069>
- Dai, H., Huang, Y., & Huang, H. (2018). Enhanced performances of polyvinyl alcohol films by introducing tannic acid and pineapple peel-derived cellulose nanocrystals. *Cellulose*, 25, 4623–4637. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1873-5>
- Dufresne, A. (2013). Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial. *Materials Today*, 16, 220–227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.06.004>
- Espinosa, E., Bascon-Villegas, I., Rosal, A., Perez-Rodriguez, F., Chinga-Carrasco, G., & Rodriguez, A. (2019). PVA/(ligno)nanocellulose biocomposite films. Effect of residual lignin content on structural, mechanical, barrier and antioxidant properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141, 197–206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.262>
- Guo, J., Suma, T., Richardson, J. J., & Ejima, H. (2019). Modular assembly of biomaterials using polyphenols as building blocks. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 5, 5578–5596. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.8b01507>
- Han, S., Yao, Q., Jin, C., Fan, B., Zheng, H., & Sun, Q. (2018). Cellulose nanofibers from bamboo and their nanocomposites with polyvinyl alcohol: Preparation and characterization. *Polymer Composites*, 39, 2611–2619. DOI: <https://doi.org/10.1002/pc.24249>
- Hong, K. H. (2016). Preparation and properties of polyvinyl alcohol/tannic acid composite film for topical treatment application. *Fibers and Polymers*, 17, 1963–1968. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12221-016-6886-9>
- Isogai, A. (2013). Wood nanocelluloses: fundamentals and applications as new bio-based nanomaterials. *Journal of Wood Science*, 59, 449–459. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10086-013-1365-z>
- Judawisastra, H., Sitohang, R., Marta, L., & Mardiyati, Y. (2017). Water absorption and its effect on the tensile properties of tapioca starch/polyvinyl alcohol bioplastics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 223, 012066. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/223/1/012066>
- Kassab, Z., Boujemaoui, A., Ben Youcef, H., Hajlane, A., Hannache, H., & El Achaby, M. (2019). Production of cellulose nanofibrils from alfa fibers and its nanoreinforcement potential in polymer nanocomposites. *Cellulose*, 26, 9567–9581. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02767-5>

- Lee, H., You, J., Jin, H.J., & Kwak, H.W. (2020). Chemical and physical reinforcement behavior of dialdehyde nanocellulose in PVA composite film: A comparison of nanofiber and nanocrystal. *Carbohydrate Polymers*, 232, 115771. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115771>
- Lee, S. Y., Mohan, D.J., Kang, I. A., Doh, G. H., Lee, S., & Han, S. O. (2009). Nanocellulose reinforced PVA composite films: Effects of acid treatment and filler loading. *Fibers and Polymers*, 10, 77–82. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12221-009-0077-x>
- Li, Y., Chen, Y., Wu, Q., Huang, J., Zhao, Y., Li, Q., & Wang, S. (2022). Improved hydrophobic, UV barrier and antibacterial properties of multifunctional PVA nanocomposite films reinforced with modified lignin contained cellulose nanofibers. *Polymers*, 14 (9), 1705. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14091705>
- Limaye, M. V., Schutz, C., Kriechbaum, K., Wohler, J., Bacsik, Z., Wohler, M., & Bergstrom, L. (2019). Functionalization and patterning of nanocellulose films by surface-bound nanoparticles of hydrolyzable tannins and multivalent metal ions. *Nanoscale*, 11, 19278–19284. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9NR04142G>
- Liu, B., Zhang, J., & Guo, H. (2022). Research progress of polyvinyl alcohol water-resistant film materials. *Membranes*, 12 (3), 347. DOI: <https://doi.org/10.3390/membranes12030347>
- Luzi, F., Pannucci, E., Santi, L., Kenny, J. M. Torre, L., Bernini, R., & Puglia, D. (2019). Gallic acid and quercetin as intelligent and active ingredients in poly(vinyl alcohol) films for food packaging. *Polymers*, 11, 1999. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11121999>
- Mansur, H. S., Sadahira, C. M., Souza, A. N., & Mansur, A. A. P. (2008). FTIR spectroscopy characterization of poly (vinyl alcohol) hydrogel with different hydrolysis degree and chemically crosslinked with glutaraldehyde. *Materials Science and Engineering*, 28, 539–548. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2007.10.088>
- Missio, A. L., Gatto, D. A., & Tondi, G. (2019). Exploring tannin extracts: Introduction to new bio-based materials. *Revista Ciência da Madeira-RCM*, 10, 88–102. DOI: <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v10n1p88-102>
- Nagalakshmaiah, M., Afrin, S., Maladi, R. P., Elkoun, S., Ansari, M. A., Robert, M., & Karim, Z. (2019). Biocomposites: Present trends and challenges for the future. In: Koronis G., Silva, A. (ed.) *Green composites for automotive applications* (197–215). DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102177-4.00009-4>
- Oksman, K., Aitomäki, Y., Mathew, A. P., Siqueira, G., Zhou, Q., Butylina, S., & Hooshmand, S. (2016). Review of the recent developments in cellulose nanocomposite processing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 2–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.10.041>
- Papuc, C., Goran, G. V., Predescu, C. N., Nicorescu, V., & Stefan, G. (2017). Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: Classification, structures, sources, and action mechanisms. *Comprehensive Review of Food Science and Food Safety*, 16 (6), 1243–1268. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12298>
- Saito, T., Uematsu, T., Kimura, S., Enomae, T., & Isogai, A. (2011). Self-aligned integration of native cellulose nanofibrils towards producing diverse bulk materials. *Soft Matter*, 7, 8804–8809. DOI: <https://doi.org/10.1039/C1SM06050C>
- Sánchez-Gutiérrez, M., Bascón-Villegas, I., Espinosa, E., Carrasco, E., Pérez-Rodríguez, F., & Rodríguez, A. (2021). Cellulose nanofibers from olive tree pruning as food packaging additive of a biodegradable film. *Foods*, 10 (7), 1584. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10071584>
- Singh, S., Gaikwad, K. K., & Lee, Y. S. (2018). Antimicrobial and antioxidant properties of polyvinyl alcohol bio composite films containing seaweed extracted cellulose nano-crystal and basil leaves extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 1879–1887. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.057>
- Spoljaric, S., Salminen, A., Luong, N. D., & Seppälä, J. (2013). Cross-linked nanofibrillated cellulose: poly(acrylic acid) nanocomposite films; enhanced mechanical performance in aqueous environments. *Cellulose*, 20, 2991–3005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0061-x>
- Srithep, Y., Turng, L. S., Sabo, R., & Clemons, C. (2012). Nanofibrillated cellulose (NFC) reinforced polyvinyl alcohol (PVOH) nanocomposites: properties, solubility of carbon dioxide, and foaming. *Cellulose*, 19, 1209–1223. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-012-9726-0>
- Tan, R., Li, F., Zhang, Y., Yuan, Z., Feng, X., Zhang, W., & Huang, X. (2021). High-performance biocomposite polyvinyl alcohol (PVA) films modified with cellulose nanocrystals (CNCs), tannic acid (TA), and chitosan (CS) for food packaging. *Journal of Nanomaterials*, 2021, 4821717. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/4821717>
- Vek, V., Šmidovnik, T., Humar, M., Poljanšek, I., & Oven, P. (2023). Comparison of the content of extractives in the bark of the trunk and the bark of the branches of Silver fir (*Abies alba* Mill.). *Molecules*, 28, 225. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28010225>
- Vek, V., Keržič, E., Poljanšek, I., Eklund, P., Humar, M., & Oven, P. (2021). Wood extractives of Silver fir and their antioxidant and antifungal properties. *Molecules*, 26, 6412. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26216412>
- Žepič, V., Fabjan, E., Počkaj, M., Cerc Korošec, R., Hančič, A., Oven, P., & Poljanšek, I. (2014). Morphological, thermal, and structural aspects of dried and redispersed nanofibrillated cellulose (NFC). *Holzforschung*, 68, 657–667. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2013-0132>
- Zhou, Y.M., Fu, S.Y., Zheng, L.M., & Zhan, H.Y. (2012). Effect of nanocellulose isolation techniques on the formation of reinforced poly(vinyl alcohol) nanocomposite films. *Express Polymer Letters*, 6, 794–804. DOI: <https://doi.org/10.3144/EXPRESSPOLYMLET.2012.85>
- Zimmermann, T., Pöhler, E., & Geiger, T. (2004). Cellulose fibrils for polymer reinforcement. *Advanced Engineering Materials*, 6, 754–761. DOI: <https://doi.org/10.1002/adem.200400097>

FORESTRY AND WOOD TECHNOLOGY RESEARCH AND EDUCATION NETWORK FOR CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGIES AND ASFORCLIC– HORIZON 2020 PROJECT

MREŽA ZA RAZISKAVE IN IZOBRAŽEVANJE NA PODROČJU GOZDARSTVA IN LESNE TEHNOLOGIJE ZA STRATEGIJE PRILAGAJANJA PODNEBNIM SPREMENBAM IN PROJEKT ASFORCLIC–HORIZON 2020

Kyriaki Giagli^{1*}, Kathrin Böhling², Tobias Mette³, Aleš Kučera⁴, Torben Hilmers⁵, Petr Čermák¹

UDK članka: 630*945.4

Abstract / Izvleček

Abstract: Seven European universities and research institutions from four countries agreed to collaborate on the ASFORCLIC–HORIZON 2020 project to support the ambitious goals of raising the leading institution's MENDELU research profile and strengthening its research excellence in the highly demanding field of assessing the impact of global climate change on forests and the bio-based sector. The ASFORCLIC consortium evaluates possible risk factors, predicts their evolution, and develops adaptation strategies for future applications to monitor the impact of global climate change on central European forestry, particularly Czech forestry. Facing the unprecedented challenge of implementing a mobility project during the COVID-19 pandemic, the consortium used strategic approaches and augmented offerings, including successful literature seminars, writing workshops, and advanced data evaluation training largely realized through virtual platforms.

Keywords: Forest–Wood value chain; Climate change; lesson learned; COVID-19; networking; capacity building

Izvleček: Sedem evropskih univerz in raziskovalnih ustanov iz štirih držav se je dogovorilo o sodelovanju pri projektu ASFORCLIC–HORIZON 2020, da bi podprli ambiciozne cilje za dvig raziskovalnega profila vodilne institucije Mendelove univerze v Brnu (MENDELU) in krepitev njene raziskovalne odličnosti na zelo zahtevnem področju vpliva globalnih podnebnih sprememb na gozdove in sektor bioloških surovin. Konzorcij ASFORCLIC ocenjuje možne dejavnike tveganja, napoveduje njihov razvoj in razvija prilagoditvene strategije za prihodnje uporabe za spremljanje vpliva globalnih podnebnih sprememb na srednjeevropsko, zlasti češko gozdarstvo. Ker se je konzorcij soočil z izzivom brez primere, tj. z izvajanjem projekta mobilnosti med pandemijo COVID-19, je uporabil strateške pristope in povečal ponudbo, vključno z uspešnimi literarno-znanstvenimi seminarji, delavnicami pisanja in naprednim usposabljanjem za vrednotenje podatkov, ki je bilo v veliki meri izvedeno prek virtualnih platform.

Ključne besede: vrednostna veriga gozd–les; podnebne spremembe; pridobljene izkušnje; COVID-19; mreženje; krepitev zmogljivosti

1 INTRODUCTION

1 UVOD

Climate change poses new challenges for forestry research and education. In the pursuit of

addressing these challenges, MENDELU–Mendel University in Brno, Czech Republic (coordinator) joined forces with seven European universities and research institutions (AIT–Austrian Institute

¹ Department of Wood Science and Technology, Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University in Brno, Zemědělská 3, 61300, Brno, Czech Republic.

² Department of Forest ownership, Counselling and Forest policy, Bavarian State Institute for Forestry, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising, Germany.

³ Department Soil and Climate, Bavarian State Institute of Forestry, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising, Germany.

⁴ Department of Geology and Pedology, Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University in Brno, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Czech Republic.

⁵ Chair for Forest Growth and Yield Science, Department of Life Science Systems, TUM School of Life Sciences, Technical University of Munich, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, 85354 Freising, Germany.

* kyriaki.giagli@mendelu.cz

of Technology GmbH; LWF–Bavarian Ministry of Food, Agriculture and Forestry; THUENEN–Johann Heinrich von Thünen Institute–Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries; SLU–Swedish University of Agricultural Sciences; TUM–Technical University of Munich; BOKU–University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna; and UL–University of Ljubljana) specializing in forestry and wood sciences, under the EU-funded HORIZON 2020 project “ASFORCLIC–Adaptation Strategies in Forestry Under Global Climate Change Impact” with a duration from January 1, 2021 – December 31, 2023. This collaboration, part of the EU “Twinning” programme, primarily aimed at fostering networking and raising academic excellence at Mendel University in Brno. The seven partner universities and research institutions contributed to the strengthening of the partner network through tangible initiatives and, in turn, refined its research methodologies through the insights gained from this collaborative endeavour.

In the Czech Republic, research and education grounded in science within the field of forestry and wood sciences are primarily anchored at two institutions: the University of Life Sciences in Prague and MENDELU in Brno. In 2019, enrolment at these

universities included 1,898 and 1,414 students, respectively, including doctoral candidates, with a third of this demographic being female at both institutions. The consequences of climate change have a significant influence over forestry in the Czech Republic, necessitating comprehensive adaptations across the forestry and timber sectors. In light of this, the ASFORCLIC project has embraced a holistic methodology, delving into climate change adaptation strategies pertinent to forest ecosystems and forestry, wood utilization and its diverse applications, as well as the prevailing political frameworks. This integrative approach serves to forge connections in forestry research among the Czech Republic, Germany, Austria, Sweden, and Slovenia.

2 CZECH FORESTRY IN CLIMATE CHANGE

2 ČEŠKO GOZDARSTVO IN PODNEBNE SPREMEMBE

The Czech Republic stands as a major wood-producing nation within Europe, with forests covering one-third (33.9%) of the country's landscape, predominantly characterized by Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*). Analogous to the situation in Europe in gener-



Figure 1. Research–educational activities and the ASFORCLIC logo, designed by MENDELU design student Filip Dočkal.

Slika 1. Raziskovalno-izobraževalne dejavnosti in logotip ASFORCLIC, ki ga je oblikoval študent oblikovanja na MENDELU Filip Dočkal.

al, climate change with rising average temperatures and extreme weather events is exerting substantial influence on Czech forestry. Owing to the vast quantities of damaged wood derived from salvage logging, logging activities have witnessed a twofold increase – escalating from nearly 16 million m³ in 2015 to 32.5 million m³ in 2019, of which a good 31 million m³ is attributed to softwoods.

Reforestation of areas afflicted by natural disasters necessitates the adaptation of silvicultural concepts. Post disturbances induced by storms, droughts, and bark beetles in numerous sites pose challenges for regeneration, given the substantial changes in temperature and moisture regimes, subsequently affecting soils and microclimates. Pioneer tree species are the first to pave the way for climate-adapted mixed stands, creating the requisite microclimate for the introduction of both native and alternative tree species, aligned with the long-term projections of climate change.

The requisite modifications in silviculture signify substantial transformations for the Czech wood industry, coupled with a considerable need for investment in novel technologies, wood processing, and product development. Most of all, alterations in forest structure necessitate comprehensive communication with the public, and initiatives to amend the legislation governing forests and forestry are essential in this regard. Desirable measures include a redefinition of the term 'clearcutting', a reduction of bureaucracy, government support of less prevalent silvicultural techniques, and a revision of the maximum stand age for regeneration cuts.

3 CAPACITY-BUILDING FOR FORESTRY RESEARCH AT MENDEL UNIVERSITY

3 KREPITEV ZMOGLJIVOSTI ZA GOZDARSKE RAZISKAVE NA UNIVERZI MENDEL

Within the ASFORCLIC project, LWF – which was leading the WP4 – coordinated capacity-building activities aimed at fostering the development of early-stage researchers and employees in science management at Mendel University in Brno. To this end, the ASFORCLIC initiated and designed a diverse array of workshops, seminars, research stays, training sessions, summer schools, and conferences, actively participating in their execution.

This included, for instance, training courses on data management and protection, as well as writing scientific articles or project proposals. Moreover, a mentoring system was instituted for PhD students and postdoctoral researchers at MENDELU in Brno, in which senior researchers from partner institutions extended their support to young and early-stage researchers. The online literature seminar, designed to cultivate scientific discourse and facilitate professional exchange with mentors, was also met with considerable acclaim.

However, forestry research is not only about scientific progress but also practical fieldwork in forests, with wood and people, as well as the forging of interpersonal relationships. To this end, the following three working groups (WGs) were established in the project, with all partner institutions playing active roles in these:

Forest productivity: The impacts of climate change on tree species range, forest health and growth, with special attention to the role of soils

Wood properties and applications: Changes in wood assortments and properties, development of new wood and wood-based materials and applications, analysis of their potential in the bioeconomy

Bioeconomy and policy: Framework conditions for sustainable wood production and improved value creation of forests under climate change

4 NETWORKING CREATES INNOVATION

4 MREŽENJE USTVARJA INOVACIJE

The close collaboration within the WGs of the ASFORCLIC led to joint initiatives. Particularly noteworthy is the WG focused on forest productivity, which, guided by an experimental concept developed by the Chair of Forest Growth and Yield Science in Munich, instituted experimental plots in each partner country. A so-called A-B-C series was established at two meticulously selected sites per country, where 'A' denotes an even-aged mono-specific stand, 'B' is an even-aged mixed stand, and 'C' is an uneven-aged, species-rich, mixed stand. These plots, ranging between a stand age of 50 and 100 years, encapsulate a diverse spectrum of site conditions. The A-B-C series facilitates a comprehensive evaluation of varied silvicultural practices concerning a multitude of ecosystem ser-

vices, spanning climate smartness and stress tolerance to timber quality and stability.

The ASFORCLIC project recognizes that there is also an abundance of tree species in European forests, a great many of which are more adapted than others to changing climate conditions such as drought, extreme temperatures, or floods. Many industrially unfavourable tree species have been reduced or even eliminated as a result of forest management and silviculture, resulting in less stable and resilient forest systems. Man-made monoculture forests, in particular, are currently suffering greatly from the effects of a changing climate, which leads to decreased productivity and increased exposure to disease, disaster, or fire, thus endangering the sustainability of high productivity in many cases. Many lesser-used wood species (LUWS) exhibit an environmental optimum that is, partially now or in the future, considerably more adapted to the projected climatic and site condition scenarios, which may develop as a result of climate change processes. In the list of the suggested LUWS, the ASFORCLIC project includes alder, hornbeam, ash, poplar, mountain ash, and some other *Sorbus* species, or species originating outside the range of our natural forests, such as *Robinia*, European chestnut, walnut, *Platanus*, and several cherry or oak species. The suggested additional and supported enclosure of these LUWS can assist in maintaining the forest environment and bio-based sector, allowing for continued CO₂ fixation and a potential reduction in global warming.

Through the ASFORCLIC project, new doors have also opened for the partners. For example, the exchange of data and knowledge with the participating research institutes has facilitated a Europe-wide evaluation of forest inventories focusing on the growth of beech provenances (Engel et al., 2023). ASFORCLIC has also instigated new impulses within the field of forest policy, exploring how political framework conditions, markets, and the decision-making behaviours of forest owners and managers influence the identification and implementation of suitable adaptation strategies. Important preconditions for forest conversion in both Bavaria and the Czech Republic, assessing aspects relevant to forestry within the European Green Deal, have been analysed, which is another example of the network benefits of this project. The

comparative analysis between countries showed that property rights within the legal framework affecting forest management provide higher decision-making power in Bavaria compared to the Czech Republic. However, due to the evolution of national and European regulations, conditions have exhibited convergence since the mid-1990s, rendering the analysis of forest-relevant objectives and policy instruments related to the European Green Deal significant for both countries (Böhling, 2023; Nichiforel et al., 2020).

5 CONCLUSIONS: LESSONS LEARNED

5 ZAKLJUČKI: KAJ SMO SE NAUČILI

The EU-funded HORIZON 2020 project, ASFORCLIC, has successfully met its set objectives. MENDELU, along with the other participating institutions, have successfully and sustainably forged connections among themselves. The project started amid challenging circumstances during the COVID-19 pandemic, where workshops, meetings, and mutual visits were largely constrained to virtual platforms. Despite the myriad possibilities presented by digital communication, the depth of interpersonal relationships cultivated through direct interaction remains irreplaceable. However, since early-stage researchers were afforded limited exposure to the scientific community beyond their university until the latter half of the project, the project partners employed strategic approaches and augmented offerings, incorporating literature seminars, writing workshops, and advanced training on data evaluation. Navigating deviations from the original work plan in EU projects is inherently challenging. For example, the EU Twinning programme, underpinning ASFORCLIC, does not cover expenses for collaborative field research – a realm where the exchange is most enriching.

Nonetheless, ASFORCLIC's objectives were met by continuously leveraging the institutions' research profiles (i.e. growing capacity, broadening emphasis, international and multisector-oriented methods, and adoption of best practices). In addition, through newly formed research alliances, participation in European policy and trends leading events, scientific networks, and excellent publications in high-profile journals prepared in collaboration with advanced partners, the con-

sortium supported the personal scientific growth of its members (individual researchers' expertise, ability to initiate/perform and capacity to frontier research, scientometric measures, and the amount of funding awarded).

6 SUMMARY

6 POVZETEK

Za reševanje izzivov podnebnih sprememb, ki vplivajo na gozdarsko-lesarske raziskave in izobraževanje, se je MENDELU, Mendlova univerza v Brnu na Češkem (Mendel University in Brno) kot koordinatorica povezala s sedmimi evropskimi univerzami in raziskovalnimi ustanovami z uradnimi angleškimi nazivi: AIT–Austrian Institute of Technology GmbH; LWF–Bavarian Ministry of Food, Agriculture and Forestry; THUENEN–Johann Heinrich von Thünen Institute–Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries; SLU–Swedish University of Agricultural Sciences; TUM–Technical University of Munich; BOKU–University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna in UL–University of Ljubljana, ki gojijo področje gozdarstva in lesarstva. Združili so se v okviru EU projekta, HORIZON 2020 “ASFORCLIC–Adaptation Strategies in Forestry Under Global Climate Change Impact (Strategije prilagajanja v gozdarstvu pod vplivom globalnih podnebnih sprememb)” s trajanjem od 1. januarja 2021 do 31. decembra 2023. Namen sodelovanja, ki je del programa EU “Twinning”, je predvsem spodbujanje mreženja in dvig akademske odličnosti na MENDELU.

V okviru projekta ASFORCLIC so potekale dejavnosti za spodbujanje izobraževanja mladih raziskovalcev in znanstvenega menedžmenta na MENDELU. V ta namen so ob podpori partnerskih institucij potekale različne delavnice, seminarji, raziskovalni obiski, usposabljanja, poletne šole in konference. Sodelovanje je vključevalo na primer tečaje usposabljanja o upravljanju in varstvu podatkov ter pisanje znanstvenih člankov ali predlogov projektov. Poleg tega je bil za doktorske študente in podoktorske raziskovalce na univerzi MENDELU v Brnu vzpostavljen sistem mentorstva, v okviru katerega so izkušeni raziskovalke in raziskovalci iz partnerskih institucij nudili podporo raziskovalkam in raziskovalcem na začetku kariere. Dobro je bil sprejet tudi sklop spletnih seminarjev o literaturi,

ki je bil namenjen gojenju znanstvenega diskurza in omogočanju strokovne razprave z mentorji.

Ker delo pri gozdarskih in lesarskih raziskavah vključuje tudi praktično in terensko delo, delo z ljudmi ter oblikovanje medosebnih odnosov, so v okviru projekta potekale tri delovne skupine (WG), v katerih so aktivno sodelovale vse partnerske institucije:

1. Produktivnost gozdov: podnebne spremembe in vpliv na razširjenost drevesnih vrst, zdravje in rast gozdov, s posebnim poudarkom na vlogi tal

2. Lastnosti in raba lesa: spremembe v lesnih sortimentih in lastnostih lesa, razvoj novih lesnih materialov ter raba lesa in analiza njihovega potenciala v biogospodarstvu

3. Biogospodarstvo in politika: okviri za trajnostno predelavo lesa in rast dodane vrednosti gozdnih proizvodov v razmerah podnebnih sprememb

Projekt se je začel v zahtevnih okoliščinah med pandemijo COVID-19, ko so bile delavnice, srečanja ter medsebojni obiski večinoma omejeni na uporabo virtualnih platform. Izkazalo se je, da kljub neslutnim možnostim, ki jih ponuja digitalna komunikacija, ostajajo nenadomestljiva osebna srečanja z neposredno interakcijo med sodelujočimi. Mladi raziskovalci so bili v prvi polovici poteka projekta prikrajšani za srečanja s pripadniki znanstvenih skupnosti izven njihove matične univerze. Projektni partnerji so za blaženje pomanjkanja stikov uporabili strateške pristope in razširili ponudbo s prej omenjenimi seminarji in delavnicami, kar pa je zaradi odstopanj od prvotnega delovnega načrta predstavljalo velik izziv.

Kljub temu so bili cilji projekta ASFORCLIC doseženi s stalnim izkoriščanjem raziskovalnih profilov institucij (tj. rastoče zmogljivosti, širši poudarek, mednarodno in večsektorsko usmerjene metode ter sprejemanje najboljših praks). Poleg tega je konzorcij z novo oblikovanimi raziskovalnimi zavezništvii, sodelovanjem na vodilnih dogodkih na področju evropske politike in trendov, znanstvenimi mrežami in odličnimi objavami v odmevnih revijah, pripravljenimi v sodelovanju z znanstveno odličnimi partnerji, podprl osebno znanstveno rast svojih članov (strokovno znanje posameznih raziskovalcev, sposobnost za začetek in izvedbo zahtevnih mejnih raziskav in optimalno uporabo virov v danem obsegu financiranja).

Giagli, K., Böhling, K., Mette, T., Kučera, A., Hilmers, T., & Čermák, P.: Mreža za raziskave in izobraževanje na področju gozdarstva in lesne tehnologije za strategije prilagajanja podnebnim spremembam in projekt ASFORCLIC - HORIZON 2020

Menimo, da splošne koristi projekta ASFORCLIC presegajo njegove omejitve. Projekt je spodbudil priložnosti za razširitev perspektiv v vsaj dveh temeljnih vidikih: z razumevanjem gozdarsko-lesarskega znanja in praks upravljanja v različnih državah, in z vključitvijo celotne gozdno-lesne verige, vključno s politično-socialnim okvirom. Oba vidika sta nujna za uspešno uresničevanje podnebnju prijaznih gozdnogojitvenih konceptov po vsej Evropi, kar ugodno vpliva na sedanje in prihodnje sodelovanje univerze MENDELU v projektih, ki jih financira EU. V celoti gledano je projekt znatno povečal raziskovalno odličnost univerze MENDELU in jo uveljavil kot vodilno evropsko raziskovalno središče ter vozlišče znanstvene mreže s poudarkom na posledicah podnebnih in globalnih sprememb za gozdarstvo in lesarstvo.

ACKNOWLEDGEMENTS

ZAHVALA

The ASFORCLIC project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N952314.

REFERENCES

VIRI

- Böhling, K. (2023). Learning from forestry innovations for the European Green Deal: a research approach. In: Deal for Green? [online]. Published Scientific Conference Contribution. Ljubljana. 2023. p.86–94. URL: <https://dirros.openscience.si/lzpisGradi-va.php?lang=eng&id=17138> (24.11. 2023).
- Engel, M., Mette, T., Falk, W., Poschenrieder, W., Fridmann, J., & Skudnik, M. (2023). Modelling dominant tree heights of *Fagus sylvatica* L. using function-on-scalar regression based on forest inventory data. *Forests* 14, 304. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14020304>
- Nichiforel, L., Deuffic, P., Jellesmark Thorsen, B., Weiss, G. et al. (2020). Two decades of forest-related legislation changes in European countries analysed from a property rights perspective. *Forest Policy and Economics* 115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102146>

**WALTER LIESE (1926-2023) – DOLGO IN PLODNO ŽIVLJENJE ZNANSTVENIKA,
UČITELJA, VODJE IN AMBASADORJA ZNANOSTI****WALTER LIESE (1926-2023) – THE LONG AND FRUITFUL LIFE OF A SCIENTIST,
TEACHER, LEADER AND AMBASSADOR OF SCIENCE**Katarina Čufar^{1*}

UDK članka: 630*902.1

Izvleček / Abstract

Izvleček: Prof. dr. dr. h. c. mult. Walter Liese (1926–2023) je bil vodilni znanstvenik, učitelj, mentor, direktor, vodja, predsednik IUFRO, večkratni častni doktor in ambasador znanosti na področju gozdarstva in lesarstva. Po diplomu in doktoratu iz gozdarstva je opravil pionirsko in izjemno življenjsko delo na področju elektronske mikroskopije ter biologije in zaščite lesa ter bambusa. V obdobju 1963–1991 je deloval kot profesor na Univerzi v Hamburgu, vodja inštituta za Biologijo in zaščito lesa in direktor Zveznega raziskovalnega centra za gozdarstvo in lesarstvo. Njegovo delo je imelo izjemen vpliv na razvoj znanosti in laboratoriji, ki jih je vodil, so bili referenčna točka za znanost o lesu in bambusu na svetu. Bil je aktiven član svetovne organizacije IUFRO in v letih 1977–1981 njen predsednik ter izjemen ambasador znanosti in povezovalac. Vsestransko je podpiral znanstveno skupnost v Sloveniji. Leta 1994 je kot prvi znanstvenik s področja gozdarstva in lesarstva prejel častni doktorat Univerze v Ljubljani. Tudi po uradni upokojitvi je nadaljeval z raziskovalnim delom in ostal povezan s svetovno znanstveno skupnostjo.

Ključne besede: biologija lesa, zaščita lesa, elektronska mikroskopija, bambus, IUFRO

Abstract: Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Walter Liese (1926-2023) was a leading scientist, teacher, mentor, director, leader, president of IUFRO, multiple honorary doctor and ambassador of science in the forestry and wood science community. After his BSc and PhD in forestry he pioneered and carried out outstanding work in the field of electron microscopy and the biology and protection of wood and bamboo. From 1963 to 1991, he was a professor at the University of Hamburg and director of its Institute of Wood Biology and Wood Protection, and a Director of the Federal Research Centre for Forestry and Forest Products in Hamburg, Germany. His work had a decisive influence on the development of science, and the laboratories he led were a reference point for wood and bamboo science worldwide. He was an active member of IUFRO and its president from 1977 to 1981, where he acted as an outstanding ambassador and mediator for science. He supported the scientific community in Slovenia. In 1994, he was awarded an honorary doctorate by the University of Ljubljana. Even after his official retirement, he continued his outstanding work, remained committed to science and connected to his worldwide scientific community.

Keywords: wood biology, wood preservation, electron microscopy, bamboo, IUFRO

1 ZNANSTVENIK, UČITELJ IN VODJA**1 SCIENTIST, TEACHER AND LEADER**

Svetovna znanstvena skupnost s področja lesarstva in gozdarstva žaluje, ker nas je zapustil prof. dr. dr. h. c. mult. Walter Liese (31. 1. 1936–24. 2. 2023) (slika 1). Bil je izjemen profesor, učitelj, mentor, vodja, podpornik, znanstvenik, ambasador in komunikator znanosti, ob vsem tem pa dober ko-

lega in prijatelj znanstvenic in znanstvenikov po vsem svetu. Po tem, ko je svoj 97. rojstni dan 31. 1. 2023 kot vedno praznoval povezan s svojo svetovno skupnostjo, je po kratki bolezni umrl na svojem domu v Reinbeku pri Hamburgu. V njegov spomin so bili po vsem svetu objavljeni številni prispevki, ki so podrobno osvetlili njegovo dolgo življenjsko pot in izjemne dosežke. Tudi v Sloveniji se ga s hvale-

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

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



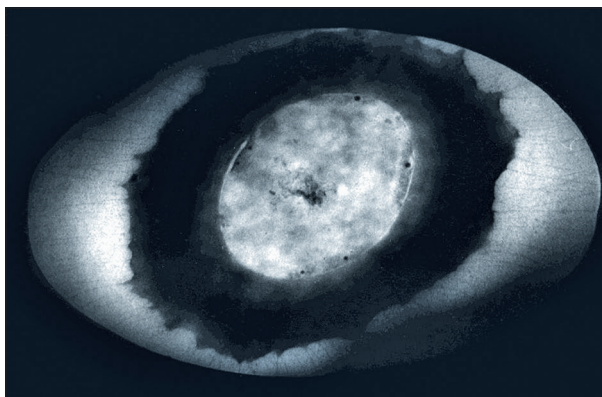
Slika 1. Prof. dr. dr. h. c. mult. Walter Liese leta 2005 (Foto: arhiv Thünen-Institut).

Figure 1. Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Walter Liese in 2005 (Photo: archive Thünen-Institut).

žnostjo spominjamo kot profesorja, vzornika, prijatelja in podpornika.

Liesejeva življenjska in znanstvena pot je dobro dokumentirana v njegovih številnih znanstvenih objavah in prispevkih, kjer so se ga kolegi spomnili ob njegovih življenjskih jubilejih (npr. Schulz, 1991; Schmid, 2001; Eckstein & Schmitt, 2006; Thünen-Institut, 2016; Wikipedia, 2023) in v spomin (Dujesiefken, 2023; Schmitt & Koch, 2023; IUFRO, 2023). Svoje dolgo življenje je z veliko hvaležnostjo opisal tudi sam v obliki spominov, ki jih je delil s svojo skupnostjo (Liese, 2013, 2016, 2018).

Walter Liese se je rodil v Berlinu in odraščal v bližnjem Eberswaldu, kjer je njegov oče Johannes Liese (1891–1952) deloval kot profesor gozdne botanike na eni najstarejših gozdarskih visokih šol na svetu. Tako je Walter že kot otrok imel veselje z gozdom in lesom ter je želel študirati gozdarstvo. Kot je zapisal v svojih spominih (Liese, 2013, 2018),



Slika 2. Prva objavljena slika obokane piknje v lesu iglavca, tanek preprat, transmissijski elektronski mikroskop (Liese, 1951a) (Foto: arhiv W. Liese).

Figure 2. First published image of a softwood bordered pit, thin section, transmission electron microscope (Liese, 1951a) (Photo: archive W. Liese).

je njegovo generacijo tragično zaznamovala druga svetovna vojna, ki se je razplamtela v času njegovega šolanja na humanistični gimnaziji. Zaradi vojne je gimnazijo moral zaključiti predčasno, junija 1943, z izredno maturo. Takoj po tem je bil vpoklican v nemško vojsko. Vojno in nevarno povojno obdobje na begu v zahodni del Nemčije je preživel tudi ob pomoči številnih dobrih ljudi in ob trdem delu za preživetje.

Leta 1946 se je lahko vpisal na študij gozdarstva v Freiburgu in leta 1950 diplomiral. Nato je deloval na Gozdarskem botaničnem inštitutu Hannoversch Münden, pod Univerzo Göttingen, kjer je leta 1951, pri 25 letih, doktoriral iz gozdarstva z disertacijo "Vpliv strukture lesa na prodiranje oljnih sredstev za zaščito lesa" (Liese, 1951a) pod vodstvom profesorja Herberta Zycha. Mentor ga je povezal s profesorjema in bratoma Helmutom in Ernstom Ruska, ki sta mu omogočila prve raziskave lesa z elektronskim mikroskopom. V Liesejevi disertaciji je bil tako objavljen prvi posnetek mikrostrukture lesa na svetu, posnete z elektronskim mikroskopom (slika 2), Ernst Ruska pa je leta 1986 prejel Nobelovo nagrado za fiziko kot soizumitelj elektronskega mikroskopa (Schmitt & Koch, 2023).

Po doktoratu in poroki s Katrin Else Pabst (1952) je deloval kot znanstveni asistent na Gozdarskem inštitutu Severnega Porenja-Vestfalije, v industriji za zaščito lesa in med leti 1953–1959 kot asistent na Gozdarskem botaničnem inštitutu v Freiburgu,

kjer je med drugim nadaljeval delo na področju elektronske mikroskopije in leta 1957 habilitiral za visokošolskega učitelja z delom "Ultra-struktura rastlinske celične stene" (Liese, 2013; Schmitt & Koch, 2023). V Freiburgu sta se zakoncema Liese rodila tudi sinova Andreas in Stefan.

Liese je bil že na začetku kariere seznanjen z bambusom, »lesom revnih«, ki je bil za razrušeno povojno Nemčijo zanimiv kot morebiten nov surovinski vir. Zgodaj je imel možnost proučiti bambus tudi s pomočjo elektronskega mikroskopa. Nova spoznanja so se zdela strokovnjakom iz Indije obetavna za boljše impregniranje bambusa z zaščitnimi sredstvi. Na prvem daljšem službenem bivanju v Indiji je Liese bambus tudi поблиže spoznal kot široko uporaben material (slika 8). Bambus je tako postal in ostal pomemben predmet raziskav v Liesejevem življenju (Bamboo Pioneers, 2023; Escobar Destacadas, 2023; INBAR, 2023; International Bamboo, 2023). Liese je že zgodaj sodeloval tudi s kolegi iz Japonske (Hiroshi Harada), Avstralije (Alan Wardrop), Kitajske in drugih držav.

Leta 1959 je postal asistent pri prof. Brunu Huberju na Gozdarskem botaničnem inštitutu Univerze v Münchnu. Po Huberjevi nenadni smrti je Liese moral prevzeti obsežno pedagoško delo, administracijo in zanj zahtevne botanične ekskurzije v Alpah (Liese, 2013). Ob tem je še naprej uporabljal elektronsko mikroskopijo na Inštitutu za raziskave lesa pri znamenitem prof. Franzu Kollmannu.

Leta 1963 se je Liese z družino preselil v Hamburg, kjer je postal profesor Univerze v Hamburgu, vodja univerzitetnega Inštituta za biologijo in zaščito lesa in hkrati direktor Zveznega raziskovalnega centra za gozdarstvo in lesarstvo. To je zahtevalo veliko energije in spretnosti pri usklajevanju obveznosti profesorja in vodje inštituta pod okriljem državnega ministrstva za kmetijstvo, skupaj z vsemi političnimi nalogami. Liese je to usklajevanje opravil z odliko in vzpostavil svetovno znan »hamburški model« kjer so se prepletale aktivnosti univerze, inštituta in gospodarstva (Schmitt & Koch, 2023).

Oba inštituta sta delovala v istih prostorih, najprej na gradu Reinbek (slika 3), pozneje, od leta



Slika 3. Liese s sodelavkami in sodelavci Inštituta za biologijo in zaščito lesa v gradu Reinbek (Liese, prva vrsta, četrti z leve) (Foto: arhiv W. Liese).

Figure 3. Liese and the staff of the Institute of Wood Biology and Wood Protection at Reinbek Castle (Liese, first row, fourth from left) (Photo: archive W. Liese).

1970, pa v novozgrajenem kompleksu Lohbrügge-Bergedorf, Hamburg.

S povezovalnim načinom vodenja so se zabrisale meje med inštitutskim in univerzitetnim ter raziskovalnim in pedagoškim delom in model sodelovanja je odlično deloval. Liese je vizionarsko razširil domet raziskav, od temeljnih na področju biologije lesa do uporabe znanosti v praksi, na primer zaščite lesa. Raziskave so prinesle nova spoznanja o lesu, od njegovega nastanka v drevesu do njegove uporabe. Diplomantom lesarstva na Univerzi v Hamburgu so se tako odprla številna vrata v industrijo in znanost v Nemčiji in po svetu, Hamburg pa je postal stičišče svetovne znanosti o lesu.

Liese je deloval v Hamburgu osemindvajset let do uradne upokojitve 31. marca 1991 in v tem obdobju dosegel izjemne uspehe.

V svojih spominih je opisal, da je pedagoško delo, ki ga je opravljal z velikim veseljem, imel za glavno nalogo svojega poklica. Poučevanje je jemal resno in je vanj vložil veliko energije. Stik s študenti v učilnicah, laboratorijih in na znamenitih ekskurzijah se mu je zdel življenjska naloga, ki ga je vedno ohranjala vitalnega. Tradicionalne daljše ekskurzije v tujino so bile tudi za študente izredno poučne. Za-



Slika 4. Liese (desno) in študent Dieter Eckstein (levo) leta 1963 na ekskurziji v Franciji (Foto: arhiv S. Wrobel).

Figure 4. Liese (right) with his student Dieter Eckstein (left) in 1963 during an excursion in France (Photo: archive S. Wrobel).

radi dobrih stikov so spoznavali stroko v zahodni in tudi v takrat za stike dokaj zaprti vzhodni Evropi.

Liese je bil mentor pri več kot 75 diplomah in 40 doktorskih disertacijah, pri čemer je s študenti vedno navezal pristne človeške stike. Ker so ga študenti imeli iskreno radi, je z mnogimi ostal v stiku do konca svojega dolgega življenja. Med njimi je bil tudi Dieter Eckstein (1939–2021) (slika 4), ki je pod Liesejevim mentorstvom diplomiral leta 1965 in leta 1969 doktoriral ter postal znamenit profesor (Čufar, 2021). Liese je kot mentor svojim študentom omogočil razvoj novih znanstvenih pristopov. Tako je imel na primer tudi zasluge za uvedbo dendrokronologije v Hamburgu (Čufar et al., 2024).

Dirk Dujesiefken je tudi diplomiral (1981) in doktoriral (1985) pod njegovim mentorstvom (Liese, 2013) ter kasneje ustanovil Inštitut za arboristiko v Hamburgu in postal profesor. Z Liesejem sta ostala povezana in skupaj pripravila več objav in nazadnje knjigo o principu CODIT (Dujesiefken & Liese, 2023).

Kljub obsežnemu pedagoškemu delu, vodenju in administrativnim zadolžitvam Liese znanosti ni nikoli zapostavljal. Kot je sam napisal, je velike obremenitve zmogel, ker je delal z velikim veseljem. Hvaležen je bil, da je lahko vse življenje uporabljal in razvijal elektronsko mikroskopijo ter tako lahko reševal zelo raznolik nabor zanimivih tem na področju anatomije, biologije, patologije in zaščite lesa ter bambusa in ratana. Skupno je objavil okoli 500 znanstvenih publikacij, šest knjig in 200 del splošne narave. Scopus (2023) navaja 159 del, objavljenih v obdobju 1951–2021 v najuglednejših revijah, pri čemer je prvi članek s področja doktorskega dela (Liese, 1951b). Poleg objavljanja je bil Liese dolga leta urednik, sourednik in član uredniških odborov znanstvenih revij kot so Holz als Roh- und Werkstoff; Wood Science and Technology; Forstwissenschaftliches Centralblatt in drugih. Dolga leta je bil tudi v uredniškem odboru naše revije Les/Wood.

Liese je veliko službeno potoval in bil kot profesor, gostujoči znanstvenik in sodelavec pri projektih razvojne pomoči v osebnem stiku s kolegicami in kolegi v približno sedemdesetih državah vseh celin. Predavanja je imel v okoli 50 državah. V času, ko sta bili Nemčiji strogo ločeni, je veliko energije vložil v vzdrževanje stikov s člani širše družine, prijatelji in kolegi iz takratne Demokratične republike Nemčije.

31. marca 1991 se je uradno upokojil in postal zaslužni profesor. Razbremenjen uradnih administrativnih zadolžitev in rednega poučevanja se je z veseljem še bolj posvetil znanstvenemu delu. Do pozne starosti je redno prihajal na inštitut in ostal v stiku s kolegi, tujimi gosti in študenti, imel dostop do najnovejše literature, bil vključen v reševanje zahtevnih znanstvenih vprašanj ter še naprej veliko objavljaj. Imel je tudi številna vabljenja predavanja doma in v tujini, kamor je še naprej redno zahajal v okviru najrazličnejših projektov.

Po upokojitvi se je intenzivno posvetil raziskovanju bambusa in ostal v osebnem stiku s kolegicami in kolegi iz dežel, kjer je bambus gospodarsko pomemben (Bamboo Pioneers, 2023; Escobar Destacadas, 2023; INBAR, 2023; International Bamboo, 2023). Objavil je okoli 150 znanstvenih člankov o bambusu in ratanu ter negi sestojev. S sodelavci je objavil tudi knjige o anatomiji bambusa, ohranjanju bambusa in negi rastlin, na primer Bamboo: The Plant and its Uses (Liese & Köhl, 2015).

2 AMBASADOR ZNANOSTI V SVETU IN V SLOVENIJI

2 AN AMBASSADOR OF SCIENCE IN THE WORLD AND SLOVENIA

Liese je postal svetovno znan kot vodja tudi na področju povezovanja v znanosti. Bil je zelo dejaven v organizaciji IUFRO (Mednarodna zveza organizacij za raziskovanje gozdov), ki so jo ustanovili davnega leta 1892 v kraju Liesejeve mladosti Eberswalde. Izvoljen je bil za člana stalnega odbora, člana organizacijskega odbora za revizijo statuta IUFRO, sopredsednika delovne skupine za tropske gozdove v okviru sekcije Gozdni proizvodi, regionalnega predstavnika za zahodno Evropo in predsednika odbora za mednarodne odnose 1968–1976, v obdobju 1977–1981 pa je bil predsednik IUFRO (Teplyakov, 2019).

Kot predsednik je vložil veliko truda v organizacijo svetovnih kongresov, kamor bi se v času številnih političnih razkolov in delitev enakopravno lahko vključili znanstveniki iz vsega sveta. Tako je dosegel, da je bil svetovni kongres IUFRO prvič organiziran v Aziji (Kjoto, Japonska, 1981). Z znanstveno diplomacijo je dosegel, da so se ga udeležili in se po dolgem času osebno srečali znanstveniki iz Ljudske republike Kitajske in Tajvana, kar je bilo



Slika 5. Walter Liese (levo) in Dušan Mlinšek (desno), zaporedna predsednika svetovne organizacije IUFRO (Foto: arhiv IUFRO).

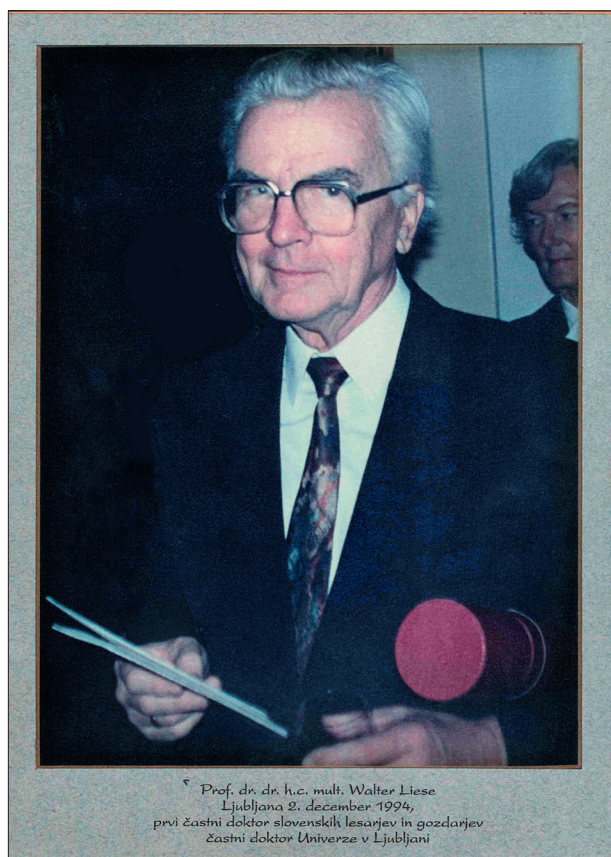
Figure 5. Walter Liese (left) and Dušan Mlinšek (right), two successive presidents of IUFRO (Photo: archive IUFRO).

pred tem nepredstavljivo. Liese je zaslužen, da je ponovno zaživel sodelovanje med zahodno in tedanjo vzhodno Evropo. Zelo dobro je razumel razmere v vzhodni Evropi in Nemčiji. Dejavnosti Lieseja in somišljenikov so pripomogle k brisanju meja in vzpostavljanju Evrope in sveta brez meja. Spodbujal je tudi mednarodno širitev IUFRO. Organiziral je prvo srečanje upravnega odbora v Sovjetski zvezi, v Moskvi in Sočiju (1980). Podprl je izvolitev prvega predstavnika iz Azije in države v razvoju za predsednika IUFRO—dr. Salleh Mohd Nor iz Malezije (1990). Predlagal in podpiral je tudi izvolitev prof. dr. dr. h. c. Dušana Mlinška za prvega predsednika iz socialistične države in Ljubljano za organizacijo 18. svetovnega kongresa IUFRO (1986) (IUFRO, 2023; Salleh, 2023; Teplyakov, 2019) (slika 5).

Prof. dr. dr. h. c. mult. Dušan Mlinšek (30. 9. 1925–15. 12. 2020) z Oddelka za gozdarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani je kot vrhunski slovenski znanstvenik iz Liesejeve generacije istočasno začel delovati v okviru IUFRO in prevzemati vodilne vloge (Diaci, 2015, 2021; Teplyakov, 2019). Liese in Mlinšek sta imela izjemno karizmo ter številne

skupne interese in talente, zato ni presenetljivo, da sta postala velika prijatelja za vse življenje.

Dušan Mlinšek je bil izvoljen za predsednika IUFRO za obdobje 1982–1986 in na tem prestižnem položaju nasledil Lieseja, kot prvi in edini predsednik IUFRO iz socialistične države. Tudi on je namenil veliko energije povezovanju. Veliko truda je vložil v organizacijo in uspešno izvedbo 18. svetovnega kongresa IUFRO v Ljubljani leta 1986, ki je s tem slovensko gozdarstvo in lesarstvo trdno umestil v enakopravno mednarodno okolje. IUFRO kongres v Ljubljani je močno podpiral tudi Liese, ki je med drugim dejavno sodeloval v okviru satelitskega srečanja IAWA (International Association of Wood Anatomists) (Shortle, 1986). Lieseja in soprogo Katrin so med kongresom zaradi pomanjkanja hotelskih zmogljivosti v Ljubljani nastanili v nekdanji rezidenci predsednika Tita na Bledu.



Slika 6. Prof. dr. dr. h. c. mult. Walter Liese, častni doktor Univerze v Ljubljani, 2. december 1994 (Foto: N. Torelli).

Figure 6. Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Walter Liese, Honorary Doctor of the University of Ljubljana, 2 December 1994 (Photo: N. Torelli).

Liese je zaradi svojih zaslug postal častni član IUFRO leta 1982, Mlinšek pa je ta častni naslov prejel leta 1989 (Teplyakov, 2019).

Že leta 1966 je Liese sodeloval pri ustanovitvi Mednarodne akademije znanosti o lesu (IAWS) in bil med prvimi izvoljenimi člani (IAWS, 2023). Bil je tudi urednik revije Akademije "Wood Science and Technology" od prve številke leta 1966 do leta 1995.

Zaradi izjemnih zaslug pri povezovanju ljudi in podiranju meja je Liese prejel častne doktorate (dr. h. c.) univerz v Sopronu, Zvolenu in Poznanu. Leta 1994 je prejel tudi častni doktorat Univerze v Ljubljani in je še vedno prvi in edini častni doktor s področja gozdarstva in lesarstva (slika 6). Pobudo za podelitev častnega doktorata je vodil prof. dr. dr. h. c. Niko Torelli (Oven, 2020), ki ga je Liese izredno spoštoval in imel z njim doživljenjske prijateljske stike.

Na Oddelku za lesarstvo smo skupaj z Oddelkom za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Lieseja gostili leta 2005 (slika 7), ko se je udeležil prireditve ob 80-letnici prof. dr. Dušana Mlinška. Takrat je za študente pripravil zelo zanimiva predavanja s celovito predstavitvijo lastnosti in rabe bambusa. Predal nam je tudi študijska gradiva za oblikovanje predavanj o bambusu, ki so jih študenti deležni še danes. Kasneje, ko je Liese začel razdajati svojo bogato knjižnico, je Oddelku za lesarstvo poklonil tudi več temeljnih knjig s področja lesarstva.

Liese je bil kot direktor inštituta zelo naklonjen slovenskim znanstvenicam in znanstvenikom, ki smo redno prihajali na izpopolnjevanja v Hamburg. Sama (Katarina Čufar) sem prof. Lieseja spoznala še kot študentka leta 1980 in ostala v stiku z njim tekom številnih izpopolnjevanj v Hamburgu (slika 9). Na inštitutu je bilo za goste dobro poskrbljeno. Za študijska bivanja smo se lahko dogovorili brez posebnih formalnosti. Za nas se je vedno našel delovni kotiček in sogovorniki za naša vprašanja. Udeleževali smo se lahko vseh javnih dogodkov inštituta, ki je bil tedaj v centru dogajanj v stroki. Poskrbljeno je bilo tudi za neformalno druženje s skupno kavo, prigrizki in prostočasnimi aktivnostmi. Liese, ki je imel velike zasluge za sproščeno in svobodno okolje, idealno za delo, je bil pozoren do vseh, ki smo delali na inštitutu. Kadar ni bil na potovanju, je op-



Slika 7. Profesor Liese z zaposlenimi in študenti Oddelka za lesarstvo (levo) in s profesorjem Nikom Torellijem, december 2005 (desno) (Foto: arhiv K. Čufar).

Figure 7. Professor Liese, with the staff and students of the Department of Wood Science and Technology (left) and with Professor Niko Torelli, December 2005 (right) (Photo: archive K. Čufar).

ravil reden obhod po laboratorijih. Med kratkimi pogovori se je vedno pozanimal o našem delu in bil tako na tekočem z dogajanjem. Kljub zasedenosti sta si s soprogo Katrin vzela čas za goste iz tujine, največkrat za skupno kavo na njenem domu ali kosilo v eni od kitajskih restavracij. Tako je gradil skupnost tistih, ki smo gostovali na inštitutu in smo prihajali iz vsega sveta. Iz naših srečanj je nastalo veliko plodnih sodelovanj.

Lieseja smo vsi zelo spoštovali ter občudovali njegove neverjetne talente in energijo ter izjemne uspehe. S svetovno mrežo je ostal v stalnem stiku. Kot upokojenec se je naučil uporabljati novosti kot je internet in elektronska pošta, ki sta postala dostopna šele po njegovi upokojitvi. Tako je z veseljem in veliko hvaležnostjo ostal v stiku s sodelavci z vseh delov sveta. Pošto smo si izmenjali tudi za božič 2022 in na njegov rojstni dan 31. 1. 2023, ne da bi vedeli, da nas bo v kratkem za vedno zapustil.

Walter Liese nam je zapustil znanstvene prispevke, ki živijo v njegovih skrbno pripravljenih objavah in imajo trajen vpliv na znanost o lesu. Ostali so nam lepi spomini na izjemnega kolego, vzornika in prijatelja. Zelo ga pogrešamo.

The global wood science and forestry community mourns the loss of Prof. Dr. Dr. h.c. mult.

Walter Liese (31 January 1936–24 February 2023), a professor, teacher, mentor, leader, promoter, outstanding scientist, communicator, networker, colleague and good friend to many scientists around the world. After celebrating his 97th birthday on 31 January 2023, as always connected with his worldwide community, he died after a short illness at his home in Reinbek near Hamburg, Germany. Numerous articles have been published worldwide in his honour, paying tribute to his long life and outstanding achievements (Anon.; Schmitt & Koch, 2023; IAWS, 2023). He will also be gratefully remembered in Slovenia as a professor, role model, friend and supporter of our scientific community.

Liese's life and scientific career is well documented through numerous publications written by his colleagues on his various anniversaries (e.g. Schulz, 1991; Schmid, 2001; Eckstein & Schmitt, 2006; Thünen-Institut, 2016; Wikipedia, 2023) and recent *in memoriams* (Dujesiefken, 2023; Schmitt & Koch, 2023; IUFRO, 2023). He has also written memoirs and shared them with his community (Liese, 2013, 2016, 2018).

Walter Liese was born in Berlin and grew up in nearby Eberswalde, where his father, Johannes Liese (1891-1952), was a professor of forest botany at one of the oldest forestry colleges in the

world. Already as a child, Walter had a passion for forests and wood and wanted to study forestry. In his memoirs (Liese, 2013, 2018) he writes that his generation was tragically shaped by World War II, which broke out during his time at the Humanistisches Gymnasium. Because of the war, he had to leave the grammar school early, in June 1943, with an extraordinary matura. Immediately afterwards, he was drafted into the German army. He survived the war and the dangerous post-war period when he fled to the western part of Germany. He survived with the help of many good people and by working hard.

In 1946, he enrolled in the University of Freiburg to study forestry and graduated in 1950. He then worked at the Forest Botanical Institute Hannover-Münden, which belonged to the University of Göttingen, and completed his doctorate in forestry in 1951. His thesis was entitled "The influence of wood structure on the penetration of oil-based wood preservatives" (Liese, 1951a, b), and was completed under the supervision of Professor Herbert Zycha. His mentor put him in touch with Professors Helmut and Ernst Ruska, who enabled him to carry out his first research on wood using an electron microscope. In his dissertation, Liese published the world's first electron microscope image of a wood microstructure (Figure 2) (Liese,

1951a, 2018; Schmitt & Koch, 2023). Ernst Ruska was awarded the Nobel Prize in Physics in 1986 as co-inventor of the electron microscope.

After completing his doctorate Walter Liese married Katrin Else Pabst (1952). He worked in the North Rhine-Westphalia Forestry Institute, in the wood preservative industry, and from 1953-1959 as an assistant at the Forest Botanical Institute in Freiburg. He continued his work in electron microscopy, and was habilitated as a university teacher in 1957 with the thesis "Ultrastructure of the plant cell wall" (Liese, 2013; Schmitt & Koch, 2023). His sons Andreas and Stefan were also born in Freiburg.

Early in his career, Liese was introduced to bamboo (Figure 8), the "wood of the poor", which was of interest as a possible new source of raw materials for the devastated post-war Germany. Early on, he also analysed bamboo with an electron microscope and obtained promising results for better impregnation of bamboo with preservatives. During his first extended assignment in India, Liese also familiarized himself with wide use of bamboo in Asia. Bamboo thus became and remained an important research object (Bamboo Pioneers, 2023; Escobar Destacadas, 2023; INBAR, 2023; International Bamboo, 2023). Liese also worked with colleagues from Japan (Hiroshi Harada), Australia (Alan Wardrop), China and other countries.



Slika 8. Bambus v njegovem naravnem arealu (levo) in na domačem vrtu leta 2022 (desno) (Foto: arhiv W. Liese).

Figure 8. Bamboo in its natural site (left) and in the home garden in 2022 (right) (Photo: archive W. Liese).



Slika 9. Profesorji Josef Bauch, Katarina Čufar in Walter Liese (od leve proti desni) na novoletnem srečanju Inštituta za biologijo in zaščito lesa v Hamburgu, december 2006 (Foto: arhiv K. Čufar).

Figure 9. Professors Josef Bauch, Katarina Čufar, and Walter Liese (from left to right) at the Christmas meeting of the Institute of Wood Biology and Protection in Hamburg, December 2006 (Photo: archive K. Čufar).

In 1959, Liese became assistant to Prof. Bruno Huber at the Institute of Forest Botany at the University of Munich. After Huber's sudden death, Liese had to take over teaching, administration and the demanding botanical excursions in the Alps (Liese, 2013). At the same time, he continued to use electron microscopy at the Institute for Wood Research of the famous Prof. Franz Kollmann.

In 1963, Liese and his family moved to Hamburg, where he became a professor at the University of Hamburg, head of the Institute of Wood Biology and director of the Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft). This required a great deal of energy and skill to reconcile the tasks of a professor and head of the institute under the auspices of the Ministry of Agriculture with all the associated political tasks of the era. Liese managed this balancing act with excellence and established the world-famous "Hamburg model", in which the traditional activities of the university, institute and industry intertwined (Schmitt & Koch, 2023).

The two institutes were housed in the same buildings, first in Reinbek Castle and later, from 1970, in a newly built complex in Bergedorf, on the outskirts of Hamburg (Figure 3).

The integrative management style blurred the boundaries between institute and university work



Slika 10. Na domačem vrtu v Reinbeku leta 2015 (Foto: arhiv W. Liese).

Figure 10. In his home garden in 2015 (Photo: archive W. Liese).

and the cooperation model worked perfectly. Liese expanded the research spectrum in a visionary way, from basic wood biology research to the practical implementation of wood preservation, for example. The research led to new insights into wood, from its formation in the tree to its use. This opened many doors for wood graduates from the University of Hamburg to industry and science in Germany and worldwide, and Hamburg thus became a hub for global wood research.

Liese worked in Hamburg for 28 years until his official retirement on 31 March 1991, during which time he achieved outstanding success.

In his memoirs, Liese described how he saw teaching, which he practised with great pleasure, as the main task of his profession. He took teaching seriously and invested a great deal of energy in constantly updating his lectures. He regarded contact with students in the classrooms, laboratories and on the famous excursions as his life's work, which always kept him vital. The traditional excursions abroad were also extremely informative for the students. Thanks to good contacts, they were able to familiarize themselves with the profession in Western Europe and also in Eastern Europe, which was still quite closed at the time.

Liese supervised more than 75 graduation theses and 40 doctoral theses, and he always made genuine human contact with the students. As he was sincerely appreciated by his students, he remained in contact with many of them for the rest

of his long life. Among them was Dieter Eckstein (1939-2021), who graduated under Liese's supervision (1965), obtained his PhD in 1969 (Figure 4) and became a famous professor of dendrochronology (Čufar, 2021; Čufar et al., 2024).

Dirk Dujesiefken, also graduated (1981) and completed his doctorate (1985) under Liese's mentorship (Liese, 2013), later founded the Institute of Arboriculture in Hamburg, became a professor and remained linked with his supervisor (Dujesiefken, 2023). They produced several publications together, including a very recent book on the CODIT principle (Dujesiefken & Liese, 2023).

On 31 March 1991, Liese officially retired and was appointed Professor Emeritus. He stopped teaching and no longer had any official administrative duties, but he was happy to continue his scientific work. In the next three decades he regularly visited the institute and kept in touch with colleagues, foreign guests and students and had access to the latest literature. He dealt with challenging scientific issues and continued to publish. He also gave numerous invited lectures at home and abroad, where he continued to be a regular guest as part of various projects.

He also devoted himself intensively to bamboo research, maintained personal contacts with colleagues in countries where bamboo is economically important (Bamboo Pioneers, 2023; Escobar Destacadas, 2023; INBAR, 2023; International Bamboo, 2023) and published around 150 scientific papers and books on bamboo and rattan (e.g., Liese & Köhl, 2015).

Liese has also become world-renowned as a leader in the field of scientific networking. He was very active in the IUFRO (International Union of Forest Research Organizations) (Figure 5), which was founded in 1892 in Eberswalde, where he had spent his youth. He was elected as a member of several committees and working groups and as president of IUFRO from 1977-1981 (Teplyakov, 2019).

As president, he worked hard to organize world congresses in which scientists from all over the world could be equally involved in a time of many political divisions. He succeeded in organizing the IUFRO World Congress in Asia for the first time (Kyoto, Japan, 1981), and through scientific diplomacy

made it possible for scientists from the People's Republic of China and Taiwan to participate and meet in person, which had previously been unthinkable. Liese also made an important contribution to the revival of cooperation between Western Europe and what was then Eastern Europe. The activities of Liese and his associates contributed to the creation of a Europe and a world with fewer borders.

Prof. Dr. Dr. h.c. Dušan Mlinšek (30 September 1925–15 December 2020) from the Department of Forestry, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, as a top Slovenian scientist of the Liese generation, worked within IUFRO and also took on leadership roles (Diaci, 2015, 2021; Teplyakov, 2019). Liese and Mlinšek shared exceptional charisma and many common interests and talents, and therefore it is not surprising that they became great friends for life.

Dušan Mlinšek was elected president of IUFRO for the period 1982-1986, succeeding Liese in this prestigious position as the first and only IUFRO president from a socialist country (Figure 5). He also invested a lot of energy in networking and put a great deal of effort into the organization of the 18th IUFRO World Congress in Ljubljana in 1986, which thus made Slovenian forestry and wood science known around the world. The IUFRO Congress in Ljubljana was strongly supported by Liese, who, among other things, actively participated in the IAWA (International Association of Wood Anatomists) activities (e.g., Shortle, 1986).

Liese became a Honorary Member of the IUFRO in 1982 and Mlinšek in 1989 (Teplyakov, 2019).

Liese was also involved in the founding of the International Academy of Wood Science (IAWS) in 1966 and was one of its first elected members. From the first issue in 1966 until 1995, he was editor of the Academy's journal *Wood Science and Technology*.

For his outstanding contribution to bringing people together and breaking borders, Liese was awarded an honorary doctorate (Dr. h.c.) by the universities of Sopron, Zvolen and Poznan and by the University of Ljubljana in 1994 (Figure 6). He was the first and remains the only honorary doctor in the field of forestry and wood science of the University of Ljubljana. The activities to award him this honour were coordinated by Prof. Dr. Dr. h.c.

Niko Torelli, for whom Liese had great respect and a lifelong friendship (Oven, 2020).

The Department of Wood Science and Technology, together with the Department of Forestry and Renewable Forest Resources in Ljubljana, hosted Liese in 2005 (Figure 7) when he attended the celebration of the 80th anniversary of Dušan Mlinšek. At that time, he gave a very interesting lecture to the students and staff of wood science and technology, in which he comprehensively presented the properties and use of bamboo. He also provided his hosts with study material for the development of lectures on bamboo, which are still given to students today. Later, when Liese began to give away his extensive library, he donated several fundamental books on wood science to the library of the Department of Wood Science and Technology in Ljubljana.

As head of the institute in Hamburg, Liese was very supportive of the Slovenian scientists who regularly visited it for scientific exchange. The author of this paper (Katarina Čufar) got to know Prof. Liese as a student in 1980 and stayed in contact with him during regular study stays in Hamburg and afterwards. Thanks to Liese and the colleagues, the guests were well looked after at the institute. It was possible to arrange study visits without any special formalities, and there was always a work corner and partners to talk about the research. In addition, it was possible to take part in all the public events at the institute, which was a centre of wood research worldwide. There were also informal meetings with coffee, cake and snacks as well as leisure activities. Liese looked after all of us who worked at the institute. He regularly walked through the institute to say hello and inform himself of the work being done and its progress. Despite a busy schedule, he and his wife Katrin regularly made time for guests from abroad, usually for a coffee at their home or for lunch in one of the city's Chinese restaurants. In this way, he also built up a community of guests from all over the world, and many fruitful collaborations resulted from these encounters.

We all had great respect for Liese and admired his incredible talents and energy, as well as his extraordinary successes. Even as a Professor Emeritus, he remained in regular contact with his global community. He learned to use innovations such as the Internet and email, which were invented and

became available after his retirement. He kept in touch with his friends and colleagues worldwide with joy and gratitude.

At Christmas 2022 and on his birthday on 31 January 2023, we exchanged our last emails, not knowing that he would soon leave us forever. But Walter Liese leaves us his scientific contributions that will live on and have a lasting impact on wood and bamboo science and beyond. We have fond memories of a great colleague, role model and friend. We will miss him very much.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Prispevek je nastal na podlagi osebnih in pisnih stikov ter besedil in slik, ki jih je posredoval Walter Liese. Hvala tudi vsem, ki so delili svoje spomine na Walterja Lieseja, še posebej Geraldu Kochu in Sigrid Wrobel, hvala tudi Francu Pohlevnu za pregled besedila.

This article is based on personal and written communication, and the texts and images provided by Walter Liese. Thanks to all who shared the memories of Walter Liese, especially Gerald Koch and Sigrid Wrobel, as well as Franc Pohleven for valuable comments on the text.

VIRI

REFERENCES

- Bamboo Pioneers: Walter Liese (2023) URL: <https://worldbamboo.net/about/bamboo-pioneers/walter-liese> (17. 11. 2023)
- Čufar, K. (2021). Dieter Eckstein, 1939–2021 in njegova bogata zapuščina za dendrokronologijo v Sloveniji in po svetu: Dieter Eckstein, 1939–2021 and his rich legacy of dendrochronology in Slovenia and the world. *Les/Wood*, 70(2), 99–109. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2021.v70n02a08>
- Čufar, K., Liang, E., Smith, K. T., Wažny, T., Wrobel, S., Cherubini, P., Schmitt, U., Läänelaid, A., Burgert, I., Koch, G., Pumijumnong, N., Sander, C., Seo, J. W., Sohar, K., Yonenobu, H., & U., Sass-Klaassen, U. (2024). Dieter Eckstein's bibliography and legacy of connection to wood biology and tree-ring science. *Dendrochronologia* (in print).
- Diaci, J. (2015). Prof. dr. dr. h. c. Dušan Mlinšek – devetdesetletnik. *Gozdarski vestnik*, 73(9), 419.
- Diaci, J. (2021). V spomin profesorju dr. dr. Dušanu Mlinšku (1925–2020). *Gozdarski vestnik*, 79(2), 45.
- Dujesiefken, D., & Liese, W. (2023). *Das CODIT-Prinzip – Baumbiologie und Baumpflege*. Haymarket Media, Braunschweig, 224 pp.

- Dujesiefken, D. (2023). Trauer um Professor Dr. Walter Liese = Mourning Professor Dr. Walter Liese. *Jahrbuch der Baumpflege* 2023, 27, 9-11.
- Eckstein, D., & Schmitt, U. (2006). Trees and wood for life: Walter Liese 80 years old. *Wood Science and Technology*, 40(1), 2-3.
- Escobar Destacadas, Gran pérdida para el mundo del bambú y la silvicultura | Falleció el Profesor Walter Liese, investigador alemán y ex presidente de la IUFRO. URL: <https://www.argentinaforestal.com/2023/02/28/fallecio-el-profesor-walter-liese-investigador-aleman-y-ex-presidente-de-la-iufro/> (17.11.2023)
- IAWS, International Academy of Wood Science. URL: <https://www.iaws-web.org> (17. 11. 2023)
- INBAR, In memoriam of Professor Walter Liese–International Bamboo and Rattan Organization INBAR. URL: <https://www.inbar.int/in-memoriam-of-professor-walter-liese/> (17.11.2023)
- International Bamboo and Rattan Organization, In memoriam of Professor Walter Liese (2023). URL: <https://www.inbar.int/in-memoriam-of-professor-walter-liese/> (17. 11. 2023)
- IUFRO, Obituary: Walter Liese (1926-2023). URL: <https://www.iufro.org/news/news-detail/article/2023/03/01/obituary-walter-liese-1926-2023/> (17. 11. 2023)
- Liese, W. (1951a). Über die Bedeutung der Holzstruktur für das Eindringen öligler Holzschutzmittel. Dissertation, Universität Göttingen.
- Liese, W. (1951b). Über die Eindringung von öligen Schutzmitteln in Fichtenholz. *Holz als Roh- und Werkstoff = European Journal of Wood and Wood Industries*, 9(10): 374–378. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02615554>
- Liese, W. (2013). Walter Liese Erinnerungen, Stand 6. Oktober 2013. URL: <https://www.bestattungsdienst.hamburg/walter-liese-ohne/> (4. 11. 2023)
- Liese, W. (2016). 65 Jahre Holzforschung – ein Rückblick. In Thünen-Institut für Holzforschung, Zentrum Holzwirtschaft, Gesellschaft der Förderer und Freunde des Zentrums Holzwirtschaft, Bund Deutscher Holzwirte (Eds.) 2016: Festschrift zum 90. Geburtstag von Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Walter Liese. Vorträge und Erinnerungen anlässlich des Kolloquiums am 11. November 2016 im Schloss Reinbek, 4–32.
- Liese, W. (2018). Rückblick auf ein langes Leben. 27 pp. (Personal at Wliese@aol.com, December 2018).
- Liese, W., & Köhl, M. (2015). *Bamboo -The plant and its uses*. Cham, Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6>
- Oven, P. (2020). Zaslužni profesor, prof. dr. dr. h. c. Niko Torelli: Professor Emeritus, Prof. Dr. Dr. h. c. Niko Torelli. *Les/Wood*, 69(2), 125–131. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2020.v69n02a11>
- Salleh Mohd. Nor (2023). Eulogy: Tribute to a friend, Prof. Dr. Walter Liese. URL: <https://www.iufro.org/fileadmin/material/news-records/IUFRO-Eulogy-Prof-Dr-Walter-Liese-by-Mohd-Nor-Salleh.pdf> (17.11.2023)
- Schmid, O. (2001). Walter Liese 75 years young. *Holzforschung*, 55(1), 104–105.
- Schmitt, U., & Koch, G. (2023). Obituary Walter Liese (1926–2023). *IAWA Journal*, 44(2), 270–271.
- Schulz, H. (1991). Professor Dr. h. c. mult. Walter Liese – 65 years. *Holz als Roh- und Werkstoff. European Journal of Wood and Wood Products*, 49, 75–84.
- Scopus, Bibliography Walter Liese. URL: <https://www.scopus.com> (4. 11. 2023)
- Shortle, W. (1986). IAWA activities at the 18th IUFRO World Congress. *IAWA Bulletin n.s.*, 7 (4), 416–417.
- Teplyakov, V. K. (2019). Liese, Walter: In Honorary Members of IUFRO: 1953–2019. Vienna, IUFRO: 44–45. URL: <https://www.iufro.org/publications/general-publications/article/2019/11/04/honorary-members-of-iufro-1953-2019/> (4. 11. 2023)
- Thünen-Institut für Holzforschung, Institut für Holzwissenschaften der Universität Hamburg. (2023). Prof. Dr. Walter Liese verstorben. *Holz-Zentralblatt*, 149(10), 144.
- Wikipedia, Walter Liese. https://en.wikipedia.org/wiki/Walter_Liese (4. 11. 2023)

KATARINI ČUFAR PODELILI NAZIV ZASLUŽNA PROFESORICA

KATARINA ČUFAR RECEIVED THE HONOUR *PROFESSOR EMERITA*

Milan Šernek^{1*}, Leon Oblak¹, Maks Merela¹

UDK članka: 929 Čufar K. (092)

Izvleček / Abstract

Izvleček: Na Tednu Univerze v Ljubljani (UL) 2023 so prof. dr. Katarini Čufar podelili naziv zaslužna profesorica, za pomembne prispevke k razvoju znanosti o lesu in dendrokronologije, kakovostno in predano pedagoško in mentorsko delo, organizacijo dela in upravljanje na Univerzi v Ljubljani ter krepitev splošnega ugleda UL doma in v svetu. Univerza je podelila 14 priznanj zaslužnim profesorici in profesorjem. Tri nove zaslužne profesorice, Lučka Kajfež-Bogataj, Irena Rogelj in Katarina Čufar, prihajajo z Biotehniške fakultete UL.

Ključne besede: zaslužna profesorica, življenjsko delo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

Abstract: During the University of Ljubljana Week 2023, Prof. Dr. Katarina Čufar received the honour *professor emerita* for her significant contributions to the development of wood science and dendrochronology, for her quality and committed teaching and mentoring, for the organization of work and management at the University of Ljubljana and for her general reputation at both national and international levels. The University honoured 14 professors in this way, with three of them coming from the Biotechnical Faculty: Lučka Kajfež-Bogataj, Irena Rogelj and Katarina Čufar.

Keywords: *professor emerita*, lifetime achievement, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Prof. dr. Katarina Čufar je v okviru Tedna Univerze v Ljubljani (UL) 30. 11. 2023 prejela naziv zaslužna profesorica. UL je podelila 14 zaslužnih nazivov, ki so jih prejeli: Boris A. Novak, Janvit Golob, Maks Tajnikar, Božidar Jezernik, Katarina Čufar, Lučka Kajfež-Bogataj, Maja Bučar, Irena Rogelj, Leopold Marijan Pavčnik, Matjaž Omladič, Janez Seliger, Dušan Mramor (slika 1) ter Christian Gostečnik in Bojan Gorenec. Kar tri nove zaslužne profesorice, Lučka Kajfež-Bogataj, Irena Rogelj in Katarina Čufar prihajajo z Biotehniške fakultete UL (slika 2, 3) (Tedna univerze, 2023; Med nagrajenci ..., 2023). Prof. dr. Lučka Kajfež Bogataj je prepoznavna po pedagoškem in znanstvenem delu ter popularizaciji znanosti na področju agrometeorologije, aplikativne meteorologije, biometeorologije in klimatologije ter je med pionirji raziskovanja podnebnih sprememb in ozaveščanja o njih v Sloveniji. Za svoje delo je prejela številna priznanja, skupaj s člani Medvladnega

odbora za podnebne spremembe in Alom Gorom tudi Nobelovo nagrado za mir 2007. Prof. dr. Irena Rogelj je s svojim raziskovalnim, pedagoškim in strokovnim delom neizbrisno zaznamovala področja mlekarstva, prehrane in probiotikov. Odlikuje jo bogat znanstvenoraziskovalni opus, dolgoletno sodelovanje z gospodarstvom, članstvo v mnogoterih komisijah, za kar je prejela številne nagrade, priznanja, tudi za življenjsko delo.

2 NAZIV ZASLUŽNA PROFESORICA

2 AWARD *PROFESSOR EMERITA*

V skladu s pravilnikom Univerze v Ljubljani podeli naziv zaslužna profesorica upokojeni redni profesorici za pomembne prispevke k razvoju znanstvene ali umetniške dejavnosti, kakovostno in predano opravljanje pedagoškega in mentorskega dela ter organizacijo dela in upravljanje na Univerzi v Ljubljani, če poleg splošnega ugleda doma in v svetu izpolnjuje enega ali več od naslednjih pogojev:

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

* e-mail: milan.sernek@bf.uni-lj.si



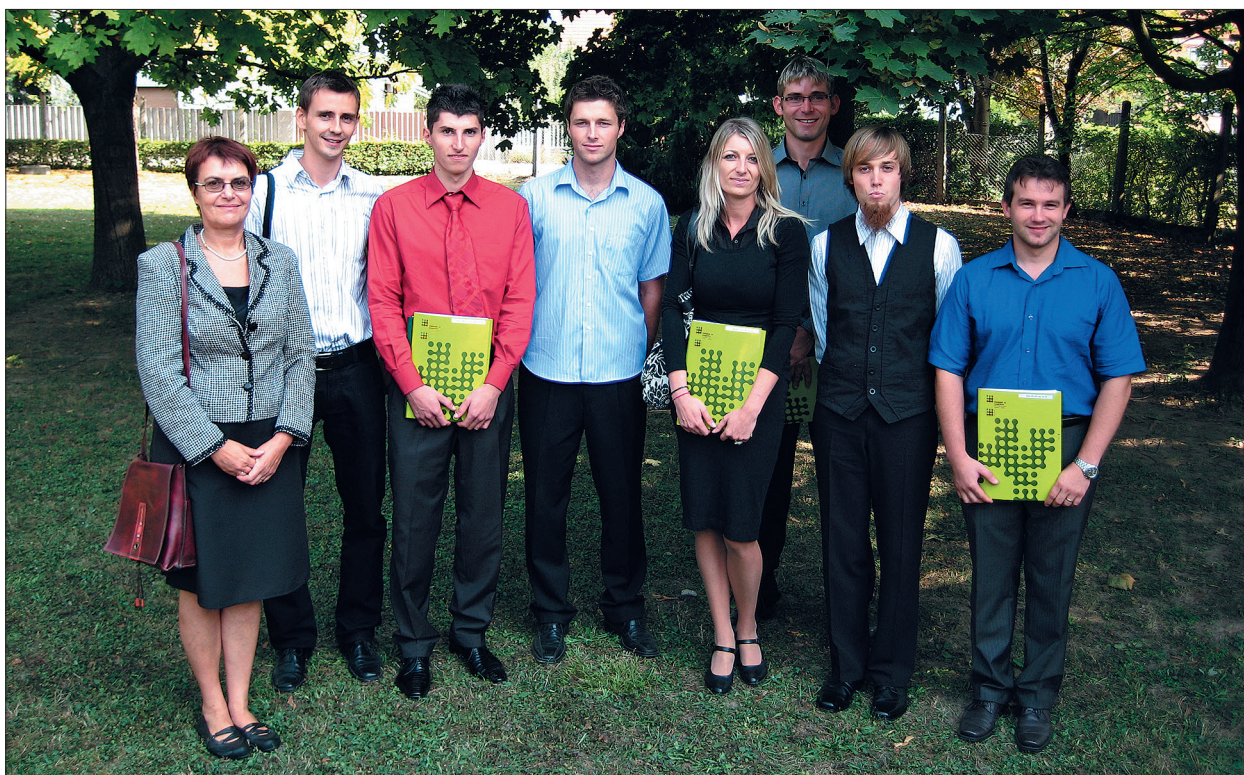
Slika 1. Zaslužne profesorice in profesorji Univerze v Ljubljani v letu 2023 (od leve proti desni): Boris A. Novak, Janvit Golob, Maks Tajnikar, Božidar Jezernik, Katarina Čufar, Lučka Kajfež-Bogataj, Maja Bučar, Irena Rogelj, Leopold Marijan Pavčnik, Matjaž Omladič, Janez Seliger, Dušan Mramor (Foto: Bor Slana/STA).
 Figure 1. University of Ljubljana *professors emeriti* awarded in 2023 (from left to right): Boris A. Novak, Janvit Golob, Maks Tajnikar, Božidar Jezernik, Katarina Čufar, Lučka Kajfež-Bogataj, Maja Bučar, Irena Rogelj, Leopold Marijan Pavčnik, Matjaž Omladič, Janez Seliger, and Dušan Mramor (photo: Bor Slana/STA).



Slika 2. Zaslužne profesorice Biotehniške fakultete UL z dekanjo: (od leve proti desni) Katarina Čufar, Marina Pintar, Irena Rogelj, Lučka Kajfež-Bogataj (Foto: Bor Slana/STA).
 Figure 2. *Professors emeritae* of the Biotechnical Faculty UL with their Dean (from left to right): Katarina Čufar, Marina Pintar, Irena Rogelj, and Lučka Kajfež-Bogataj (photo: Bor Slana/STA).



Slika 3. Katarina Čufar prejema naziv zaslužna profesorica, ki ji ga je podelil rektor UL prof. dr. Gregor Majdič (Foto: Bor Slana/STA).
 Figure 3. Katarina Čufar with the award *professor emerita* presented by the Rector of the University of Ljubljana, Prof. Dr. Gregor Majdič (photo: Bor Slana/STA).



Slika 4. Mentorica z diplomantko in diplomanti leta 2011.

Figure 4. A mentor with her graduates in 2011.

(1) da je organizirala in izvajala kakovostno pedagoško in (2) znanstvenoraziskovalno delo, (3) da je prejemnica najvišje državne nagrade, je (4) aktivna članica v znanstvenih akademijah in društvih ter (5) da je pomembno prispevala k vodenju in upravljanju fakultete ali Univerze v Ljubljani.

Katarina Čufar izpolnjuje vse navedene zahteve, saj je profesorica, znanstvenica, prejemnica državne nagrade, vodja in članica mednarodne akademije ter več združenj, ki je s svojim delom, zgledom in vrednotami pozitivno vplivala tako na študentke in študente kot tudi na zaposlene na Oddelku za lesarstvo (OL), Biotehniški fakulteti (BF) in Univerzi v Ljubljani (UL). S svojo energijo in raziskovalno navdušenostjo je mnoge spodbujala ter motivirala pri delu. Poklic profesorice in znanstvenice na univerzi je več kot 40 let opravljala kot poslanstvo, kar je bilo ključno za uspešno izobraževanje in vzgojo študentov, razvoj znanosti in raziskovalne odličnosti ter vodenje. Pri tem je dosegla izjemne dosežke ter je prepoznavna in ugledna doma in v svetu.

3 PEDAGOŠKO DELO

3 TEACHING ACTIVITIES

Pedagoško je na BF UL delovala od leta 1981, najprej kot asistentka in od leta 1991 kot univerzitetna učiteljica–docentka, izredna profesorica in od leta 2008 kot redna profesorica. V tem obdobju je poučevala na dveh oddelkih, Oddelku za lesarstvo in Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire (OG), na prvi, drugi in tretji stopnji študija. Vsakozi je prejela nadpovprečno visoke ocene študentov za pedagoško delo. Napisala je učbenike (dva v slovenskem in enega v angleškem jeziku) in učna gradiva za študente. Kot asistentka je organizirala in zelo izboljšala eksperimentalne vaje, zbirke učil in laboratorijske opreme, kot profesorica pa je slovela po dobrih interaktivnih predavanjih, pri čemer je vedno razvijala pristope, ki so izboljšali znanje in zadovoljstvo študentov. Bila je priljubljena mentorica in somentorica pri več kot stotih diplomskih in magistrskih delih (slika 4), mentorica in somentorica pri petih doktorskih disertacijah in recenzentka pri več kot štiridesetih diplomskih in magistrskih delih ter več kot desetih doktorskih disertacijah, tudi na univerzah v tujini. Redno je sodelovala kot predava-

teljica na tujih univerzah kot so Univerza Hamburg, BOKU Dunaj, Univerza Tuscia – Viterbo in Univerza Alicante (Cobiss, 2023; Sicris, 2023).

Pri študentkah in študentih je bila zelo prepoznavna, kar je prispevalo k temu, da je kot dolgoletna vodja kluba alumnov OL (več mandatov v letih 2012–2024) pripomogla, da so skupaj s sodelavkami in sodelavci ter Društvom lesarjev Slovenije DLS redno organizirali srečanja, kamor so pritegnili alumne vseh generacij, ki so diplomirali v zadnjih šestdesetih letih (Čufar et al., 2023).

4 RAZISKOVALNO IN RAZVOJNO DELO

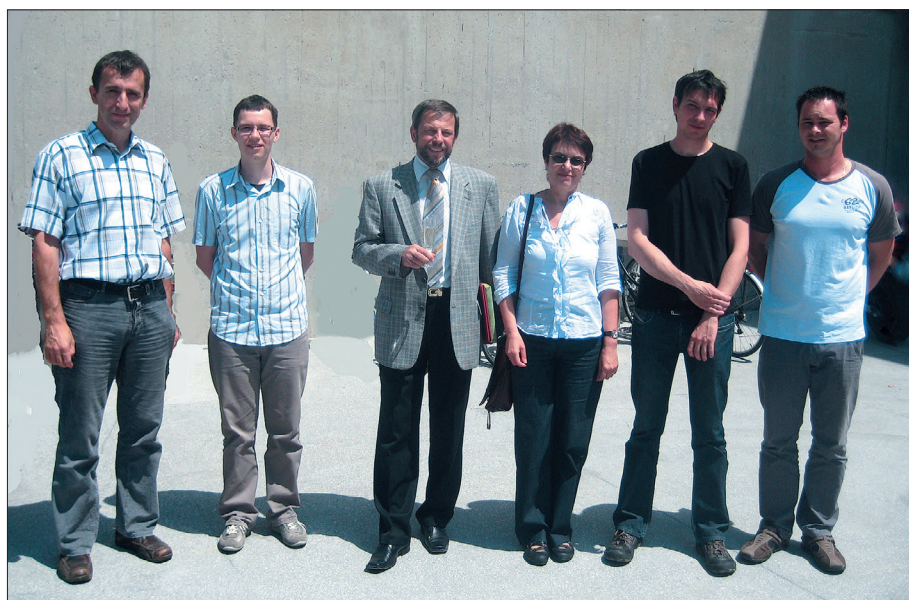
4 RESEARCH AND DEVELOPMENT

Katarina Čufar raziskovalno deluje predvsem na področju znanosti o lesu in dendrokronologije. Vzpostavila je raziskave lesa kot tkiva živih dreves od njegovega nastanka v drevesu in gozdu, preko njegove predelave v industriji in uporabe kot naravnega obnovljivega materiala. Uvedla je dendrokronološke raziskave v Sloveniji ter s sodelavkami in sodelavci opravila sistematično dolgoletno raziskovalno delo, posvečeno lesu v kulturni dediščini in arheologiji, z odmevnimi raziskavami prazgodovinskih kolišč na Ljubljanskem barju in natančnem datiranju in proučevanju aktivnosti na šestnajstih koliščih (Čufar et al., 2022b). Pri raziskovalnem delu je skupaj z raziskovalno skupino Katedre za tehnologijo lesa (slika 5), ki jo je vodila več kot dvajset let, izrazilo vpeta v mednarodno in interdisciplinarno

sodelovanje (Šernek & Petrič, 2020; Petrič & Šernek, 2021; Matjašec et al., 2022).

Katarina Čufar je v soavtorstvu objavila 130 člankov v vrhunskih mednarodnih znanstvenih revijah s faktorjem vpliva in ima trenutno h-indeks 44 (SCOPUS, 2023), baza SICRIS pa beleži skupaj 200 izvirnih znanstvenih člankov (COBISS, 2023; SICRIS, 2023). Njena dela beležijo 5836 citatov (CI), najodmevnejše delo je bilo citirano 842-krat (CI max) njen h-indeks za zadnjih 10 let (h10) pa je 40 (SICRIS, 2023). Glede na navedeno se uvršča med najboljše raziskovalke na področju biotehnike. Stanfordska lestvica jo uvršča na 20. mesto med raziskovalkami in raziskovalci Univerze v Ljubljani (Stanford, 2023). Med revijami, kjer objavlja v soavtorstvu, so tudi Nature Communications, Science Advances, Nature Plants, Global Change Biology, Molecular Ecology, Agricultural and Forest Meteorology, Journal of Archaeological Science, IAWA Journal, Dendrochronologia, Trees, International Journal of Biometeorology, Science of Total Environment, Tree-Ring Research, Cultural Heritage, Drvna industrija in druge. Deluje tudi kot glavna urednica revije Les/Wood (Ljubljana) in zunanja urednica revije Tree-Ring Research (Tucson, ZDA) ter članica uredniškega odbora revije Drvna industrija (Zagreb).

Njeno vsestransko raziskovalno delo je povezano z razvojnim in aplikativnim delom ter sodelovanjem z industrijo, Zavodom za gozdove, Zavodom za varstvo naravne in kulturne dediščine ter nacionalnimi in lokalnimi muzeji ter galerijami v Sloveniji in



Slika 5. Člani Katedre za tehnologijo lesa spomladi 2011.

Figure 5. Members of the Chair for Wood Science in the spring of 2011.

tujini. Prispevala je tudi k promociji in popularizaciji znanosti in njeni uporabi v dobro širši skupnosti (Čelar, 2015; Slaček, 2021; Vrhunci ..., 2021; Jesenkova nagrajenka, 2021; Čufar et al., 2022a). Pomemben je tudi njen prispevek k odprti znanosti in skrbi, da so objave, kjer je sodelovala, dostopne širši skupnosti (RUL, 2023; DIRROS, 2023; Les/Wood, 2023).

5 PRIZNANJA, ČLANSTVA V ZNANSTVENI AKADEMIJI TER ZDRUŽENJIH IN VODENJE

5 AWARDS, MEMBERSHIPS IN A SCIENTIFIC ACADEMY AND ASSOCIATIONS, AND MANAGEMENT

V letu 2020 je prejela državno nagrado Zoisovo priznanje za pomembne znanstvenoraziskovalne dosežke za razvoj dendrokronologije in znanosti o lesu, ki ji ga je podelil Odbor Republike Slovenije za podelitev nagrad in priznanj za izjemne dosežke v znanstvenoraziskovalni in razvojni dejavnosti (Šernek & Petrič, 2020).

Poleg tega je prejela še tri prestižne nagrade.

V letu 2019 je prejela častno priznanje Fakultete za gozdarstvo in tehnologijo lesa Univerze Mendel v Brnu, Republika Češka ob 100-letnici ustanovitve fakultete (Drolc, 2019).

V letu 2020 je prejela Zlato plaketo Univerze v Ljubljani za izjemne znanstvenoraziskovalne dosežke, za zgledno pedagoško delo ter za zasluge pri krepitvi ugleda univerze.

V letu 2021 je prejela Jesenkovo nagrado za življenjsko delo, ki je najprestižnejše priznanje Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (Petrič & Šernek, 2021; Matjašec et al., 2022).

Poleg naštetega je za pedagoško delo dvakrat prejela pohvalo Biotehniške fakultete za najboljšo pedagoško delavko (2003, 2008). Za pedagoško delo je prejela tudi priznanje Biotehniške fakultete ob 50-letnici delovanja fakultete (1997) ter priznanje Biotehniške fakultete za zgledno pedagoško in raziskovalno delo (2013). Za prispevek pri povezovanju članov in uspešno vodenje ALUMNI kluba Oddelka za lesarstvo je prejela 2 priznanji Društva lesarjev Slovenije (2017, 2022).

Leta 2015 je bila Katarina Čufar izvoljena za članico IAWS (International Academy of Wood Science), kjer je od leta 2018 izvoljena članica akademskega odbora akademije, od 2022 pa predsednica akademskega in članica upravnega odbora akademije (IAWS, 2023).

Poleg tega je dolgoletna aktivna članica društev: IAWA (International Association of Wood Anatomists), svetovno združenje na področju anatomije lesa (članica od 1983), SDBR (Slovensko društvo za biologijo rastlin), TRS (Tree Ring Society) – svetovno združenje na področju dendrokronologije, sedež Tucson, ZDA (članica od 1994, delovala tudi kot izvoljena članica upravnega odbora, 2 mandata), ATR (Association of Tree Ring Research) – evropsko združenje na področju dendrokronologije (članica od ustanovitve 2001), DLS



Slika 6. Člani Katedre za tehnologijo lesa v marcu 2023.

Figure 6. Members of the Chair for Wood Science in March 2023.

(Društvo lesarjev Slovenije) in DLS–sekcija ALUMNI klub Oddelka za lesarstvo (vodja kluba alumnov več mandatov v obdobju 2012–2024), od ustanovitve je bila tudi vodja in članica Kluba alumnov UL, Biotehniške fakultete, Sekcija alumnov lesarstva KA UL BF (Klub alumnov UL, 2023).

Katarina Čufar je opravljala številne naloge pri upravljanju OL, BF in UL, med drugim je bila: prodekanja Oddelka za lesarstvo BF (2010–2012), namestnica prodekana Oddelka za lesarstvo BF (5 mandatov, 2012–2022), vodja Katedre za tehnologijo lesa (1999–2022) (slika 5, 6), vodja raziskovalne skupine za tehnologijo lesa (20 let), vodja komisije za študij 1. in 2. stopnje OL BF (20 let s prekinitvami), vodja komisije za študij 1. in 2. stopnje BF (2012–2016), vodja komisije za mednarodne izmenjave (2 mandata), članica senata OL BF (nad 20 let), članica senata BF (7 mandatov), vodja kluba alumnov (2012–2024), vodja komisije OL in članica komisije BF za bolonjsko prenovu študijskih programov, članica odbora Založbe Univerze v Ljubljani.

6 SKLEP

6 CONCLUSION

Nagrajenka se je ob podelitvi zahvalila sodelavkam in sodelavcem, ki so njene dosežke prepoznali in jo predlagali, ter vodstvu in senatom OL, BF in UL, ki so jo izbrali in podelili prestižno priznanje.

Pedagoško, znanstveno in spremljajoče delo je opravljala z veliko ljubeznijo, vse njeno delo pa temelji na rezultatih sodelovanja in vsestranske podpore družine ter vseh, ki so jo učili, se od nje učili, z njo sodelovali. Katedra za tehnologijo lesa, ki jo je dolga leta vodila, je od leta 2022/2023 kadrovske prenovljena (slika 6), tako da s svežimi močmi nadaljuje delo predhodnikov in sprejema nove izzive in smeri razvoja.

Ker je bila ob uradni upokojitvi vpeta v številne tekoče projekte in aktivnosti doma in v tujini, ji želimo dobro zdravje, da bi še naprej ostala povezana z OL, BF in UL in bi njeno znanje, potenciali in smisel za sodelovanje lahko še naprej služili v skupno dobro. Hvaležni smo ji, da s svojimi vrhunskimi dosežki širi in krepi ugled Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

During the University of Ljubljana (UL) Week 2023, Prof. Dr. Katarina Čufar received the honour *professor emerita* for her significant contributions

to the development of wood science and dendrochronology, for her quality and committed teaching and mentoring, for the organization of work and management at the University of Ljubljana and for her general reputation at both national and international levels. On 30 November 2023, UL awarded this title of 14 distinguished professors (Figure 1). Three new *professors emeritae* – Lučka Kajfež-Bogataj, Irena Rogelj and Katarina Čufar – come from the Biotechnical Faculty (BF) (Figs. 2, 3).

Katarina Čufar has been teaching at the Department of Wood Science and Technology (DWST) BF UL since 1981, first as an assistant, and since 1991 as a university teacher, being an assistant professor, associate professor and since 2008 full professor. She has taught in two departments, DWST and the Department of Forestry and Renewable Forest Resources (DF), at the first (Bachelor), second (Master) and third (PhD) level study programmes. She has consistently received above-average student evaluations for her teaching work. She has written textbooks, other teaching materials, organized and improved experimental exercises, collections of teaching materials and laboratory equipment. As a professor she had a reputation for giving excellent (and if possible interactive) lectures, always developing approaches that improved students' knowledge and satisfaction. She was a popular (co)supervisor for over 100 bachelor's and master's theses, five PhD theses and a reviewer for over 40 bachelor's and master's and more than 10 PhD theses at her home institution and abroad. She has been a regular guest at universities such as Hamburg University, BOKU Vienna, and the University of Tuscia – Viterbo and University of Alicante.

Katarina Čufar's research is mainly in the field of wood science and dendrochronology. She has introduced and developed research on wood as a tissue of living trees, from its formation by the cambium, and as a renewable industrial raw material with its numerous applications. She introduced dendrochronological research in Slovenia and, together with her colleagues, carried out a systematic long-term research work on wood in cultural heritage and archaeology, with a focus on prehistoric pile dwellings in the Ljubljana Marshes, especially dating the activities at 16 pile dwellings from the distant past (Velušček et al., 2022). In her research she has been strongly involved in international

and interdisciplinary cooperation (Šernek & Petrič, 2020; Petrič & Šernek, 2021; Matjašec et al., 2022), together with the research group of the Chair of Wood Technology, which she has led for over 20 years (Figures 4, 5).

Čufar has co-authored 130 articles in scientific journals with an impact factor, and currently has an h-index of 44 (SCOPUS, 2023) and the SICRIS database records a total of 200 original scientific articles (COBISS, 2023; SICRIS, 2023; ORCID, 2023). Her work has 5,836 citations (CI), and the most cited work has been cited 842 times (CI max) and the h-index for the last 10 years (h10) is 40 (SICRIS, December 2023). According to these figures she ranks among the best researchers in the field. The Stanford ranking ranks her 20th among researchers at the University of Ljubljana (Stanford, 2023). The publications she has (co)authored have been published in *Nature Communications*, *Science Advances*, *Nature Plants*, *Global Change Biology*, *Molecular Ecology*, *Agricultural and Forest Meteorology*, *Journal of Archaeological Science*, *IAWA Journal*, *Dendrochronologia*, *Trees*, *International Journal of Biometeorology*, *Science of Total Environment*, *Tree-Ring Research*, *Cultural Heritage*, and *Wood Industry*, among others. She is also editor-in-chief of *Les/Wood* (Ljubljana), external editor of *Tree-Ring Research* (Tucson, USA), and a member of the editorial board of *Wood Industry* (Zagreb).

Her versatile research work is connected with both development and applied work, including cooperation with industry, the Slovenia Forest Service, the Institute for the Protection of Natural and Cultural Heritage, and museums and galleries in Slovenia and abroad. She has also contributed to the promotion and popularization of science and its application for the benefit of the wider community. She has contributed to open science and to making her publications accessible to the wider community (RUL, 2023; DIRROS, 2023; *Les/Wood*, 2023).

In 2020, Čufar received the national Zois Award for significant scientific research achievements for the development of dendrochronology and wood science (Šernek & Petrič, 2020; Vrhunci slovenske znanosti, 2021). Furthermore, she has been awarded the prestigious Jesenko Lifetime Achievement Award (2021) (Petrič & Šernek, 2021; Matjašec et al., 2022: Jesenkova nagradjenka, 2023), the Golden Plaque of the University of Ljubljana (2020), and

the Honorary Award of the Faculty of Forestry and Wood Technology of Mendel University in Brno, Czech Republic (Drolc, 2019). She has received two best teacher of BF DWST awards (2003, 2008), two BF UL awards for teaching and research (1997, 2013). She has been twice awarded by the DLS (Društvo lesarjev Slovenije = Association of Wood Science and Technology of Slovenia) (2017, 2022) for leading the Alumni Club of DWST graduates.

In 2015, Katarina Čufar was elected as a fellow of the IAWS (International Academy of Wood Science), where she has served as an elected member of the IAWS Academy Board since 2018, and the Academy Chair and a member of the IAWS executive committee since 2022 (IAWS, 2023).

She is also a long-standing active member of IAWA (International Association of Wood Anatomists), SDBR (Slovenian Society for Plant Biology), TRS (Tree-Ring Society), ATR (Association of Tree Ring Research), DLS and DLS–ALUMNI Club leader and member, as well as a member and leader of the Alumni of the University of Ljubljana, BF section Wood Science and Technology.

Katarina Čufar has performed numerous tasks in the management of DWST, BF and UL, including as vice-dean of the DWST BF (2010-2012), deputy vice-dean of the DWST BF (five terms, 2012-2022), head of the Chair of Wood Technology (1999-2022), head of the research group for wood technology (20 years), head of the committee for the study affairs of DWST (over 20 years, with interruptions) and study affairs of BF (2012-2012), coordinator of the international exchange (two terms), member of the BF DWST Senate (20+ years), member of the BF Senate (seven terms), coordinator of the Alumni Club DWST (2012-2024), and coordinator of the Curriculum Renewal project, among other positions.

After receiving the title of *professor emerita*, Katarina Čufar thanked her colleagues who had recognized her achievements and nominated her, as well as the management and senates of BF, DWST and UL, who had voted for her to receive the prestigious award. She has carried out her teaching, academic and other work with love and passion with the co-operation and full support of all those who have taught her, learned from her and worked with her, for which she is very grateful to all. The Chair of Wood Science, which she has held for many years,

was reappointed in 2022/2023 (Figure 6), so that it can continue the work of its predecessors with fresh vigour, take on new challenges and break new ground in the development of science and teaching. Katarina Čufar, who has been involved in many ongoing projects and activities at her home institution and internationally, continues to collaborate with the DWST BF UL so that her knowledge, potential and teamwork skills can be utilized for the benefit of all.

VIRI / REFERENCES

- Čufar, K., Demšar, B., Beuting, M., Balzano, A., Škrk, N., Krže, L., & Merela, M. (2022a). Dendrochronological dating and provenancing of string instruments. *Journal of Visualized Experiments* (188), 64591. DOI: <https://doi.org/10.3791/64591>
- Čufar, K., Merela, M., Krže, L., & Velušček, A. (2022b). Dendrokronologija in absolutno datiranje kolišč na Ljubljanskem barju: Dendrochronology and absolute dating of pile-dwellings in Ljubljansko Barje. *Les/Wood*, 71(1), 57–70. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2022.v71n01a06>
- Čufar, K., Lesar, B., Primožič, B., Petrič, M., Kušar, T., & Žigon, J. (2023). 15. srečanje kluba alumnov Oddelka za lesarstvo BF UL. *Les/Wood*, 72 (2), *Les/Wood*, 72 (2), 118–126.
- Drolc T. (2019). Prof. dr. Katarina Čufar prejela častno priznanje Fakultete za gozdarstvo in tehnologijo lesa Univerze Mendel v Brnu. *Les / Wood (Novice)*, 68(2), 85. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2019.v68n02a07>
- Matjašec, D., Sepčič, K., Kunej, T., & Brus, R. (ur.) (2022). Prof. dr. Katarina Čufar prejemnica Jesenkove nagrade v letu 2021. V: *Petinsedemdesetletnica Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta: 81 – 83. URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=142082> (11.12.2023)
- Petrič, M., & Šernek, M. (2021). Prof. dr. Katarina Čufar je prejela Jesenkovo nagrado za življenjsko delo: Prof. Dr. Katarina Čufar received the Jesenko Lifetime Achievement Award. *Les/Wood*, 70(1), 87–93. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2021.v70n01a10>
- Šernek, M., & Petrič, M. (2020). Prof. dr. Katarina Čufar – prejemnica Zoisovega priznanja za pomembne dosežke in Zlate plakete Univerze v Ljubljani–Prof. Dr. Katarina Čufar received the Zois Prize for important achievements and the Golden Plaque of the University of Ljubljana. *Les / Wood* 69(2), 117–124. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2020.v69n02a10>

Internetni viri / Web sources

- COBISS, Kooperativni online bibliografski sistem Osebna bibliografija Katarina Čufar za obdobje 1981-2023. <http://splet02.izum.si/cobiss/bibliography?code=02937> (9.12.2023).
- DIRROS. URL: <https://dirros.openscience.si/> (9.12.2023).
- IAWS, International Academy of Wood Science. URL: <https://www.iaws-web.org> (9.12.2023).
- Klub alumnov UL. URL: <https://www.uni-lj.si/alumni/> (9.12.2023).
- LES/WOOD. URL: <https://journals.uni-lj.si/les-wood/> (9.12.2023).
- Med nagrajenci in nagrajenkami Tedna Univerze v Ljubljani tudi 17 zaposlenih oziroma študentov Biotehniške fakultete UL. URL: <https://www.bf.uni-lj.si/sl/novice/2023120318222358/med-nagrajenci-in-nagrajenkami-tedna-univerze-v-ljubljani-tudi-17-zaposlenih-oziroma-studentov-biotehniske-fakultete-ul> (9.12.2023).
- Orcid- bibliography of Katarina Čufar. URL: <https://orcid.org/0000-0002-7403-3994> (9.12.2023).
- Scopus. URL: <https://www.scopus.com/> (9.12.2023).
- Sicris – bibliografija Katarina Čufar. URL: <https://cris.cobiss.net/ecris/si/sl/researcher/code/02937> (9.12.2023)
- RUL- Repozitorij Univerze v Ljubljani, avtor Katarina Čufar. URL: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?type=enostavno&lang=slv&niz=katarina+%C4%8Dufar&vir=dk> (9.12.2023)
- Stanford List World Scientists Rankings 2024. URL: <https://www.adscientificindex.com/?q=katarina+cufar> (8. 12. 2023).
- Teden univerze 2023. V okviru Tedna univerze podelili nazive zaslužna profesorica in zaslužni profesor. URL: <https://www.uni-lj.si/aktualno/novice/2023113016173743/> (6. 12. 2023)
- Jesenkova nagradjenka za življenjsko delo- Katarina Čufar (9.12.2023). [Video]. *YouTube*, Biotehniška fakulteta. <https://www.youtube.com/watch?v=wpbC61qLUL4>
- Slaček, N. (15.1.2021). Marsikaj od tega, kar o lastnostih lesa učimo študente na fakulteti, so koliščarji poznali iz izkušenj [Podkast]. Podkast Podobe znanja. URL: <https://ars.rtvsl.si/2021/01/katarina-cufar/> (3.12.2023)
- Vrhunci slovenske znanosti v luči nagrajencev za izjemne dosežke 2020–dokumentarni film. URL: <https://www.rtvsl.si/4d/arhiv/174736192?s=tv> (3.12.2021).
- Čelar, M. (2015), *Skrivnost barjanskega kolesa*. Ljubljana, Radiotelevizija Slovenija javni zavod. Dokumentarni filmi in oddaje, Izobraževalni program. URL: <https://4d.rtvsl.si/arhiv/dokumentarni-filmi-in-oddaje-izobrazevalni-program/174684852> (3.12.2023).

Prof. dr. Miha Humar izredni član Slovenske akademije znanosti in umetnosti
Prof. Dr. Miha Humar Associate Member of the Slovenian Academy of Sciences and Arts

Tina Drolc, Boštjan Lesar

Skupščina Slovenske akademije znanosti in umetnosti je prof. dr. Miha Humarja na predlog razreda za naravoslovne vede izvolila za izrednega člana Slovenske akademije znanosti in umetnosti (SAZU).

V četrtek, 1. junija 2023, so na volilni skupščini Slovenske akademije znanosti in umetnosti izvolili trinajst novih izrednih in deset dopisnih članov, v redne pa je napredovalo devet članov. Med novo izvoljenimi člani je tudi raziskovalec in profesor dr. Miha Humar, ki je v bil izvoljen v IV. razred za naravoslovne vede. Prof. dr. Miha Humar s Katedre za lesne škodljivce, zaščito in modifikacijo lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, ki je bil ob izvolitvi na strokovnem srečanju v Avstraliji, je povedal: »Izvolitev v družbo najboljših znanstvenikov je veliko priznanje in pomemben dosežek zame, Oddelek za lesarstvo in za Biotehniško fakulteto. Hvala razredu za naravoslovne vede za vloženo kandidacijo in hvala skupščini, da jo je potrdila.« Prof. dr. Miha Humar je od leta 2016 do 2018 kot najmlajši dekan vodil Biotehniško fakulteto Univerze v Ljubljani, na kateri je bil več let tudi prodekan.



Na volilni skupščini sta bila poleg prof. dr. Miha Humarja v razred za naravoslovne vede izvoljena še prof. dr. Mihael Brenčič z Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in prof. dr. Špela Gorican s Paleontološkega inštituta Ivana Rakovca pri ZRC SAZU. V redna člana pa sta napredovala prof. dr. Gregor Anderluh s Kemijskega inštituta in Franci Gabrovšek iz Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU. Nova dopisna članica v razredu za naravoslovne vede je strokovnjakinja za gozdarstvo Elena Paoletti.

V obrazložitvi za izvolitev **prof. dr. Miha Humarja** za izrednega člana akademije je zapisano: »Dr. Miha Humar je redni profesor lesarstva na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Raziskuje biotske in abiotske dejavnike razkroja lesa, naravno odpornost in napredne tehnike zaščite lesa. Od prvih raziskav o bakrovih zaščitnih pripravkih je prešel na preučevanje nebiocidnih tehnik zaščite lesa, ki temeljijo na tem, da les med padavinami ostane suh oziroma se čim prej posuši, postopki pa ne obremenjujejo okolja. V Ljubljani je postavil edinstven raziskovalni objekt, leseno hiško, zgrajeno iz enakih deščic različnih vrst lesa, ki je bil različno obdelan pred vgradnjo in zaradi različnega načina vgradnje različno izpostavljen vremenskim razmeram. Pri raziskovalnem delu tesno sodeluje z industrijo in je vodilni soavtor dveh mednarodnih patentov. Objavil je 225 znanstvenih člankov (h-indeks 20).

Ti kazalci ga že dve leti uvrščajo na Stanfordsko lestvico najodmevnejših raziskovalcev na svojem področju. Večkrat je bil izbran za najodličnejšega pedagoškega delavca na Biotehniški fakulteti. Kongresni urad Slovenije mu je v letu 2022 podelil častni naziv Kongresni ambasador Slovenije.« V letu 2016 je kot član raziskovalne skupine strokovnjakov Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, podjetja Silvaproduct in podjetja M Sora prejel tudi Puhovo priznanje za pomembne dosežke na področju lesarstva.

Znanstvena in umetnostna dejavnost Slovenske akademije znanosti in umetnosti se izvaja v šestih razredih. Razredi so nosilci nalog in se oblikujejo za eno ali več področij znanosti in umetnosti. Obravnavajo temeljna vprašanja ustreznih znanstvenih oziroma umetnostnih disciplin, podajajo predloge in mnenja o stanju in programih razvoja znanosti oziroma umetnosti, organizirajo razprave, posvetovanja, predavanja in razstave, skrbijo za publikacije in drugo. Vsak redni in izredni član je član razreda, ki ga je kandidiral. Prav tako so v ustrezne razrede razvrščeni dopisni člani, ki lahko sodelujejo na sejah razreda, nimajo pa drugih članskih pravic in dolžnosti.

The Slovenian Academy of Sciences and Arts (SASA) elected Prof. Dr. Miha Humar as an Associate Member of SASA on the proposal of the Fourth Class of Natural Sciences.

On Thursday, 1 June 2023, the Elective Slovenian Academy of Sciences and Arts elected thirteen new Associate Members and ten Corresponding Members, while nine were promoted to full members. Among the newly elected members is the researcher and professor Dr. Miha Humar, who has been elected to the Fourth Class of Natural Sciences. Prof. Dr. Miha Humar, from the Chair of Wood Pests, Protection and Modification of Wood, Department of Wood Science and Technology,

Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, who was in Australia for a professional meeting on the occasion of his election, said: "Being elected to the society of the best scientists is a great recognition and an important achievement for me, the Department of Wood Science, as well as for the Biotechnical Faculty. Thank you to the Natural Sciences Class for submitting the nomination and thank you to the Assembly for approving it." From 2016 to 2018, Prof. Dr. Miha Humar was the youngest Dean to lead the Biotechnical Faculty at the University of Ljubljana, where he was also Vice Dean for several years.

The Slovenian Academy of Sciences and Arts are carried out in six classes. The classes are task-bearing and established for one or more fields of the sciences and arts. They deal with fundamental questions of the relevant scientific or artistic disciplines, make proposals and give opinions on the state of affairs and programmes for the development of science or art, organise debates, consultations, lectures and exhibitions, take care of publications, etc. Each full member and associate member shall be a member of the class for which they have been nominated. Corresponding members shall also be classified in the appropriate classes and may participate in the meetings of the class, but shall have no other rights and duties as members. •

Prof. dr. Miha Humar izvoljen za podpredsednika Svetovnega društva za zaščito lesa (IRG WP)

Prof. Dr. Miha Humar elected as Vice President of the international research group for Wood Protection (IRG WP)

Tina Drolc, Boštjan Lesar

V Cairnsu v Avstraliji je spomladi 2023 potekala vsakoletna konferenca Svetovnega društva za zaščito lesa—International Research Group for Wood Protection (IRG). V društvo je včlanjenih okoli 500 članic in članov iz celega sveta, tudi z Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. V okviru omenjene, tokrat že 54. mednarodne konference, je bilo izvoljeno tudi novo vodstvo društva. Na podpredsedniško mesto (President elect) in vodjo znanstvenega programa je bil izvoljen prof. dr. Miha Humar, s Katedre za lesne škodljivce, zaš-

čito in modifikacijo lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Po izvolitvi je povedal: »Izvolitev na podpredsedniško mesto je velika čast za vse, ki se v Sloveniji raziskovalno in strokovno ukvarjamo z zaščito lesa. To imenovanje bo povečalo prepoznavnost Univerze v Ljubljani, Biotehniške fakultete in Oddelka za lesarstvo v svetu in omogočilo še tesnejše sodelovanje z vrhunskimi raziskovalci in strokovnjaki po celem svetu.« Prof. dr. Miha Humar je postal prvi podpredsednik društva iz vzhodne Evrope. Mandat podpredsednika je tri

leta. Na istem srečanju je bil doc. dr. Boštjan Lesar izvoljen v znanstveni programski odbor, Oddelek 5: Trajnost in okolje. Njegov mandat traja 3 leta.

Svetovno društvo za zaščito lesa / International Research Group for Wood Protection je bilo najprej organizirano v Evropi kot pobuda za preučevanje lesa in stališč o spremenjeni rabi lesa kot pomembnega trajnostnega, naravnega materiala. Pobuda se je nato organizirala kot društvo, ki je v svoje vrste sprejelo raziskovalke in raziskovalce iz azijskih držav in kasneje tudi drugih kontinentov.

Danes je društvo pomembna mednarodna institucija, ki z združevanjem raziskovalk in raziskovalcev preučuje les, oblikuje stališča o spremenjeni rabi lesa kot pomembnega trajnostnega, naravnega materiala ter njegovi zaščiti. Društvo vsako leto organizira strokovno srečanje, v letu 2022 je srečanje potekalo v Sloveniji na Bledu.

V letu 2023 je srečanje Svetovnega društva za zaščito lesa potekalo v Cairnsu v Avstraliji. Poleg prof. dr. Miha Humarja so se srečanja iz Slovenije udeležili še doc. dr. Davor Kržišnik, doc. dr. Boštjan Lesar in Eli Keržič, mlada raziskovalka, vsi s Katedre za lesne škodljivce, zaščito in modifikacijo lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani ter Anna Sandak z inštituta InnoRenew. Raziskovalka in raziskovalci Biotehniške fakultete so skupaj pripravili osem predstavitev v vseh vsebinskih sklopih mednarodnega srečanja.

The annual conference of the International Research Group for Wood Protection (IRG WP) was held in Cairns, Australia in spring 2023. About 500 members from all over the world, including the Department of Wood Science and Technology of the Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, are members of the society. During the 54th International Conference, the new leadership of the society was elected. Prof. Dr. Miha Humar, from the Department of Wood Pests, Protection and Modification of Wood, Department of Wood Science and Technology BF UL, was elected to the position of Vice President (President elect) and Head of the Scientific Programme. He said of this: "It is a great honour for all of us who are involved in wood protection research and expertise in Slovenia to be elected to the position of President Elect. This appointment will raise the profile of the University of Ljubljana, the Biotechnical Faculty and the Department of Wood Science and Technology in the world and will enable us to work even more closely with top researchers and experts around the world." Prof. Dr. Miha Humar became the first Vice President of the Society from Eastern Europe. The term of office of the Vice President is three years. At the same meeting, Assoc. Prof. Dr. Boštjan Lesar was elected to the Scientific Programme Committee, Section 5: Sustainability and Environment. His term of office is three years. ●

Eli Keržič je prejela nagrado društva IRG WP – »Ron Cockroft Award«

Eli Keržič received the IRG WP "Ron Cockroft Award"

Tina Drolc, Boštjan Lesar

Eli Keržič, mlada raziskovalka na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete, je prejela nagrado Svetovnega društva za zaščito lesa IRG WP – »Ron Cockroft Award«. Ob tej priložnosti je povedala: »Nagrada, ki sem jo prejela, mi je omogočila, da se udeležim mednarodne konference v Cairnsu (Avstralija) in navežem pomembne mednarodne stike s svojega področja raziskav.« Nagrada »Ron Cockroft Award« se podeljuje članom ali nečlanom društva za spodbujanje raziskav s področja zaščite lesa ter se izplača kot pomoč pri potnih stroških in stroških



nastanitve v povezavi z udeležbo na mednarodnih srečanjih društva.

Eli Keržič, a young researcher at the Department of Wood Science and Technology, has received the International Research Group for Wood Protection (IRG WP) "Ron Cockroft Award". The

"Ron Cockroft Award" is awarded to members or non-members of the society for the promotion of research in the field of wood conservation, and includes funds to assist with travel and accommodation expenses in connection with attendance at the society's international meetings. ●

Doc. dr. Angela Balzano, prejemnica svečane listine za mlade visokošolske učiteljice in sodelavke UL

Assistant Professor Dr. Angela Balzano received the Special Commendation for Young Higher Education Teachers and Staff

Maks Merela, Katarina Čufar

Doc. dr. Angela Balzano je v okviru tedna Univerze v Ljubljani 28.11. 2023 prejela Svečano listino za mlade visokošolske učiteljice in učitelje ter visokošolske sodelavke in sodelavce kot priznanje za izjemne pedagoške in raziskovalne dosežke (Teden Univerze, 2023) (slika1, 2).

Doc. dr. Angela Balzano je zaposlena na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (OL BF UL). Trenutno opravlja delo asistentke in je habilitirana v naziv docentke za področje Znanost o lesu in lignoceluloznih kompozitih ter tehnologije v lesarstvu. Študij prve in druge stopnje gozdarskih in okoljskih ved je zaključila na Università degli Studi di Napoli Federico II, v kraju Portici pri Neaplju v Italiji. Na isti univerzi je v letu 2017 zagovarjala tudi doktorsko disertacijo z naslovom "Functional wood traits: xylogenesis, tree rings and intra-annual density fluctuations (IADFs) in Mediterranean species = Funkcionalne lastnosti lesa: ksilogeneza, prirastne plasti in sezonska nihanja gostote (IADF) pri sredozemskih vrstah". Mentorica pri doktoratu je bila prof. dr. Veronica De Micco iz Italije, somentorica pa prof. dr. Katarina Čufar z Univerze v Ljubljani.

Angela Balzano se je že v času študija v Italiji vključila v mednarodno raziskovalno delo. Kot doktorandka je sodelovala pri aktivnostih COST in pridobila več štipendij za izpopolnjevanje v tujini, med drugim tudi na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani, kjer je za svojo disertacijo opravila velik del laboratorijskih raziskav na področju nastajanja lesa.

Že pred zaključkom doktorskega študija se je kot raziskovalka zaposlila na Oddelku za lesarstvo



Slika 1. Doc. dr. Angela Balzano je prejela svečano listino za mlade visokošolske učiteljice in visokošolske sodelavke Univerze v Ljubljani za leto 2023. Podelil ji jo je rektor Univerze v Ljubljani prof. dr. Gregor Majdič (Foto: Nebojša Tejić in Katja Kodba/STA).
Figure 1. Assistant Professor Dr. Angela Balzano received the 2023 Ceremonial Certificate for Young Higher Education Teachers and Higher Education Associates from the Rector of the University of Ljubljana, Prof. Dr. Gregor Majdič (Photo: Nebojša Tejić in Katja Kodba/STA).

BF na projektih TIGR4Smart (2016–2020) in WOOLF (2018–2021), ki jih je vodil prof. dr. Miha Humar. V okviru projektov je bila vključena v interdisciplinarno in mednarodno sodelovanje na področju trajnostnega in inovativnega gradbeništva za pametne stavbe ter lesa in lesenih izdelkov v celotnem življenjskem ciklu. V raziskave se je vključila kot dobra poznavalka in skrbnica opreme na Katedri za lesne škodljivce, zaščito in modifikacijo lesa. Omenjena oprema vključuje med drugim konfokalni laserski vrstični mikroskop, vrstični elektronski mikroskop z EDX detektorjem ter pripravo GeoPyc 1365 za določanje gostote materialov s pripadajočo opremo za pripravo vzorcev za analize. Razvila je izjemne spretnosti pri pripravi površin in rezin za različne mikroskopske tehnike, vključno s svetlobno mikroskopijo s širokim naborom tehnik.

V času svojega bivanja v Sloveniji se je predano posvetila znanosti in v enaki meri tudi učenju slovenskega jezika. Od leta 2021 deluje na Katedri za tehnologijo lesa, kjer je opravila velik del laboratorijskega dela za disertacijo in raziskave, ki vključuje nastajanje lesa in floema, delovanje kambija ter druge raziskave, ki potekajo na katedri, vključno z raziskavo arheološkega lesa s prazgodovinskih kolišč na Ljubljanskem barju ter raziskavami oglja oz. pooglenelega lesa.

Angela Balzano od leta 2021 vodi vaje pri predmetih Anatomija lesa in Zgradba lesa ter od leta

2022 tudi pri drugih predmetih Katedre za tehnologijo lesa (KTL) na Oddelku za lesarstvo, od leta 2023 pa tudi predmete na študijskih programih Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Pri tem poučuje študentke in študente prve in druge stopnje različnih študijskih programov. Vaje že od začetka opravlja v slovenskem jeziku, študentke in študenti pa so jo za pedagoško delo ocenili z nadpovprečnimi ocenami anket (povprečje študentskih ocen 4,8). Kot mentorica in somentorica je sodelovala že pri več diplomskih in magistrskih delih. Več let je bila neformalna podpornica tujim študentom na izmenjavah ERASMUS. V zadnjem času se je pod njenim (so)mentorstvom na Katedri za tehnologijo lesa izobraževalo več tujih doktorskih študentk in študentov z različnih Univerz v Italiji, na Češkem, Slovaškem in Poljskem. Sodeluje tudi pri promociji študija in je aktivna podpornica kluba alumnov na OL BF UL.

Kot raziskovalka na začetku raziskovalne poti ima zavidljivo znanstveno pot in bibliografijo. V njeni bibliografiji je zavedenih 148 enot (stanje 1. 12. 2023, SICRIS). Kandidatkin dela imajo visoko odmevnost, saj so bila 338-krat citirana, njen H-indeks je 12. Med objavami je 34 izvirnih znanstvenih člankov, od tega 25 v mednarodnih znanstvenih revijah s faktorjem vpliva. Ostali članki so večinoma objavljeni v reviji Les/Wood v angleščini s prevodom ključnih delov v slovenščino. Objavljena dela



Slika 2. Na terenu s študentkami in študenti magistrskega študija lesarstva jeseni 2023.

Figure 2. In the field with Master's students of the Department of Wood Science and Technology in the autumn of 2023.

zaradi kombinacije angleškega in slovenskega jezika s pridom uporablja pri pedagoškem delu.

Za svoje delo je bila tudi večkrat nagrajena. Za doktorsko delo je prejela nagrado Italijanskega botaničnega društva za najboljšo doktorsko disertacijo v letu 2017, ki ji je bila podeljena na generalni skupščini v okviru Botaničnega kongresa v Padovi. Prejela je tudi prestižno Baileyevo nagrado, ki ji jo je podelilo ugledno mednarodno društvo IAWA (International Association of Wood Anatomists) za najboljši znanstveni članek mlade raziskovalke v letu 2019 v reviji IAWA Journal (Čufar, 2019) in nagrado za najboljši poster na srečanju mikroskopistov Slovenije v letu 2022 (Merela, 2022). Vključena je v znanstvena društva kot so IAWA, ATR (Association of Tree Ring Research), Slovensko društvo za mikroskopijo in Slovensko društvo za biologijo rastlin.

Ima izkazano mednarodno sodelovanje v okviru mednarodnih projektov, sodelovanja na konferencah in znanstvenih srečanjih ter gostovanja na tujih univerzah. V zadnjem času je obnovila tesne vezi s svojo matično ustanovo Università degli Studi di Napoli Federico II, s katero pripravljajo več inovativnih projektov, vzpostavili pa so tudi izmenjave ERASMUS. V Italiji nasploh postaja vse bolj prepoznavna in cenjena.

Glede na navedeno lahko zaključimo, da je doc. dr. Angela Balzano odlična in perspektivna mlada znanstvenica, ki se je izjemno lepo vključila v slovensko družbo in je prepoznavna po odličnem pedagoškem delu, ki ga izvaja v slovenskem jeziku. V študijski proces vnaša nove vaje in pristope k delu. S svojim delom krepi ugled Univerze v Ljubljani v Sloveniji, v svoji domovini Italiji in po svetu.

Veseli nas, da so njene kvalitete prepoznane in ji za prejem svečane listine iskreno čestitamo!

On 28 November 2023, Assistant Professor Angela Balzano was awarded the Special Commendation for Young Higher Education Teachers and Staff during the University of Ljubljana Week in recognition of her outstanding achievements in teaching and research (University Ljubljana Week, 2023).

Angela Balzano works at the Department of Wood Science and Technology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana (DWST BF UL). She obtained habilitation in the field of Wood Science and Lignocellulosic Composites and Wood Technology. She completed her first and second degrees in For-



Slika 3. Doc. dr. Angela Balzano po prejemu priznanja.

Figure 3. Assistant Professor Angela Balzano after receiving the award.

estry and Environmental Sciences at the Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici, near Naples, Italy. In 2017 she defended her doctoral thesis entitled "Functional wood traits: xylogenesis, tree rings and intra-annual density fluctuations (IADFs) in Mediterranean species". The doctoral thesis was supervised by Prof. Dr. Veronica De Micco from Italy and co-supervised by Prof. Dr. Katarina Čufar from the University of Ljubljana.

Angela Balzano was already involved in international research during her studies in Italy. As a doctoral student, she took part in COST activities and received several scholarships for advanced training abroad, including at BF UL, where she carried out a large part of the laboratory research on wood formation for her dissertation.

Even before completing her doctorate, she worked as a researcher at the DWST in the TIGR4S-

mart (2016-2020) and WOOLF (2018-2021) projects under the direction of Prof. Dr. Miha Humar. The projects involved interdisciplinary and international collaboration in the field of sustainable and innovative construction for smart buildings, as well as wood and wood products over the entire life cycle. She was involved in the research as a knowledgeable person and equipment manager at the Chair of Wood Pests, Modification and Protection of Wood. This equipment includes a confocal laser scanning microscope, a scanning electron microscope with EDX detector, and a GeoPyc 1365 material density determination kit with associated sample preparation equipment for analysis. Balzano has thus developed exceptional skills in surface and section preparation for a variety of microscopy techniques, including the aforementioned and light microscopy using a wide range of techniques.

During her stay in Slovenia, Balzano dedicated herself to science and equally to learning the Slovenian language. Since 2021, she has been working at the Department of Wood Technology, where she conducted much of the laboratory work for her dissertation and research, including on wood and phloem formation, cambium activity and other ongoing projects, including work on archaeological wood from prehistoric pile dwellings in the Ljubljana marshes and research on charcoal or charred wood.

Balzano teaches courses on Wood Anatomy and Wood Structure and other courses at the Chair of Wood Science (CWS), as well as courses at the Department of Forestry and Renewable Forest Resources. She has been teaching in Slovenian since the very beginning of such work, and receives above average grades from her students (average student grade 4.8, with 5 being the best grade). She has worked as a tutor, co-mentor and mentor on several Bachelor's and Master's theses. She has been an informal tutor for incoming and outgoing ERASMUS exchange students. More recently, Balzano has supervised several PhD students from a number of universities in Italy, the Czech Republic, Slovakia and Poland who visited DWST as part of various exchange programmes. Balzano is also committed to promoting study programmes in the fields of wood science and technology, and is an active supporter of the Alumni Club at DWST.

As a young scholar, Balzano can look back on a remarkable academic career. Her bibliography comprises 148 entries (as of 1 December 2023, SICRIS). Her work has a high impact, having been cited 338 times, with an H-index of 12. Her publications include 34 original scientific articles, 25 of which are in international journals with an impact factor. The remaining articles were mostly published in the journal *Les/Wood* in English, with the most important parts translated into Slovenian. In this way she also contributes to the development of scientific terminology and improves her knowledge of the Slovenian language. The combination of English and Slovenian in her published works makes them particularly useful for students.

Balzano has already received several awards for her work. She received the Italian Botanical Society's prize for the best doctoral thesis in 2017, which was presented to her at the General Assembly of the Botanical Congress in Padua. She also received the prestigious Bailey Prize from the renowned International Association of Wood Anatomists (IAWA) for the best scientific paper by a young researcher in the *IAWA Journal* in 2019 (Čufar, 2019), and the Best Poster Award at the Meeting of Microscopists of Slovenia in 2022 (Merela, 2022). She is a member of scientific societies such as the IAWA, the ATR (Association of Tree Ring Research), the Slovenian Society of Microscopy and the Slovenian Society of Plant Biology.

She has demonstrated her international co-operation through various projects, participation in conferences and scientific meetings and guest lectures at foreign universities. Recently, she has renewed close relations with her parent institution, the Università degli Studi di Napoli Federico II, with which she is currently carrying out several innovative projects and an Erasmus exchange programme. She is increasingly recognised and appreciated by the Italian academic and student community.

In short, Assistant Prof. Angela Balzano is an excellent and promising young scientist who has integrated very well into the Slovenian scientific community and is known for her excellent teaching. She develops new exercises and approaches for the study process. Through her work she enhances the reputation of the University of Ljubljana in Slovenia in both her home country of Italy and around the world.

We are delighted that her qualities have been recognized by the University of Ljubljana, and congratulate her on the honourable mention!

VIRI

REFERENCES

- Čufar, K. (2019). Dr. Angela Balzano prejemnica Baileyve nagrade za leto 2019. *Novice: News. Les/Wood*, 68(2), 84. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2019.v68n02a07>
- Čufar, K. (2022). Dr. Angela Balzano: Oddelek za lesarstvo. V: *Petinsedemdesetletnica Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, 105–106. DOI: <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=163347&lang=slv>
- Merela, M. (2022). Srečanje mikroskopistov Slovenije – nagrada za najboljši poster dr. Angeli Balzano: Meeting of Microscopists of Slovenia – Best Poster Award to Dr. Angela Balzano. *Les/Wood*, 71(1), 77. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2022.v71n01a08>

Spletni viri / Online resources

- Foto: Nebojša Tejić in Katja Kodba/STA, Univerza v Ljubljani > Medijsko središče > Foto galerija > Teden Univerze > Teden Univerze 2023. URL: https://www.uni-lj.si/medijsko_sredisce/foto_galerija/teden_univerze/teden_univerze_2023/2023112911124890/ (3. 12. 2023)
- Teden Univerze v Ljubljani 2023, Svečana listina za mlade visokošolske učiteljice in učitelje ter visokošolske sodelavke in sodelavce. URL: https://www.uni-lj.si/tedenuniverze/tedenuniverze_2023/svecana_listina_za_mlade_visokosolske_uciteljice_in_ucitelje_ter_visokosolske_sodelavke_in_sodelavce/ (3. 12. 2023)
- University Ljubljana week 2023, Special Commendation for Young Higher Education Teachers and Staff. URL: https://www.uni-lj.si/university_of_ljubljana_week/university_of_ljubljana_week_2023/special_commendation_for_young_higher_education_teachers_and_staff/ (3. 12. 2023)

Urška Kovačič je prejela priznanje strokovnim sodelavkam Univerze v Ljubljani

Urška Kovačič received the Award for the Associates of the University of Ljubljana

Leon Oblak, Katarina Čufar

Urška Kovačič, vodja Referata za študijske in študentske zadeve na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (OL BF UL), je dobila priznanje, ki ga podeljujejo strokovnim sodelavkam in sodelavcem za pomemben prispevek k izboljšanju delovnih procesov in pozitivni klimi na članicah in rektoratu UL. Priznanje ji je za izkazane rezultate dela, ki močno presegajo običajne okvire in zahteve delovnega mesta, 30. 11. 2023 podelil rektor UL prof. dr. Gregor Majdič (slika 1). Delo Urške Kovačič opazno krepi pedagoški, znanstveni in strokovni ugled UL in BF v domačem in mednarodnem prostoru (Na univerzi ..., 2023; Priznanja ..., 2023).

Urška Kovačič je strokovna sodelavka–vodja Referata za študijske in študentske zadeve na OL BF UL, kjer izvajamo dva prvostopenjska (univerzitetni študij lesarstva in visokošolski strokovni študij Lesarsko inženirstvo) ter po en drugostopenjski (magistrski) in tretjestopenjski (doktorski) študijski program.

Diplomirana organizatorka (UN) je zaključila prvostopenjski študij Fakultete za organizacijske



Slika 1. Urška Kovačič s priznanjem, ki ji ga je podelil rektor UL prof. dr. Gregor Majdič (Foto: Bor Slana/STA).

Figure 1. Urška Kovačič with the award presented by the Rector of the University of Ljubljana, Prof. Dr. Gregor Majdič (photo: Bor Slana/STA).

vede Univerze v Mariboru (UM). Trenutno se dodatno izobražuje na drugostopenjskem študiju »Organizacija in management kadrovskih in izobraževalnih sistemov« (UM). Zaposlena je kot strokovna delavka na mestu J017131–Strokovni delavec VII/1 v organizacijski enoti Skupne službe–Referat za študijske in študentske zadeve OL BF. Na fakulteti se je zaposlila 1996 in do leta 2014 delala v tajništvu OL. Od leta 2015 dela kot vodja (in edina zaposlena) na referatu za študijske in študentske zadeve.

Urška Kovačič vodi in izvaja vse potrebno za delovanje študijskega procesa, kar zajema vse aktivnosti, od razpisa študija, organizacije informativnih dni, vpisa študentk in študentov v posamezne letnike, obravnavanja prošelj za izjemni vpis, dela s študenti s posebnimi potrebami, tutorji in gostujočimi (tujimi) študenti. Skrbi za pripravo in usklajevanje urnikov, razpis izpitnih rokov in reševanje vprašanj v zvezi z delovanjem študentskega informacijskega sistema ŠIS, študentsko prakso, razpis naslovov zaključnih del in vsa opravila v zvezi z njihovo oddajo ter razpisom zagovorov diplom in magistrirjev do pridobitve listin o zaključku študija.

Tisti, ki se prvič vpisujejo na programe OL, zato najprej spoznajo Urško Kovačič in imajo z njo stike pri reševanju vseh morebitnih posebnosti med študijem. Z njo so v stiku med študijskim letom, v času izpitov in vpisov ter v kompleksnem procesu prijave in zagovora diplomskega ali magistrskega dela. Pri vseh aktivnostih se s študentkami in študenti odlično razume. S tutorji in predstavniki letnikov dobro rešujejo težave z urniki in učilnicami, tako da študijski proces teče nemoteno. Pri delu je nenehno v stiku s pedagoškim osebjem ter povezuje študente in učitelje. Zaradi stika s študenti nudi odlično podporo klubu alumnov.

Poleg opravil, ki jih vsi poznamo, mora za nemoten potek študijskega procesa opraviti tudi veliko »skritega« dela. Tako pripravlja in ureja gradiva v zvezi z najjavami obremenitev pedagoških delavcev, gradiva v zvezi z izvedbo anket, kjer študirajoči ocenjujejo pedagoški kader, postopke (re)akreditacije in (samo)evalvacije študijskih programov. Ureja in pripravlja poročila in podatke, potrebne za vodenje pedagoškega procesa na oddelku, pri čemer vzorno sodeluje z vodstvom OL, Komisijo za študij 1. in 2. stopnje na BF in podpira delo ostalih komisij in senata OL in BF. Poleg tega dnevno rešuje zadrege v zvezi z izjemnimi dogodki sodelujočih v komple-

ksnem pedagoškem procesu na omenjenih študijskih programih.

Eden prvih velikih izzivov, pred katerega je bila Urška Kovačič postavljena, je bil prevzem kompleksnega dela vodje referata za študijske in študentske zadeve ob odhodu dolgoletne izkušene vodje. To je bilo v času, ko je bilo delo referata zaradi novih okoliščin potrebno tako rekoč na novo postaviti, vse delo in dokumentacijo pa prestaviti iz »papirne« v elektronsko obliko. To je med drugim pomenilo tudi pripravo prve najave pedagoških obremenitev za študijsko leto 2015/16 v novem kompleksnem programu. Delo je bilo posebej zahtevno zaradi izjemno velikega števila diplom v letih 2015 in 2016, ker se je iztekel zadnji rok za zaključek študija na predbolonjskih programih. Vsi, ki so želeli svoj študij na teh programih zaključiti, ker so ga pred tem iz različnih razlogov prekinili, so morali diplomirati najkasneje do 30. 9. 2016. Urška Kovačič je bila tako že na samem začetku soočena z reševanjem številnih individualnih potreb tistih, ki so pred letom 2016 za dolga leta prekinili študij. V istem času pa je morala zaradi daljše bolezni tajnika oddelka prevzeti tudi delo tajnika.



Slika 2. Nagrajenka na delovnem mestu (Foto: osebni arhiv Kovačič).

Figure 2. The prize-winner in her office (photo: personal archive Kovačič).

Urška Kovačič poleg izzivov na referatu opravlja tudi dela, ki močno presegajo zahteve delovnega mesta, ki ga zaseda. S svojim prizadevanjem omogoča, da organizacija študija poteka profesionalno in v zadovoljstvo študirajočih in zaposlenih, ki sodelujejo v izobraževalnih programih oddelka. Vodstvu nudi vsestransko podporo pri organizaciji študijskega procesa in reševanju težav zaradi izjemnih dogodkov. Pri delu je temeljita, natančna, zanesljiva, komunikativna, odzivna in razumevalna ter pripravljena pomagati v veliko zadovoljstvo vseh. Delovne zadolžitve vedno sprejme in delo dobro opravi v dogovorjenem roku ter ob tem išče optimalne rešitve za nastale nepredvidene situacije. Delo je tako vedno pravočasno in kakovostno opravljeno. Njen delovnik skoraj noben dan ne traja samo osem ur.

Z vestnostjo in iznajdljivostjo ter razumevanjem je v času epidemije covida predstavljala vez med študenti in pedagoškim osebjem ter veliko pripomogla k varni in uspešni izvedbi pedagoškega

procesa. Ob tem je bila soočena z nenehno menjavo urnikov zaradi menjav načina izvedbe študija, v predavalnici/laboratoriju, na daljavo in hibridno. Pri tem je morala usklajevati tudi potrebne spremembe oz. prilagoditve učnih načrtov.

Iz navedenega je razvidno, da delo, ki ga opravlja, močno presega običajne zahteve. Zavzema se tudi za pravice in interese študentk in študentov ter z razumevanjem rešuje tudi njihove težave in individualne potrebe. Vrata referata so zanje odprta tudi izven uradnih ur. S študirajočimi komunicira v skladu z načeli zaupnosti, spoštovanja, enkratnosti, individualnosti, še posebej s tistimi, ki imajo posebne potrebe ali se znajdejo v stiski.

Glede na vse njene kvalitete smo z veseljem predlagali, da Urška Kovačič dobi priznanje UL. Veseli smo, da so njene izjemne rezultate dela prepoznali tudi na UL in BF.

Na slavnostni prireditvi v zbornični dvorani UL so priznanja prejeli tudi strokovni sodelavci in sodelavke rektorata in drugih članic univerze. Bio-



Slika 3. Univerza v Ljubljani: nagrajeni strokovni sodelavci in sodelavke Univerze v Ljubljani (Foto: Bor Slana/STA).

Figure 3. University of Ljubljana: awarded associates of the University of Ljubljana (photo: Bor Slana/STA).

tehniška fakulteta je imela še dve nagrajenki, in sicer Greto Sorta z Oddelka za agronomijo in Matejo Vidmar z Oddelka za živilstvo ter nagrajenca Darka Klobučarja, glavnega tajnika BF UL (slika 3).

Urška Kovačič, Head of the Office for Academic and Student Affairs at the Department of Wood Science and Technology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana (DWST BF UL), received the Award for the Associates of the University of Ljubljana for her significant contribution to improving work processes and the positive climate at the member institutions and the Rectorate of the University of Ljubljana. The award was presented to Urška Kovačič on 30 November 2023 by the Rector of UL, Prof. Dr. Gregor Majdič (Figure 1).

Urška Kovačič received the award for the results of her work, which go far beyond the normal scope and requirements of the position. Her work significantly enhances the pedagogical, scientific and professional reputation of UL and BF at the national and international levels.

Urška Kovačič manages and implements all the necessary activities at DWST, where two first-cycle (Bachelor), one second-cycle (Master) and one third-cycle (PhD) study programme, all related to Wood Science and Technology, are running.

Kovačič manages and implements all the activities needed for the functioning of the study process, from the enrolment of students and organization of information days, to work with students with special needs, tutors and guest students. She is responsible for the preparation and coordination of the timetables of lectures and exams, and the resolution of issues related to the Student Information System (SIS), student internships, confirmation of thesis titles and all tasks related to their submission, as well as the announcement of diploma and Master's defences up to the awarding of diplomas.

Urška Kovačič is therefore the first person from the department that new students meet in person, and the first point of contact for any specific questions that may arise during their studies (Figure 2). They will have contact with her during the academic year, during enrolment and examination, and during the complex process of applying for and defending a Bachelor's or Master's thesis. She gets on well with the students, and works well with the tutors and student representatives to resolve

the many issues that arise and thus ensures that the programmes run smoothly. She is in constant contact with the teaching staff and liaises between students and lecturers. Through her contact with the students of different generations, she provides excellent support to the Alumni Club.

It is clear from the above that Urška Kovačič's work goes far beyond the normal duties and requirements of her position. She also stands up for the rights and interests of students and responds sympathetically to their problems and individual needs. The door of her office is open to students, both during and outside office hours. She communicates with students according to the principles of confidentiality, respect, uniqueness and individuality, especially with those who have special needs or are in distress.

In addition to the tasks we are all familiar with, Urška Kovačič also has a lot of "hidden" work to do, which is important for the smooth running of the faculty and study processes, and which is described in more detail in the Slovenian version of this article.

During a ceremony at the UL, prizes were also presented to the staff of the Rectorate and other faculties and academies of the UL. The BF had three other award winners: Greta Sorta from the Department of Agronomy and Mateja Vidmar from the Department of Food Science, as well as Darko Klobučar, the Chief Secretary of UL BF (Figure 3). As Chief Secretary, Darko Klobučar has been crucial to the continuity and smooth running of the BF and all its departments since 2008. He fulfils his duties in a professional, reliable and efficient manner, working with and supporting the BF management, staff and students. Sincere and deserved congratulations to all the award winners!

VIRI

REFERENCES

- Foto: Bor Slana/STA > Medijsko središče > Foto galerija > Teden Univerze > Teden Univerze 2023. URL: https://www.uni-lj.si/medijsko_sredisce/foto_galerija/teden_univerze/teden_univerze_2023/2023112911124890/ (3. 12. 2023)
- Na Univerzi v Ljubljani podelili priznanja strokovnim sodelavkam in sodelavcem. URL: https://www.uni-lj.si/tedenuniverze/tedenuniverze_2023/priznanje_strokovnim_sodelavkam_in_sodelavcem/ (8. 12. 2023)
- Priznanja strokovnim sodelavkam in sodelavcem. https://www.uni-lj.si/v_ospredju/2023113016201070/ (8. 12. 2023)

15. srečanje kluba alumnov Oddelka za lesarstvo BF UL

15th Meeting of the Alumni Club of the Department of Wood Science and Technology BF UL

Katarina Čufar, Boštjan Lesar, Blaž Primožič, Marko Petrič, Tomaž Kušar, Jure Žigon

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Alumni Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (OL BF UL) so se 23. 11. 2023 sestali na tradicionalnem letnem srečanju. Udeležilo se ga je okoli 120 diplomantk in diplomantov različnih programov in generacij študija lesarstva. Glavni sponzor srečanja je bilo podjetje Helios TBLUS d.o.o., član skupine KANSAI HELIOS. Srečanje so podprli tudi Klub alumnov Univerze v Ljubljani, Biotehniške fakultete, Sekcija alumnov lesarstva, OL BF UL in Društvo lesarjev Slovenije (DLS).

Že po tradiciji se je srečanje začelo z registracijo, neformalnimi pogovori in ogledi laboratorijev.

Sledil je program v nabito polni veliki predavalnici (slika 1), s pozdravi organizatorjev, pregledom glavnih novosti na Oddelku in v DLS ter pomenu povezovanja preko kluba alumnov, ki so jih predstavili Katarina Čufar in Boštjan Lesar (vodji kluba alumnov), Maks Merela (prodekan Oddelka za lesarstvo) in Tomaž Kušar (predsednik DLS). Jure Žigon (tajnik DLS) in širša ekipa zaposlenih na OL pa so skrbeli za pripravo, izvedbo in nemoten potek dogodka.

Predstavnika podjetja Helios TBLUS d.o.o., ki je član skupine KANSAI HELIOS, Bojan Tinta in Leon Ostanek Jurina sta predstavila podjetje in razvoj UV-LED premazov oz. prihodnost UV utrjujočih premazov za površinsko obdelavo lesa (slika 2).



Slika 1. Uradni del srečanja v veliki predavalnici.

Figure 1. The official part of the alumni reunion in a lecture hall.



Slika 2. Zastopnika Helios TBLUS d.o.o. sta predstavila podjetje in razvoj UV-led premazov.

Figure 2. Representatives of Helios TBLUS d.o.o., a member of the KANSAI HELIOS Group, presented the company and the development of UV-LED coatings.

Raziskave na OL BF sta predstavila mlada raziskovalka Daša Krapež Tomec s temo »Uporaba lesa v materialih za 3D-tisk« ter dr. Jaka Levanič, ki je predstavil projekt REWINNUSE in temo »Uporaba smrek ali alternativnih lesnih vrst in odsluženega lesa v proizvodnji oken«. Predstavila se nam je tudi skupina alumnov iz generacije, ki je študij na OL BF začela leta 1998.

Formalnemu delu je sledilo druženje s pogostitvijo (slika 3). Druženje je bilo kot po navadi zelo živahno in intenzivno. Iz pogovorov je bilo mogoče razbrati, da se na takem srečanju utrdijo osebne vezi, izmenjajo informacije, sklepajo posli in navežejo stiki med zaposlovalci in iskalci zaposlitve. Srečanja so se udeležili alumni iz vse Slovenije, vseh

generacij (diplomirali od leta 1972 ali prej, do 2023) (slika 4). Kot vedno so se nam pridružili tudi kolegi iz tujine, povezani z Oddelkom.

2 KLUB ALUMNOV LESARSTVA

2 ALUMNI CLUB OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

Alumni klub Oddelka za lesarstvo je bil ustanovljen leta 2008. Njegov prvi predsednik je bil prof. dr. Miha Humar, klub pa je bil ustanovljen ob veliki podpori Društva inženirjev in tehnikov lesarstva Ljubljana (DIT), ki mu je predsedoval Borut Kričej (Humar & Kričej, 2008, 2009; Lesar, 2010; Kričej, 2011). Leta 2012 je bila za predsednico alumni klu-



Slika 3. Utrinki s pogostitve in druženja.

Figure 3. Highlights from the reception and socialising.



Slika 4. Alumnii različnih generacij, diplomirali okoli leta 1981, 1998, 2006 in 2019.

Figure 4. Alumni of different generations, who graduated in and around 1981, 1998, 2006 and 2019.

ba izvoljena prof. dr. Katarina Čufar (Čufar, 2012), klub pa je še naprej deloval ob podpori DIT, ki se je kasneje preimenoval v Društvo lesarjev Slovenije (DLS), ki ga je med leti 2016 in 2020 vodil doc. dr. Boštjan Lesar, od 2020 pa ga vodi mag. Tomaž Kušar (DLS, 2023). Aktivnosti kluba so dokumentirane v reviji Les/Wood (Čufar & Lesar, 2017, 2018; 2020; 2022; Čufar, 2019; Čufar et al., 2022). Univerza v Ljubljani je klub alumnov začela organizirati leta 2017 s pobudo za postavitve spletne platforme Klub alumnov Univerze v Ljubljani (Klub alumnov, 2023). Platforma uspešno deluje, vanjo je vpisanih že nad 14.800 alumen in alumnov univerze.

Alumni in alumne (ednina alumen, alumna) so vsi, ki so diplomirali na programih študija lesarstva (Oddelek za lesarstvo, 2023), vendar jih spodbujamo, da se v klub vpišejo preko prijavnice DLS ali platforme Kluba alumnov UL, saj s tem izkažejo svojo podporo delovanju in so obveščeni o vseh dejavnostih kluba. Članstvo v platformi UL je brezplačno, vpisani alumni pa imajo številne ugodnosti. Veliko alumnov je z nami povezanih tudi preko platforme Facebook (stran Oddelek za lesarstvo ali skupina Alumni klub Oddelka za lesarstvo) ali LinkedIn (slika 5).

3 GENERACIJA, KI SE JE NA UNIVERZITETNI ŠTUDIJ VPISALA LETA 1998

3 GENERATION THAT ENTERED THE UNIVERSITY STUDY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY IN 1998

Na srečanju se nam je predstavila generacija, ki se je na univerzitetni študij vpisala leta 1998, študij pa je večinoma zaključila v letih 2003 in 2004. Devet alumnov generacije (slika 6) nam je predstavilo glavne posebnosti njihovega študija. V prvi letnik se je vpisalo okoli 90 študentov, od tega se jih polovica sploh ni pojavila na fakulteti, saj je bil to čas, ko so študentski status številni koristili zaradi študentskih bonitet in možnosti prekarnega dela preko študentskih napotnic. Študij je zaključilo 19 študentov (natančneje 18 študentov in ena študentka), od tega jih je 10 imelo predhodno srednješolsko izobrazbo lesarski tehnik, ostali pa so zaključili gimnazijo ali srednješolske programe drugih tehničnih smeri.

Predstavniki generacije so bili izredno prepoznavni in aktivni, zato se jih na fakulteti spominjajo po študijskih in številnih obštudijskih dejavnostih. Trije predstavniki so opravili 8. semester na

fakultetah v tujini, v Londonu in na Dunaju, ki so jih obiskali v okviru programa študentskih izmenjav ERASMUS. Obštudijsko so bili aktivni v Društvu študentov lesarstva (DŠL), ki je bilo ustanovljeno 1998, svoj sedež pa so imeli na OL v medetažnem prostoru poleg velike predavalnice. DŠL je letno izdajalo glasilo *Libertas* (slika 7), njegove izdaje pa skrbno hrani INDOK OL BF. Organizirali so tudi promocijske dogodke za lesarstvo v Ljubljani ter eksterna predavanja z zaslužnim profesorjem dr.dr.h.c. Nikom Torelijem in diplomanti lesarstva v prostorih Gozdarskega inštituta Slovenije.

Društvo je povezovalo študente lesarstva in diplomante z namenom mreženja na letnih srečanjih,

imenovanih Lesarski banketi, ki so se odvijali na Oddelku za lesarstvo, še preden je bil ustanovljen klub alumnov. Preko DŠL so se študenti udeleževali tudi mednarodnega evropskega srečanja študentov lesarstva INTERFOB v Clunyju (Francija, leta 1998), Pieksamakiju (Finska, 1999), Hamburgu (2000) in Budimpešti (2001). Organizacijo srečanja v Sloveniji so študenti DŠL izpeljali v letu 2002. Leta 2000 so gostili študente lesarstva iz Srbije in Španije.

Na srečanju alumnov je vsak od osmih alumnov na kratko predstavil svojo karierno pot. Blaž Primožič je zaposlen v podjetju Proform d.o.o., kjer kot specialisti za leseno gradnjo izdelujejo skeletne hiše in zahtevnejšo zunanjo opremo. Pred leti je



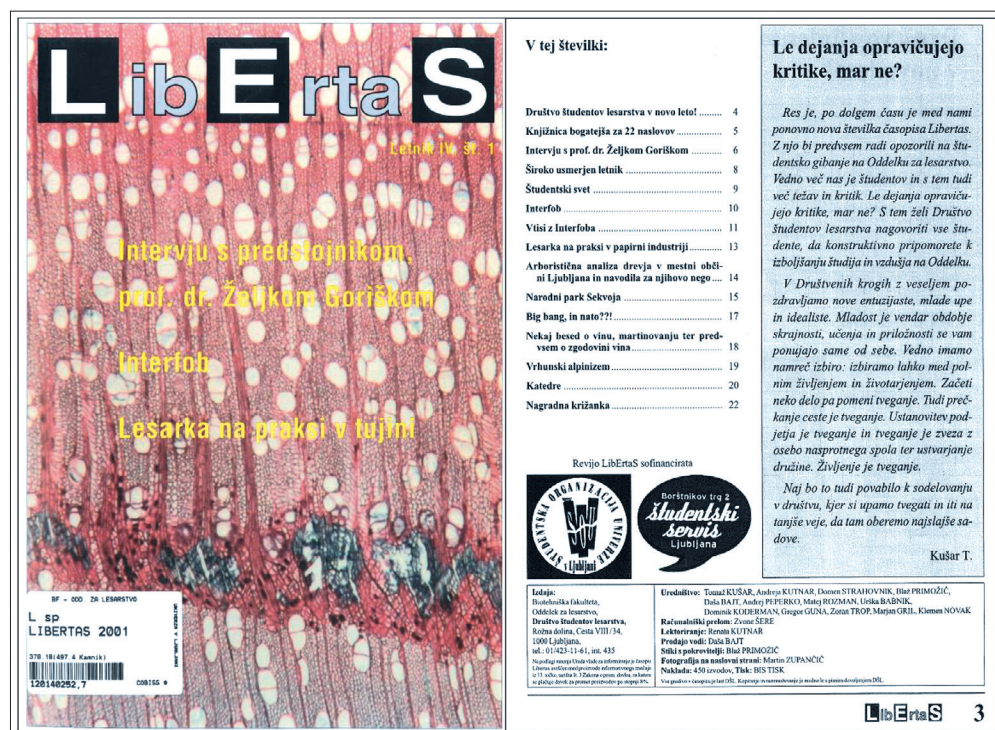
Slika 5. Klub alumnov na spletu.

Figure 5. Alumni club on the web.



Slika 6. Alumnii, ki so se na univerzitetni študij lesarstva vpisali leta 1998 in ga večinoma zaključili v letih 2003 in 2004.

Figure 6. Alumni who enrolled in the university study of Wood Science and Technology in 1998, most of whom graduated in 2003 and 2004.



Slika 7. Študentsko glasilo Libertas iz leta 2001, ko se je uredništvu pridružil Blaž Primožič.

Figure 7. Student newspaper *Libertas* in 2001, when Blaž Primožič joined the editorial team.

Blaž razvil sestavljivo pohištvo KOOKAM, ki omogoča spreminjanje opreme otroških sob glede na potrebe uporabnikov, za kar je prejel tudi slovenski patent.

Matej Jošt se je po zaključeni diplomski zaposlil na Oddelku za lesarstvo kot mladi raziskovalec. Pripravil je doktorat na področju lepljenja pod mentorstvom prof. dr. Milana Šerneka. Po pridobitvi doktorata se je pridružil Katedri za management in ekonomiko lesnih podjetij, kjer deluje kot asistent. Njegovo delo vključuje izvajanje vaj na tem področju, hkrati pa je odgovoren tudi za upravljanje e-učilnice in spletnih strani na ravni celotne Biotehniške fakultete. Franci Šilc se je po diplomski zaposlil v Lesni industriji Kočevje, kasneje NOLIK d.o.o., kot tehnolog in kasneje produktni vodja, danes pa dela v podjetju Bobič Yacht interior d.o.o. Blaž Arko je bil 16 let zaposlen v podjetju Menina d.o.o., danes pa poučuje tehnične predmete na Srednji lesarski šoli v Ljubljani. Aktiven je pri predstavitvah poklica mizarja in mizarkega tehnika po osnovnih šolah širom Slovenije. Borut Igor Fiorelli je bil prva leta zaposlen v Lesimpex d.o.o., danes pa na osnovni šoli Dornberk poučuje naravoslovje, tehniko, računalništvo, gradiva, robotiko in astronomijo ter z entuziazmom navdušuje osnovnošolce za tehnične poklice. Borut

Lapajne ima manjšo mizarstvo delavnico, kjer izdeluje pohištvo po meri, v prostem času pa lesene kanu-je, plovila in lesene kamp prikolice. Matjaž Feltrin je po študiju karierno pot pričel pri podjetju Mlinar in Mlinar d.o.o., po sedmih letih začel projektirati stroje in avtomatizacijo v družinskem podjetju Fe-S. ing d.o.o., po 14 letih pa ustanovil podjetje Nazrob d.o.o., ki je poznano po izdelavi pohištva po meri. Luka Stare nadaljuje družinsko tradicijo mizarstva Stare d.o.o. v Vodica, kjer izdelujejo zahtevnejšo notranjo opremo za nemške in avstrijske kupce. Matej Šek je prva leta projektiral in prodajal montažne hiše avstrijskega proizvajalca, nato pa se je zaposlil v podjetju Litostroj specialna livarna d.o.o., kjer danes vodi kolektiv s stotimi zaposlenimi.

Pokazali so nam tudi fotografije iz časa študija in to z ekskurzije devetih udeležencev na srečanju Interfob v Piekamaki v letu 1999. Za pot in bivanje so porabili 24 dni. Potovali so preko srednjeevropskih in baltskih držav, ki takrat še niso bile sprejete v Evropsko unijo in so po prehodu sedme meje pri-potovali na Finsko, se udeležili 7-dnevnega srečanja in se preko Švedske, Danske in drugih držav vrnili v Slovenijo. Naslednje leto 2000 jih je pot vodila na Interfob v Hamburg, spotoma pa so obiskali tudi Dansko (slika 8).



Slika 8. Interfob 1999: študenti na poti in postanek v Vilnius, Litva (levo), na srečanju Intefob, Pieksamaki, Finska (desno).

Figure 8. Interfob 1999: Students on their way to and stopping in Vilnius, Lithuania (left), at the Intefob meeting in Pieksamaki, Finland (right).

4 HELIOS TBLUS D.O.O., ČLAN SKUPINE KANSAI HELIOS – GLAVNI SPONZOR

4 HELIOS TBLUS d.o.o., a member of KANSAI HELIOS Group – the main sponsor

Predstavniki podjetja Helios TBLUS d.o.o., Bojan Tinta, Leon Ostanek Jurina in Janez Novak so po predavanju druženje izkoristili tudi za razgovore z alumni–svojimi partnerji, saj številni alumni z njimi tradicionalno sodelujejo, za razgovore z zaposlenimi na Oddelku za lesarstvo ter za sklepanje novih stikov (slika 9).

Površinski premazi so pri izdelkih iz lesa in lesnih kompozitov izjemno pomembni zaradi zaščitne in estetske funkcije, zato so pomembno vključeni v študijskih programih in raziskavah na OL, ki jih koordinira prof. dr. Marko Petrič. Diplomanti OL tako pridobijo solidno znanje o sestavi lesnih premazov, tehnoloških postopkih površinske obdelave ter pomenu in pravih načinih uporabe premazov.

Pri pedagoškem, raziskovalnem in strokovnem delu OL sodeluje s slovenskimi in tujimi podjetji. Tu ima dolgoletno sodelovanje s podjetjem Helios TBLUS d.o.o. in njegovimi predhodniki posebno mesto, saj je vodilno razvojno podjetje v regiji, z mnogimi najsodobnejšimi rešitvami na področju premazov, kjer nenehno razvijajo in v prakso prenašajo najsodobnejše polimere za premaze (npr. na osnovi tim. »core-shell« tehnologije). Možnosti uporabe nanodelcev v svojih premazih so začeli raziskovati takoj, ko je nanotehnologija postala po-

membna tema raziskav v svetovnem merilu, pozornost posvečajo premazom za UV-LED utrjevanje.

Sodelovanje OL s Helios TBLUS d.o.o. je bilo vedno odlično in obojestransko. Na OL so podjetju pomagali z najrazličnejšimi preskusi njihovih izdelkov in si vzeli čas za teoretske analize izzivov, s katerimi se soočajo pri svojem delu. Po drugi strani pa so bile praktične izkušnje in razvojni dosežki podjetja Helios TBLUS d.o.o. izjemno pomembni za pedagoško delo in razvojno-raziskovalno delo na OL.

Zaposlene na OL zelo veseli, da se nam je letos podrobneje predstavil Helios TBLUS d.o.o., tudi zato, ker v podjetju cenijo diplomante in študente OL, na primer pri praktičnem usposabljanju študentov, diplomah in zaposlovanju. Helios TBLUS d.o.o. velja za enega najboljših zaposlovalcev diplomantov lesarstva, kjer je na različnih delovnih mestih do pred kratkim zaposloval 8 alumnov lesarstva in sicer enega magistra (znanstveni magisterij), 4 univerzitetne diplomirane inženirje lesarstva, 2 magistra prenovljenega študija lesarstva in enega diplomanta visokošolskega programa. Delovali so v razvoju (Branko Knehtl, Jože Čufar), prodaji (Simona Čop, Janez Novak, Andrej Franko) in kot inštruktorji (Milan Erjavec, Tomaž Tržan, Blaž Gošnjak) (slika 10). Diplomirali so med leti 1980 in 2015, nedavno pa so se trije upokojili. Upamo, da bo Helios TBLUS d.o.o. tudi v prihodnje tako uspešno zaposloval naše alume in da se bo vsestransko zgledno sodelovanje z OL v prihodnosti le še krepilo.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

On November 23rd, 2023, the alumni of the Department of Wood Science and Technology (DWST) of the Biotechnical Faculty (BF), University of Ljubljana (UL) met for the 15th traditional annual meeting. It was attended by around 120 alumni, and thus graduates from various programmes

and generations. The main sponsor of the meeting this year was Helios TBLUS d.o.o., a member of the KANSAI HELIOS Group. The event was also supported by the Alumni Club of the UL BF Alumni Section of Wood Science and Technology (KA UL BF, 2023) and the DWST and the Association of Wood Science and Technology of Slovenia (DLS). Following tradition, the meeting started with registration,



Slika 9. Predstavniki podjetja Helios TBLUS d.o.o., član skupine KANSAI HELIOS na srečanju alumnov in prof. dr. Marko Petrič (desno), ki s svojo raziskovalno skupino in študenti s podjetjem plodno sodeluje.

Figure 9. Representatives of Helios TBLUS d.o.o. at the alumni meeting and Prof. Dr. Marko Petrič (right), who, with his research group and students, fruitfully collaborates with the company.



Slika 10. Neuradno srečanje alumnov lesarstva zaposlenih v Helios TBLUS d.o.o., v Izoli 2019; od leve proti desni Jože Čufar, Janez Novak, Simona Čop, Andrej Franko, Katarina Čufar (vodja alumni kluba), Blaž Gošnjak in Milan Erjavec.

Figure 10. Informal meeting of our alumni of Helios TBLUS d.o.o. in Izola 2019; from left to right Jože Čufar, Janez Novak, Simona Čop, Andrej Franko, Katarina Čufar (alumni coordinator), Blaž Gošnjak and Milan Erjavec.

an informal meeting and tours of the laboratories. The official part in the full lecture hall was dedicated to greetings, an overview of the main news in DWST and DSL, and a stating of the importance of connecting through the Alumni Club. The presenters were Katarina Čufar and Boštjan Lesar (leaders of the alumni club), Maks Merela (Vice Dean of BF DWST), Tomaž Kušar (President of DSL), Jure Žigon (Secretary DSL) and employees of DWST, who were the best possible hosts, who took care of the organization and smooth running of the event. Representatives of the company Helios TBLUS d.o.o., presented the company, the development of UV-LED coatings and the future of UV curing coatings for wood. Research at the DWST was presented by the young researcher Daša Krapež Tomec on the topic "Use of wood in materials for 3D printing" and Dr. Jaka Levanič, who presented the REWINNUSE project—Use of Spruce Alternative Wood Species and Waste Wood in the Production of Windows. Furthermore, a group of alumni from the generation that started studying at DWST in 1998 presented their time as students and their careers.

The formal meeting was followed by socializing with catering, which was lively as usual. Here personal ties were strengthened, information was exchanged, and deals and contacts were concluded among alumni. The meeting was attended by people from all over Slovenia, of all generations, who graduated between 1972 and 2023.

In the Slovenian version of this text, we also review the history of the alumni club from 2008 until 2023, and the publications reporting on the activities of the club. The generation that started their studies in 1998 and graduated in 2003 and 2004 is presented in more detail as well. They were a very active generation that participated in publishing the student newspaper *Libertas* and were internationally connected in the context of INTER-FOB student organization and Erasmus exchange programme. Nine alumni also presented details of their career paths.

After the presentation of the company Helios TBLUS d.o.o., a member of the KANSAI HELIOS Group, and a lecture on the coatings they have developed, the representatives of the company also used the social hour for chats and discussions with alumni – the company's partners – as well as for discussions with the staff of DWSL. The coopera-

tion between the DWSL and Helios TBLUS d.o.o. in study programmes, student internships and diplomas, as well as cooperation in the field of research is presented in more detail in the Slovenian version of this paper.

VIRI

REFERENCES

- Čufar, K. (2012). 5. srečanje ALUMNI kluba diplomantov Oddelka za lesarstvo BF UL. Les, 64(11-12), 357–358.
- Čufar, K., & Lesar, B. (2017). Srečanje ALUMNI kluba Oddelka za lesarstvo. Les/Wood, 66(2), 86. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2017.v66n02a09>
- Čufar, K., & Lesar, B. (2018). Srečanje ALUMNI kluba Oddelka za lesarstvo v letu 2018. Novice. Les/Wood, 67(2), 81. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2018.v67n02a07>
- Čufar, K. (2019). 12. srečanje ALUMNI kluba Oddelka za lesarstvo BF UL. Les/Wood, 68(2), 79. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2019.v68n02a07>
- Čufar, K., & Lesar, B. (2020). 13. srečanje kluba alumnov Oddelka za lesarstvo BF UL: 13th annual meeting of the alumni club of the Department of Wood Science and Technology BF UL. Les/Wood, 69(2), 136–137. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2020.v69n02a14>
- Čufar, K., & Lesar, B. (2022). Klub alumnov lesarstva v letu 2022: Alumni Club Wood Science and Technology in 2022. Les/Wood, 71(1), 81–82. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2022.v71n01a11>
- Čufar, K., Lesar, B., Kušar, T., & Žigon, J. (2022). 14. srečanje ALUMNI kluba Oddelka za lesarstvo: 14th Meeting of the Alumni Club of the Department of Wood Science and Technology. Les/Wood, 71(2), 80–83. DOI: <https://doi.org/10.26614/les-wood.2022.v71n02a10>
- Humar, M., & Kričej, B. (2008). 1. srečanje ALUMNI kluba diplomantov Oddelka za lesarstvo BF UL. Les/Wood, 60(10), 370.
- Humar, M., & Kričej, B. (2009). Drugi večer diplomantov Oddelka za lesarstvo. Les/Wood, 61(9-10), 426–427.
- Kričej, B. (2011). 4. srečanje diplomantov Oddelka za lesarstvo BF UL. Les/Wood, 63(11-12), 441–442.
- Lesar, B. (2010). Tretje srečanje ALUMNI kluba Oddelka za lesarstvo. Les/Wood, 62(10), 459–460.

Spletni viri / Online resources

- Društvo lesarjev Slovenije, DLS. URL: <http://www.ditles.si/> (27. 11. 2023)
- Klub alumnov Univerze v Ljubljani, Biotehniške fakultete, Sekcije alumnov lesarstva, KA UL BF. URL: <https://www.uni-lj.si/alumni/> (27. 11. 2023)
- Oddelek za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. URL: <https://www.bf.uni-lj.si/sl/enote/lesarstvo/> (27. 11. 2023)

HELIOS TBLUS d.o.o., ČLAN SKUPINE KANSAI HELIOS

HELIOS TBLUS d.o.o., A MEMBER OF KANSAI HELIOS GROUP



KANSAI HELIOS

KANSAI HELIOS

KANSAI HELIOS je eden največjih evropskih proizvajalcev industrijskih premazov, kemikalij za beljenje in čiščenje, materialov za lepljenje in tesnjenje, visokokakovostnih smol, dekorativnih barv in premazov. KANSAI HELIOS predstavlja evropsko središče odličnosti svetovne skupine KANSAI PAINT, enega največjih svetovnih podjetij v industriji premazov. Najsodobnejše tehnologije premazov, mednarodna mreža strokovnjakov in jasna usmerjenost na kupce omogočajo, da je KANSAI HELIOS zanesljiv ponudnik premazov za vse panoge. Osredotočeni smo na visokokakovostne izdelke, dolgoročno sodelovanje in močno tehnično podporo. Z modernimi in popolnoma opremljenimi proizvodnimi obrati in odlično lociranimi terenskimi pisarnami po vsej Evropi oskrbujemo stranke v več kot 60 državah po vsem svetu.

inovativnih rešitev. V naših vrhunskih laboratorijih spodbujamo napredek in inovacije. Naše izkušene razvojne ekipe s pogledom v prihodnost snujejo, razvijajo in preizkušajo visoko zmogljive premaze, ki ustrezajo visokim merilom kakovosti izdelkov prihodnosti—zlasti glede okolja.

INDUSTRIJSKI PREMAZI ZA LES

INDUSTRIAL WOOD COATINGS

Industrijski premazi za les so zasnovani tako, da zagotavljajo kakovostno zaščito, hkrati pa poudarjajo najbolj naravno lepoto lesa. Izpolnjujejo zahteve najzahtevnejših uporabnikov po izjemni zanesljivosti in varnosti. Uporabljamo nove tehnologije in metode ter sledimo najnovejšim trendom v industriji, zlasti strogim ekološkim zahtevam za okolju prijazne premaze.

Več o industrijskih premazih za les najdete na povezavi: www.kansaihelios-woodcoatings.com

»USTVARJAMO ODLIČNOST« – RAZVOJ NA NAJVIŠJI RAVNI

»DESIGNING EXCELLENCE«—DEVELOPMENT AT THE HIGHEST LEVEL

Razvoj v skupini KANSAI HELIOS temelji na najvišjih standardih, obsežnem znanju in strasti do

